

Stickstoffeffizienz im Acker- und Gemüsebau für eine Reduktion des Nitratreintrages ins Grundwasser (NitroGäu)

Abschlussbericht zu TP 2.2: N-Verluste und N-Bilanzen
im praktischen Gemüsebau der Region Niederbipp-
Gäu-Olten

Projektdauer: 2017 – 2021

Bericht vom 30.11.2020

überarbeitete Version vom 15.01.2021



Bearbeitung: Wolf-Anno Bischoff
Andreas Schwarz
Stefanie Kühfuss
David Williams
Gutachterbüro TerrAquat
Schellingstr. 43
72622 Nürtingen
Deutschland

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Problematik und Ziele.....	7
2 Material und Methoden.....	8
2.1 Naturraum des Untersuchungsgebietes.....	8
2.1.1 Lage des Untersuchungsgebietes.....	8
2.1.2 Klima.....	8
2.1.3 Geologie und Hydrogeologie (nach Hunkeler et al., 2015).....	9
2.1.4 Brunnen.....	10
2.1.5 Böden (nach Hauert et al., 2017).....	10
2.2 Versuchsdesign.....	12
2.2.1 Standorte.....	12
2.2.2 Massnahmen.....	13
2.2.3 Düngemengen.....	15
2.2.4 Versuchsdurchführung.....	16
2.3 Messmethoden.....	17
2.3.1 Ernteerhebungen.....	17
2.3.2 N _{min} -Gehalte.....	17
2.3.3 Nitrat- und Ammoniumauswaschung.....	18
2.3.4 Bodengrunduntersuchungen.....	18
2.4 Berechnungen und Datenauswertung.....	19
2.4.1 Düngebedarfsermittlung.....	19
2.4.2 Auswertung der Kulturblätter.....	19
2.4.3 N-Bilanzen.....	19
2.4.4 Statistik.....	20
3 Ergebnisse und ihre Einordnung.....	21
3.1 Bodengrunduntersuchungen.....	21
3.2 Ernteerhebungen.....	21
3.2.1 Ernte 2018 und 2019 ohne Massnahmen.....	21
3.2.2 Ernte 2019 mit Massnahmen.....	24
3.2.3 Einordnung der Ernteerhebungen.....	24
3.3 N _{min} -Gehalte.....	29
3.3.1 2018.....	29
3.3.2 2019.....	29
3.3.3 Einordnung der N _{min} -Gehalte.....	33
3.4 Nitrat- und Ammoniumauswaschung.....	34
3.4.1 2018.....	34
3.4.2 2019.....	34
3.4.3 Einordnung der Nitrat- und Ammoniumauswaschung.....	36
3.5 N-Bilanzen.....	36
3.5.1 N1 Düngung – Abfuhr.....	36
3.5.2 N2 Düngung – Aufwuchs.....	38
3.5.3 N3 N-Effizienz: Quotient Ernte/Düngung.....	40
3.5.4 N4 Rest-N _{min} -Gehalte und N-Verbleib nach Ernte – labiler N-Pool.....	43
4 Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerungen.....	45
4.1 N-Überschüsse.....	45
4.2 Methodik.....	51

4.3	Schlussfolgerungen	52
4.4	Ausblick	52
4.5	Handlungsoptionen	53
4.5.1	Steckbrief: Angepasste Düngung nach N _{min} -Methode	54
4.5.2	Steckbrief: Winterbegrünung/Zwischenfrucht	55
4.5.3	Steckbrief: Berücksichtigung organischer Reststoffe und Hofabfälle in der N-Bilanz ..	57
5	Zusammenfassung	59
6	Dank	61
7	Literatur	62
8	Anhang	64
8.1	Übersicht über die durchgeführten Tätigkeiten und Messungen	64
8.2	Ernteerhebungen	76
8.3	N _{min} -Gehalte	79
8.4	Nitrat- und Ammoniumauswaschung	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage des Projektgebietes.	8
Abbildung 2:	Klimadiagramm des Untersuchungsgebietes (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2018).	9
Abbildung 3:	Nitratbelastung im Grundwasser des Untersuchungsgebietes anhand der Brunnenganglinien (Bünemann et al., 2019).	10
Abbildung 4:	Übersicht der Böden im Gäu mit vereinfachtem Querschnitt (grau) durch die Bodengesellschaften (Hauert et al., 2017).	11
Abbildung 5:	Bodeneigenschaften in der Region Gäu/Untergäu. Von links oben nach rechts unten: Wasserhaushalt, Körnung im Oberboden, pH-Wert im Oberboden der Waldböden und der Landwirtschaftsböden. (Hauert et al., 2017).	12
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der einzelnen Methoden zur Erhebung der N-Bilanzierung: grün: verfügbare N-Fractionen; braun: N-Abfuhr/Entzüge vom Feld; blau: Wasser (Transportmedium für Nitrat).	16
Abbildung 7:	Einbau der SIA in 80 cm Tiefe.	18
Abbildung 8:	Anteil marktfähiger Köpfe bei der Ernte, 2018 (wurde nicht für alle Kulturen erhoben).	23
Abbildung 9:	N-Entzüge durch die Kultur: oben Erntegut (N-Abfuhr bei Ernte; dunkel); unten: Erntereste (verblieben auf dem Feld; hell); Datum = Erntedatum *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb ebenfalls auf dem Feld, Schraffur).	23
Abbildung 10:	Massenvergleich: (Verkaufbare) Erntemengen der einzelnen Massnahmen (inklusive der Sätze, die beerntbar waren, aber nicht beerntet wurden).	24
Abbildung 11:	Anteil marktfähiges Erntegut, 2019; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb ebenfalls auf dem Feld, Schraffur); Feld 11: aufgrund der kontinuierlichen Beerntung der Zucchetti konnte kein Anteil der marktfähigen Ware bestimmt werden.	25
Abbildung 12:	N-Entzüge bei der Ernte, 2019; oben (dunkel): Erntegut (N-Abfuhr bei durchgeführter Ernte); unten (hell): Erntereste (Verbleib auf dem Feld) *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb ebenfalls auf dem Feld, Schraffur). M4.4 (Blumenkohl): Erntegut und Erntereste wurden abgefahren.	26
Abbildung 13:	Mittlere N-Gehalte in den (verkaufbaren) Erntemengen der einzelnen Massnahmen (inklusive der Sätze, die beerntbar waren, aber nicht beerntet wurden).	27
Abbildung 14:	Massnahmenvergleich: Marktfähigkeit / Qualität (inklusive der Sätze, die beerntbar waren, aber nicht beerntet wurden).	27
Abbildung 15:	N in Ernteresten je Kultur, 2019; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur); **: wurde im Lager geputzt, Erntereste daher überwiegend abgefahren.	28
Abbildung 16:	N in Ernteresten nach Produktgruppen, 2019.	29
Abbildung 17:	N_{min} -Gehalte aller Felder im Jahr 2018; von oben nach unten: 0 – 30 cm (dunkel); 30 – 60 cm (hell).	30
Abbildung 18:	N_{min} -Gehalte Feld 6 (Kopfsalat und Endivie) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell). Kopfsalat: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld).	30
Abbildung 19:	N_{min} -Gehalte Feld 7 (Frisée und Cicorino rosso) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).	31
Abbildung 20:	N_{min} -Gehalte Feld 8 (Lagerkabis) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).	31
Abbildung 21:	N_{min} -Gehalte Feld 9 (Blumenkohl) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).	32
Abbildung 22:	N_{min} -Gehalte der Felder 10 – 13 (Monitoring, keine Massnahmen) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).	32
Abbildung 23:	N_{min} -Gehalte vor Düngung, nach Massnahmen in 0 – 60 cm Tiefe im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).	33
Abbildung 24:	N-Verluste mit dem Sickerwasser 2018: oben: 1 – 3 Messperioden während der Vegetationsperiode (Felder 1 und 2: Wechsel der SIA satzweise, Felder 3 – 5: halbjährlich); unterster Block (hellblau): Nach-Vegetationsperiode (Winterhalbjahr 2018/19).	34

Abbildung 25:	<i>N-Verluste mit dem Sickerwasser 2019: oben: Vegetationsperiode (Sommerhalbjahr, dunkel); unten: Nach-Vegetationsperiode (Winterhalbjahr 2019/20, hell).</i>	35
Abbildung 26:	<i>Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr), 2018 *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).</i>	37
Abbildung 27:	<i>Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).</i>	37
Abbildung 28:	<i>Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr), 2019; nur Schläge mit Massnahmen; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).</i>	38
Abbildung 29:	<i>Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs), 2018.</i>	39
Abbildung 30:	<i>Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen.</i> ...	39
Abbildung 31:	<i>Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs), 2019; nur Schläge mit Massnahmen.</i>	40
Abbildung 32:	<i>Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.</i>	40
Abbildung 33:	<i>Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung), 2018; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (hier Verwendung der potenziellen Erntemenge).</i>	41
Abbildung 34:	<i>Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (hier Verwendung der potenziellen Erntemenge).</i>	41
Abbildung 35:	<i>Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung), 2019; nur Schläge mit Massnahmen; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (hier Verwendung der potenziellen Erntemenge).</i>	42
Abbildung 36:	<i>Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.</i>	42
Abbildung 37:	<i>Berechnung N4 (Rest-N_{min}-Gehalte und N-Verbleib nach Ernte), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).</i>	43
Abbildung 38:	<i>Berechnung N4 (Rest-N_{min}-Gehalte und N-Verbleib nach Ernte), 2019; nur Schläge mit Massnahmen; *: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).</i>	44
Abbildung 39:	<i>Bilanz N4 (Rest-N_{min}-Gehalte und N-Verbleib nach Ernte) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.</i>	44
Abbildung 40:	<i>Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.</i>	46
Abbildung 41:	<i>Mittlere N-Auswaschung für die vier Massnahmenfelder 2019; oben (dunkel): Vegetationsperiode, unten (hell): Nach-Vegetationsperiode.</i>	47
Abbildung 42:	<i>N_{min}-Gehalte nach Ernte, nach Massnahmen in 0 – 60 cm Tiefe im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).</i>	48
Abbildung 43:	<i>Leicht verfügbares N im Boden (Summe aus N_{min} + Erntereste + Dünger, oberer Balken) und dessen Verbleib in Sickerwasser und Pflanzen (unterer Balken).</i>	49
Abbildung 44:	<i>Auswirkungen der angepassten Düngung nach N_{min} (M1) auf Umwelt und Ertrag. Oben prozentuale Änderungen, unten absolute Änderungen; beide Darstellungen berechnet aus der Differenz Kontrollen – M1 aus Tabelle 6.</i>	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die Standorte und Messungen im Jahr 2018.	14
Tabelle 2:	Übersicht über die Standorte und Messungen im Jahr 2019.	14
Tabelle 3:	Düngegaben auf den untersuchten Feldern, 2018.	15
Tabelle 4:	Düngegaben auf den untersuchten Feldern, 2019.	15
Tabelle 5:	Ergebnisse der Grunduntersuchungen einzelner exemplarisch ausgewählter Felder.	22
Tabelle 6:	N-Bilanz 2019: Alle Mittelwerte zu Ernte und Dünger pro Kultur, Auswaschung pro Jahr, N_{min} als Stichtagsbeprobungen nach Ernte; «leicht verfügbares N» = Summe aus N_{min} nach Ernte und Ernteresten.	45
Tabelle 7:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 1, 2018. Die Untersuchungsfläche war nicht einheitlich mit derselben Kultur bepflanzt.	64
Tabelle 8:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 2, 2018.	66
Tabelle 9:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 3, 2018. Die Untersuchungsfläche war nicht einheitlich mit derselben Kultur bepflanzt.	67
Tabelle 10:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 4, 2018.	68
Tabelle 11:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 5, 2018.	68
Tabelle 12:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.1; M2.1; M3.1) auf Feld 6, 2019.	69
Tabelle 13:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.2; M2.2) auf Feld 7, 2019.	70
Tabelle 14:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.3; M2.3) auf Feld 8, 2019.	71
Tabelle 15:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.4; M2.4; M4.4) auf Feld 9, 2019.	72
Tabelle 16:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 10, 2019.	73
Tabelle 17:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 11, 2019.	74
Tabelle 18:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 12, 2019.	75
Tabelle 19:	Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 13, 2019.	75
Tabelle 20:	Anteil marktfähiges Erntegut, 2018.	76
Tabelle 21:	N-Entzüge, 2018.	76
Tabelle 22:	Anteil marktfähiges Erntegut, 2019.	77
Tabelle 23:	N-Entzüge, 2019.	78
Tabelle 24:	N_{min} -Gehalte Felder 1 – 5, 2018.	79
Tabelle 25:	N_{min} -Gehalte Felder 6 und 7, 2019.	79
Tabelle 26:	N_{min} -Gehalte Felder 8 – 13, 2019.	80
Tabelle 27:	N-Auswaschung, einzelne Messperioden, 2018.	81
Tabelle 28:	N-Auswaschung, gesamtes Messjahr, 2018.	81
Tabelle 29:	N-Auswaschung, einzelne Messperioden, 2019.	82
Tabelle 30:	N-Auswaschung, gesamtes Messjahr, 2019.	83

1 Problematik und Ziele

Bisher konnte der Gemüsebau nicht in der Beratung und durch Verträge in das Nitrat-Projekt Gäu-Olten nach § 62a eingeschlossen werden. Hierzu sollten durch das Arbeitspaket 2: Gemüsebau innerhalb des begleitenden *Forschungsprojekts NitroGäu* (seit 2017) zunächst wichtige Wissenslücken geschlossen werden:

In einer ausführlichen Literaturstudie von Agroscope (Arbeitspaket 2.1 in *NitroGäu*) wurden sowohl die hohen N-Überschüsse im Gemüsebau als auch die Datenlücken in Bezug auf die N-Auswaschungen sehr deutlich aufgezeigt. Laut Schlussfolgerungen von Agroscope (Zemek et al., 2020) fehlten empirisch erhobene Daten zur N-Auswaschung im Freilandgemüsebau sowohl in der Schweiz als auch für das Gebiet des Nitratprojekts. Es wurde empfohlen, diese praxisrelevant und in typischen Kultur- und Fruchtfolgen zu erheben.

Im Arbeitspaket 2.2 des *NitroGäu*-Forschungsprojekts sollten die tatsächlichen Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Gemüseflächen in der Region Gäu-Olten zunächst nur exemplarisch bestimmt werden, da bislang wenige Daten zur konkreten Nitratbelastung des Grundwassers aus der Gemüseproduktion vorliegen (s.a. Zemek et al., 2020). In der Region zeigten einzig zwei N-Tiefenbeprobungen zu einem Zeitpunkt ein mögliches Problem: In zwei benachbarten Tiefenbohrungen bis ca. 9 m Tiefe betrug in der Zone > 2 m die mittlere Nitratkonzentration unter Gemüsebau 171 mg/L, unter extensiver Naturwiese hingegen nur 5 mg/L (Hunkeler et al., 2015).

Erste Messungen und Ernteerhebungen im Jahr 2018 zeigten, dass im Gemüsebau erheblicher Handlungsbedarf und Verbesserungspotenzial bestehen (teils in: Eigenmann, 2018). In enger Zusammenarbeit mit den Praxisbetrieben wurden deshalb im Jahr 2019 die Ziele erweitert. Es sollten nach Möglichkeit die gemüsebaulichen Praktiken erhoben und N-Bilanzen beruhend auf Messwerten erstellt werden. Ausserdem wurden Versuche zur Einsparung von N-Dünger und zur Auswirkung auf die Erträge und Qualitäten auf betrieblichen Flächen durchgeführt.

Die erweiterten Ziele des Arbeitspakets 2.2 waren es, a) den Ist-Zustand des N-Verbleibs im Gemüsebau der Region zu erheben und b) im günstigen Fall durch Messdaten *begründete Handlungsoptionen zur Reduktion der N-Überschüsse im Gemüsebau* in der Region aufzuzeigen. Diese sollten in die Planung und Zielbestimmung der nächsten Phase des § 62a-Nitratprojekts Niederbipp-Gäu-Olten (2021 – 2026) Eingang finden.

2 Material und Methoden

2.1 Naturraum des Untersuchungsgebietes

2.1.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet lag 2018 im Kanton Solothurn und wurde 2019 auf das Teileinzugsgebiet des Kantons Bern erweitert, aus dem Grundwasser dem Pumpwerk Neuendorf zufließt. Der Zuströmbereich erstreckt sich erweitert im Dünnerer Talbereich von Niederbipp im Westen bis Olten im Osten am Fuss des Jura Gebirges (Abbildung 1).

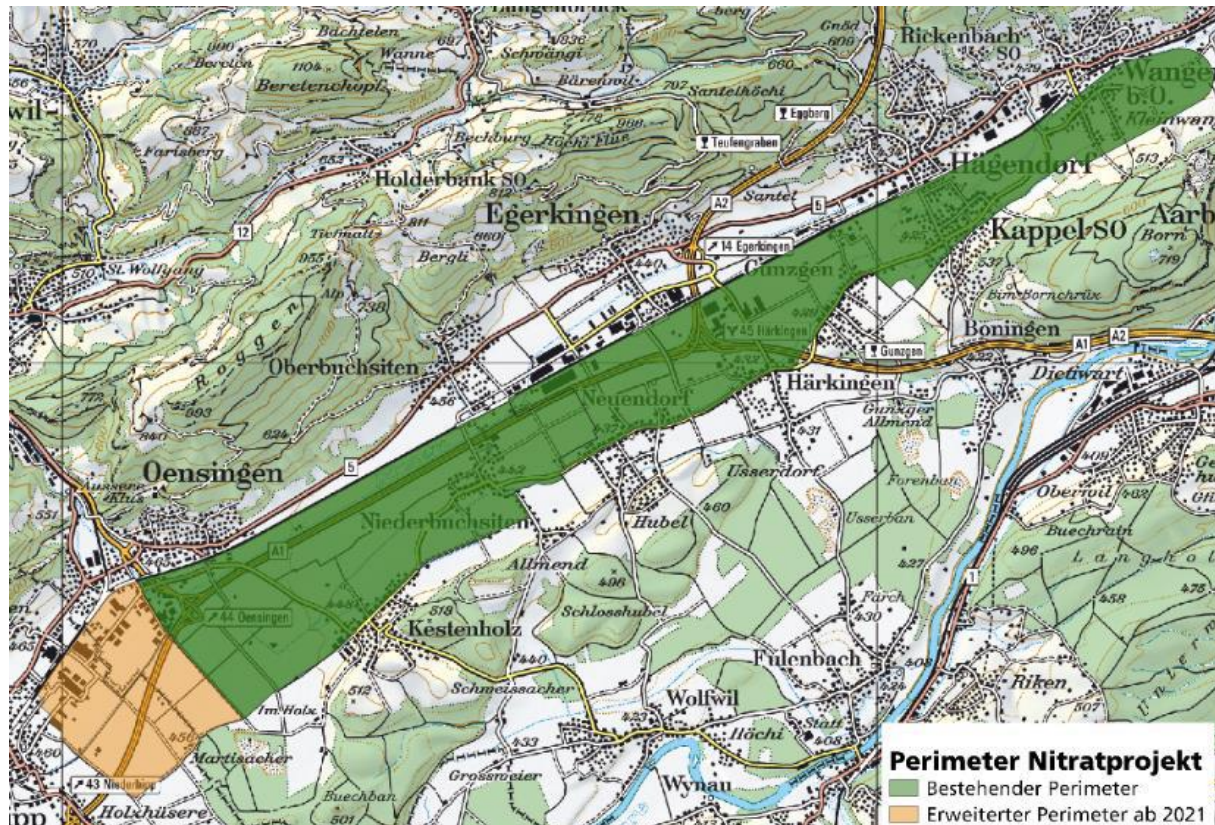


Abbildung 1: Lage des Projektgebietes.

2.1.2 Klima

In Abbildung 2 wird das Klimadiagramm aus der etwa 9 km vom Untersuchungsgebiet entfernten Messstation Wynau dargestellt (MeteoSchweiz, 2018).

Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme beträgt 1129 mm. Die Niederschläge verteilen sich etwa gleichmässig über das Jahr mit einem Maximum im Sommer (Mai – September, Abbildung 2). Während des Winterhalbjahres (Periode mit Grundwasserneubildung, ca. Oktober bis März) fallen im langjährigen Mittel 510 mm Niederschlag.

Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 9,0°C, der kälteste Monat ist der Januar mit einer Durchschnittstemperatur am Gefrierpunkt (0,0°C, Abbildung 2). Insbesondere zwischen Dezember und Februar bleiben die Niederschläge teilweise als Schnee liegen.

Die mittlere Grundwasserneubildung liegt bei ca. 400 mm/Jahr.

Klimanormwerte Wynau

Normperiode 1981–2010

Höhe ü.M.: 422 m
 Geogr. Koord.: 47.26 N / 7.79 O
 CH-Koord.: 626406 / 233849
 Klimaregion: Zentrales Mittelland

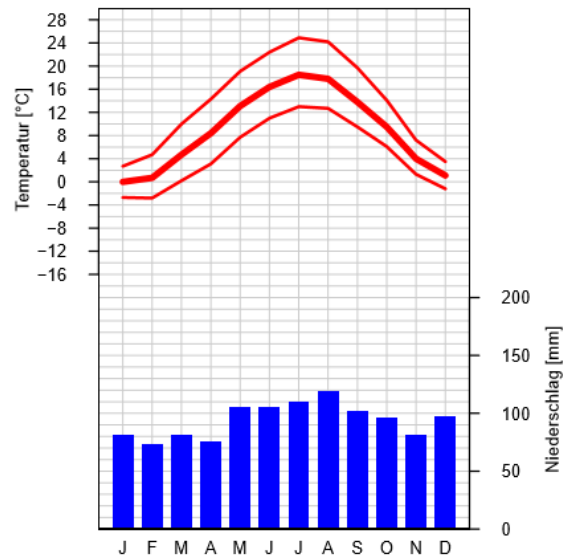


Abbildung 2: Klimadiagramm des Untersuchungsgebietes (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2018).

2.1.3 Geologie und Hydrogeologie (nach Hunkeler et al., 2015)

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in einem weiten Tal, das von der Dünneren durchflossen wird. Es wird im Norden durch die Weissensteinkette (Kalkstein, Faltenjura) begrenzt. Die südliche Grenze bilden die Mittelgähügel (Molasse) und die Born-Antiklinale (Kalkstein).

Ursprünglich mäandrierte die Dünneren im gesamten Tal und prägte die Böden, bis sie zwischen 1933 und 1943 begradigt wurde. Daraus resultiert noch heute ein weit verbreiteter Stauwassereinfluss.

Der Gäu-Grundwasserleiter mit einer Fläche von 41 km² und einer Mächtigkeit von 20 – 50 m befindet sich zwischen Walliswil und Olten. Die Speisung entsteht durch Versickerung der Niederschläge auf den Sedimenten der Talebene, teilweise durch Infiltration der Oberflächengewässer, durch unterirdischen Zufluss von Karstwasser aus der nördlich anschliessenden Juraflanke (Fröhlicher, 1972) sowie lokalem Zufluss aus dem Mittelgähügelland.

Der Grundwasserleiter setzt sich überwiegend aus Niederterrassenschottern zusammen, die nach dem Rückzug des Gletschers in der Würm-Eiszeit abgelagert wurden. Diese Schotter reichen in eine Tiefe bis zu 70 m. Im zentralen Teil des Grundwasserleiters liegen die Schotter auf mergeliger Molasse aus dem Oligo-Miozän auf, die durch tonigen Silt überlagert ist. Im östlichen Teil zwischen Gunzgen und Olten stehen die Schotter in direktem Kontakt zu Malm-Kalkstein. Das Grundwasser teilt sich an einer Wasserscheide im Raum Niederbipp mit Abfluss Richtung Westen zur Aare. Im zentralen Teil befindet sich der Grundwasserspiegel bis zu 35 Meter unter der Oberfläche und weist nur einen geringen Gradienten von ca. 0,9 % auf. Im östlichen Teil zwischen Gunzgen und Olten ist die ungesättigte Zone weniger mächtig. Der Grundwasserspiegel weist hingegen ein grösseres Gefälle von ca. 5 % auf, bedingt durch die Verengung des Tales. In diesem Abschnitt kommt es bei hohen Grundwasserständen zu einer Exfiltration von Grundwasser in die Dünneren, sowie einen Übertritt von Grundwasser ins Aaregäu bei Gunzgen.

2.1.4 Brunnen

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Nitratkonzentration in den verschiedenen Pumpwerken im Untersuchungsgebiet zwischen 1991 und 2017. Der Toleranzwert der TBDV (EDI, 2016) liegt bei 40 mg/L (Grenzlinie **rot**). Die Gewässerschutzverordnung (Schweizerischer Bundesrat, 2020) gibt das Qualitätsziel von 25 mg/L vor (Anforderungswert: Grenzlinie **orange**). Das unbeeinflusste Grundwasser liegt bei 10 mg/L (Grenzlinie **grün**). Es wird deutlich, dass bis auf das Pumpwerk Oensingen (Trendlinie **blau**) alle Pumpwerke über dem Qualitätsziel lagen und heute noch liegen. Das Pumpwerk Neuendorf (Trendlinie **gelb**) erreicht beinahe den zulässigen Höchstwert.

Die Massnahmen zur Reduzierung von Nitrat im Grundwasser im Rahmen des Nitratprojektes Gäu-Olten haben sich bisher (noch) nicht positiv auf die Grundwasserqualität ausgewirkt, da die Ganglinien der Pumpwerke noch keinen klaren Trend zeigen.

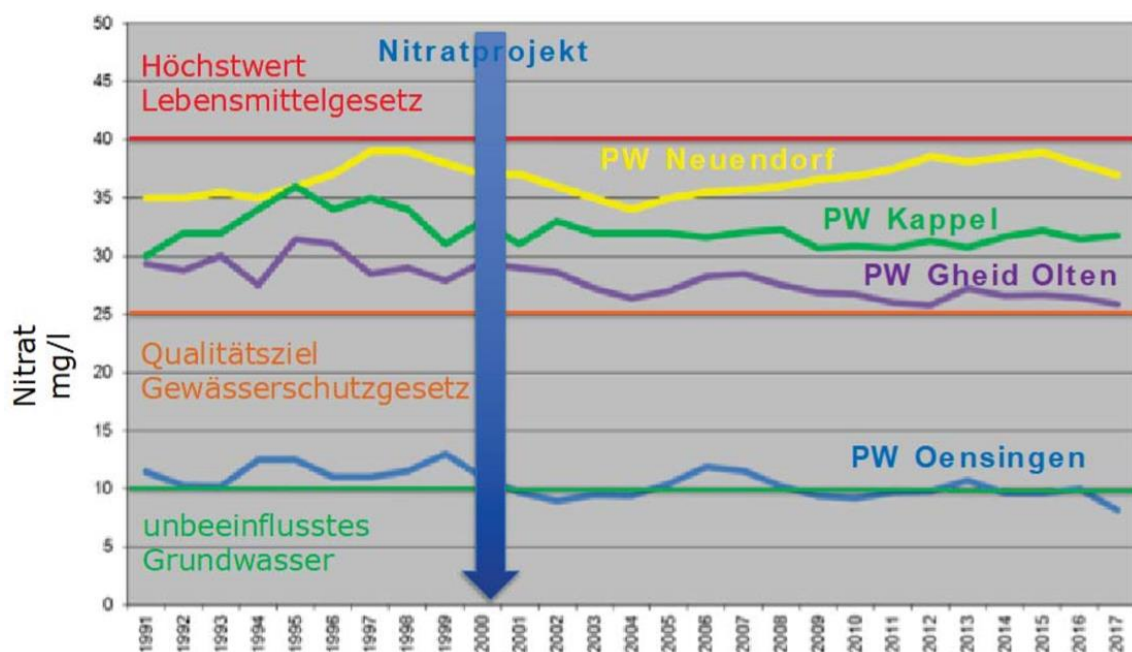


Abbildung 3: Nitratbelastung im Grundwasser des Untersuchungsgebietes anhand der Brunnenganglinien (Bünemann et al., 2019).

2.1.5 Böden (nach Hauert et al., 2017)

Vom Jura (Nordwesten) zur Aare (Südosten) hin zeigt sich ein deutlicher Verlauf (grauer Streifen in Abbildung 4) von schwereren zu leichteren Böden: Im Nordwesten, an den Unterhängen der ersten Jurakette, treten auf anstehendem Kalkstein kleinräumig flachgründige Rendzinen auf. Auf Hanglehm und Hangschutt dominieren hingegen tiefgründige Braunerden. Am Hangfuss überwiegen die Kalkbraunerden, mit einem fließenden Übergang zu Braunerden, Pseudogleyen und Fluvisolen.

Die Böden der Dünernerbene wurden während periodischer Überschwemmungen vor der Dünnernkorrektur zwischen 1933 und 1943 abgelagert. Unter den meist feinkörnigen Sedimenten liegen mächtige Schotterablagerungen. Aufgrund ihrer Genese sind die Böden von einem hohen Gehalt an organischer Substanz geprägt, sodass der Humusgehalt meist über 3,5 % liegt.

Der pH-Wert der Böden der untersuchten Äcker liegt überwiegend im alkalischen Bereich (> 6,7, Abbildung 5, rechts unten) und wurden überwiegend als «schwere, tonige Böden» mit meist einem Tongehalt von > 30 % klassifiziert (Abbildung 5, rechts oben).

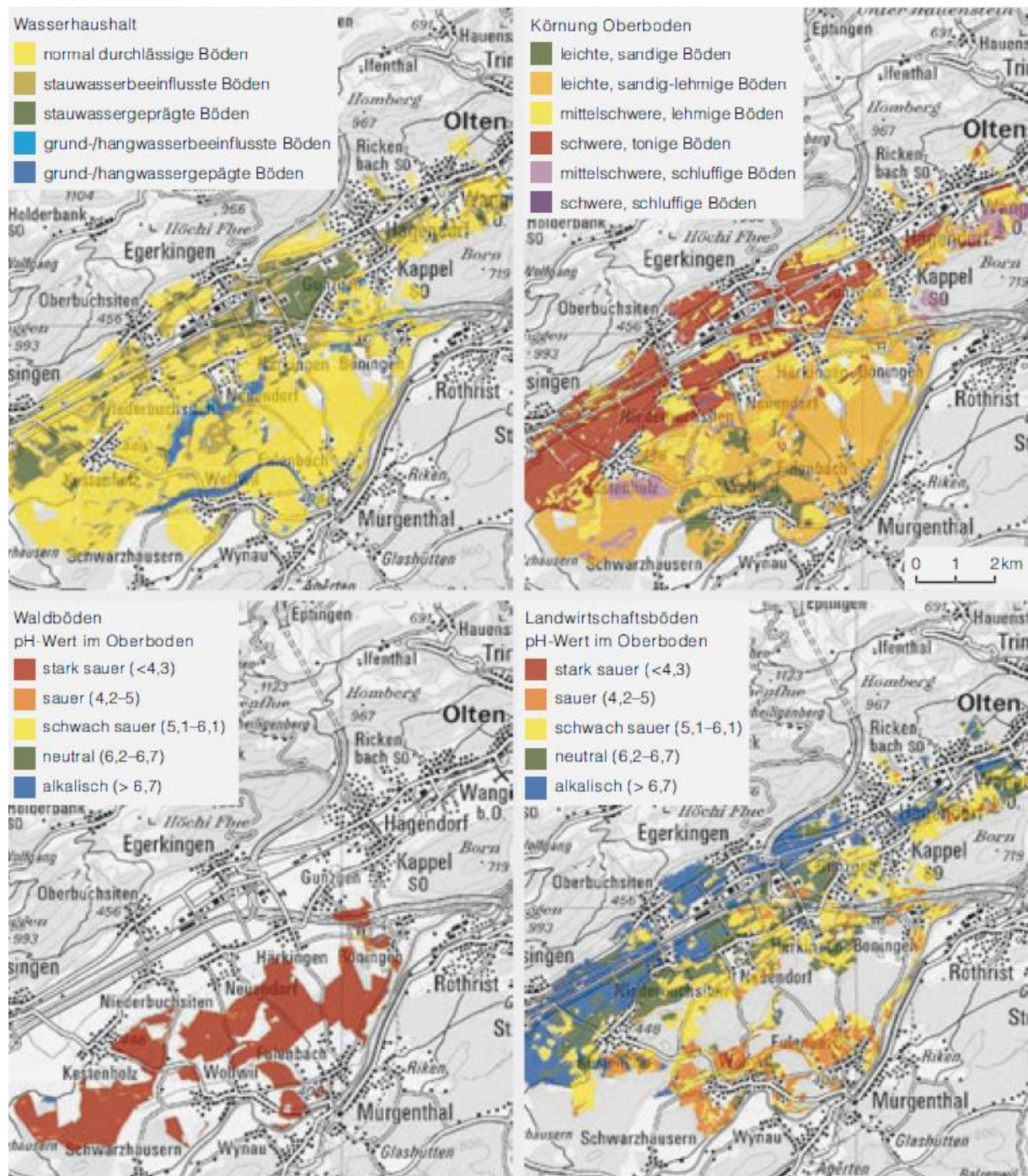


Abbildung 5: Bodeneigenschaften in der Region Gäu/Untergäu. Von links oben nach rechts unten: Wasserhaushalt, Körnung im Oberboden, pH-Wert im Oberboden der Waldböden und der Landwirtschaftsböden. (Hauert et al., 2017).

2.2 Versuchsdesign

2.2.1 Standorte

Im Jahr 2018 wurde auf fünf Flächen eines Freilandgemüsebaubetriebs im Kanton Solothurn ein Monitoring der Nitratauswaschung durchgeführt (Felder 1 – 5, Tabelle 1). Parallel wurden exemplarisch Daten, die für eine N-Bilanz nötig sind, erhoben.

Im Folgejahr 2019 wurden die Untersuchungen auf acht Flächen durchgeführt, wobei auch Flächen im Kanton Bern aus dem künftigen, erweiterten Projektperimeter einbezogen wurden (Felder 6 – 13, Tabelle 2). Aufgrund der Ergebnisse des ersten Jahres wurden 2019 auf vier Schlägen Parzellenversuche angelegt, um die Auswirkungen verschiedener Massnahmen zur Reduktion der Düngemenge zu untersuchen. Auf allen Flächen wurden sämtliche Daten erhoben, um eine N-Bilanz zu erstellen (vgl. 2.3 und 2.4.3).

2.2.2 Massnahmen

Auf den vier Feldern 6 – 9 wurden im Jahr 2019 verschiedene Massnahmen zur Reduktion der eingesetzten Düngemenge durchgeführt. Um das wirtschaftliche Risiko für die beteiligten Landwirte möglichst gering zu halten, wurden Parzellen mit einer Fläche von jeweils 22,2 m² (Länge: 4 m, Breite: drei Beete = 5,55 m) eingerichtet. Aufgrund der Grösse mussten diese Parzellen teils händisch gedüngt werden, woraus sich teils versuchsbedingte Unterschiede zu einer maschinellen Bearbeitung ergaben.

Zemek et al. (2020) haben die verbesserte Ermittlung des N-Düngebedarfs als eine wesentliche Massnahme zur Reduktion der N-Überschüsse und damit der N-Auswaschung aus dem Gemüsebau und als eine der aussichtsreichsten Methoden die N_{min}-Methode herausgearbeitet.

In den Massnahmen M1 – M3 wurde die Menge des ausgebrachten Düngers anhand der Menge des im Boden zum Düngezeitpunkt vorhandenen pflanzenverfügbaren, mineralischen Stickstoffs (N_{min}) reduziert (s. 2.4.1). Die Massnahmen M1 bis M3 unterschieden sich darin, wie dieser Dünger ausgebracht wurde.

M1 breit:

Der Dünger wurde breitwürfig händisch ausgebracht. Dies entspricht der derzeit üblichen breitwürfigen maschinellen Düngerapplikation.

M2 platziert:

Der Dünger wurde händisch direkt an der Pflanzreihe ausgebracht. Ziel dieser Massnahme war es, Bereiche, die v.a. zu Kulturbeginn nicht durchwurzelt sind, zunächst auch nicht zu düngen. Dies kann zusätzlich die Düngeeffizienz steigern und die N-Auswaschung verringern (Everaarts et al., 1996).

M3 Fertigation (nur Feld 6):

Bewässerungswasser und darin aufgelöster Dünger wurden gemeinsam über Bewässerungsschläuche ausgebracht, die nah an den Pflanzreihen in ca. 5 – 10 cm Tiefe verlegt waren. Da die Überkopfbewässerung, die auf dem Rest der Parzelle üblich ist, versehentlich auch diese Parzelle erfasste, lag die Gesamtbewässerungsmenge über derjenigen der anderen Massnahmen-Varianten statt wie geplant darunter.

M4 Abfuhr Erntereste (nur Feld 9):

Bei dieser Massnahme wurde nicht nach N_{min}, sondern betriebsüblich gedüngt. Stattdessen wurden nach Ernte der Kultur alle Erntereste händisch entfernt, um die im Ernterest enthaltenen N-Überschüsse durch Abfuhr zu entfernen und den Mineralisierungsschub zu Beginn der Folgekultur zu reduzieren. Ein solches Vorgehen wurde ebenfalls von Zemek et al. (2020) als erfolgversprechend eingestuft (vgl. Ambus et al. 2001, Akkal-Corfini et al., 2010).

Tabelle 1: Übersicht über die Standorte und Messungen im Jahr 2018.

Feld	Kulturen	N _{min} -Beprobungen	Messperioden SIA
Feld 1	04.04. – 09.06.18 Frisée* bzw. 07.04. – 05.06.18 Endivie*	08.04.18	27.02. – 11.06.18
	19.06. – 30.07.18 Kopfsalat		11.06. – 03.08.18
			03.08. – 05.11.18
	20.09.18 – 25.01.19 Sommerhafer		05.11.18 – 25.02.19
Feld 2	27.03. – 04.06.18 Cicorino rosso*	15.04.18	27.02. – 03.08.18
	19.06. – 30.07.18 Frisée	12.06.18	
	20.09.18 – 25.01.19 Sommerhafer		
Feld 3a	26.03. – 10.06.18 Brokkoli	08.04.18	27.02. – 06.11.18
	28.07. – 19.10.18 Brokkoli		
	20.09.18 – 25.01.19 Sommerhafer		
Feld 3b	26.03. – 30.07.18 Früh-Kabis	08.04.18	27.02. – 06.11.18
	20.09.18 – 25.01.19 Sommerhafer		06.11.18 – 25.02.19
Feld 4	16.04. – 07.06.18 Eisberg	15.04.18	27.02. – 07.11.18
	25.06. – 06.08.18 Frisée		
	20.09.18 – 25.01.19 Sommerhafer		
Feld 5	26.05. – 23.10.18 Rot-Kabis	12.04.18	27.02. – 08.11.18
	keine Winterbegrünung		08.11.18 – 25.02.19

*: keine Ernte, Erntegut wurde nicht von der Fläche abgefahren

Tabelle 2: Übersicht über die Standorte und Messungen im Jahr 2019.

Feld	Kulturen	N _{min} -Be- probungen	Messperioden SIA	Massnahmen
Feld 6	01.05. – 19.06.19 Kopfsalat	24.04.19	27.02. – 15.11.19	M1 breit M2 platziert M3 Fertigation
		13.05.19		
	13.07. – 30.08.19 Endivie	11.07.19		
	Sommerhafer	09.09.19	15.11.19 – 13.05.20	
Feld 7	01.05. – 27.06.19 Frisée	24.04.19	27.02. – 15.11.19	M1 breit M2 platziert
	13.07. – 15.09.19 Cicorino rosso	13.05.19		
		11.07.19		
	Sommerhafer	14.11.19	15.11.19 – 13.05.20	
Feld 8	04.06. – 30.10.19 Lagerkabis (weiss)	24.04.19	27.02. – 15.11.19	M1 breit M2 platziert
		30.05.19		
		24.06.19		
		28.07.19		
	Sommerhafer	14.11.19	15.11.18 – 13.05.20	
Feld 9	(Eisbergsalat)			M1 breit M2 platziert M4 Abfuhr Erntereste
	14.06. – 02.09.19 Blumenkohl	07.06.19	06.06. – 12.11.19	
		04.07.19		
Feld 10	Winterweizen	09.09.19	12.11.19 – 24.02.20	keine (Monitoring)
	(Kopfsalat)			
	12.06. – 04.10.19 Zucchetti	11.06.19	06.06. – 08.11.19	
Feld 11	Winterweizen	04.10.19	08.11.19 – 24.02.20	keine (Monitoring)
	(Blumenkohl)		keine SIA	
	19.06. – 09.08.19 Eisbergsalat	13.06.19		
		09.08.19		
Feld 12	(Nüsslisalat)	04.10.19		keine (Monitoring)
	20.05. – 09.08.19 Blumenkohl	23.05.19	keine SIA	
		04.10.19		
Feld 13	(Lauch)			keine (Monitoring)
	24.05. – 19.07.19 Eisbergsalat	23.05.19	23.05. – 08.11.19	
	keine Winterbegrünung		08.11.19 – 24.02.20	

*: keine Ernte, Erntegut wurde nicht von der Fläche abgefahren

Kulturen in Klammern: Kultur ausserhalb der Untersuchungen

2.2.3 Düngemengen

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die einzelnen Düngegaben auf den untersuchten Feldern für 2018 und 2019 angegeben. Die Düngung erfolgte grundsätzlich nach GRUD (Agroscope, 2017), modifiziert durch die Bewirtschafter. Die Düngegaben der Massnahmen wurden entsprechend der Vorgaben in den einzelnen Massnahmen berechnet (vgl. 2.2.2).

Tabelle 3: Düngegaben auf den untersuchten Feldern, 2018.

Feld	Düngetermin	Menge [kg N/ha]
Feld 1	04.04.2018	119
	27.04.2018	27
	19.06.2018	78
	09.07.2018	27
Feld 2	25.03.2018	119
	19.06.2018	78
	09.07.2018	27
Feld 3a (Brokkoli)	26.03.2018	119
	30.04.2018	81
	28.07.2018	108
Feld 3b (Kabis)	26.03.2018	119
	30.04.2018	54
Feld 4	16.04.2018	119
	08.05.2018	27
	25.06.2018	78
Feld 5	11.05.2018	97
	11.06.2018	79

Tabelle 4: Düngegaben auf den untersuchten Feldern, 2019.

Feld	Düngetermin	Kontrolle	M1	M2	M3	M4
Menge [kg N/ha]						
Feld 6	01.05.2019	99	57	15	15	-
	16.05.2019	51	0	14	66	-
	13.07.2019	81	40	89	106	-
Feld 7	02.05.2019	99	42	0	-	-
	16.05.2019	62	68	75	-	-
	13.07.2019	81	40	40	-	-
Feld 8	05.06.2019	95	40	40	-	-
	29.06.2019	99	83	104	-	-
Feld 9	13.06.2019	120	36	36	-	120
	11.07.2019	81	79	39	-	81
Feld 10	12.06.2019	18	-	-	-	-
	04.07.2019	15	-	-	-	-
	15.07.2019	15	-	-	-	-
	29.07.2019	15	-	-	-	-
	05.08.2019	15	-	-	-	-
	12.08.2019	15	-	-	-	-
	26.08.2019	15	-	-	-	-
Feld 11	19.06.2019	53	-	-	-	-
	04.07.2019	54	-	-	-	-
Feld 12	22.05.2019	180	-	-	-	-
Feld 13	27.05.2019	96	-	-	-	-

2.2.4 Versuchsdurchführung

Auf jeder Untersuchungsfläche wurden vor der ersten Kultur (i.d.R. ca. März) **Selbst-Integrierende Akkumulatoren** (SIA, vgl. 2.3.3) installiert, um die N-Auswaschungen während der Vegetationszeit zu messen. Eine Ausnahme stellen die Felder 9, 10 und 13 dar, auf denen wegen der Projekterweiterung 2019 erst nach der ersten Kultur mit den Messungen begonnen wurde (Tabelle 2). Die SIA wurden im Herbst nach Ernte der letzten Gemüsekultur (ca. November) ausgetauscht, sodass die N-Verluste während der Vegetationszeit erfasst wurden. Abweichend davon wurden die SIA 2018 teilweise nach jeder einzelnen Kultur satzweise ausgetauscht (Tabelle 1). Die Messperiode der Nachvegetation endete meist im Februar des Folgejahres und erfasste die N-Auswaschung während des Winterhalbjahres, in dem ein Grossteil des Sickerwassers gebildet wird und in dem die N-Überschüsse der Vorjahreskulturen ausgewaschen werden.

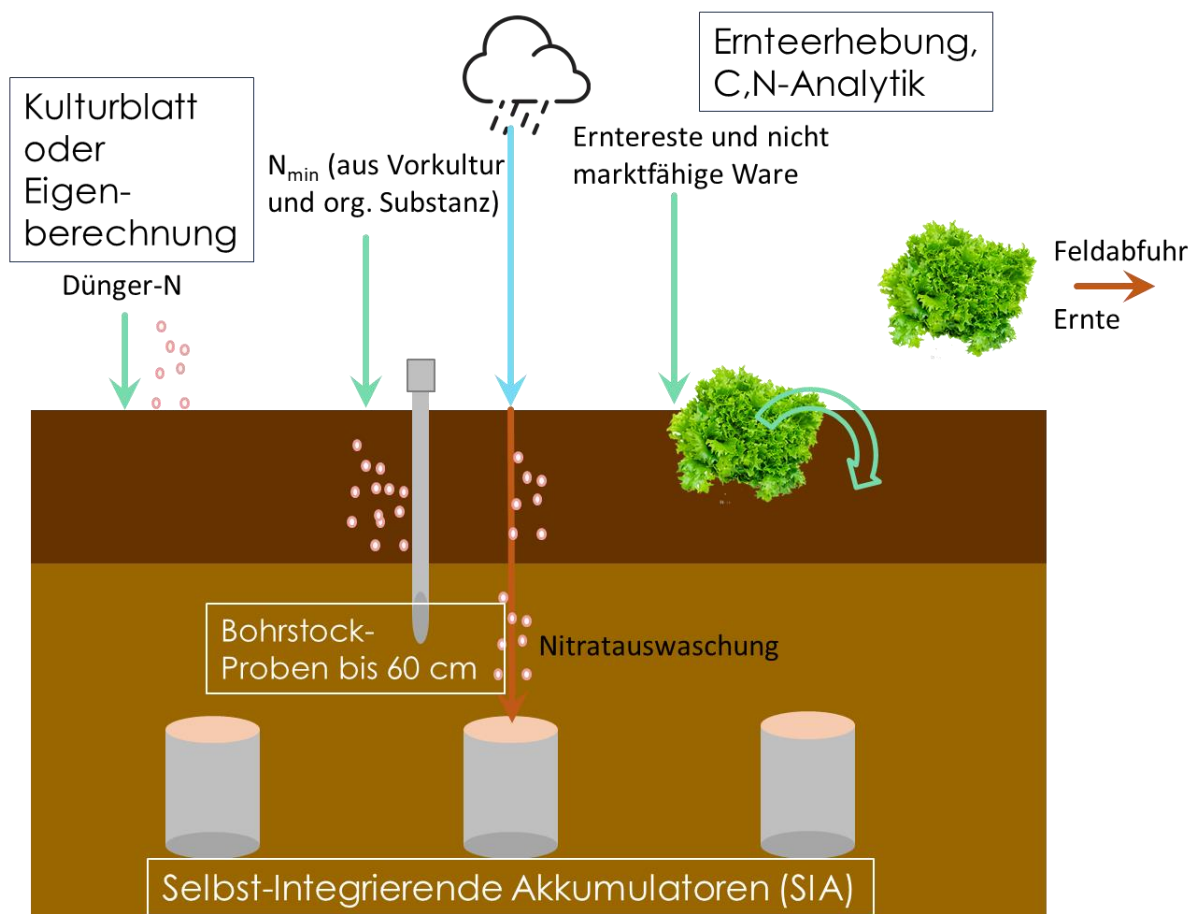


Abbildung 6: Schematische Darstellung der einzelnen Methoden zur Erhebung der N-Bilanzierung: grün: verfügbare N-Fraktionen; braun: N-Abfuhr/Entzüge vom Feld; blau: Wasser (Transportmedium für Nitrat).

Kurz vor jeder Pflanzung und jeder weiteren Düngung (Kopfdüngung) wurden in M1 – M3 Bodenproben entnommen und auf die **N_{min}-Gehalte** analysiert (vgl. 2.3.2). Diese geben wieder, wie viel Stickstoff im Boden bereits in pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Je nach **Massnahme** wurden diese N_{min}-Gehalte auf die Düngemenge angerechnet (vgl. 2.2.2). Nach Ende der Vegetationsperiode wurde der Herbst-Rest-N_{min}-Gehalt rund um einen Stichtag ca. Ende Oktober bestimmt.

Für jede Kultur bzw. jeden Satz wurden in Kooperation zwischen Betrieb und TerrAquat im Rahmen einer **Ernteerhebung** die wesentlichen pflanzenbaulichen Parameter in einer repräsentativen Stichprobe erhoben (vgl. 2.3.1). Dies war notwendig, um einen allfälligen Einfluss der Massnahmen auf Quantität und Qualität der Ware zu dokumentieren sowie eine vollständige N-Bilanz erstellen zu können.

Nach der letzten Ernte wurde auf allen Schlägen eine Zwischenfrucht bzw. Winterbegrünung ausgesät, um die N-Auswaschung aus dem Wurzelraum zu reduzieren.

Im Jahr 2018 wurden die Felder 1 und 3 nicht einheitlich mit derselben Kultur bepflanzt, sodass die Erhebungen z.T. in unterschiedlichen Kulturen parallel erfolgten (Tabelle 1).

Die genauen zeitlichen Abläufe von Kulturführung und Beprobungen können dem Anhang entnommen werden (Tabelle 7 bis Tabelle 19).

2.3 Messmethoden

2.3.1 Ernteerhebungen

Zur Ernte wird die markttaugliche Ware vom Feld abgefahren, wohingegen nicht-markttaugliches Erntegut, Pflanzenteile vom Putzen und nicht beerntete Pflanzenteile als Erntereste auf der Fläche verbleiben.

Um die N-Abfuhr vom Feld und die auf dem Feld verbleibenden N-Mengen zu bestimmen, wurden in Kooperation zwischen Betrieb und TerrAquat sowohl in den umgebenden Kontrollflächen als auch in den Massnahmenfenstern repräsentative und flächenbezogene Pflanzenproben entnommen. Zunächst wurden der Aberntungsgrad und der Anteil marktfähiger Köpfe bzw. Pflanzenteile je nach Kultur aus mindestens 30 bis 96 Individuen ermittelt. Sowohl von der marktfähigen Ware als auch von den Ernteresten inkl. nicht-marktfähiger Ware wurden jeweils flächenbezogen die frische Biomasse erhoben und repräsentative Proben entnommen. Dabei wurden für die meisten Kulturen zwölf unabhängige Teilproben gezogen und je vier Teilproben zu drei Mischproben vereinigt. Salate wurden z.B. geviertelt und je nur ein Viertel als Teilprobe genutzt. Diese Proben wurden anschliessend am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick auf Trockenmasse sowie C- und N-Gehalt analysiert.

Daraus liessen sich die N-Abfuhr und der N-Verbleib jeder Kultur in kg N/ha für die Bilanz errechnen.

Einige Kulturen wurden untergepflügt, da keine Verkaufsmöglichkeit bestand, obwohl sie grundsätzlich vermarktbar gewesen wären. Für diese Kulturen wurden die Ernteerhebungen wie üblich durchgeführt und anschliessend die Bilanzen berechnet. Je nach Ziel der Auswertung wurden diese Werte eingeschlossen (z.B. bei der Marktfähigkeit) oder als kein Entzug (z.B. bei der N-Umweltbilanz) bewertet.

2.3.2 $N_{\min}$ -Gehalte

Die $N_{\min}$ -Gehalte (Nitrat- und Ammoniumgehalte in kg N/ha) wurden an repräsentativen Mischproben aus acht bis neun Einstichen in 0 – 60 cm Bodentiefe ermittelt. Sie wurden jeweils vor Aussaat bzw. Pflanzung der Kultur, vor jeder Düngung und nach der Ernte der Kultur entnommen. Im ersten Jahr wurden die Proben in den standardisierten Tiefenintervallen 0 – 30 und 0 – 60 cm entnommen. Um der geringen Durchwurzelungstiefe junger gemüsebaulicher Kulturen Rechnung zu tragen, wurde auf

Anregung eines Betriebsleiters die Oberbodenprobe im Jahr 2019 zweigeteilt, sodass Proben aus drei Tiefenstufen entnommen wurden: 0 – 15, 15 – 30 und 30 – 60 cm Tiefe. Die $N_{\min}$ -Gehalte geben die Menge pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden zum Zeitpunkt der Probenahme an und können teilweise auf die Düngemengen angerechnet werden (vgl. 2.4.1). Die Beprobungstermine auf den einzelnen Feldern können Tabelle 1 und Tabelle 2 entnommen werden.

Die Proben wurden im „Institut für Agrar- und Umweltanalytik Akkreditiertes Agrarlabor für die Untersuchungen von Böden – Pflanzenteilen – Substraten“ in Freyburg (Deutschland) analysiert.

2.3.3 Nitrat- und Ammoniumauswaschung

Zur Messung der flächenbezogenen Nitratauswaschung wurden vor der ersten Aussaat der Kulturen SIA (Selbst-Integrierende Akkumulatoren, Bischoff, 2009) unterhalb des Hauptwurzelraumes installiert. Die Installation erfolgte von einer Grube aus seitlich unter den ungestörten Boden in einer Tiefe von 80 cm. Nach dem Einbau wurden die Gruben verfüllt, so dass keinerlei Einschränkungen für die Bewirtschaftung des Schlags bestanden. Während der Messperiode entzogen die SIA dem Sickerwasser Nitrat und adsorbierten dieses. Nach Ausbau der SIA erhält man durch Rücktausch des adsorbierten Nitrats und Ammoniums die flächenbezogene N-Auswaschung als Gesamtfracht in kg N/ha. Die Analytik wurde durch die Core Facility der Universität Hohenheim (Stuttgart-Hohenheim) durchgeführt.

Mit den SIA wurde Nitrat und Ammonium erfasst. Die Ammoniumauswaschung lag in allen Fällen unterhalb oder nur knapp über der Nachweisgrenze. Daher wurden die N-Auswaschungen nicht getrennt nach Nitrat und Ammonium, sondern als Summe dargestellt.



Abbildung 7: Einbau der SIA in 80 cm Tiefe.

2.3.4 Bodengrunduntersuchungen

An einzelnen Standorten (Felder 6 – 9 und 13) wurden exemplarisch Bodenproben in den Tiefen 0 – 30 cm sowie 30 – 60 cm entnommen und an diesen eine Grundanalyse durchgeführt. Die Proben wurden am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick auf die Parameter Textur (Bodenart), pH-Wert, Humus-, N- und C-Gehalt sowie die pflanzenverfügbaren Mengen an P, K und Mg untersucht. Zudem wurde die Lagerungsdichte geschätzt.

Aus den Daten wurde das C/N-Verhältnis errechnet. Aus den Humusgehalten und geschätzten Lagerungsdichten wurden die organischen C- und N-Vorräte berechnet.

2.4 Berechnungen und Datenauswertung

2.4.1 Düngbedarfsermittlung

Die Düngbedarfsermittlung erfolgte nach GRUD (Agroscope, 2017). Entgegen der in den beteiligten Betrieben üblichen Praxis wurde auf den Massnahmenplots M1 – M3 der pflanzenverfügbare mineralische Stickstoff ($N_{\min}$) im Durchwurzelungsraum berücksichtigt und von der Menge des benötigten mineralischen Düngers abgezogen. Je nach Standzeit der Kultur nimmt die Durchwurzelungstiefe der Kulturpflanze zu. Die anzurechnende Tiefe wurde nach der Diskussion mit einem Betriebsleiter an der aktuellen Durchwurzelung der Kultur orientiert. Dazu wurde die sonst wenig beprobte Tiefenstufe 0 – 15 cm für Flachwurzler zur ersten Düngung eingeführt. Dementsprechend wurden je nach Düngetermin die $N_{\min}$ -Vorräte in unterschiedlichen Tiefen berücksichtigt.

Um den jeweiligen N-Düngungsbedarf für eine Fläche zu ermitteln, wurde der $N_{\min}$ -Vorrat ($N_{\min}$ -Gehalte im Boden) von den $N_{\min}$ -Sollwerten für die jeweilige Kultur abgezogen.

Dabei ist der $N_{\min}$ -Sollwert die Menge an Gesamtstickstoff im Aufwuchs zuzüglich dem $N_{\min}$ -Mindestvorrat (N-Menge, die im durchwurzelten Bodenbereich nötig ist, um die N-Versorgung bis zum Erntetag zu gewährleisten) unter Abzug der Netto-N-Mineralisierung.

2.4.2 Auswertung der Kulturblätter

Von den Betrieben wurden die Kulturblätter mit Angabe der ausgebrachten Düngermenge zur Verfügung gestellt. Sie enthalten darüber hinaus Angaben zu Kultur und Sorte, Satzdichte sowie allen weiteren betrieblichen Massnahmen. Daher sind sie sowohl Grundlage der Auswertung als auch wichtiges Instrument des fachlichen Austauschs mit dem Betrieb.

2.4.3 N-Bilanzen

Für alle Kontroll- und Massnahmenflächen und Kulturen wurden die schlagbezogenen N-Bilanzen zu *N-Überschüssen* und zu *N-Auswaschungen* erstellt. Folgende Bilanzen dienen in diesem Bericht zur Bewertung der einzelnen Massnahmen:

N1 Düngung – Abfuhr:

Für die Bilanz N1 wurde pro Kultur/Satz die Differenz aus N-Düngung und N-Abfuhr mit dem Erntegut errechnet. Es ergibt sich die Höhe des N-Überschusses, der entweder auf der Fläche verblieb (Erntereste, $N_{\min}$, Humusaufbau) oder mit dem Sickerwasser ausgewaschen wurde. Die Bilanz zeigt damit den strukturellen N-Überschuss je Kultur, der langfristig zu einem Export in Grundwasser oder Atmosphäre führt. Mittelfristig spielt auch die (endliche) Anreicherung im Boden und der dynamische organische N-Pool als Zwischenspeicher eine Rolle, so dass N-Überschüsse nicht immer direkt umweltwirksam werden.

N2 Düngung – Aufwuchs:

Für die Bilanz N2 wurde pro Kultur/Satz die Differenz aus N-Düngung und N-Gehalt des Aufwuchses (Erntegut und Erntereste) errechnet. Ein positiver Wert zeigt an, dass die Düngemenge höher war als die gesamte N-Aufnahme der Pflanze. Nicht berücksichtigt wurden hierbei weitere N-Quellen, die der Kultur zur Verfügung standen ($N_{\min}$ -Gehalt). Die Bilanz N2 ist damit ein Mass dafür, ob die Betriebe *ohne Kenntnis* der N-Vorräte im Boden ordnungsgemäss gedüngt haben.

N3 N-Effizienz (%): Quotient Ernte/Düngung:

Für die Bilanz N3 wurde pro Kultur/Satz der Quotient aus dem N-Vorrat im Erntegut und N-Düngung errechnet und in % der Düngemenge angegeben. Im Gegensatz zu N1 wurde die Düngeneffizienz auch für Kulturen angegeben, die nicht beerntet wurden, sondern auf dem Feld verblieben. Die Bilanz N3 ist damit ein Mass für den Anteil, wie viel Dünger wirklich nützlich war, und wie viel nicht verwertet wurde.

N4 Rest-N_{min}-Gehalte und N-Verbleib nach Ernte:

Für die Bilanz N4 wurden die beiden Parameter aufsummiert, die einer Folgekultur direkt (N_{min}-Gehalte in 0 – 60 cm Tiefe) oder nach Mineralisierung sehr schnell (Erntereste) als *labiler N-Pool* zur Verfügung stehen konnten. Die Bilanz N4 ist damit ein Mass dafür, wie viel direkt verwertbarer Dünger für die Nachfolgekultur (oder zur Auswaschung) bereits im Boden ist. Diese Information fehlte den Betrieben bisher und wurde daher auch nicht berücksichtigt.

2.4.4 Statistik

In den Abbildungen zur Darstellung der Ergebnisse und deren Diskussion wurden, wenn nicht anders angegeben, Mittelwert und Standardfehler dargestellt. Aufgrund der komplexen Datenstruktur mit vielen Einzelfällen wurde teilweise indikativ ein mittlerer Schätzfehler für den Datentyp angegeben. Die Unterschiede in Kultur, Standort, Behandlung, Jahreszeit etc. verboten eine komplexe statistische Analyse zu den Feldern und Sätzen.

Es wurden satzdichteabhängig > 30 – 100 Pflanzen für die Biomasseerhebungen (marktfähige Ware und Erntereste) geerntet. Davon wurden je zwölf Viertel Erntegut bzw. zwölf Restproben zu je drei Mischproben vereinigt und zur Analyse gegeben.

Für die N_{min}-Gehalte wurden je acht (Kontrolle: neun) Einzeleinstiche je Massnahme und Tiefe jeweils zu einer Mischprobe vereinigt und zur Analyse gegeben. Ebenso wurden für die Grunduntersuchungen verfahren. In diesem Fall konnte für einzelne Teilflächen kein Standardfehler angegeben werden.

Für die Messung der Auswaschung (SIA-Methode) wurde mit mindestens je zehn (teils zwölf) Messpunkten pro Massnahme oder Kontrolle gemessen. Hierzu wurden die Standardfehler des Mittelwerts pro Teilfläche einzeln berechnet.

3 Ergebnisse und ihre Einordnung

3.1 Bodengrunduntersuchungen

Auf fünf Feldern wurde im Jahr 2020 exemplarisch eine Grunduntersuchung des Bodens durchgeführt.

Für die drei Felder 6 – 8 dominieren lehmige Bodenarten, wobei der Oberboden der Felder 6 und 7 toniger (tL), von Feld 8 hingegen sandiger (sL) war (Tabelle 5). Die pH-Werte lagen zwischen 7,2 und 7,5, also im schwach basischen Bereich und damit in einem guten Bereich für den Gemüsebau. Die Humusgehalte im Oberboden lagen mit 3,9 – 4,3 % sehr hoch, auch im Unterboden wurden mit 2,1 – 2,6 % aussergewöhnlich hohe Humusgehalte beobachtet. Dementsprechend lagen die N-Gesamtvorläufe (N im Humus, ca. 99 % von Gesamt-N) in 0 – 60 cm Tiefe in einem sehr hohen Bereich zwischen 18,2 und 20,1 t/ha. Die C/N-Verhältnisse waren mit 7,5 – 8,5 relativ eng und damit in einem für den Pflanzenbau guten Bereich. Die P-, K-, und Mg-Gehalte im Oberboden lagen mit einer Ausnahme im optimalen Bereich (Gehaltsklasse C), lediglich Feld 8 wies für K Gehaltsklasse B auf.

Die Felder 9 und 13 wiesen lehmigen Sand als Textur auf und hatten pH-Werte leicht unter dem Neutralpunkt (6,6 – 6,9). Während die Humusgehalte für Feld 9 vergleichbar zu den Feldern 6 – 8 waren, lagen sie für Feld 13 mit 3,0 % im Ober- und 1,3 % im Unterboden niedriger, aber auch hier relativ hoch. Aufgrund des hohen Steingehaltes lagen die N-Vorräte in 0 – 60 cm Tiefe mit 7,3 (Feld 9) bzw. 9,5 t/ha (Feld 13) nur bei etwa der Hälfte der Felder 6 – 8. Die Versorgung von Feld 13 war im Oberboden optimal, wohingegen Feld 9 für P einen hohen, für K einen sehr hohen Gehalt aufwies.

Alle untersuchten Felder liegen im ehemaligen Überflutungs-/Auenbereich im Tal und wurden überwiegend aus fluviatilen Sedimenten gebildet (vgl. 2.1.5). Aus dieser Genese lassen sich die teils hohen Humusgehalte und N-Vorräte auch im Unterboden erklären. Die Nährstoffversorgung ist gut, auch können Nährstoffe rasch nachgeliefert werden. Aufgrund der Grundwasserspiegelsenkung durch die Begradigung der Dünnern ist zu erwarten, dass auf diesen Böden ein langsamer Humusabbau mit N-Mineralisation stattfindet. Dieser bietet einerseits eine gute Grundlage für den Gemüsebau, kann aber auch zu einer erhöhten N-Auswaschung und damit Gefährdung für das Grundwasser führen.

3.2 Ernteerhebungen

3.2.1 Ernte 2018 und 2019 ohne Massnahmen

Im ersten Jahr der Untersuchungen (2018) war die Erhebung der Erntedaten noch nicht im Untersuchungsauftrag inbegriffen. Die Pflanzen wurden dennoch in vielen Fällen untersucht, jedoch sind die Daten für 2018 daher teils lückenhaft.

In beiden Jahren waren auf den Praxisflächen (2019 auch: Kontrollen) zwischen 53 und 96 % der Köpfe der jeweiligen Kultur marktfähig (Abbildung 8 und Abbildung 11). Die N-Entzüge der gesamten Pflanzen lagen zwischen 70 und 508 kg N/ha (Abbildung 9 und Abbildung 12), von denen zwischen 24 und 276 kg N/ha im Erntegut und zwischen 16 und 315 kg N/ha in den Ernteresten gespeichert war, die auf der Fläche verblieben.

Ein deutlicher Unterschied zeigte sich zwischen Brassicaceen und Salaten:

Für Kabis, Brokkoli und Blumenkohl lag die Gesamtaufnahme zwischen 161 und 508 kg N/ha, von denen 53 – 276 kg N/ha mit dem Erntegut von der Fläche abgefahren wurden. Deutlich mehr als die Hälfte des aufgenommenen Stickstoffs verblieb als Ernterest auf der Fläche.

Tabelle 5: Ergebnisse der Grunduntersuchungen einzelner exemplarisch ausgewählter Felder.

Feld	Tiefe [cm]	Bodenart	Lagerungsdichte [g/cm ³] ¹	Steingehalt [%] ¹	pH-Wert	Humusgehalt [%]	N-Gehalt [%]	C-Gehalt [%]	C/N-Verhältnis	C-Vorrat je Horizont [t/ha]	C-Vorrat 0 – 60 cm [t/ha]	N-Vorrat je Horizont [t/ha]	N-Vorrat 0 – 60 cm [t/ha]	P ₂ O ₅ [mg/100 g]	K ₂ O [mg/100 g]	Mg [mg/100 g]
Feld 6	0-30	tL	1,3	0	7,4	4,0	0,30	2,3	7,9	90,7	145,6	11,5	18,9	16 ^{C*}	13 ^C	7 ^C
	30-60	lU	1,5	0	7,5	2,1	0,16	1,2	7,5	54,9		7,4		6 ^B	17 ^C	8 ^C
Feld 7	0-30	tL	1,3	0	7,2	4,3	0,30	2,5	8,5	97,5	165,5	11,6	20,1	17 ^C	16 ^C	9 ^C
	30-60	sL	1,5	0	7,2	2,6	0,19	1,5	7,9	68,0		8,5		6 ^B	7 ^B	6 ^C
Feld 8	0-30	sL	1,3	0	7,4	3,9	0,28	2,3	8,2	88,4	151,2	10,8	18,5	19 ^C	25 ^C	11 ^C
	30-60	sL	1,5	0	7,3	2,4	0,17	1,4	8,1	62,8		7,7		8 ^B	11 ^B	9 ^C
Feld 9	0-30	IS	1,3	60	6,9	4,3	0,26	2,5	9,7	39,0	68,3	4,0	7,3	29 ^D	37 ^E	10 ^C
	30-60	IS	1,5	60	6,9	2,8	0,18	1,6	8,8	29,3		3,3		17 ^C	34 ^E	9 ^C
Feld 13	0-30	IS	1,3	20	6,8	3,0	0,20	1,8	8,8	55,2	79,5	6,3	9,5	14 ^C	9 ^B	6 ^C
	30-60	IS	1,5	30	6,6	1,3	0,10	0,8	7,6	24,3		3,2		2 ^A	5 ^A	6 ^C

¹: Lagerungsdichte und Steingehalt wurden im Profil geschätzt;

*: Gehaltsklassen: A sehr niedrig; B niedrig; C mittel (=anzustreben); D hoch; E sehr hoch

Für Salate (Gattungen *Lactuca*, *Cichorium*) lag die Gesamtaufnahme hingegen bei 70 – 220 kg N/ha, von denen mit 24 – 102 kg N/ha ebenfalls meist weniger als die Hälfte abgefahren wurde.

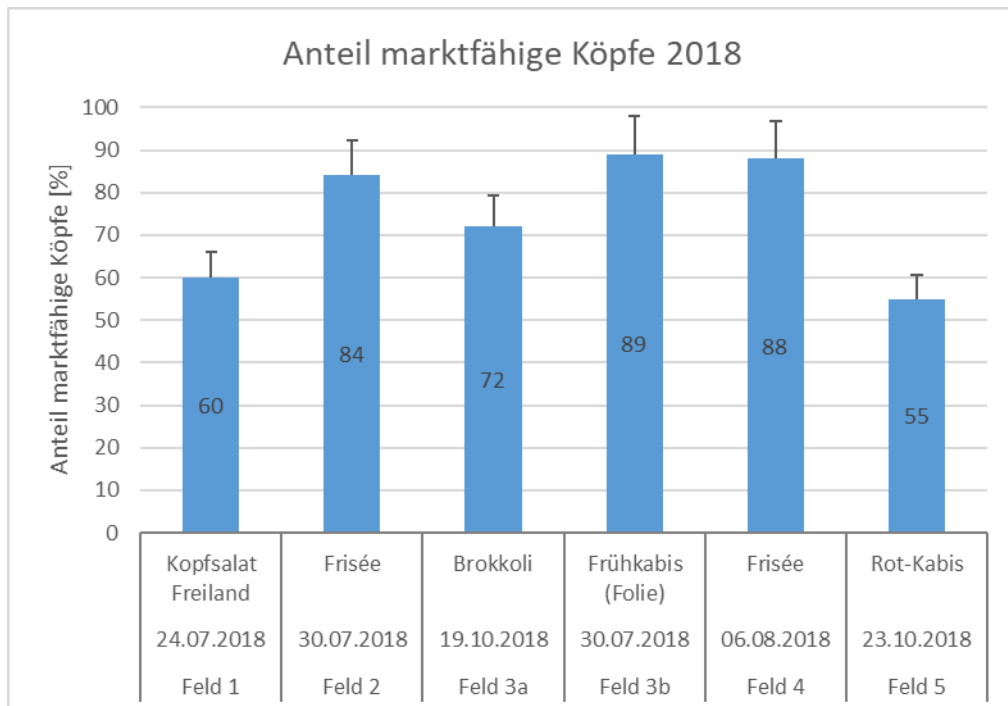


Abbildung 8: Anteil marktfähiger Köpfe bei der Ernte, 2018 (wurde nicht für alle Kulturen erhoben).

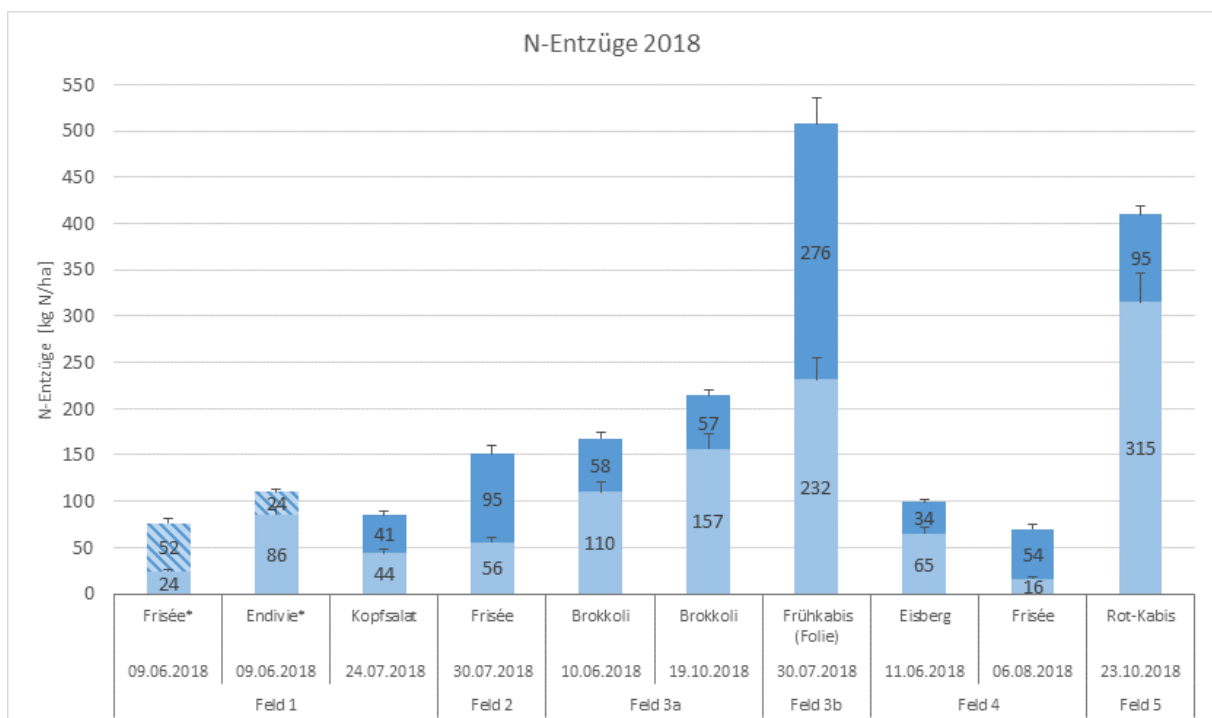


Abbildung 9: N-Entzüge durch die Kultur: oben Erntegut (N-Abfuhr bei Ernte; dunkel); unten: Erntereste (verblieben auf dem Feld; hell); Datum = Erntedatum

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb ebenfalls auf dem Feld, Schraffur).

3.2.2 Ernte 2019 mit Massnahmen

Durch die Massnahmen zur N-Reduktion änderte sich der Anteil marktfähiger Köpfe in den meisten Fällen nur gering (Abbildung 11).

Lediglich für den ersten Satz Kopfsalat auf Feld 6 lag der Anteil marktfähiger Ware durch einen Mehltaubefall in Massnahme M2 deutlich niedriger als in der Kontrolle. Ein solcher Befall wurde auf demselben Feld an anderen Stellen (ausserhalb der Kontroll- und Massnahmenplots) ebenfalls festgestellt. Der Befall hängt also vermutlich nicht ursächlich mit der Massnahme zusammen.

Die Fertigation (M3.1) hat in beiden Fällen zu einer Verbesserung des Anteils der marktfähigen Ware beigetragen.

Die N-Entzüge lagen in den Massnahmen in nahezu allen Fällen niedriger als in den entsprechenden Kontrollplots (Abbildung 12).

3.2.3 Einordnung der Ernteerhebungen

Abbildung 10 zeigt den Mittelwert der Masse an Erntegut für alle sechs Kulturen, die auf den vier Schlägen mit Massnahmen angebaut wurden. Es wurde auch der erste Satz Kopfsalat auf Feld 6 einbezogen, der vermarktbare war und lediglich nicht beerntet wurde.

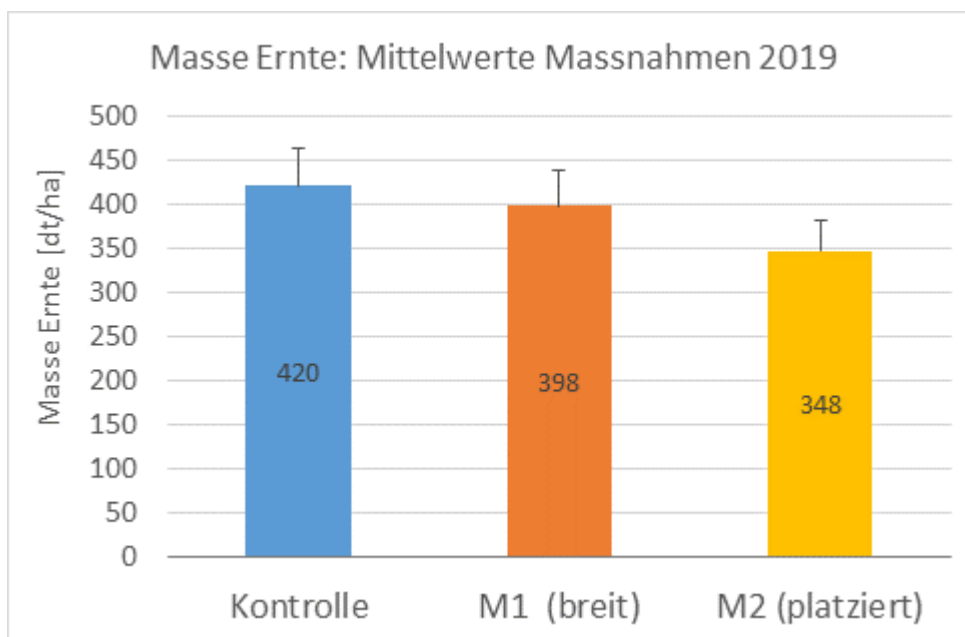


Abbildung 10: Massenvergleich: (Verkaufbare) Erntemengen der einzelnen Massnahmen (inklusive der Sätze, die beerntbar waren, aber nicht beerntet wurden).

Es konnte gezeigt werden, dass es weder im Mittel noch im Einzelfall zu grossen Mengen- oder Qualitätsverlusten durch die Massnahmen kam. Eine Ausnahme bildete ein Mehltaubefall auf einer M2-Fläche, der jedoch nicht alleine der Massnahme zugeordnet werden konnte (vgl. 3.2.2).

In den Kontrollparzellen lag der mittlere Ertrag bei 420 dt/ha, für die Massnahme M1 (Anrechnung von $N_{\min}$, breitwürfig) mit 398 dt/ha etwa 5 % darunter. Diese geringen Mindererträge der Massnahme M1 waren nicht signifikant und sind daher weder auszuschliessen noch anzunehmen. Hierzu bedarf es einer breiteren Datengrundlage.

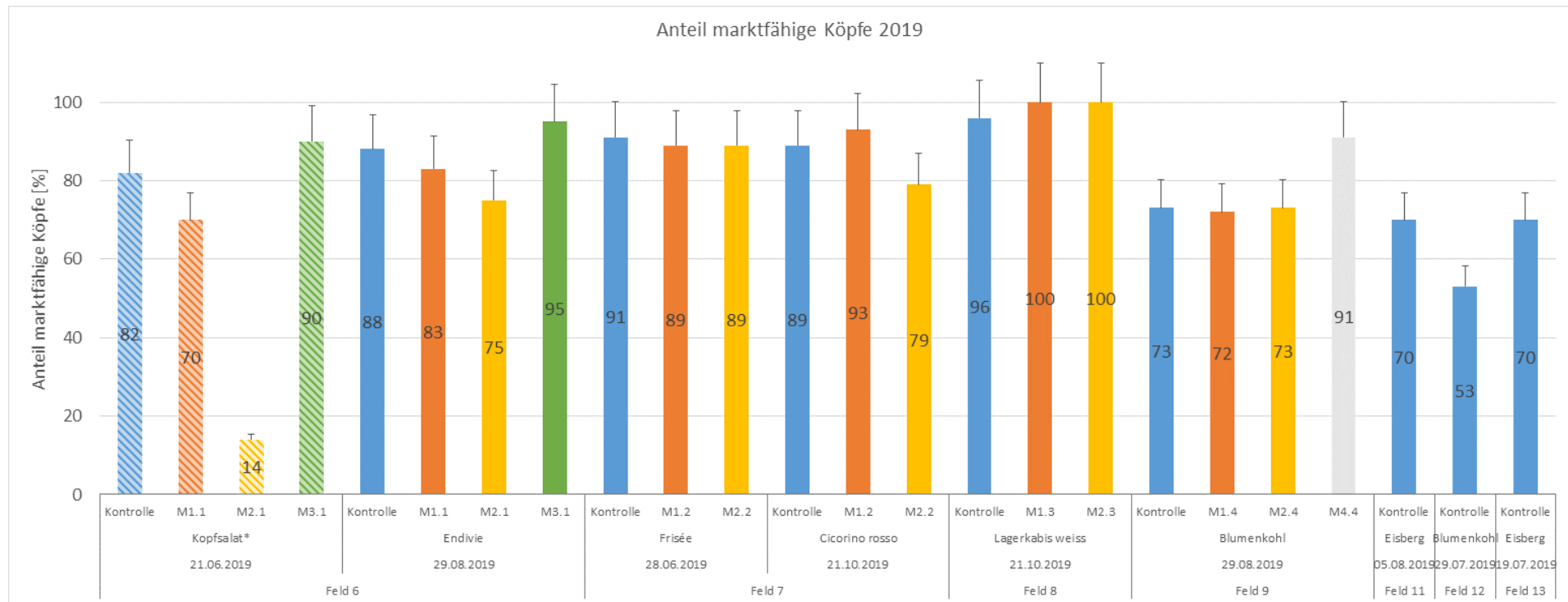


Abbildung 11: Anteil marktfähiges Erntegut, 2019;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb ebenfalls auf dem Feld, Schraffur);

Feld 11: aufgrund der kontinuierlichen Beerntung der Zucchetti konnte kein Anteil der marktfähigen Ware bestimmt werden.

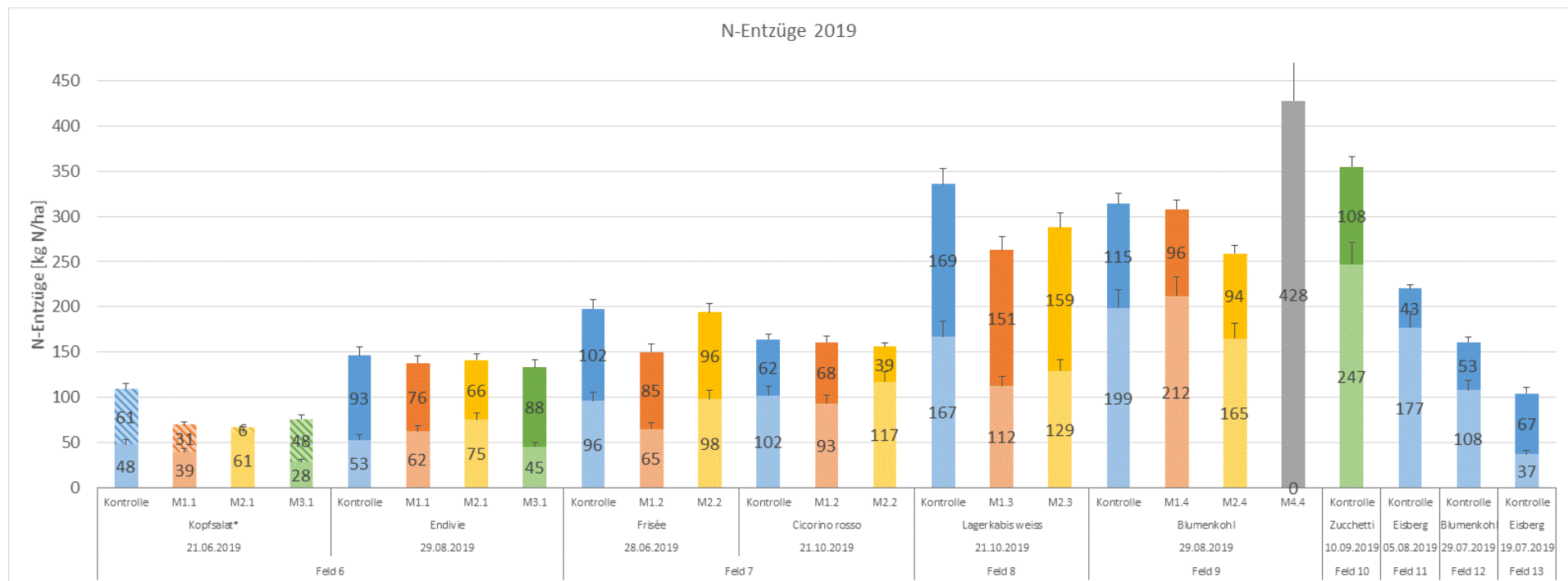


Abbildung 12: N-Entzüge bei der Ernte, 2019;

oben (dunkel): Erntegut (N-Abfuhr bei durchgeführter Ernte); unten (hell): Erntereste (Verbleib auf dem Feld)

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb ebenfalls auf dem Feld, Schraffur).

M4.4 (Blumenkohl): Erntegut und Erntereste wurden abgefahren.

Die Erträge der Massnahme M2 (Anrechnung von $N_{\min}$, platziert) lagen um 17 % unter der Kontrolle. Neben dem Mehлтаubefall auf Feld 6, der vermutlich nicht der Massnahme zugeordnet werden kann, war für zwei Salatsätze (Felder 6 und 7) der Ertrag jeweils ca. 10 % niedriger. Bei Blumenkohl und Lagerskabis war der Ertrag hingegen vergleichbar zur Kontrolle.

Deutlicher fällt dieser Unterschied zwischen Kontrolle und Massnahmen im N-Gehalt des Erntegutes aus (Abbildung 13), der von 100 kg N/ha (Kontrolle) über 85 (M1) zu 77 kg N/ha (M2) abnahm. Dies deutet auf die Luxusversorgung der Gemüse in der Kontrolle hin, die überschüssiges Nitrat auch einlagern können. Eine zu hohe N-Düngung kann sich auch negativ auf Pflanzengesundheit, Qualität und Haltbarkeit des Erntegutes auswirken (Agroscope, 2017).

Der Anteil marktfähiger Ware an den gesamten Köpfen war für Kontrolle und M1 mit 87 % bzw. 85 % nahezu identisch, jedoch für M2 mit 72 % deutlich niedriger (Abbildung 14).

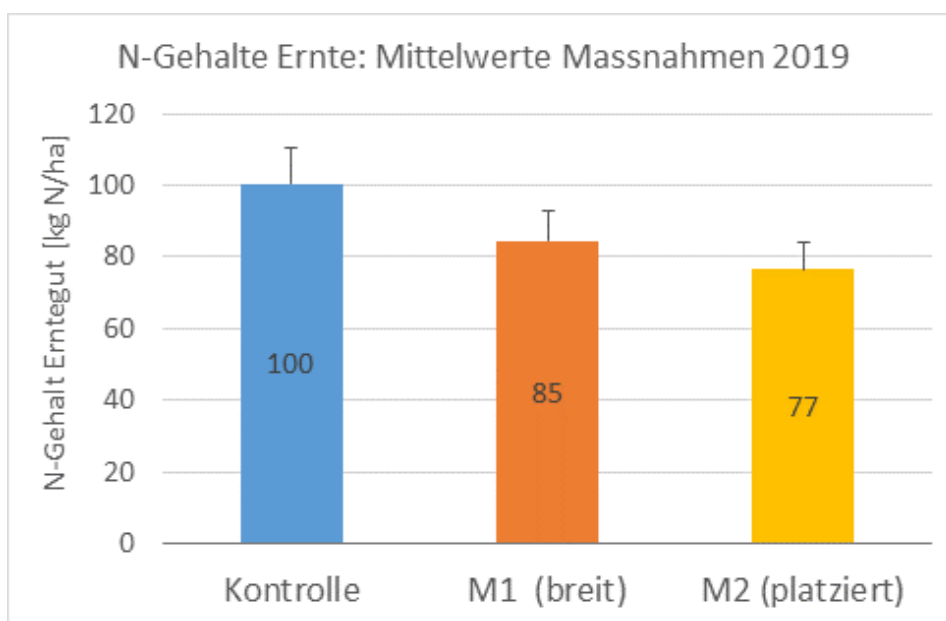


Abbildung 13: Mittlere N-Gehalte in den (verkaufbaren) Erntemengen der einzelnen Massnahmen (inklusive der Sätze, die beerntbar waren, aber nicht beerntet wurden).

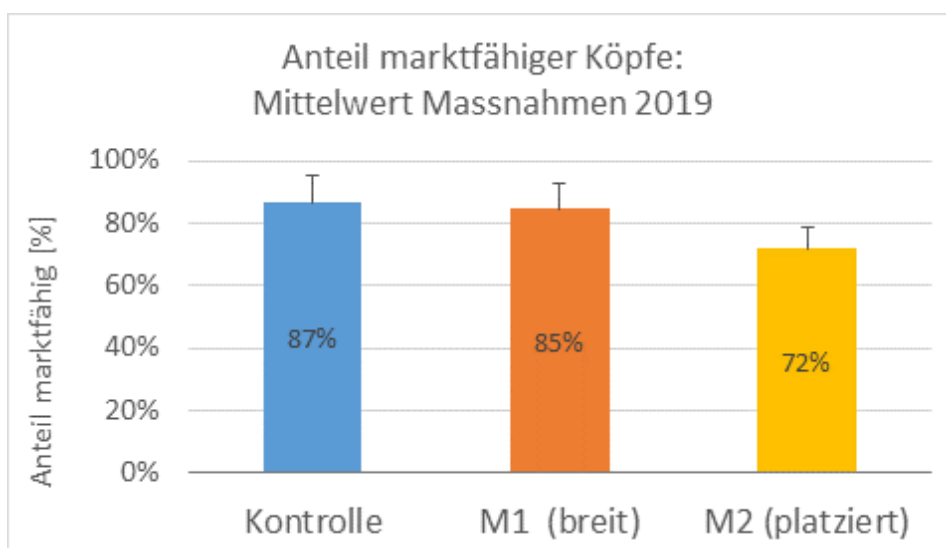


Abbildung 14: Massnahmenvergleich: Marktfähigkeit / Qualität (inklusive der Sätze, die beerntbar waren, aber nicht beerntet wurden).

Während der Dünger in den Kontrollparzellen in den Boden maschinell eingearbeitet wurde, wurde er in den Massnahmenplots händisch aufgebracht und verblieb an der Oberfläche. Dass dieser Unterschied in der Düngerapplikation zu möglichen geringeren Erträgen beigetragen hat, wird zwar vermutet, konnte im Rahmen dieser Untersuchungen aber nicht geklärt werden. Streifenversuche, in denen auch die Massnahmenbereiche maschinell gedüngt werden, könnten künftig zu einer besseren Einschätzung führen.

Je nach Kultur und Aberntungsgrad lag die Menge der Erntereste zwischen 29 und 247, im Mittel bei 129 kg N/ha (Abbildung 15). Diese Erntereste verblieben auf dem Feld und mineralisieren häufig rasch, sodass der Stickstoff entweder der Folgefrucht zur Verfügung steht oder ausgewaschen wird (Davies, 2000). Die Menge an Ernteresten ist für Salate (94 kg N/ha) deutlich niedriger als für Kohlgewächse (158 kg N/ha) oder Zucchetti (247 kg N/ha, Abbildung 16).

Die Ergebnisse bezüglich der Erntereste sind in guter Übereinstimmung mit den Literaturdaten aus Zemek et al. (2020), die im Durchschnitt in oberirdischen Ernteresten 118 kg N/ha ermittelten. Sie stufen Kohlgemüse und Zucchetti in die Klasse mit sehr hohen Mengen an Ernterückständen (> 200 kg N/ha) ein (Zemek et al., 2020). Die Ergebnisse zeigen auch die Problematik der Fruchtfolge, die dort beschrieben ist. Die stark zehrenden und länger wachsenden Kohlgewächse und Zucchetti sind häufig Teil der letzten Ernte des Jahres und hinterlassen grosse Mengen N. Hier ist die Zwischenspeicherung des N in Zwischeneinsaat bzw. Winterbegrünung, möglicherweise auch in groben Pflanzenresten oder Boden, von besonderer Bedeutung, weil es sonst über Winter zu unvermeidbaren N-Auswaschungen kommt.

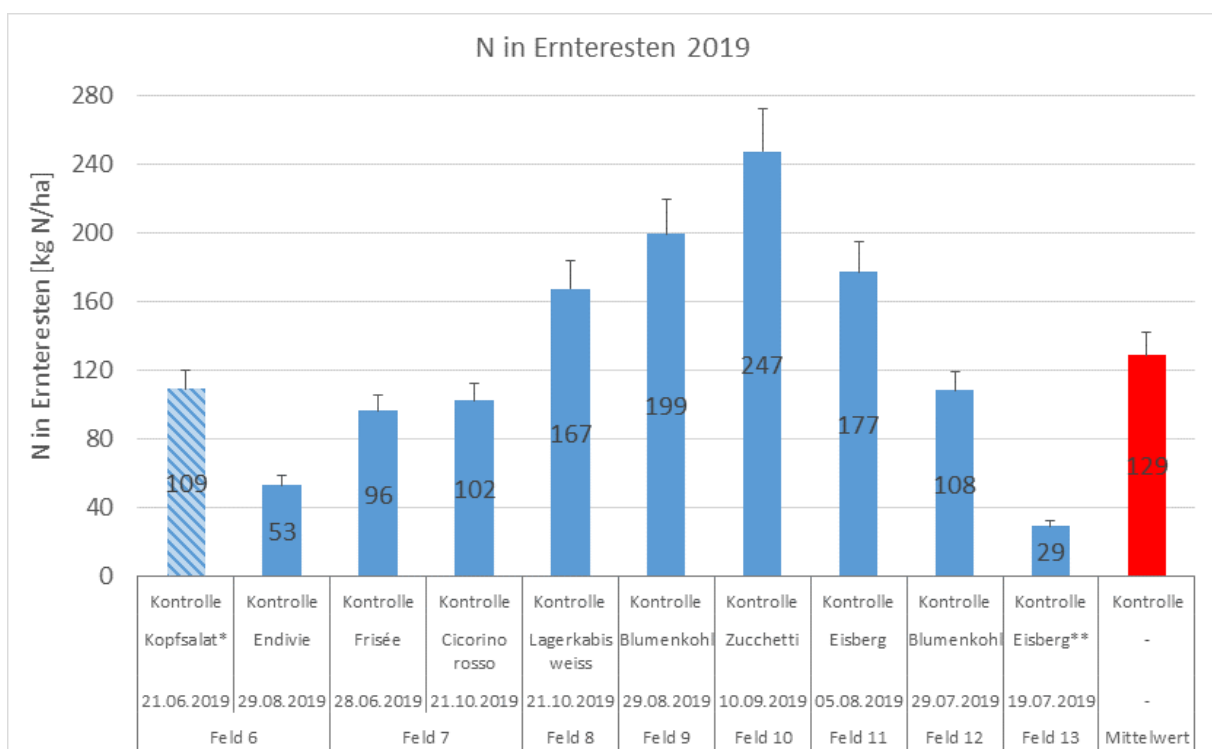


Abbildung 15: N in Ernteresten je Kultur, 2019;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur);

**: wurde im Lager geputzt, Erntereste daher überwiegend abgefahren.

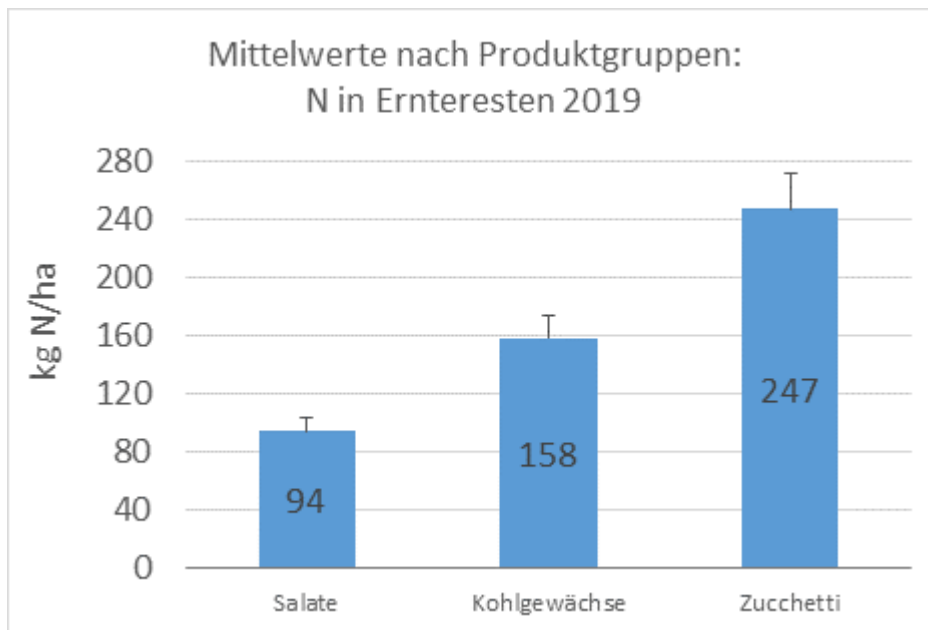


Abbildung 16: N in Ernteresten nach Produktgruppen, 2019.

3.3 $N_{\min}$ -Gehalte

3.3.1 2018

Im Jahr 2018 wurden die $N_{\min}$ -Beprobungen meist zu Beginn der Kultur, also kurz vor oder kurz nach der Pflanzung, durchgeführt (Tabelle 1). Zusätzlich wurde auf Feld 2 nach der Ernte des Cicorino rosso beprobt. Diese Nacherntebeprobung lag mit 177 kg N/ha im unteren Bereich der beobachteten Werte.

Die $N_{\min}$ -Gehalte in 0 – 60 cm lagen auf allen Schlägen vor der Kultur oder zum Pflanztermin zwischen 184 und 284 kg N/ha (Abbildung 17). Davon befanden sich mindestens zwei Drittel (140 – 259 kg N/ha) im Oberboden (0 – 30 cm).

3.3.2 2019

Im Jahr 2019 lagen die $N_{\min}$ -Gehalte in 0 – 60 cm Tiefe zwischen 62 und 885 kg N/ha (Abbildung 18 – Abbildung 22). Da die Wurzeltiefe junger Kulturen sehr gering ist, wurde im zweiten Jahr die Beprobung des Oberbodens zweigeteilt durchgeführt (0 – 15 cm und 15 – 30 cm). Wie im Vorjahr lagen die $N_{\min}$ -Gehalte im Oberboden meist deutlich höher als im Unterboden.

Für die vier Massnahmenfelder 6 – 9 lagen die $N_{\min}$ -Gehalte in den Kontrollparzellen in 0 – 60 cm Tiefe zwischen 78 und 885 kg N/ha (Abbildung 18 bis Abbildung 21). Die Nacherntebeprobungen ergaben für den ersten Satz (Ernte Juli) die höchsten Werte mit 885 bzw. 450 kg N/ha auf den Feldern 6 und 7. Nach der letzten Ernte lagen die Rest- $N_{\min}$ -Gehalte hingegen mit 68 – 251 kg N/ha deutlich niedriger.

Auf diesen vier Feldern wurden die beschriebenen Massnahmen durchgeführt (vgl. 2.2.2). Bei der jeweils ersten Beprobung vor der ersten Düngung lagen die $N_{\min}$ -Gehalte der verschiedenen Massnahmen in den meisten Fällen erwartungsgemäss nahe beieinander. Für die beiden frühen Sätze auf Feld 6 (Kopfsalat) und Feld 7 (Frisée) lagen die $N_{\min}$ -Gehalte während der Kultur und nach der Ernte in den Massnahmen häufig bei etwa der Hälfte im Vergleich zur Kontrolle (Abbildung 18 und Abbildung 19). Auf allen vier Schlägen lagen hingegen die Rest- $N_{\min}$ -Gehalte nach Ernte der letzten Kultur in den verschiedenen Massnahmen auf demselben Niveau und teilweise etwas höher als in der Kontrolle.

Auf vier weiteren Flächen (Felder 10 – 13) wurde lediglich ein Monitoring durchgeführt (Abbildung 22). Die $N_{\min}$ -Gehalte lagen meist unter 100 kg N/ha und damit deutlich niedriger als auf den Massnahmenflächen. Lediglich für Blumenkohl (Feld 12) lag der $N_{\min}$ -Gehalt zwischen 122 und 190 kg N/ha. Auch auf diesen Feldern befand sich meist der Grossteil des $N_{\min}$ im Oberboden (0 – 30 cm).

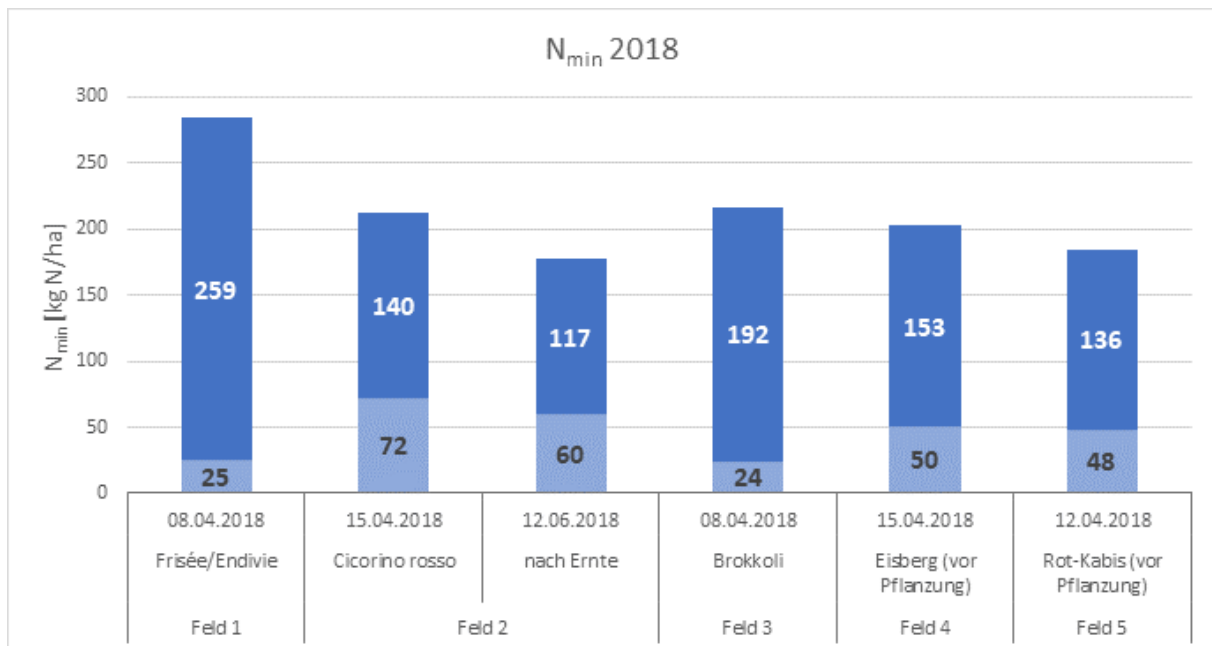


Abbildung 17: $N_{\min}$ -Gehalte aller Felder im Jahr 2018; von oben nach unten: 0 – 30 cm (dunkel); 30 – 60 cm (hell).

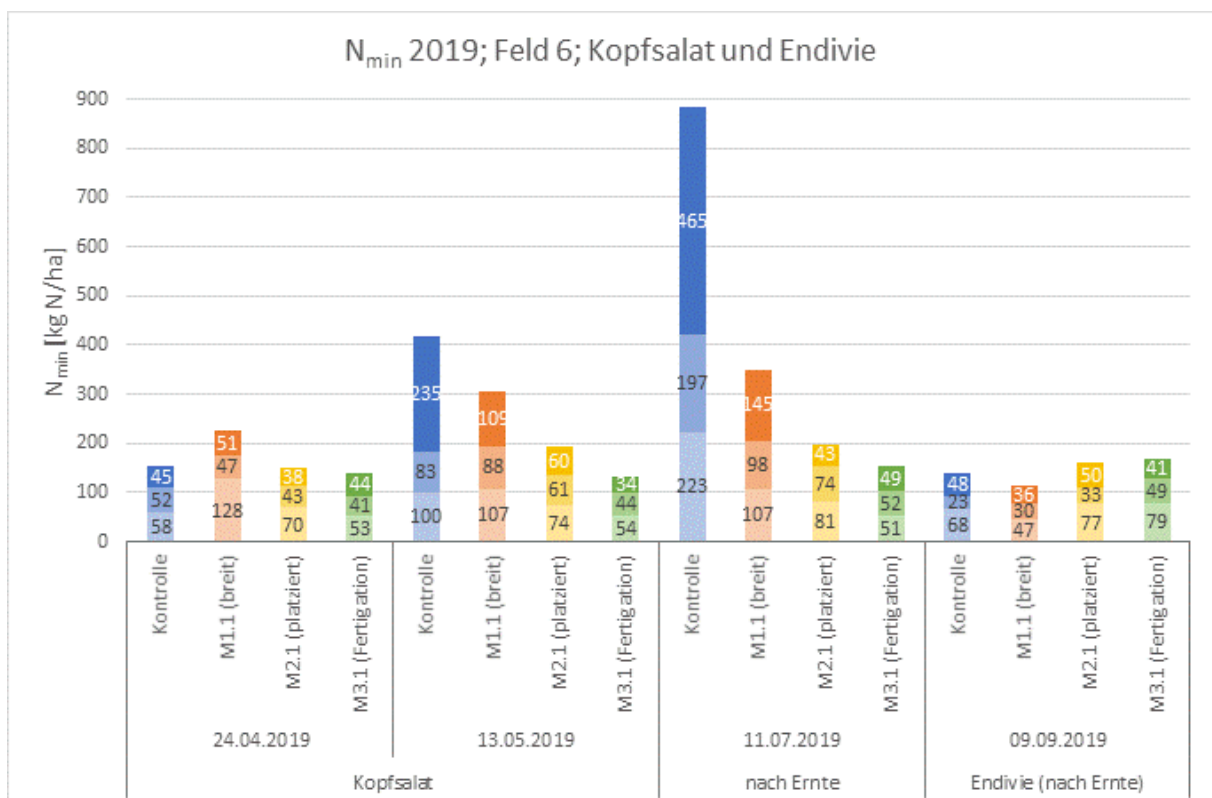


Abbildung 18: $N_{\min}$ -Gehalte Feld 6 (Kopfsalat und Endivie) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

Kopfsalat: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld).

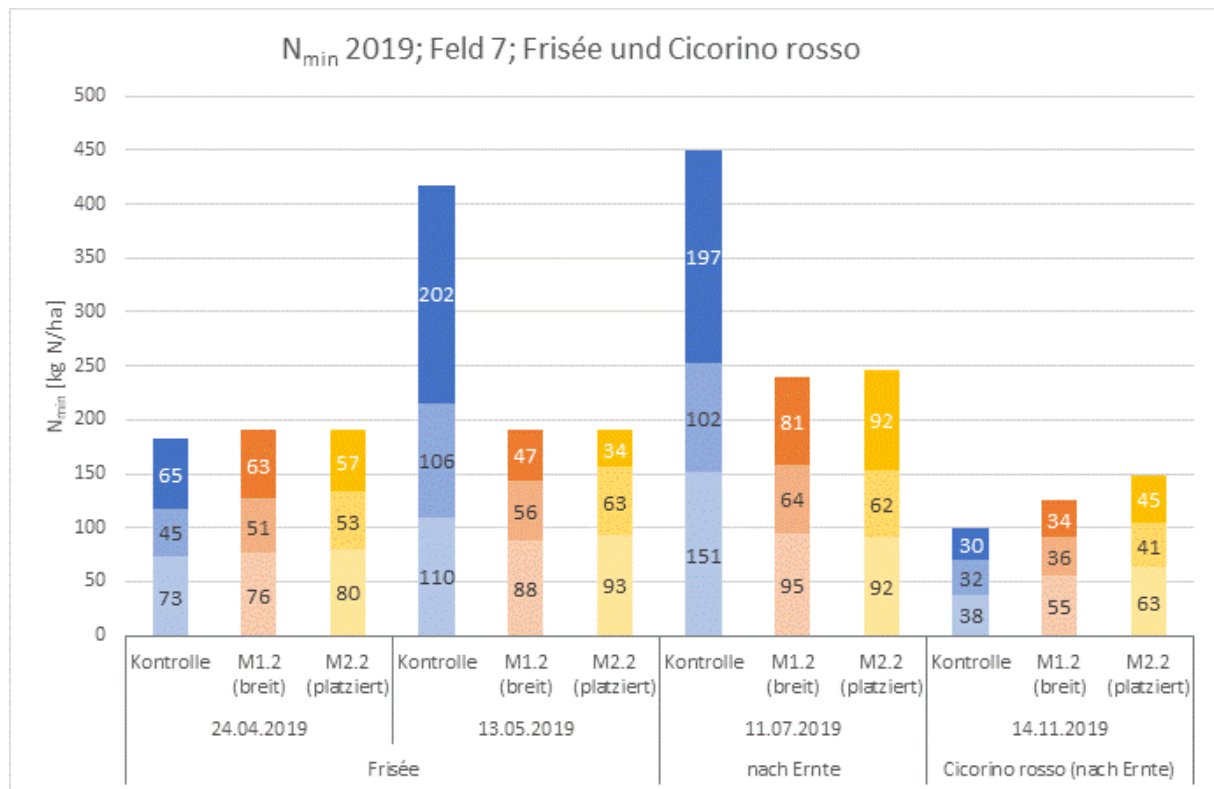


Abbildung 19: N_{min}-Gehalte Feld 7 (Frisée und Cicorino rosso) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

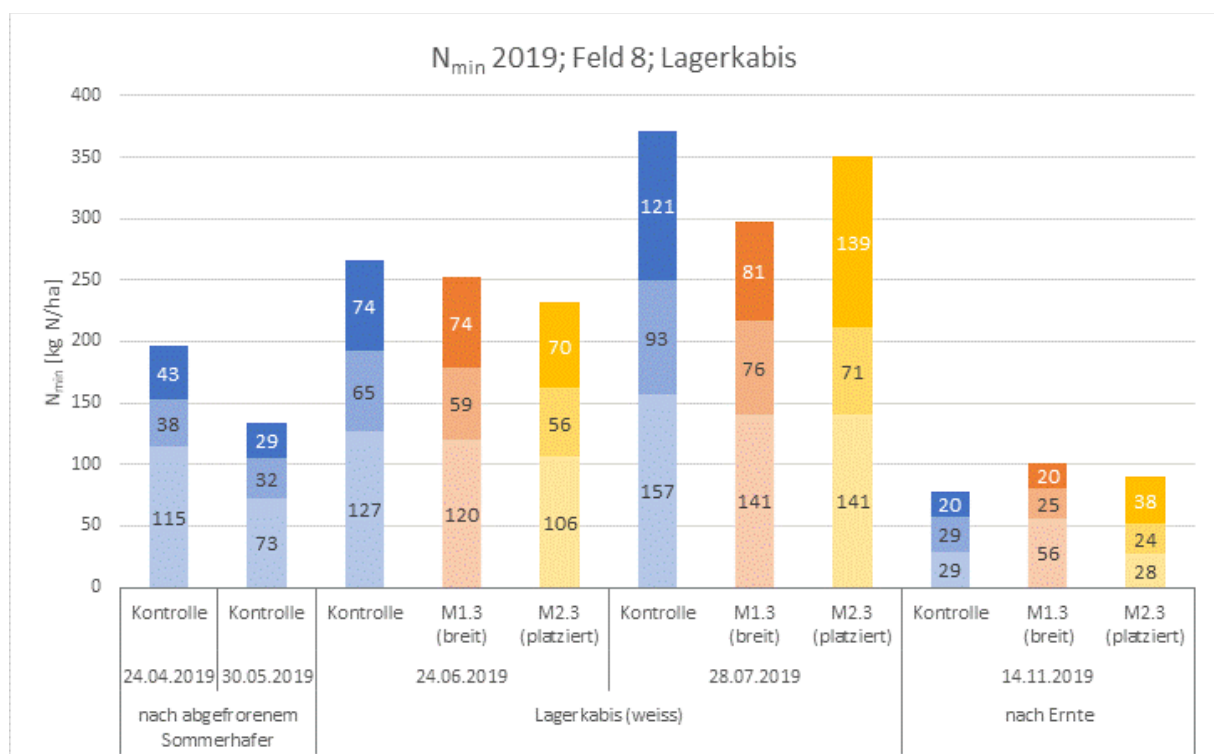


Abbildung 20: N_{min}-Gehalte Feld 8 (Lagerkabis) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

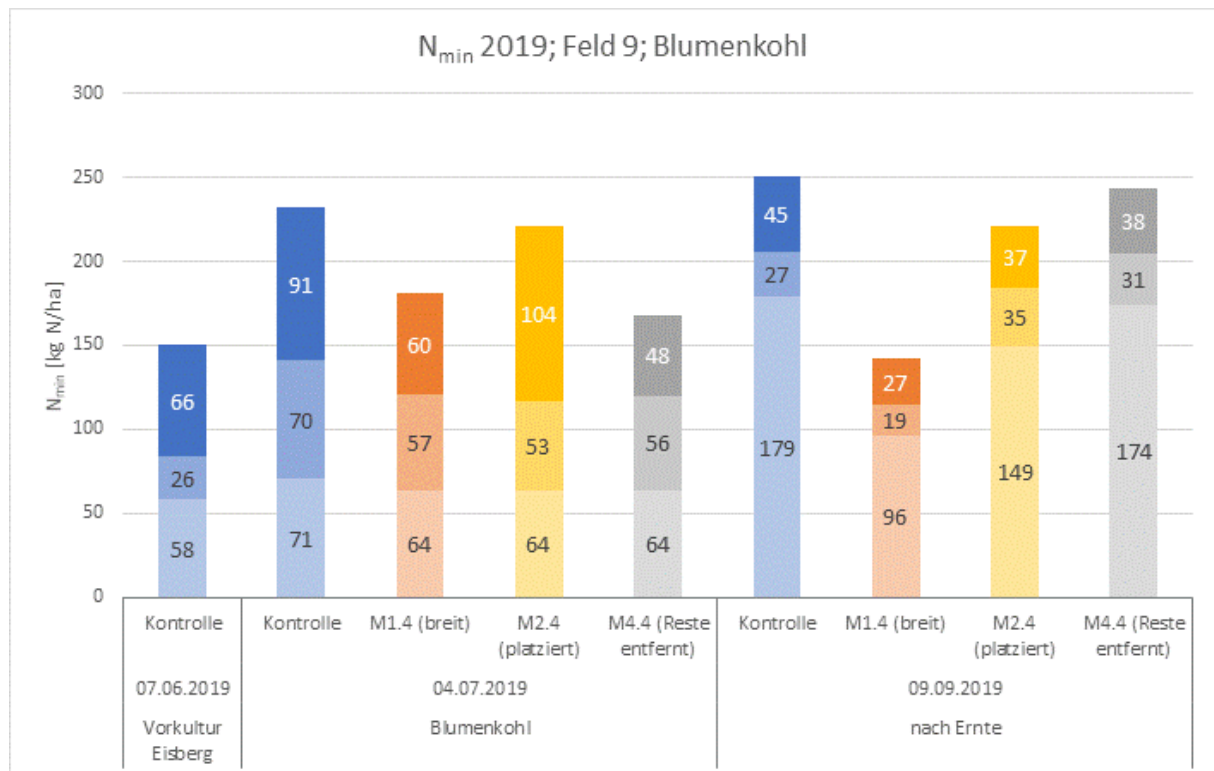


Abbildung 21: $N_{\min}$ -Gehalte Feld 9 (Blumenkohl) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

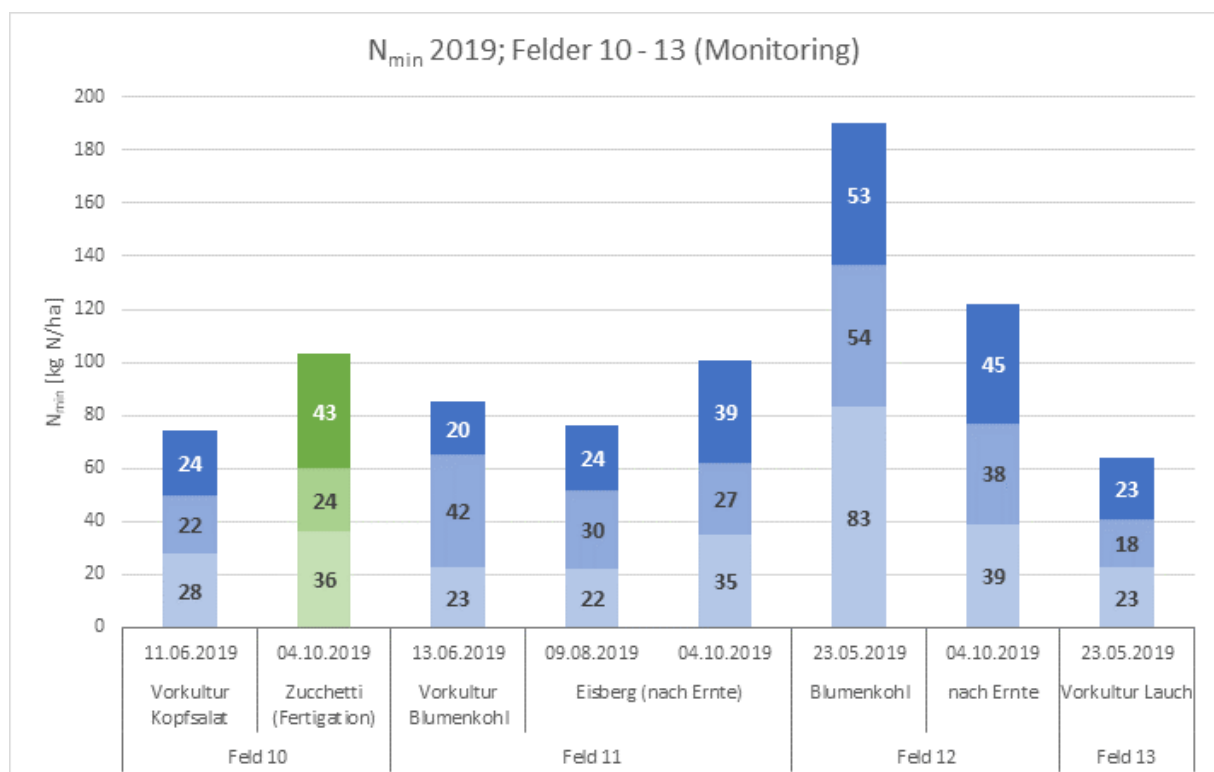


Abbildung 22: $N_{\min}$ -Gehalte der Felder 10 – 13 (Monitoring, keine Massnahmen) im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

3.3.3 Einordnung der $N_{\min}$ -Gehalte

Zemek et al. (2020) geben als mittleren $N_{\min}$ -Gehalt im Gemüsebau für 0 – 90 cm 88 kg N/ha an (25 Studien). Dieser im Vergleich mit dem Projektgebiet sehr niedrige Wert ergibt sich vermutlich daraus, dass es sich vielfach um kontrollierte Studien auf Versuchsstationen mit optimierter Düngung handelt. Hinzu kommt das Potenzial der Auenböden in der Projektregion zur Nachmineralisierung. In Übereinstimmung mit der Literaturstudie lag auch in unseren Untersuchungen das $N_{\min}$ -Niveau für verschiedene Kohlarten (Lagerkabis, Blumenkohl) häufig höher als für Salate, wenn auch auf höherem Gesamtniveau.

Die hohe Variabilität der $N_{\min}$ -Werte (Spanne 78 bis 885 kg N/ha) zwischen den Parzellen, aber auch auf den Parzellen, ist ein deutlicher Hinweis auf die dahinterstehende Dynamik der Prozesse der Mineralisierung und Festlegung des N bei hohen labilen organischen N-Pools. Die «Unberechenbarkeit» dieser hoch dynamischen Variablen liegt daran, dass $N_{\min}$ nur zu Stichtagen wie ein Einzelbild in einem Film erhoben wird.

Für die jeweils erste Kultur auf den Feldern 6 und 7 stieg der $N_{\min}$ -Gehalt während der Kulturzeit in der Kontrollparzelle deutlich an (Abbildung 18 und Abbildung 19). Neben der zu hohen Düngemenge in diesen Parzellen können auch hohe Temperaturen zu einer verstärkten Mineralisierung des Humusüberschusses und damit zu diesem starken Anstieg geführt haben (vgl. 3.1). Für späte Kulturen dürfte diese Mineralisierung aufgrund der niedrigeren Temperaturen von geringerer Bedeutung sein.

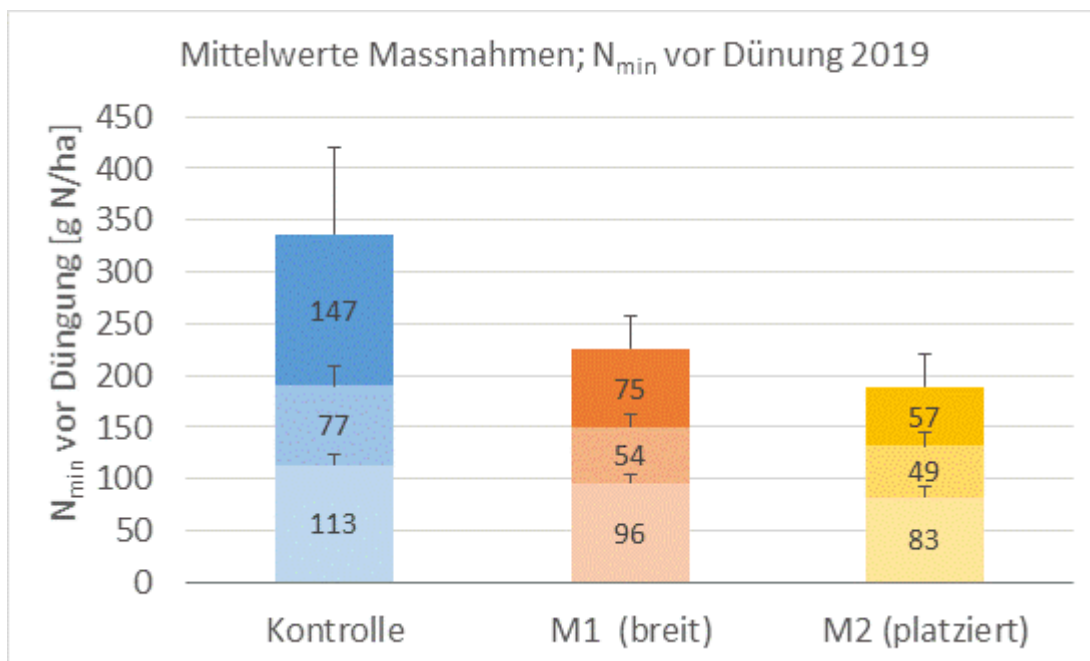


Abbildung 23: $N_{\min}$ -Gehalte vor Düngung, nach Massnahmen in 0 – 60 cm Tiefe im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

Vor der Düngung standen in den Kontrollplots der Massnahmenfelder im Mittel 337 kg N/ha in 0 – 60 cm zur Verfügung (Abbildung 23). Für flach wurzelnde Kulturen wie Salate kann davon ausgegangen werden, dass das $N_{\min}$ der obersten 15 cm kurz nach dem Setzen der Jungpflanzen tatsächlich aufgenommen werden kann. Daher steht im Mittel ein Potenzial von 147 kg N/ha zur Startdüngung zur Verfügung. Kohlgewächse, die tiefer wurzeln können, können hingegen die 224 kg N/ha des gesamten

Oberbodens (0 – 30 cm) ausnutzen. Aufgrund dieser N-Vorräte im Boden kann die Düngemenge reduziert werden, wie es für die beiden Varianten M1 und M2 durchgeführt wurde. In mehreren Fällen entfiel dadurch eine Startdüngung vollständig. Im Laufe der Zeit nahmen die Überschüsse durch die Vorkultur ab, sodass in den Massnahmenplots bereits vor der Düngung geringere $N_{\min}$ -Vorräte vorlagen. Mit 57 – 75 kg N/ha (0 – 15 cm) bzw. 106 – 129 kg N/ha (0 – 30 cm) lagen auch in den Massnahmenplots noch anrechenbare Stickstoffmengen in nennenswertem Umfang vor.

3.4 Nitrat- und Ammoniumauswaschung

3.4.1 2018

Im Jahr 2018 wurde die N-Auswaschung auf zwei Schlägen satzweise (Feld 1: drei Sätze in zwei Messperioden, Feld 2: zwei Sätze in zwei Messperioden), auf den anderen drei Feldern nur getrennt nach Vegetationsperiode und Nach-Vegetationsperiode erfasst (Tabelle 1, Abbildung 24). Die N-Auswaschung aus dem Wurzelraum lag von Februar 2018 bis Februar 2019 zwischen 113 und 346 kg N/ha. Davon entfielen 52 – 274 kg N/ha auf die Vegetationsperiode und 8 – 72 kg N/ha auf die Nachvegetationsperiode. Die N-Auswaschungen der drei Felder 1, 2 und 4, auf denen jeweils zwei Sätze verschiedener Salate angebaut wurden, lagen mit mindestens 205 kg N/ha deutlich über denjenigen der anderen Schläge.

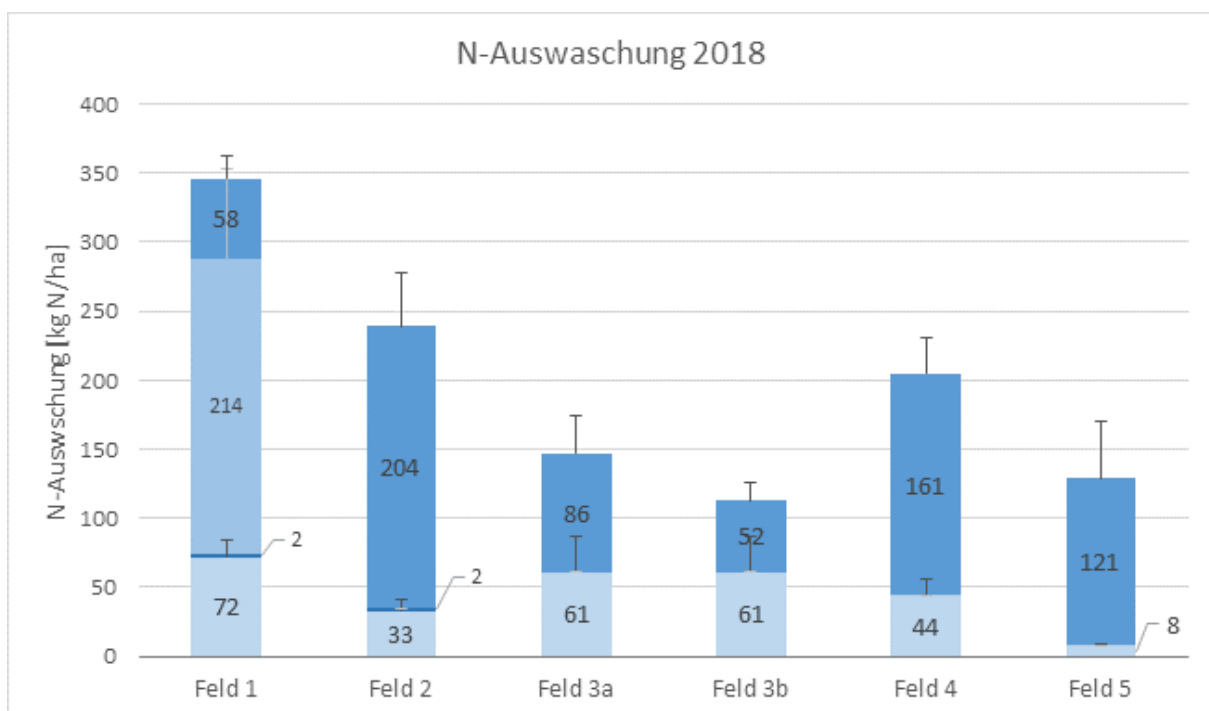


Abbildung 24: N-Verluste mit dem Sickerwasser 2018: oben: 1 – 3 Messperioden während der Vegetationsperiode (Felder 1 und 2: Wechsel der SIA satzweise, Felder 3 – 5: halbjährlich); unterster Block (hellblau): Nach-Vegetationsperiode (Winterhalbjahr 2018/19).

3.4.2 2019

Im Jahr 2019 wurde die N-Auswaschung auf allen vier Schlägen mit Massnahmen (Felder 6 – 9) sowie im Monitoring auf den Feldern 10 und 13 gemessen (Abbildung 25).

Für die Felder 9 – 13 waren zu Projektbeginn Absprachen mit den Betrieben nötig, sodass die Messungen erst Ende Mai bzw. Anfang Juni 2019, teilweise nach dem ersten Satz, begannen.

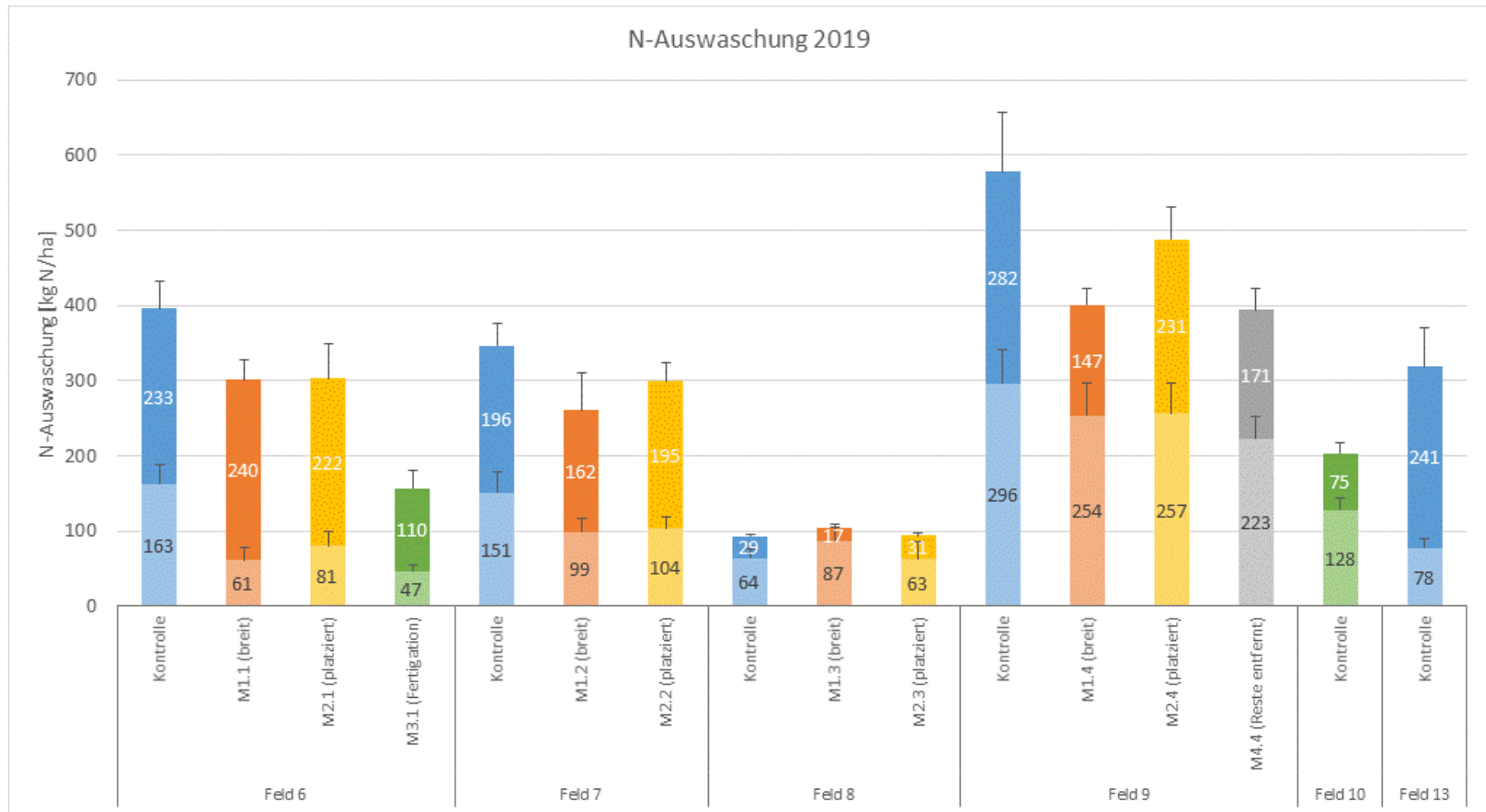


Abbildung 25: N-Verluste mit dem Sickerwasser 2019: oben: Vegetationsperiode (Sommerhalbjahr, dunkel); unten: Nach-Vegetationsperiode (Winterhalbjahr 2019/20, hell).

Geplant war, die Wintermessperiode Ende Februar oder im März 2020 zu beenden. Für die Felder 9, 10 und 13 gelang dies. In den Feldern 6 – 8 konnten die SIA jedoch zunächst witterungsbedingt, dann wegen des Corona-Lockdowns erst im Mai 2020 ausgebaut werden (Tabelle 2).

Die N-Auswaschung lag für die Bereiche ohne Massnahmen zwischen 93 und 578 kg N/ha (Abbildung 25). Davon entfielen 29 – 282 kg N/ha auf die Vegetationsperiode, 64 – 296 kg N/ha auf das Winterhalbjahr.

Als Folge der Massnahmen sanken die N-Auswaschungen um bis zu einem Viertel, für die Fertigation (nur Feld 6) um mehr als die Hälfte. Auf Feld 8, wo das Auswaschungsniveau deutlich niedriger war als auf den anderen Schlägen, war kein Unterschied zwischen den Varianten erkennbar.

3.4.3 Einordnung der Nitrat- und Ammoniumauswaschung

Im Mittel über alle Flächen wurden jährlich 271 kg N/ha ausgewaschen, von denen 172 kg N/ha auf die Vegetationsperiode und 100 kg N/ha auf die Nachvegetationsperiode entfielen. In AP1.2 des NitroGäu-Projektes wurde auf nahe gelegenen, ackerbaulich genutzten Schlägen mit unterschiedlichen Kulturen ebenfalls mit SIA die N-Auswaschung in ganzjährigen Messperioden (Herbst – Herbst) gemessen. Auf den Parzellen ohne Massnahmen lag die mittlere Auswaschung bei 88 kg N/(ha*a) und damit bei etwa einem Drittel der Austräge aus den Gemüseflächen.

Diese N-Auswaschungen auf den Gemüseflächen sind vergleichbar zur mittleren N-Fracht, die Zemek et al. (2020) in ihrem Review für intensiven Gemüsebau mit 243 (ganzes Jahr) bzw. 182 kg N/ha (Winterhalbjahr) ermittelt haben. Auch verschiedene Lysimeterstudien ergaben allein im Winterhalbjahr Auswaschungen bis zu 150 kg /ha (Zemek et al., 2020).

Prasuhn & Spiess (2003) schätzten aus Betriebszählungsdaten die mittlere Nitratauswaschung im Kanton Bern, die unter Gemüse bei 89, unter Acker hingegen bei 53 kg N/(ha*a) lag.

In verschiedenen Projekten in Deutschland wurden zwischen 1999 und 2017 in mehrjährigen Messreihen mittlere jährliche N-Auswaschungen von 154 (Gemüse) bzw. 39 kg N/(ha*a) (Ackerbau) mit SIA gemessen (Bischoff, 2009 und Fortschreibung dieser Datenbasis). Auch hier unterschieden sich die beiden Nutzungsformen um Faktor 3. Die Unterschiede in der absoluten Höhe dürften u.a. aus standortkundlichen Unterschieden und i.d.R. deutlich geringeren Niederschlagsmengen (600 – 800 mm) auf den deutschen Standorten resultieren.

3.5 N-Bilanzen

3.5.1 N1 Düngung – Abfuhr

Der Bilanz N1 liegt die Differenz aus Düngung und Abfuhr zugrunde. In beiden Jahren lagen für die Kontrollen, also die praxisüblichen Felder und Parzellen ohne Massnahmen, mit jeweils einer Ausnahme positive Bilanzen, also N-Überschüsse vor (Abbildung 26 und Abbildung 27). Der Mittelwert über alle untersuchten Kulturen lag bei +65 (2018) bzw. +61 kg N/ha (2019). Einerseits benötigen die Kulturen für das Wachstum eine höhere Stickstoffmenge als die im Erntegut gespeicherte, da auch die Pflanzenteile Stickstoff aufnehmen, die als Erntereste auf dem Feld verbleiben. Andererseits verbleibt dieser Stickstoff in den Ernteresten auf der Fläche und kann nach Mineralisierung Folgefrüchten zur Verfügung stehen, sodass der Fläche langfristig nur die entnommen Stickstoffmenge zugeführt werden sollte. Die systematische Überdüngung im Verhältnis zur N-Abfuhr von der Fläche steht im langjährigen Mittel für eine Auswaschung mit dem Sickerwasser zur Verfügung.

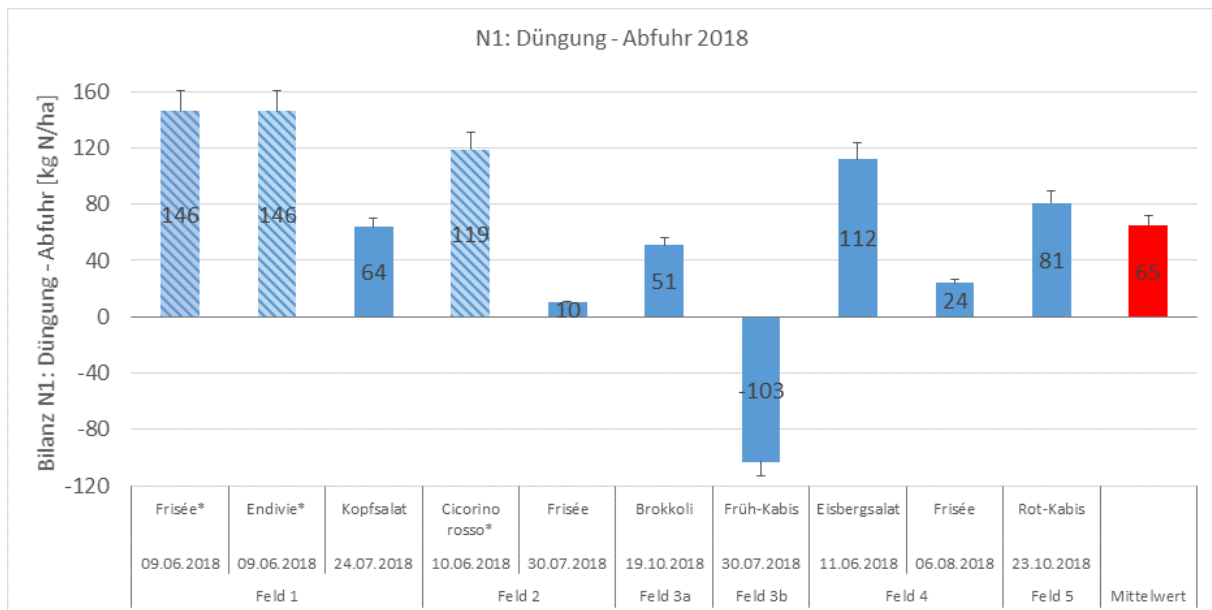


Abbildung 26: Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr), 2018

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).

In beiden Jahren wurden jeweils Kulturen nicht beerntet, sodass die gesamte Biomasse auf dem Feld verblieb und untergepflügt wurde (2018: Frisée und Endivie, Feld 1; Cicorino Rosso, Feld 2; 2019: Kopfsalat, Feld 6). Dies führte zu besonders starken Düngerüberschüssen. Dies ist zwar nicht die Regel, tritt aber wiederkehrend auf den Gemüsefeldern auf. Ursachen können Schäden durch ungünstige Witterung (Hagel, Frost, Hitze,...), Schädlinge oder Krankheiten sein. Teilweise werden Felder aber auch nicht beerntet, weil zu diesem Zeitpunkt keine Absatzmöglichkeit für die marktfähige Ware besteht. Daher müssen auch diese Fälle in die Gesamtbetrachtung der N-Überschüsse einbezogen werden.

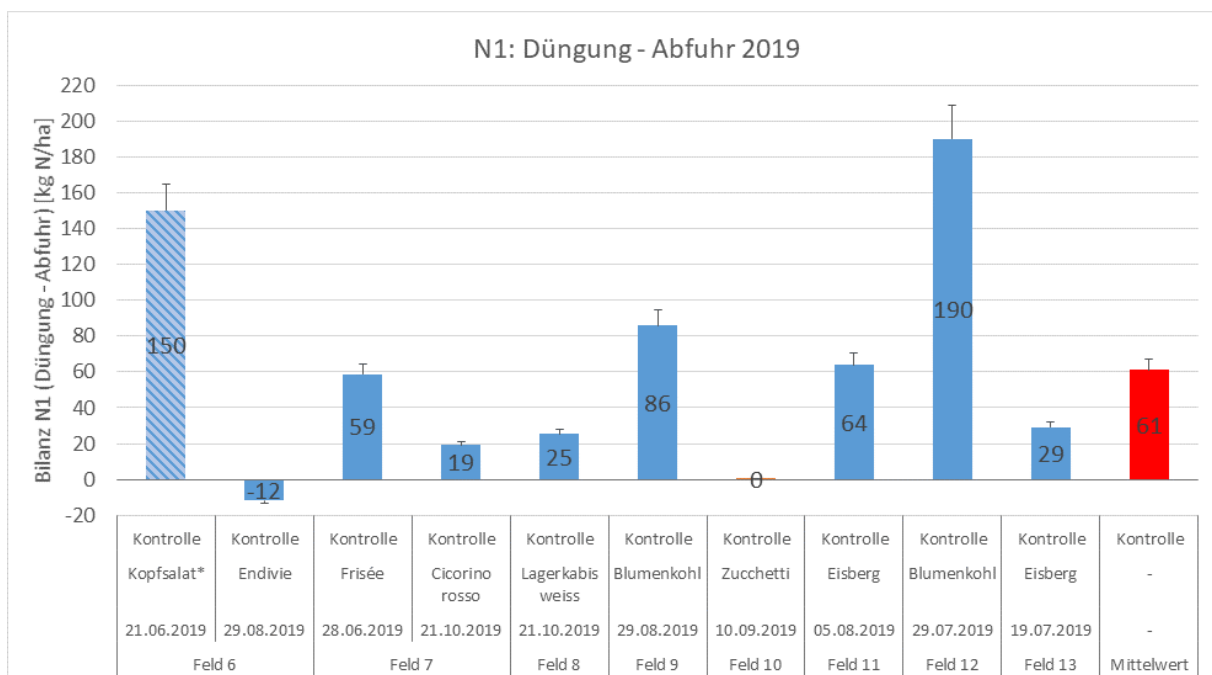


Abbildung 27: Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).

Neben den Schlägen ohne Aberntung lag der Bilanzüberschuss für Blumenkohl (Feld 12) mit +190 kg N/ha besonders hoch (Abbildung 27), was durch den niedrigen Aberntungsgrad von 53 % begründet war (Abbildung 11). Für alle anderen Schläge lag die Bilanz zwischen -12 und +86 kg N/ha.

Im Jahr 2019 lag der Düngerüberschuss in den Massnahmenplots in fast allen Fällen niedriger als in der entsprechenden Kontrolle (Abbildung 28). In Einzelfällen lag die Differenz für die platzierte Düngung bei über 100 kg N/ha (Kopfsalat M2.1, Feld 6; sowie Blumenkohl M2.4, Feld 9). Eine Ausnahme stellt ein Satz Endivie auf Feld 6 dar. Hier war durch einen niedrigeren Anteil marktfähiger Ware (M2.1, Abbildung 11) bzw. eine höhere Düngemenge (Fertigation M3.1, Tabelle 4) die Bilanzsumme höher als in der Kontrolle.

In der Massnahme 4 (Feld 9: M4.4) wurden die Erntereste vollständig abgefahren, woraus sich eine deutlich negative Bilanz N1 ergibt.

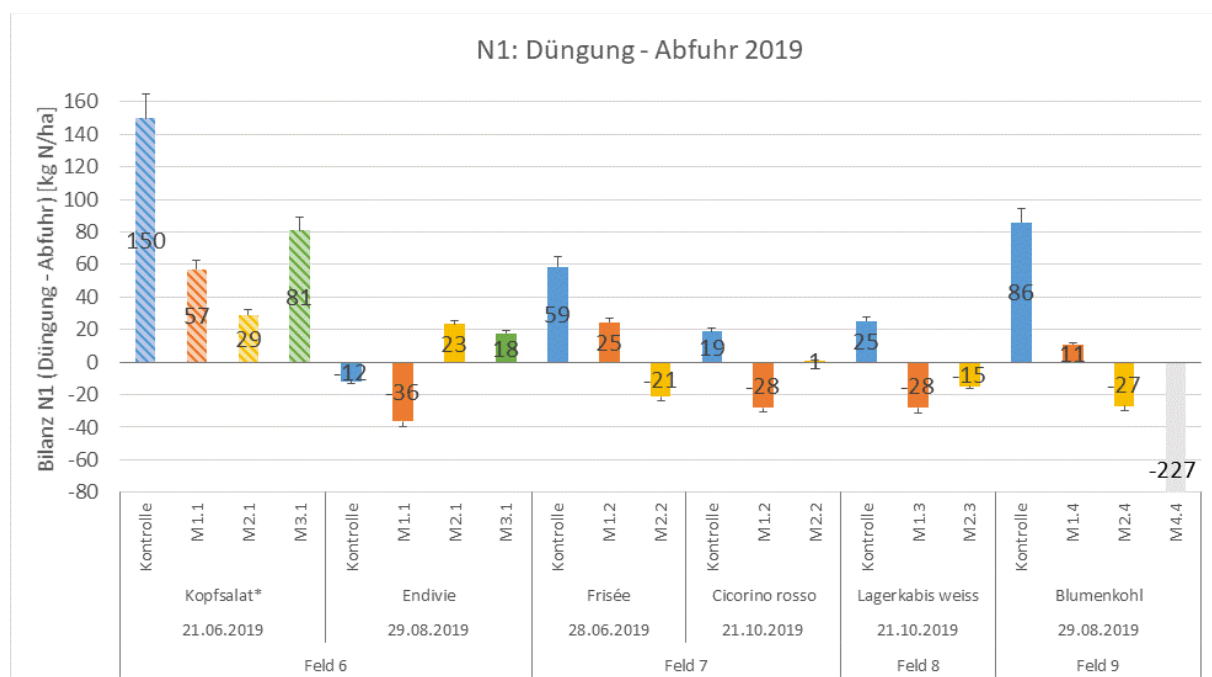


Abbildung 28: Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr), 2019; nur Schläge mit Massnahmen;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).

3.5.2 N2 Düngung – Aufwuchs

In die Bilanz N2 geht die Differenz aus der N-Düngemenge und der vom Aufwuchs aufgenommenen Menge an Stickstoff ein. Für die einzelnen Kulturen in beiden Jahren wies die Bilanz eine grosse Spanne von +81 bis -335 kg N/ha auf (Abbildung 29 und Abbildung 30). Der Mittelwert über alle Kulturen war in beiden Jahren mit -51 (2018) bzw. -68 kg N/ha (2019) deutlich negativ. Diese Mittelwerte zeigen, dass die Landwirte die N-Nachlieferung des Bodens ($N_{\min}$ -Gehalt, Erntereste, Mineralisierung) bei der Düngung bereits teilweise berücksichtigen. Die Bilanz N1 zeigt jedoch, dass ohne eine Berücksichtigung des als $N_{\min}$ zur Verfügung stehenden Düngers langfristig trotzdem zu hohe N-Mengen mit dem Dünger auf die Felder gelangen.

Für die meisten Sätze an Brassicaceen (Kohlarten: Brokkoli, Blumenkohl, Kabis) waren die Bilanzen mit -106 bis -335 kg N/ha meist deutlich negativ, was im starken Aufwuchs mit einem hohen Anteil an Ernteresten in diesen Kulturen begründet liegt.

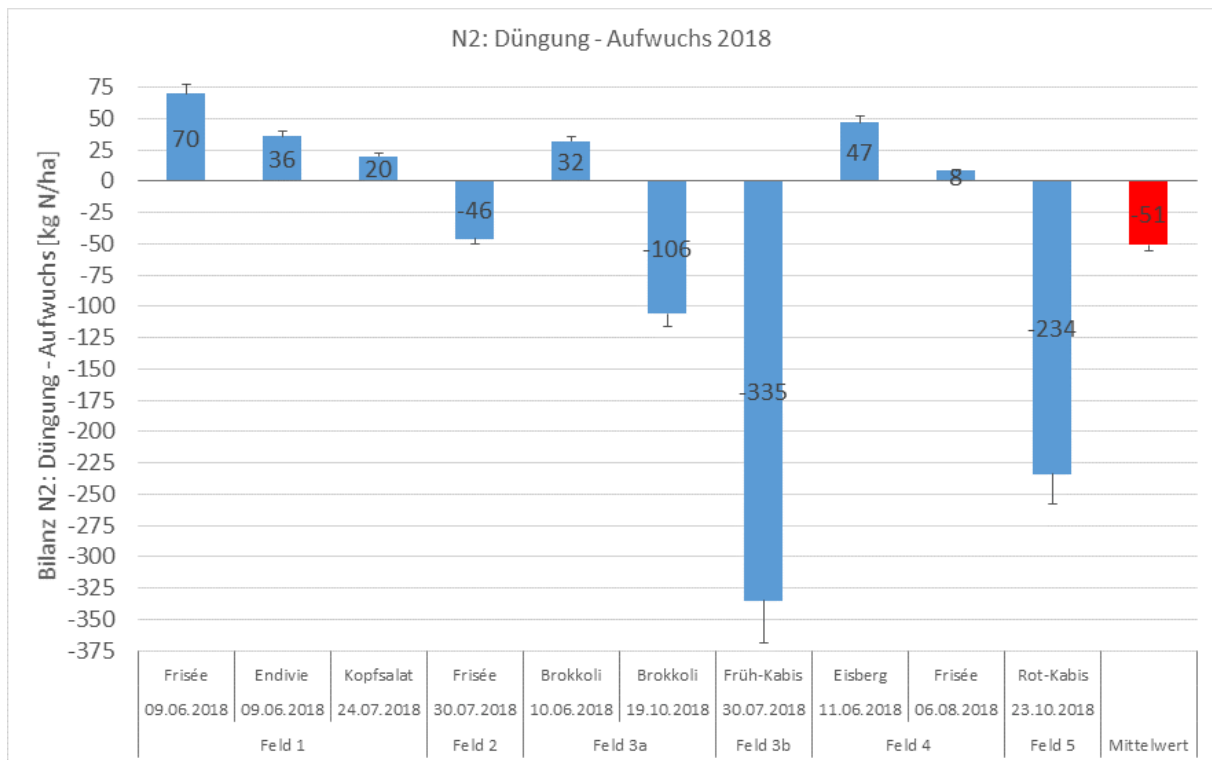


Abbildung 29: Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs), 2018.

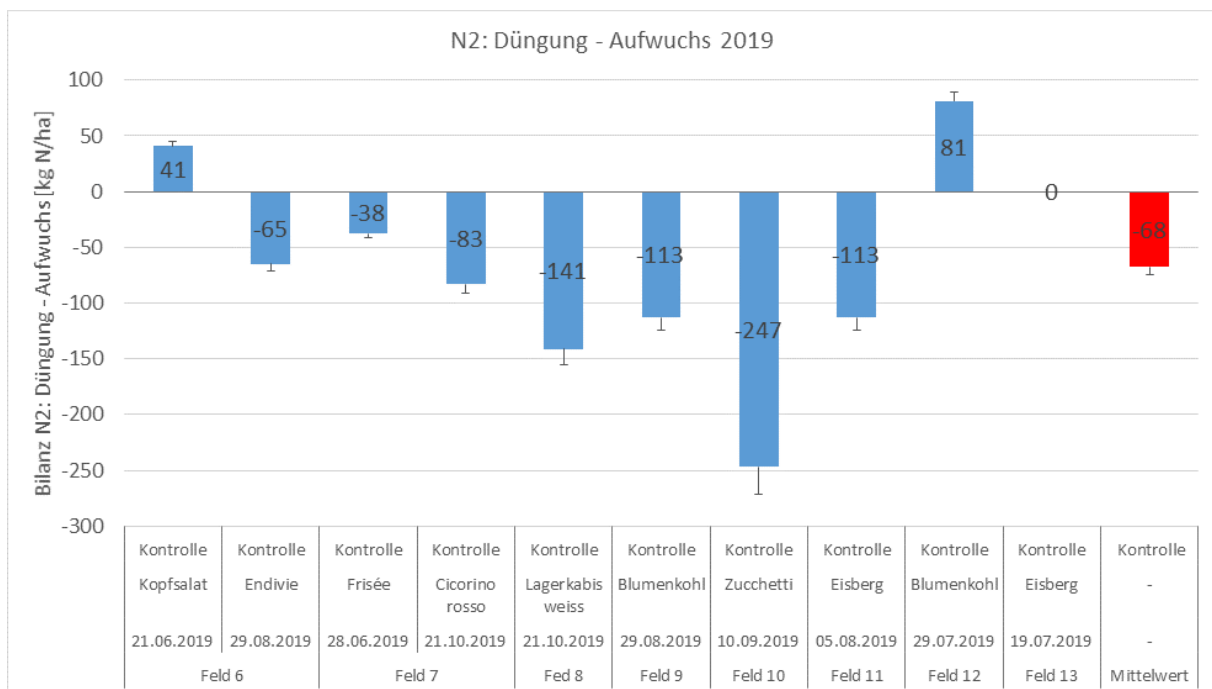


Abbildung 30: Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen.

Die einzelnen Massnahmen führten in den meisten Fällen auch in dieser Bilanz zu stärker negativen Werten im Vergleich zur Kontrolle (Abbildung 31). Erneut stellten M2 (geringerer Erntegrad) und M3 (höhere Düngung) für Endivie auf Feld 6 eine Ausnahme dar. Im Mittel nahm die Bilanzsumme in M1 (Anrechnung von $N_{\min}$, breitwürfig) um 35 bzw. in M2 (Anrechnung von $N_{\min}$, platziert) um 43 kg N/ha ab (Abbildung 32), was den positiven Einfluss der Massnahmen belegt.

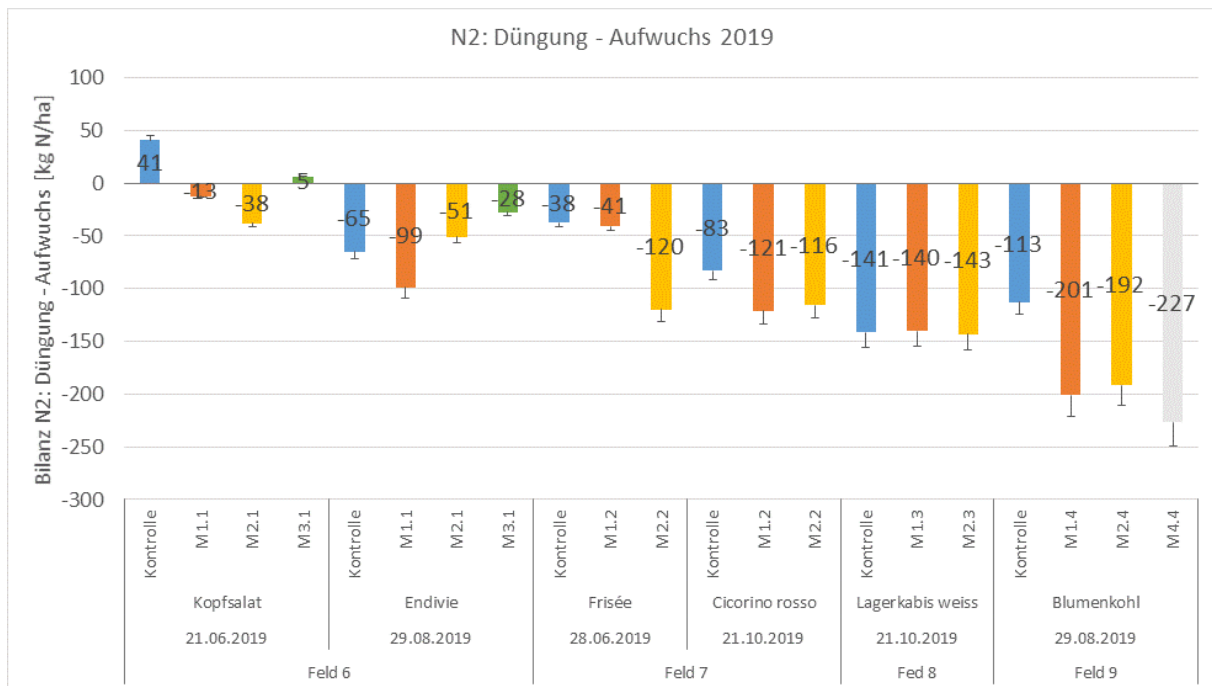


Abbildung 31: Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs), 2019; nur Schläge mit Massnahmen.

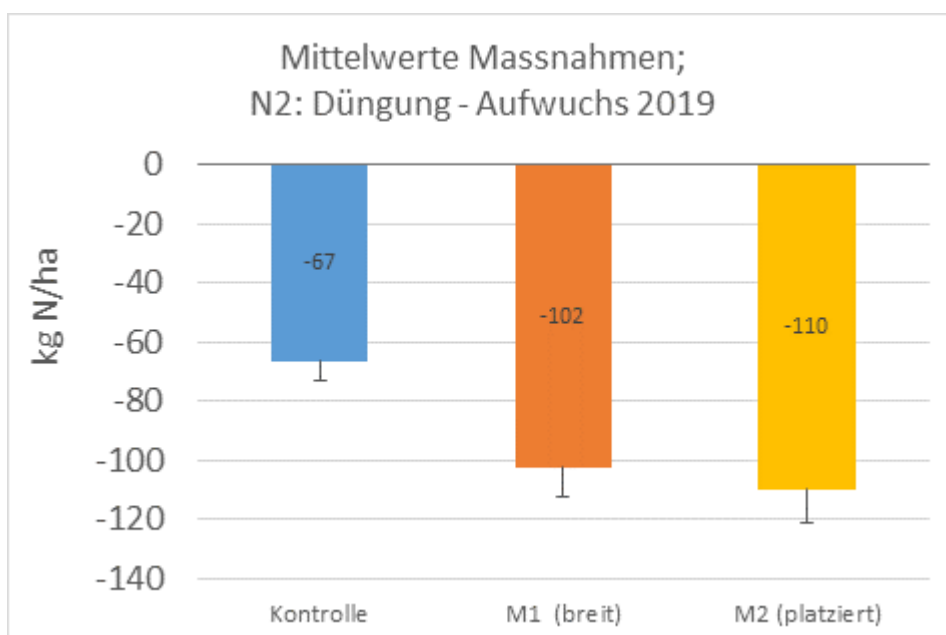


Abbildung 32: Bilanz N2 (Düngung – Aufwuchs) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.

3.5.3 N3 N-Effizienz: Quotient Ernte/Düngung

Die Berechnung N3 stellt den Quotienten aus dem N-Gehalt des Erntegutes und der Menge an N-Düngung dar. Werte über 100 % geben an, dass der Fläche mehr N entzogen als zugeführt wurde. Dies war lediglich für zwei Kulturen der Fall (Früh-Kabis, Feld 3, 2018, Abbildung 33 und Endivie, Feld 6, 2019, Abbildung 34). Für alle anderen Sätze lag der Quotient – meist deutlich – unter 100 %. Dies zeigt an, dass die Zufuhr höher als der Entzug war, sodass Stickstoff auf der Fläche angereichert oder ins Grundwasser ausgewaschen wurde. Der Mittelwert der N-Effizienz bezogen auf den Dünger lag bei 57 % (2018) bzw. 67 % (2019).

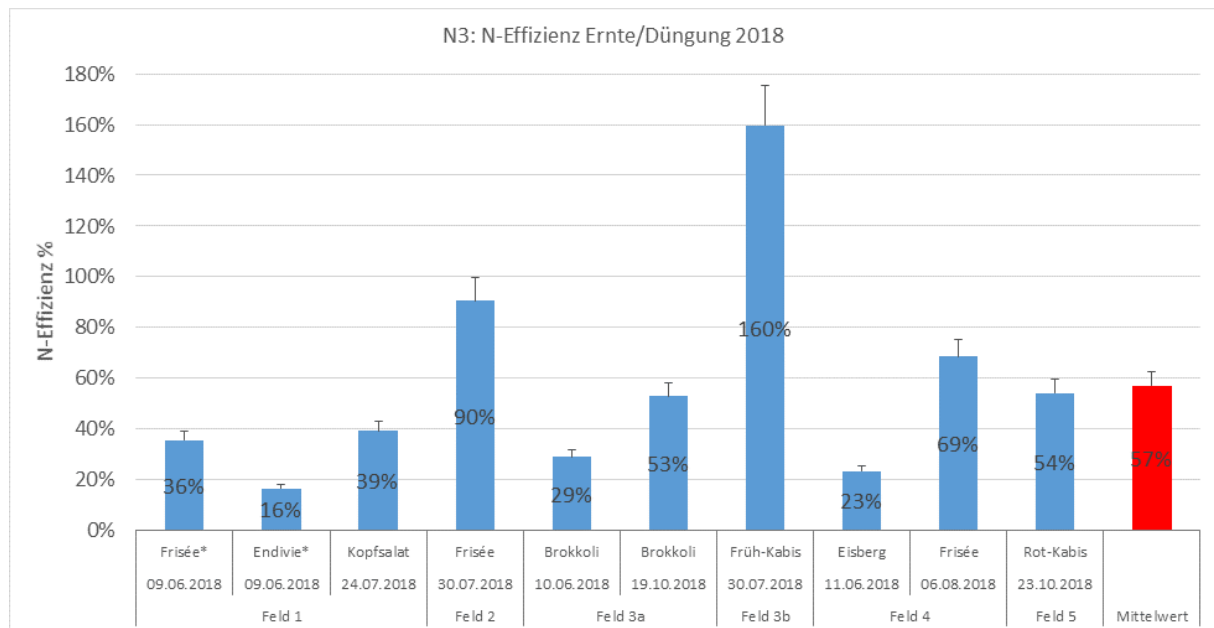


Abbildung 33: Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung), 2018;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (hier Verwendung der potenziellen Erntemenge).

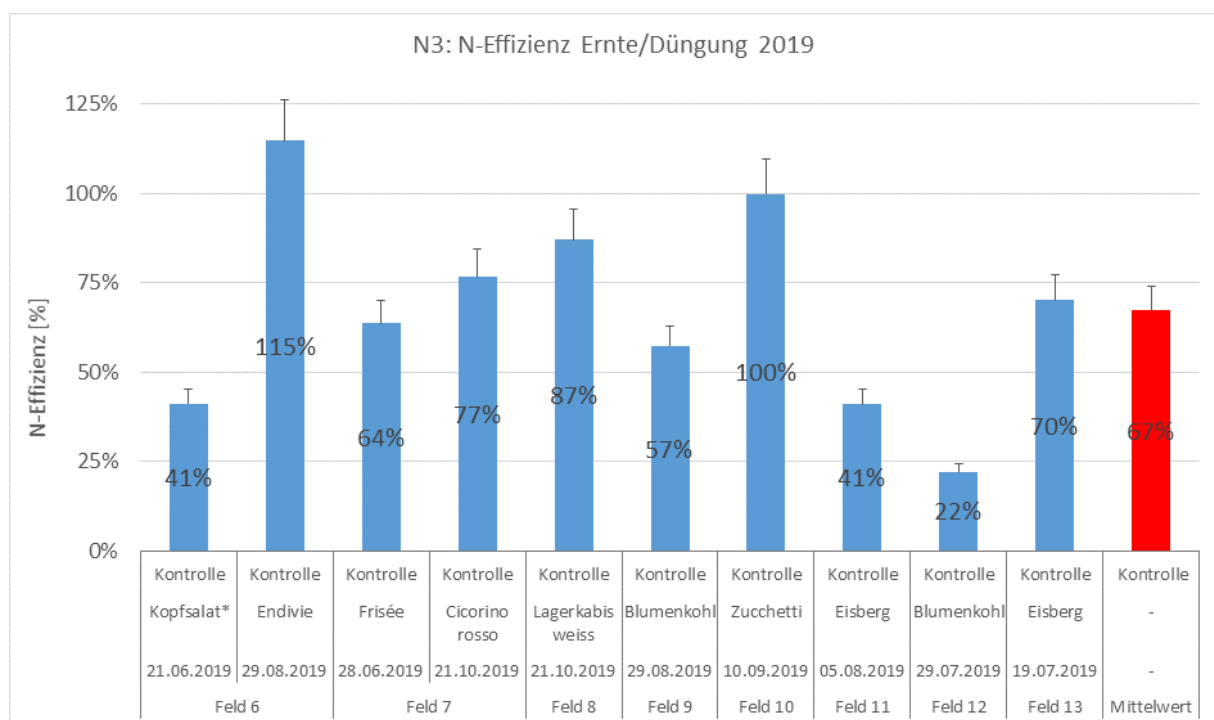


Abbildung 34: Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (hier Verwendung der potenziellen Erntemenge).

In den Massnahmen konnte die Düngeneffizienz im Vergleich zu den Kontrollen in den meisten Einzelfällen (Abbildung 35) sowie im Mittel (Abbildung 36) deutlich gesteigert werden. Im Mittel lag der Quotient für M1 bei 117 %, bei M2 bei 95 % und damit deutlich über der Kontrolle mit 73 %.

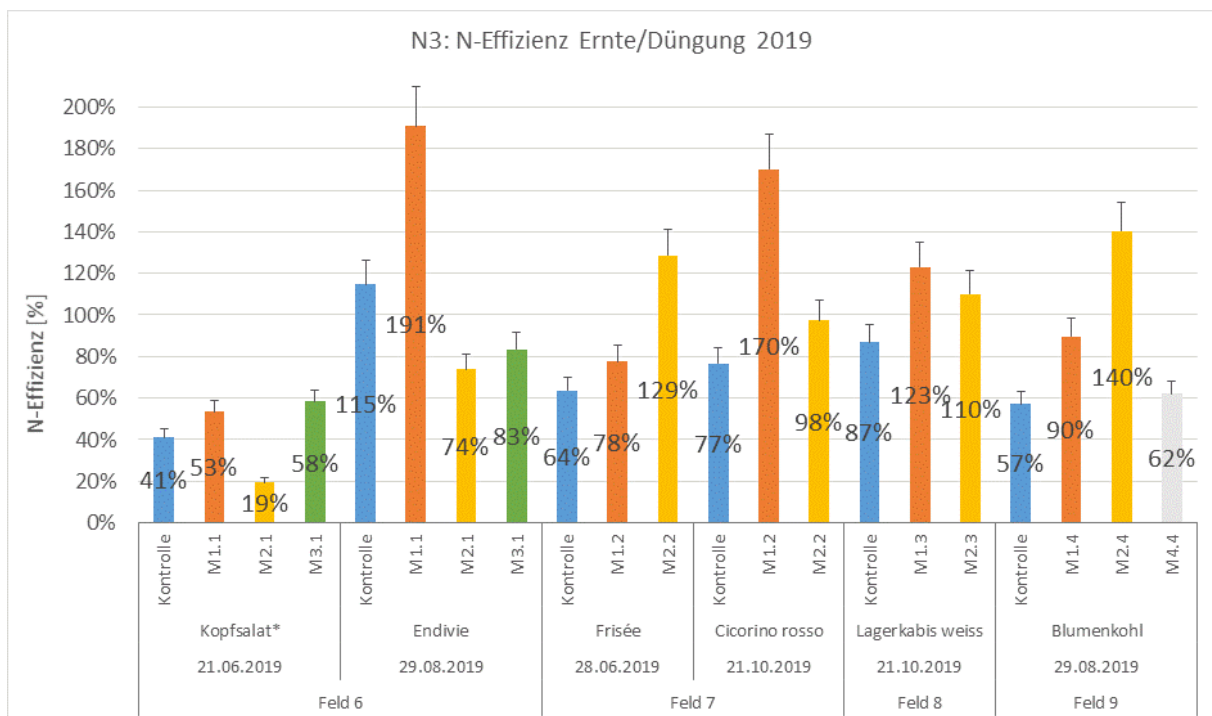


Abbildung 35: Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung), 2019; nur Schläge mit Massnahmen;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (hier Verwendung der potenziellen Erntemenge).

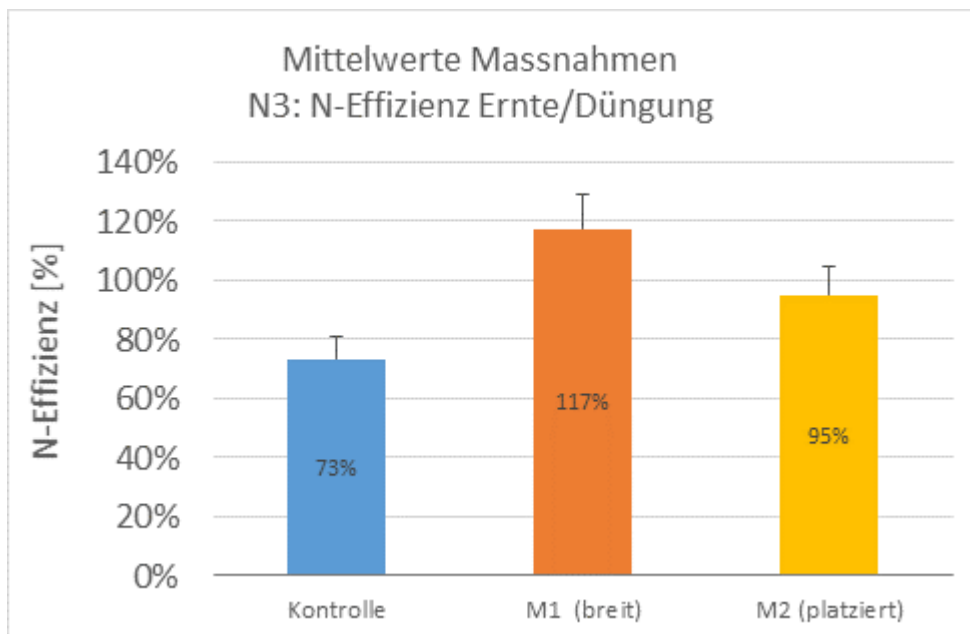


Abbildung 36: Bilanz N3 (Quotient Ernte/Düngung) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.

3.5.4 N4 Rest-N_{min}-Gehalte und N-Verbleib nach Ernte – labiler N-Pool

Die Berechnung N4 gibt an, wie viel Stickstoff nach der Ernte für die Folgefrucht leicht verfügbar im Boden vorliegt, teils als N_{min} im Boden, teils als Erntereste, die leicht mineralisiert werden können. Sie bildet also den *labilen N-Pool*. Da im ersten Jahr nur selten N_{min}-Gehalte bestimmt wurden, wurde diese Bilanz nur für 2019 berechnet. Nach der Ernte lag in allen Fällen mindestens 192 kg N/ha, in Einzelfällen bis zu 546 kg N/ha vor (Abbildung 37). Für den nicht geernteten Kopfsalat auf Feld 6 wurden 994 kg N/ha errechnet. Der Mittelwert betrug 385 kg N/ha, höhere Werte traten v.a. bei nicht geernteten Kulturen und bei Blumenkohl auf.

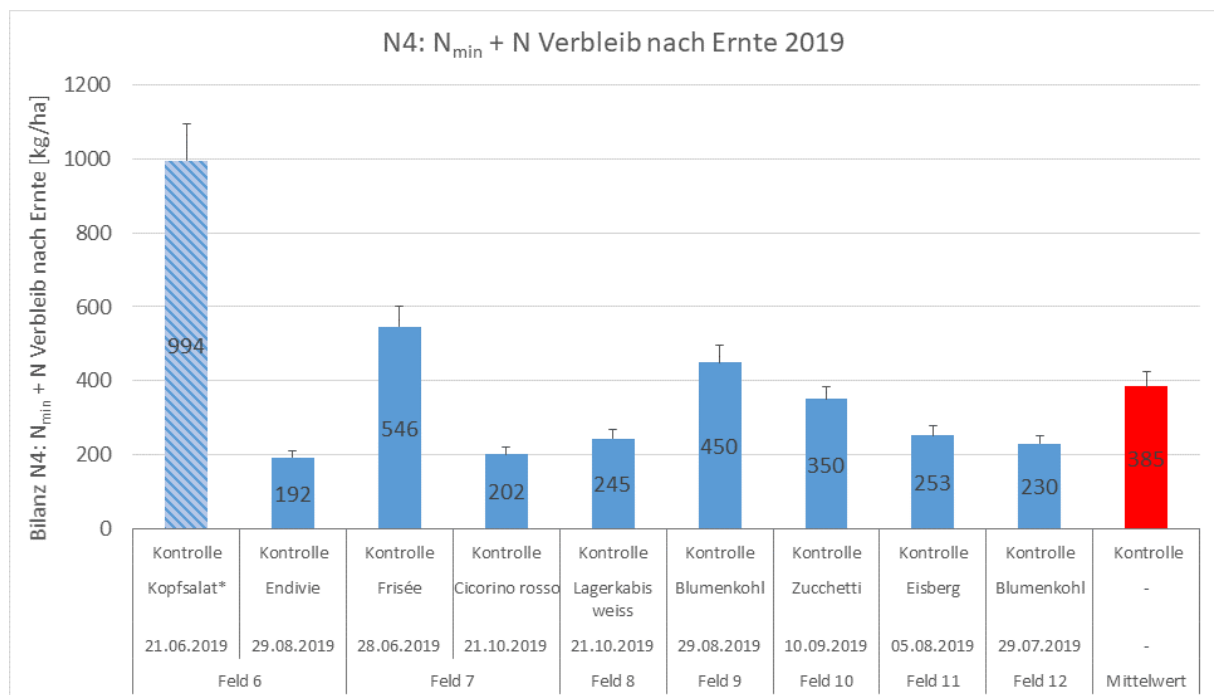


Abbildung 37: Berechnung N4 (Rest-N_{min}-Gehalte und N-Verbleib nach Ernte), 2019; nur Kontrollen sowie Schläge ohne Massnahmen;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).

Insbesondere für die Sätze, die einen hohen Rest-N_{min}-Gehalt zur Folge hatten (Kopfsalat, Feld 6 und Frisée, Feld 7) konnte durch die Massnahmen die Menge an Stickstoff, der nach der Ernte noch zur Verfügung stand, deutlich reduziert werden (Abbildung 38). Für andere Kulturen ergaben sich lediglich geringe Änderungen in der Summe der N-Reste.

Im Mittel konnte durch die Massnahmen die Rest-N-Menge, die auf dem Feld verblieb, um etwa ein Drittel von 438 (Kontrolle) auf 281 (M1) bzw. 286 kg N/ha (M2) reduziert werden (Abbildung 39). Insbesondere nach den letzten Sätzen eines Jahres konnte daher durch die Massnahmen das Risiko für N-Auswaschung ins Grundwasser während des Winterhalbjahres deutlich reduziert werden.

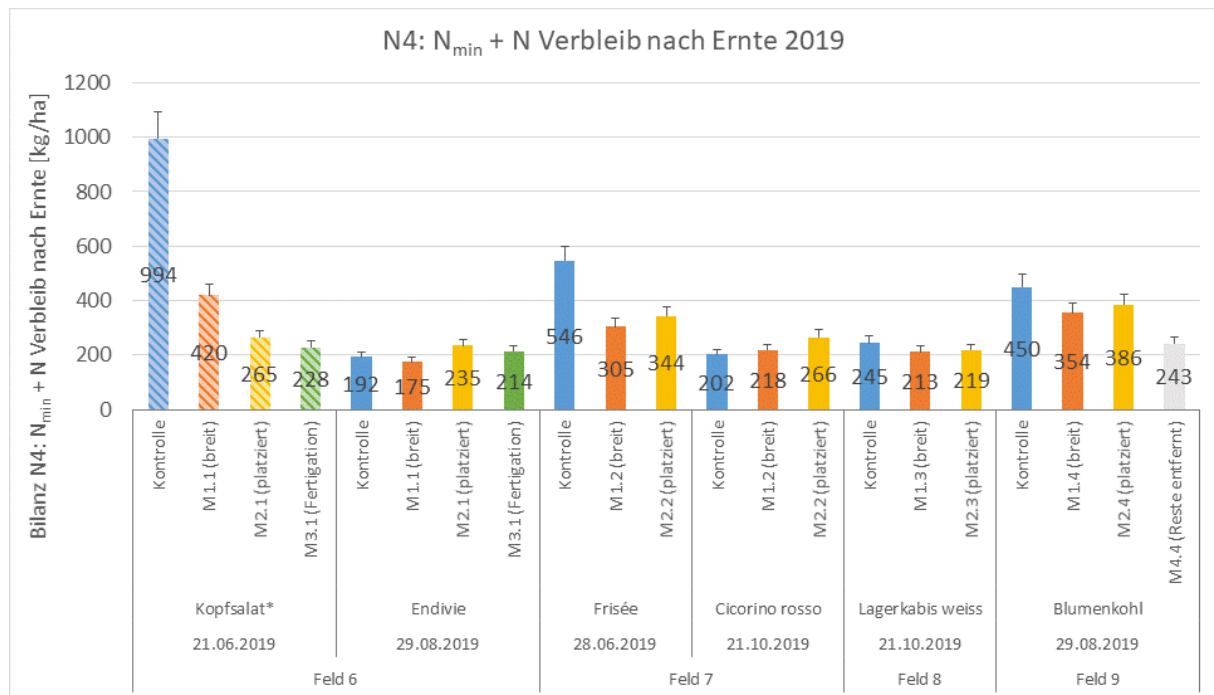


Abbildung 38: Berechnung N4 (Rest- $N_{\min}$ -Gehalte und N-Verbleib nach Ernte), 2019; nur Schläge mit Massnahmen;

*: nicht beerntet, obwohl erntefähig (Erntegut verblieb auf dem Feld, Schraffur).

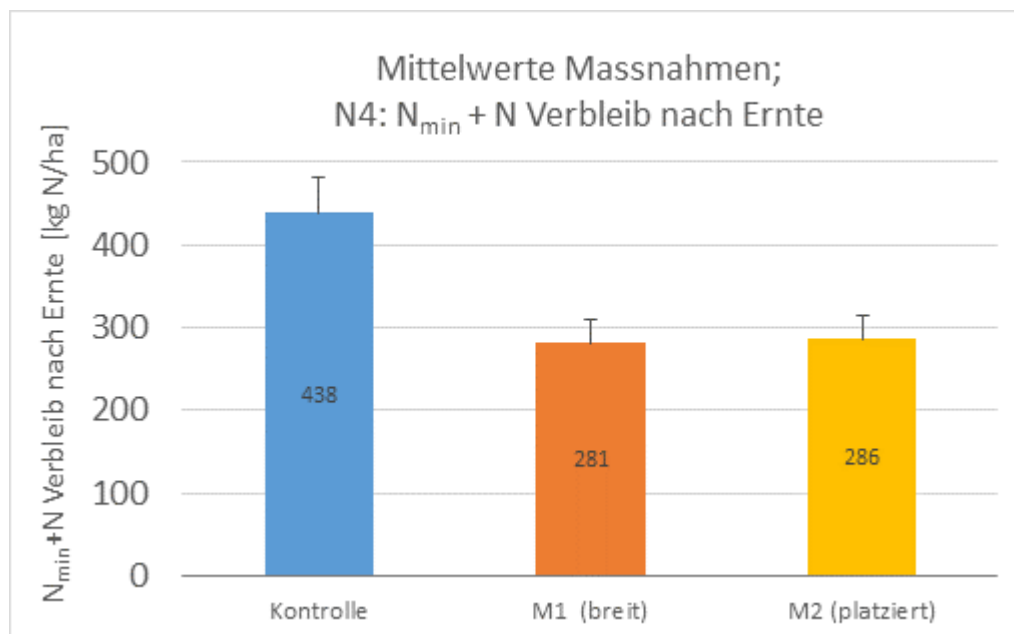


Abbildung 39: Bilanz N4 (Rest- $N_{\min}$ -Gehalte und N-Verbleib nach Ernte) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.

4 Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 N-Überschüsse

Vorbemerkung: Zwei Massnahmen (Fertigation und Abfuhr der Erntereste) wurden nur auf je einer Fläche untersucht. Als Einzelergebnisse werden sie nicht zusammenfassend mitdiskutiert.

Wichtige Mittelwerte aus dem folgenden Text und den Abbildungen sind in Tabelle 6 zusammengefasst:

Tabelle 6: N-Bilanz 2019: Alle Mittelwerte zu Ernte und Dünger pro Kultur, Auswaschung pro Jahr, N_{min} als Stichtagsbeprobungen nach Ernte; «leicht verfügbares N» = Summe aus N_{min} nach Ernte und Ernteresten.

N-Pools	M1: M2:			
	Alle Praxis- flächen	Kontrollen	Anrechnung	Anrechnung
		(praxis- üblich)	von N_{min} breitwürfig	von N_{min} platziert
Zur Verfügung	kg N/ha			
N_{min} (0-30 cm) nach Ernte	158	233	103	96
N_{min} (0-60 cm) nach Ernte	245	365	179	177
Erntereste	123	111	97	107
Leicht verfügbares N (0-30 cm)	281	344	200	203
Leicht verfügbares N (0-60 cm)	368	476	276	285
Dünger-N	142	145	80	74
Output				
Feldabfuhr = Ernte	81	90	80	76
Auswaschung	334	359	271	296
N-Saldo = Dünger - Abfuhr	61	55	0	-2

Im Jahr 2018 wurden antragsgemäss nur die Auswaschungen vollständig erfasst. Die N-Bilanz wurde nur für einzelne Kulturen exemplarisch aufgestellt. Für die zusammenfassende Diskussion werden daher nur die systematisch erhobenen Daten aus 2019 genutzt. Die Ergebnisse aus 2018 zeigen jedoch die gleichen Tendenzen und Grössenordnungen in den Daten (s. 3.2 bis 3.4).

In der langfristig wichtigsten N-Bilanz N1 wurde die zur Verfügung stehende Stickstoffmenge als Differenz aus Düngung und Abfuhr mit dem Erntegut berechnet (vgl. 3.5.1). Es handelt sich dabei um den strukturellen Überschuss, der aufgrund der jetzigen Düngepraxis pro Kultur auf dem Feld verbleibt und dem langfristigen Potenzial der Auswaschung entspricht. Dieser Überschuss betrug 2019 pro Kontrollfläche *und Jahr* im Mittel 82 kg N/ha und lag auf allen Praxisflächen zusammen mit etwa 100 kg N/ha um 20 % höher.

Vergleicht man die Mittelwerte aller Praxisflächen *pro Kultur* mit denen der Kontrollen auf den Feldern, wo mit Massnahmen verglichen wurde, kommt es nur zu kleinen Unterschieden (Tabelle 6, Abbildung 40). Für die sechs Kulturen auf den vier Schlägen mit Massnahmen lag der Bilanzüberschuss in der Kontrolle *pro Kultur* bei +55 kg N/ha. Für die Massnahmen **M1** (Anrechnung von N_{min} , **breitwürfig**) und **M2** (Anrechnung von N_{min} , **platziert**) waren die Bilanzen mit +/-0 bzw. -2 kg N/ha nahezu ausgeglichen. Eine ausgeglichene Dünger-N-Bilanz ist erstrebenswert, im vorliegenden Datensatz aber rechnerischer

Zufall bei grosser Streuung zwischen den Kulturen. Sie bedeutet, dass in den Massnahmen M1 und M2 über die Düngung nur so viel Stickstoff zugeführt wurde, wie über das Erntegut auch wieder entnommen wurde.

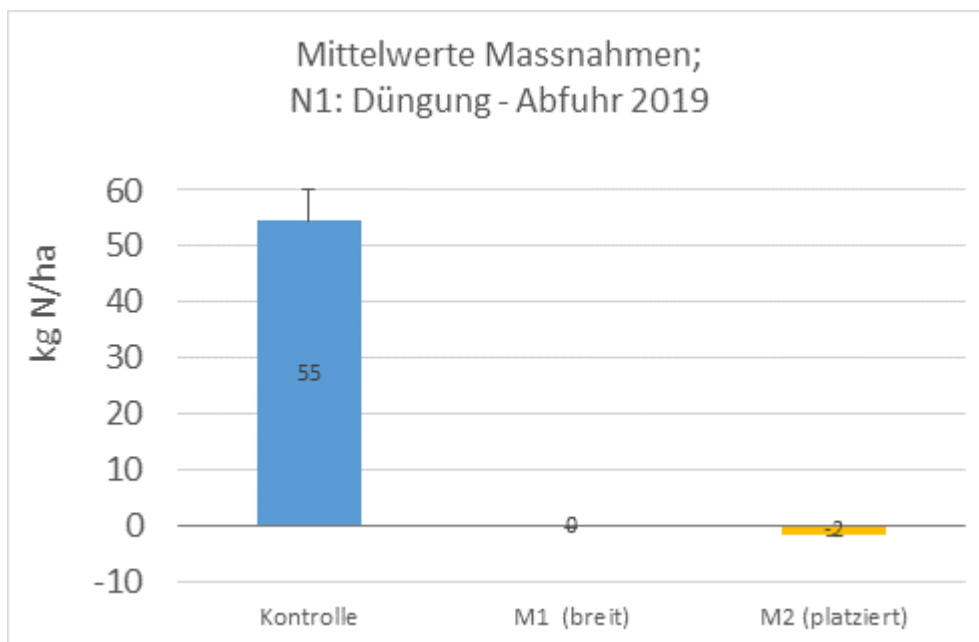


Abbildung 40: Bilanz N1 (Düngung – Abfuhr) Mittelwerte für die Massnahmenfelder, 2019.

Auf den Kontrollparzellen der vier Massnahmenfelder wurden im Mittel innerhalb eines Jahres 359 kg N/ha mit dem Sickerwasser ausgewaschen, wovon etwas mehr als die Hälfte während der Vegetationsperiode (Sommerhalbjahr) verloren ging (Abbildung 41). Die hohen und gleichmässigen Niederschläge sowie die aktuelle Bewässerungspraxis sorgen für einen stetigen, ganzjährigen Sickerwasserfluss, der zu Nitratverlusten in allen Jahreszeiten sorgt.

Überschüsse und Auswaschungen könnten im Sommer leichter verbessert werden. Die Düngung im Sommer und die Sickerwassermenge könnten angepasst werden. Im Winter wird der Bodenwasserspeicher zumindest auf den sandigeren und steinigere Böden des Gebiets vollständig durchspült. Die Vegetation nimmt (fast) kein N mehr auf. Daraus resultieren potenziell unvermeidbare Verluste. Umso wichtiger sind N-Zwischenspeicher wie Winterbegrünung, Zwischensaat oder anderes. Die Winterbegrünung wurde in dieser Studie nicht untersucht, u.a. weil ihre Wirkung bei richtiger Praxis unbestritten ist (Zemek et al., 2020). Diese ist jedoch nicht unproblematisch (s. Kap. 4.5.2)

Die geringeren Düngemengen in den Massnahmenplots spiegeln sich direkt in den N-Auswaschungen wider, die für M1 (Anrechnung von $N_{\min}$, breitwürfig) 271, für M2 (Anrechnung von $N_{\min}$, platziert) 296 kg N/ha betrugen. In M1 konnte die N-Auswaschung somit im Vergleich zur Kontrolle um ca. 25 % reduziert werden. Die N-Reduktion wird sofort für das Grundwasser entlastend wirksam.

In der Differenzenbetrachtung standen auf den Kontrollparzellen aus dem N-Saldo 82 kg N/ha mehr zur Auswaschung zur Verfügung. In der Differenz wurde 2019/20 auf den Kontrollparzellen im Mittel 88 kg N/ha im Vergleich zu M1 bzw. 63 kg N/ha im Vergleich zu M2 mehr ausgewaschen. Selbst unter Beachtung der Streuung der Messungen entlastete das eingesparte Dünger-N also in etwa gleicher Grösse das Grundwasser.

Nendel (2009) verglich mit Hilfe des EU-Rotate_N-Modells für Baden-Württemberg den Unterschied im N-Auswaschungspotenzial zwischen traditioneller N-Düngung (Ertragsziel minus 20 %) und Düngebedarfsermittlung mit der $N_{\min}$ -Methode (vergleichbar zu M1 in diesem Projekt) im Gemüsebau. Das Potenzial sank von 195 auf 69 kg N/(ha*a) und damit in einer ähnlichen Größenordnung wie in den aktuellen Untersuchungen.

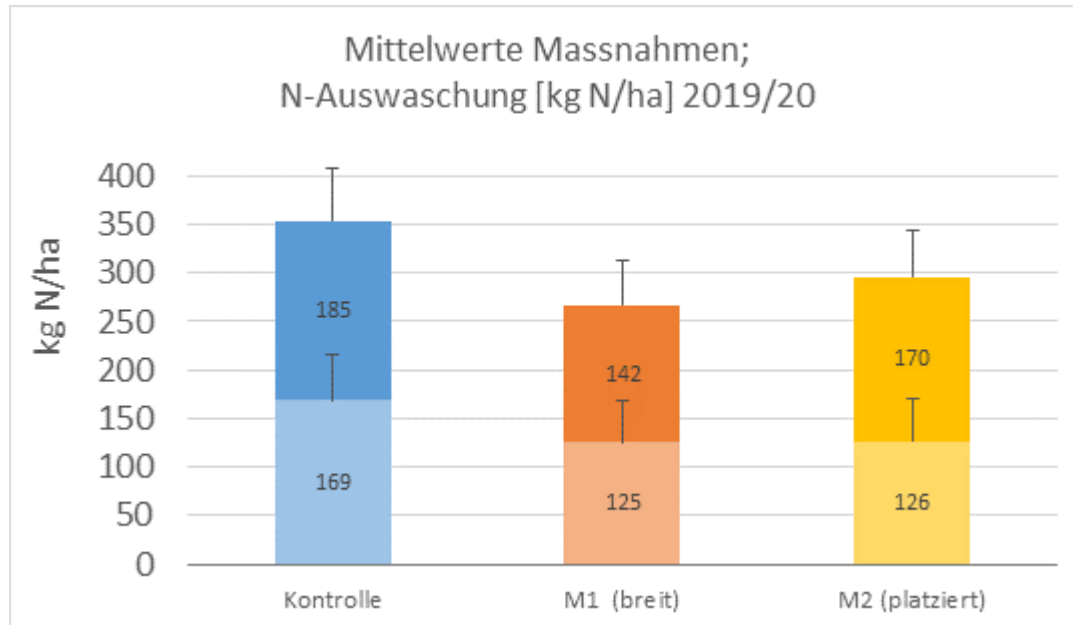


Abbildung 41: Mittlere N-Auswaschung für die vier Massnahmenfelder 2019; oben (dunkel): Vegetationsperiode, unten (hell): Nach-Vegetationsperiode.

Mit den gemessenen Nitrat-Sickerwassermessungen konnten somit unmittelbar der Erfolg von Massnahmen und das erreichte Niveau der Wasserbelastung nachgewiesen werden. Aus dem Niveau der Auswaschung lässt sich auch die Konzentration in der Grundwasserneubildung unter den Flächen bei einer mittleren Grundwasserneubildung von ca. 400 mm/a errechnen.

Die Belastung des Grundwassers unter den Gemüseflächen überschreitet das angestrebte Qualitätsziel von 25 mg Nitrat/L mit 265 (M1) bis 350 mg Nitrat/L (Kontrollen) um das 10-Fache und mehr. Aus diesen Zahlen wird die Relevanz der Gemüseflächen für den Grundwasserschutz sehr deutlich.

Die Gesamt-N-Auswaschung 2019/20 in den Massnahmen überstieg die aus den N-Salden erklärbaren aktuellen N-Überschüsse aus der Düngung um mehr als 200 kg N/ha. Dies ist ein Hinweis darauf, dass auf diesen humusreichen, über Jahre mit Stickstoff und Ernteresten angereicherten Böden eine starke Nachmineralisation aus dem Abbau leicht verfügbarer Humusfraktionen stattfindet, wobei Stickstoff durch Mineralisation freigesetzt wird.

Dieser Prozess zeigt sich in den extrem hohen $N_{\min}$ -Werten zu jedem Probenahmetermin (in Abbildung 42 sind die Nach-Ernte-Werte dargestellt) mit im Mittel 245 kg N/ha in 0 – 60 cm Tiefe. Das Gesamtniveau der leicht verfügbaren, mobilen N-Fractionen ($N_{\min}$ + leicht abbaubares organisches N) im Boden ist so hoch, dass es als Sockel von > 200 kg N/ha auch in der Auswaschung sichtbar wird.

Somit konnte die Auswaschung in ihrer Größenordnung aus den aktuellen Düngerüberschüssen und der Nachmineralisierung aus sehr hohen Bodenvorräten, wie sie im Gemüse typisch sind (Finck, 2012 und 2016, Geypens et al., 2005), erklärt werden.

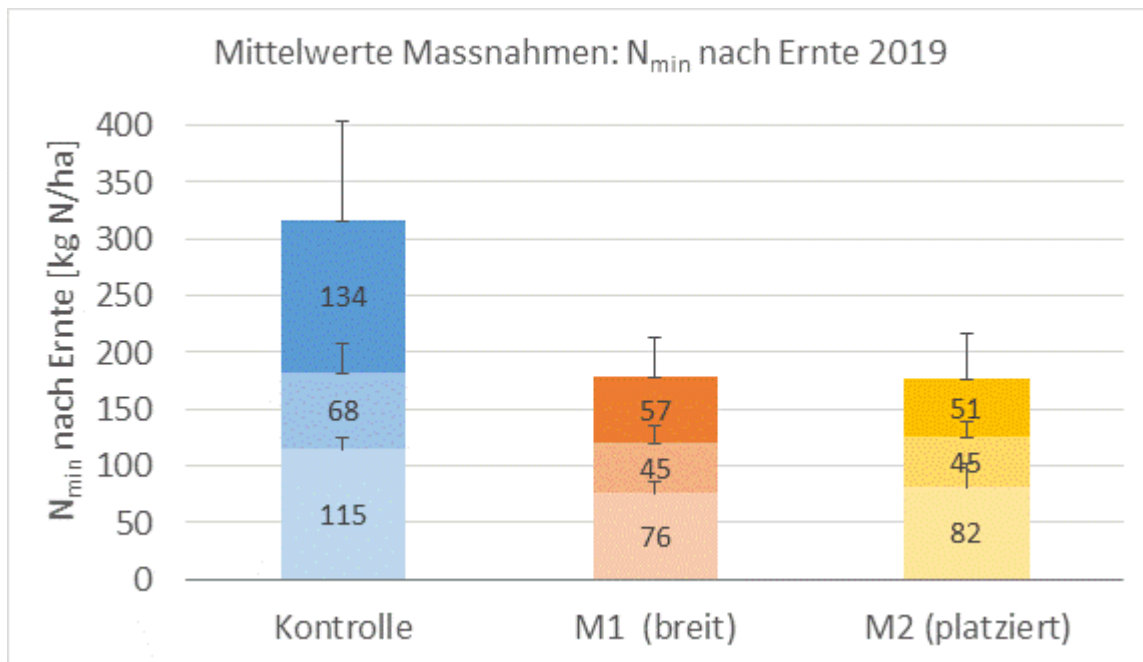


Abbildung 42: $N_{\min}$ -Gehalte nach Ernte, nach Massnahmen in 0 – 60 cm Tiefe im Jahr 2019; von oben nach unten: 0 – 15 cm (dunkel); 15 – 30 cm (mittel); 30 – 60 cm (hell).

Nach der Ernte lagen in den Kontrollplots noch 317 kg N/ha in den obersten 60 cm als $N_{\min}$ vor, davon 202 kg N/ha im Oberboden (Abbildung 42). Diese Werte liegen um ein Vielfaches höher als auf Gemüseschlägen in baden-württembergischen Wasserschutzgebieten (= Zuströmbereichen). Dort lag der mittlere Herbst- $N_{\min}$ -Gehalt nach der letzten Ernte für 0 – 90 cm bei 80 kg N/ha (2004 – 2011) bzw. 74 kg N/ha (2013 – 2016; Finck, 2012 und 2016).

Auch die Fruchtfolge kann problematisch sein, wenn die stark zehrenden und länger wachsenden Kohlgewächse und Zucchini Teil der letzten Ernte des Jahres sind. Sie hinterlassen grosse Mengen N (Zemek et al., 2020). Hier gibt es noch Lösungsbedarf. Die N-Zwischenspeicherung in Zwischeneinsaat / Winterbegrünung, möglicherweise auch in groben Pflanzenresten oder Boden, können hier einen Beitrag leisten.

In den Plots der beiden Massnahmen M1 und M2 wurde der $N_{\min}$ -Gehalt bei der Düngung angerechnet. Dadurch konnte der Rest- $N_{\min}$ -Gehalt nach Ernte auf 179 (M1) bzw. 177 kg N/ha (M2) beinahe halbiert werden. Die Reduktion fand zum grössten Teil in den ersten 15 cm statt. Insbesondere nach der letzten Kultur im Herbst konnte mit den Massnahmen das Risiko von Nitratauswaschung in das Grundwasser reduziert werden.

Die Berücksichtigung von $N_{\min}$ führte im ersten Jahr der Anwendung noch nicht zu einer Entleerung des mineralischen N-Speichers, sondern senkte diesen nur von einem ausserordentlich hohen (> 300 kg N/ha) auf ein sehr hohes Niveau (< 200 kg N/ha). Es wird erwartet, dass das $N_{\min}$ -Niveau auch bei fortgesetzter angepasster Düngung nach $N_{\min}$ sinkt. Jedoch steht aufgrund der sehr hohen Gesamt-N-Vorräte und dem engen C/N-Verhältnis (Tabelle 5) eine Aushagerung der Flächen auf Jahre hinaus nicht zu befürchten.

Bei der Einführung von Düngung nach $N_{\min}$ sollten auch die Auswirkungen auf den Boden-C-Speicher betrachtet werden, auch wenn sie nicht Ziel dieses Projekts war. Wenn nur die Düngung und sonst nichts geändert würde, käme es in einer ersten Phase durch Mineralisierung von C und N aus der organischen Substanz zu einem Humusschwund bei gleichzeitiger Erweiterung des C:N-Verhältnisses und

einer Stabilisierung des noch verbliebenen (Dauer-)Humus. Es würden also mit den labilen N-Speichern auch die labilen C-Speicher geleert. Diese Stabilisierung ist für den Grundwasserschutz gut. Sie steht aber im Konflikt mit anderen Zielen des Bodenschutzes und der Bodenfruchtbarkeit. Dieser Konflikt kann mit einem sinnvollen Management organischer Hofdünger und anderer pflanzlicher Reststoffe, die in der Region vorhanden sind, mindestens teilweise aufgelöst werden. Hierzu bedarf es aber gesonderter Überlegungen und eines mit der Beratung abgestimmten Ansatzes.

Unter dem Blickwinkel der N-Dynamik, der N-Effizienz und des Grundwasserschutzes stellt sich die heutige Praxis wie folgt dar (Abbildung 43):

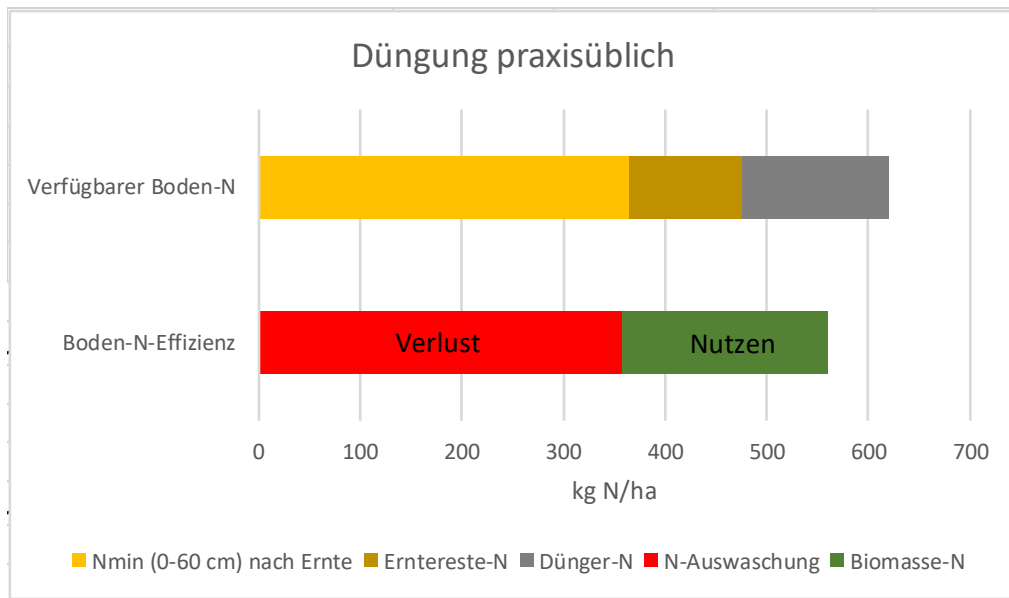


Abbildung 43: Leicht verfügbares N im Boden (Summe aus N_{min} + Erntereste + Dünger, oberer Balken) und dessen Verbleib in Sickerwasser und Pflanzen (unterer Balken).

Das Angebot an labilem N ist mit über 600 kg/ha auf den Gemüseflächen zurzeit extrem hoch und bedingt die potenziell und tatsächlich mit 334 kg N/(ha*Jahr) sehr hohe Auswaschung von N Richtung Grundwasser. Das hohe N-Angebot setzt sich aus 3 Fraktionen zusammen:

- 1) Die Nachlieferung von N_{min} aus dem Boden ist teils naturbedingt, teils durch die hohen organischen Inputs und Akkumulation mehrjähriger Überschüsse verursacht. Hier verbergen sich vermutlich auch (noch) nicht als Dünger wahrgenommene organische Strukturverbesserer (z.B. Kompost, festes Gärgut).
- 2) Die labilen Erntereste des Gemüses mit geringem Strukturanteil werden innerhalb von wenigen Wochen fast restlos abgebaut. Das in den Pflanzenresten gespeicherte N beträgt im Mittel 60 % des Pflanzenbedarfs. Dieser Pool steht schnell wieder zur Verfügung. Der Abbau beginnt unmittelbar nach dem Mulchen, so dass die Erntereste unmittelbar zur Ernährung der Folgekulturen beitragen können (Weier, 1999). Der genaue Verlauf ist von Bodenfeuchte und -temperatur abhängig (Robertson et al., 1988; Bruckler et al., 1997; De Neve et al., 1996; Magid et al., 2001).
- 3) Die Düngemenge orientiert sich z.Zt. am Entzug durch die Ganzpflanze. Sie wird in der Praxis aus der Erfahrung heraus mit kleinen Abschlägen insbesondere bei den Sommerkulturen nach unten korrigiert.

Das Ergebnis ist, dass in den jetzigen Systemen die N-Verluste fast zwei Drittel ausmachen und das durch Pflanzen genutzte N nur etwas mehr als ein Drittel.

Eine Haupte Erkenntnis dieses Projektes ist es, dass diese sehr grossen Verluste für die Betriebe unsichtbar waren, weil sie dazu keine Daten hatten. Im Gegenteil waren die Betriebe überzeugt, ökonomisch und nach Bedarf zu arbeiten. Tatsächlich arbeiteten alle drei Betriebe für ihren Kenntnisstand nach guter fachlicher Praxis und blieben mit ihrer Düngung im Mittel um 30 % unter dem Entzug durch die Ganzpflanzen bei geringen Unterschieden zwischen den Betrieben.

In dieser Erkenntnis liegt das Veränderungspotenzial und der Weg zu einer kooperativen Verbesserung, wie er mit den Pilotversuchen in 2019 angefangen wurde. Die Einsparungen werden aus diesen ersten, einjährigen Ergebnissen sichtbar (Abbildung 44).

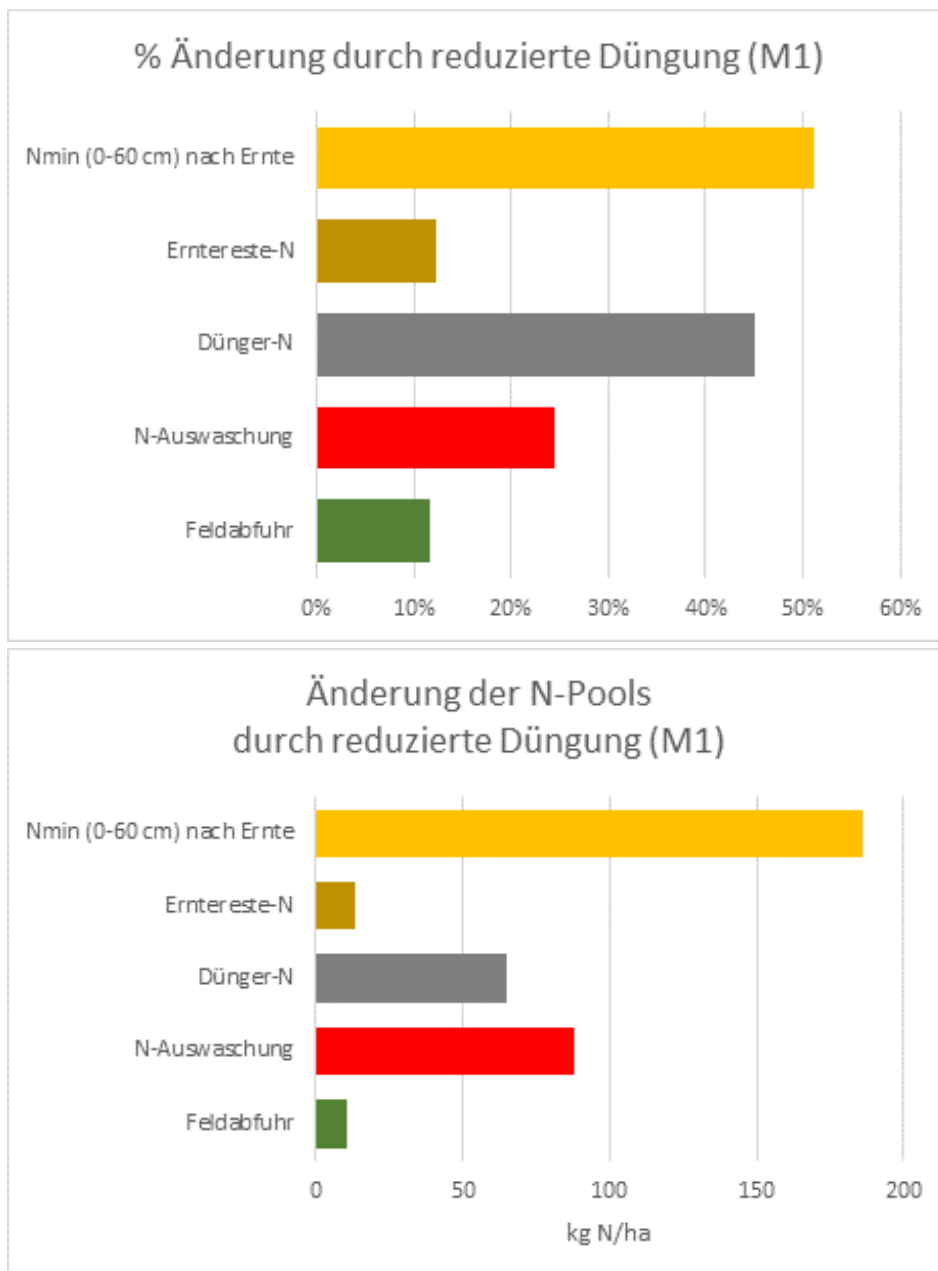


Abbildung 44: Auswirkungen der angepassten Düngung nach N_{min} (M1) auf Umwelt und Ertrag. Oben prozentuale Änderungen, unten absolute Änderungen; beide Darstellungen berechnet aus der Differenz Kontrollen – M1 aus Tabelle 6.

Gezeigt sind die Ergebnisse der Massnahme M1, die keine Änderungen der Praxis auf dem Betrieb bedeutet ausser geringeren Düngemengen. Die Düngung konnte um 45 % reduziert werden. Dadurch wurden die $N_{\min}$ -Werte im Boden halbiert. Die Auswaschung wurde um 25 % oder umgerechnet ca. 85 mg Nitrat/L gesenkt.

Dabei gingen die Erträge und Biomassen nicht signifikant (s.a. 3.2) zurück und es kam zu keinen Qualitätsproblemen. Die mögliche Tendenz zu geringeren Erträgen muss aber weiter beobachtet werden.

Die Aussagekraft ist aufgrund der einjährigen Messperiode und der wenigen Flächen sicherlich noch eingeschränkt. Es ist jedoch sichtbar, dass das in Abbildung 43 dargestellte ungünstige aktuelle N-Regime deutlich in Richtung Nutzen und Grundwasserschutz verschoben werden kann (Abbildung 44). Dabei muss die Praxis kaum angepasst, sondern nur der «wahre» Düngbedarf durch Messung ermittelt werden. Es konnte auch gezeigt werden, dass dadurch das Grundwasser erheblich entlastet wird.

Unklar ist die komplexe Wechselwirkung der angepassten Düngung auf die Boden-N-Dynamik, die Erträge und die absolute Höhe der Auswaschungen. Auch liegen keine Erkenntnisse zu jahres- und witterungsbedingten Einflüssen und möglichen Sondereffekten einer neuen Düngung auf die Erträge vor. Hierzu wurden auch Bedenken von den Betriebsverantwortlichen vorgebracht. Zuletzt steht noch die kulturabhängige und möglicherweise jahreszeitliche (Frühjahr vs. Sommer) Wirkung in Frage. Zur Abklärung dieser Fragen bedürfte es einer mehrjährigen, breiten Datenbasis.

4.2 Methodik

Für die Erhebung des Ist-Zustands wurden meist vollständige, teils reduzierte N-Bilanzen aus gemessenen und erhobenen lokalen Werten berechnet. Gasförmige Emissionen und Immissionen wurden auch wegen ihrer geringen Bedeutung für die Massenbilanz als sich gegenseitig aufhebend gleich Null gesetzt, was für eine Betrachtung im Grundwasserschutz (nicht im Klimaschutz) als sehr gut vertretbar angesehen wird.

Für den Vergleich der Massnahmen mit der aktuellen Praxis wurden durchgehend alle relevanten Parameter zur Beurteilung des N-Haushalts gemessen oder erhoben. Ausserdem wurden die für die Betriebe wichtigen Ertrags- und Qualitätsgrössen quantifiziert, um mögliche betriebliche Einbussen zu erkennen.

Die Kombination der angewendeten Methoden erlaubt genauso eine kulturspezifische Auswertung wie eine integrierte, feldbezogene Jahresüberschuss-Bilanz der Fruchtfolge. Zusätzlich werden die N-Verluste mit dem Sickerwasser quantifiziert. Damit ist sowohl der Dialog zu Beurteilung und Verbesserung der Kulturführung als auch die wasserwirtschaftliche Erfolgskontrolle möglich gewesen.

Die Methodik war geeignet, die wichtigsten Fragen des Grundwasserschutzes im Gemüsebau zu beantworten.

4.3 Schlussfolgerungen

Die gute fachliche Gemüsebau-Praxis auf dem jetzigen Stand ist aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten nicht ausreichend für den Schutz des Grundwassers im Perimeter des Nitrat-Projekts Niederbipp-Gäu-Olten. Die aktuellen jährlichen Auswaschungen 2018 und 2019 sind mit im Mittel 271 kg N/ha (ca. 270 mg Nitrat/L) zu hoch. In diesem problematischen Gebiet bedarf es einer Reduktion der N-Überschüsse auf ein verträglicheres Mass für das Grundwasser.

Die grossen labilen N-Reserven aus Ernteresten und Bodenspeicher (Vorräte meist > 10.000 kg N/ha, labiler Pool ca. 450 kg N/ha) müssen bei der Düngung zum Schutz des Grundwassers angerechnet und auf ein Normalmass zurückgeführt werden. Dies war in einem ersten Schritt über die Anrechnung von $N_{\min}$ ohne Betriebsanpassungen möglich (Massnahme M1). Dadurch wurde direkt die N-Nutzung erhöht und die Jahres-N-Verluste um im Mittel 88 kg N/ha (entspricht ca. -85 mg Nitrat/L) reduziert.

Der Besonderheit im Gemüse, dass die Marktqualität weiter stimmen muss, wenn die Düngemenge reduziert wird, wurde Rechnung getragen. Die Qualität der produzierten Ware in Massnahme M1 (Anrechnung von $N_{\min}$) war nahezu identisch. In keiner Kultur kam es zu Mängeln, die die Ware unverkäuflich machten. Es gab jedoch eine nicht signifikante Tendenz zur Abnahme der Massenerträge von ca. 5 %. Diese wiederum wurde möglicherweise mit durch das händische Ausbringen der Dünger in den Versuchsplots hervorgerufen.

Die ersten Praxistests haben also gezeigt, dass es mit dem heutigen Stand der Kenntnis verträgliche Optionen mit hohem bis sehr hohem Einsparpotenzial von Dünger gibt. Diese müssen nicht zur Einschränkung des Gemüsebaus bezüglich Kulturen und Flächen führen. Nach den vorläufigen Ergebnissen können bei guter Ausgestaltung auch der Ertrag und die Qualität des erzeugten Gemüses etwa auf dem jetzigen Level gehalten werden.

4.4 Ausblick

Die erarbeiteten Methoden und Handlungsoptionen könnten bei Aufnahme in die nächste Phase des Nitratprojekts Niederbipp-Gäu-Olten und bei entsprechender wissenschaftlicher Begleitung zunächst exemplarisch und dann zunehmend flächendeckend auf allen Betrieben > 5 ha im Perimeter eingeführt werden. Damit scheint es wahrscheinlich, die sehr hohen Überschüsse im Gemüsebau etwa halbieren zu können. Dazu bedarf es einer gemeinsamen Anstrengung aller Handelnden vom Betrieb über die Beratung bis zu den beteiligten Fachstellen und Bundesämtern.

Für den Gemüsebau bleibt das zentrale Erfordernis, dass eine hohe, verkäufliche Marktqualität mit den Massnahmen erreicht werden kann.

Für den Grundwasserschutz bleibt das zentrale Erfordernis, dass die Massnahmen wesentlich und nachweislich Nitrat im Sickerwasser reduzieren müssen, um von dem problematisch hohen Überschussniveau abzukommen.

Der gemeinsame Nenner ist die zurzeit geringe Nutzungseffizienz des Boden-N. Die Verschiebung von N-Verlusten zu N im Aufwuchs der Pflanze ist eine Win-Win-Situation, die es zu nutzen gilt. Die Gemüsebetriebe profitieren durch geringere Dünger- und Arbeitskosten. Der Trinkwasserschutz und die Umwelt als Ganzes profitieren von jedem Kilogramm Stickstoff weniger in der Landschaft.

Dazu bedarf es der möglichst flächigen Adaption verschiedener Massnahmen, die durch das Nitrat-Projekt unterstützt werden kann, und einer passenden Infrastruktur, insbesondere für die Anrechnung von $N_{\min}$ und den Datenaustausch.

Eine Reihe von Handlungsoptionen wurden im Rahmen der Ergebnispräsentationen auf den Betrieben mit den Praktikern besprochen. Die Erfolg versprechendsten Handlungsoptionen für die Zukunft zum Grundwasserschutz, die je nach Ausgestaltung auch Aussicht auf Umsetzung haben, wurden daraufhin noch ausgearbeitet und werden hier als Perspektiven vorgestellt.

4.5 Handlungsoptionen

In mehreren Gesprächen wurden aufgrund der Versuchsergebnisse und der auf den Betrieben vorhandenen grossen Erfahrung verschiedene Optionen diskutiert. Als Ergebnis der Gespräche wurden die wichtigsten Optionen zu Steckbriefen verdichtet. In den Steckbriefen werden der aktuelle Stand der Diskussion zu diesen Massnahmen aus Sicht der Landwirtschaft und des Grundwasserschutzes sowie praktische Gesichtspunkte aufgeführt.

4.5.1 Steckbrief: Angepasste Düngung nach $N_{\min}$ -Methode

Kurzbeschreibung:

Kurz vor dem Düngungstermin wird der im Boden vorhandene mineralische Stickstoff ($N_{\min}$) in verschiedenen Tiefen gemessen. Der gemessene $N_{\min}$ -Wert wird vom Soll-Wert der Düngung abgezogen (= Anrechnung von $N_{\min}$). Die Düngung wird entsprechend reduziert. Bis zu welcher Tiefe der $N_{\min}$ angerechnet wird, hängt von der Kultur und dem Zeitpunkt ab.

Perspektive Grundwasser:

- Massnahme mit direkter Wirkung. Jedes angerechnete kg $N_{\min}$ spart ein kg Dünger-N. Der umweltwirksame Überschuss wird 1:1 reduziert und steht nicht zur Auswaschung zur Verfügung.

Perspektive Landwirtschaft:

- Eine geringere N-Düngung könnte theoretisch den Pflanzen schaden und sollte daher eine Zeit lang auf Erfolg beobachtet werden.
- Die $N_{\min}$ -Messung stellt sicher, dass genügend N im Boden ist. Zuvor wurde dieser Wert nicht berücksichtigt oder teils aus Erfahrung geschätzt.
- Daher kann mit im Wesentlichen gleichen Erträgen und Qualitäten gerechnet werden. Auch Totalausfälle sollten nicht häufiger als vorher werden. Auch dieses sollte aber zunächst beobachtet und kann gegebenenfalls korrigiert werden.
- $N_{\min}$ -Probenahme, Analytik und Anrechnung erfordern Absprachen und/oder Zusatzarbeit und/oder Wartezeit. Diese müssen so klein und kurz wie möglich gehalten werden, um den Betriebsablauf nicht zu stören.
- Bei genügend grossen $N_{\min}$ -Vorräten im Boden können Düngetermine komplett entfallen oder Dünger gespart werden. Arbeits-, Dünger- und Maschinenkosten in der Bewirtschaftung können reduziert werden.

Akzeptanz: gut

Aufwand / Ablauf:

1. Keine Änderungen der Technik oder der Bewirtschaftung nötig.
2. Stunde 0: Landwirt meldet Fläche zur $N_{\min}$ -Beprobung an.
3. Stunde 1-24: Feld-Probenahme + Laboreinlieferung
4. Innerhalb 24 h nach Probeneingang: Laborergebnis + Rückmeldung zum anrechenbaren $N_{\min}$ bzw. direkte Angabe der Düngemenge pro Are
5. Spätestens 48 h nach Meldung: Düngung mit betriebsüblicher Technik möglich

Voraussetzungen:

- a) Externe Beauftragung an Dienstleister *oder*
 - b) Invest in Logistik (Probenahme, Transport, Kühlkette) und Labor (Analysengerät)
- Invest in Anpassung und Automatisierung der Düngerdatenbank zur Anrechnung von $N_{\min}$, basierend auf GRUD (Agroscope, 2017) bzw. detaillierter $N_{\min}$ -Sollwert-System (IGZ, 2011).
 - Probenahme, Analytik, Auswertung, Rückmeldung zur Düngung nahtlos verzahnt, im 2. Schritt automatisiert und digitalisiert.

Laufende Kosten und Ersparnisse:

- Probenahme, Transport, Analytik: 225 SFr/(Fläche*Düngetermin)
- Berechnung und Düngeempfehlung: Phase 1 kontrolliert: 32 SFr / Phase 2 automatisiert: 16 SFr
- Ersparnis N-Dünger: 80 – 160 SFr/(ha*Jahr) (bei 1,55 SFr/kg N; SZG, 2018)
- Ersparnis pro entfallenem Düngetermin Arbeitskosten + Maschinenkosten: 67 SFr (SZG, 2018)

4.5.2 Steckbrief: Winterbegrünung/Zwischenfrucht

Kurzbeschreibung:

Möglichst kurz nach der Ernte der letzten Gemüsekultur erfolgt die Einsaat einer Zwischenfrucht. Sie sollte den kurzen Rest der Vegetationsperiode für starkes Wachstum nutzen. Dabei wird der verfügbare Stickstoff aus dem Boden in die Pflanze eingelagert. In der für das Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten vorgesehenen Ausgestaltung sollen abfrierende Zwischenfrüchte wie Phacelia oder Sommerhafer eingesetzt werden, die frühestens am 15. Januar umgebrochen werden dürfen.

Perspektive Grundwasser:

- Massnahme mit indirekter Wirkung. Die Pflanzen der Winterbegrünung dienen als Zwischenspeicher für N und schützen es so temporär vor der sonst unvermeidbaren Winter-Auswaschung. Der Erfolg der Massnahme hängt im Wesentlichen von 2 Faktoren ab:
 1. Sind die N-Gesamtüberschüsse so klein, dass die N-Auswaschung nicht einfach nur nach hinten verschoben wird?
 2. Gelingt es, das gespeicherte N als anrechenbaren Dünger in die Kulturen des nächsten Jahres zu übertragen und so mit der Gemüseernte wieder abzufahren?

Wenn diese beiden Fragen mit Ja beantwortet werden können, handelt es sich um eine sehr wirksame Massnahme, um den Anteil vermeidbarer Überschüsse stark zu reduzieren. Die Winterauswaschung nach Kulturrende im Gemüsebau ist insbesondere nach Kohlgewächsen ein grosses Problem. Je nach Saattermin, Witterungsverlauf und Zwischenfrucht können 20 – 200 kg N/ha in der Winterbegrünung zwischengespeichert werden. Wirksam wird aber nur der Anteil, der über anrechenbaren Stickstoff von den Nachfolgekulturen aufgenommen wird.

- Ein Umbruch nach dem 15. Januar stellt einen Kompromiss zwischen Schutz vor Auswaschung (Umbruch je später desto besser) und Bodenstrukturproblemen (wetterabhängig, Umbruch je früher desto besser) dar.

Perspektive Landwirtschaft:

- Die Zwischenfrucht oder Winterbegrünung bedeutet einen Zusatzaufwand im Spätsommer und Herbst bei der Aussaat.
- Das eingearbeitete Pflanzenmaterial wirkt sich in der Regel gut auf die Bodenstruktur, den Humusgehalt und die Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen aus.
- Das gespeicherte N reduziert die Düngekosten und trägt zum Entfallen von Düngeterminen bei.
- Einige Ausgestaltungen der Massnahmen sind für den Gemüsebau problematisch und wurden daher nicht verpflichtend gemacht. Dazu gehören:
 1. Winterharte Zwischenfrüchte -> «Unkraut», ggf. zusätzliche Bodenbearbeitung und/oder Pflanzenschutzmittel
 2. später bis sehr später Umbruchtermin -> mögliche Probleme mit Struktur, Frostgare, Gesundheit, zusätzliche Bodenbearbeitung
 3. Feldabfuhr -> Befahrbarkeit im Winter, Bodenstruktur, Logistik, zusätzliche Bodenbearbeitung
 4. Brassicaceae sind zu vermeiden (Krankheitsdruck)
- Eine Verschlechterung der Bodenstruktur wird besonders kritisch gesehen, weil sie sich auf Ertrag und Qualität der nachfolgenden Kulturen auswirken kann. Ein Umbruch nach dem 15. Januar stellt einen Kompromiss zwischen Schutz vor Auswaschung (Umbruch je später desto besser) und Bodenstrukturproblemen (wetterabhängig, Umbruch je früher desto besser) dar.

Akzeptanz: mittel

Aufwand / Ablauf

1. Auswahl einer geeigneten Zwischenfrucht
2. Einsaat zügig nach Ernte der letzten Kultur
3. Umbruch oder Abfuhr der Zwischenfrucht
4. (Zusätzliche) Bodenbearbeitung

Voraussetzungen:

- Bei aktueller Ausgestaltung keine. Die Technik ist entweder auf den Betrieben oder bei Nachbarn vorhanden.

Laufende Kosten und Ersparnisse:

- Saatgut: 130 – 250 SFr/ha (SZG, 2018)
- Maschinen- und Arbeitskosten: 190 – 224 SFr/ha (SZG, 2018)
- Ersparnis: Dünger und Düngetermine durch erhöhtes Rest-N_{min} im Frühjahr (s. 4.5.1), Zahlen noch unbekannt

4.5.3 Steckbrief: Berücksichtigung organischer Reststoffe und Hofabfälle in der N-Bilanz

Kurzbeschreibung:

Jede Beaufschlagung eines Gemüsefeldes mit organischem Material wie Mist, Gülle, Biogasgärreste, Kompost, Grünschnitt, Ernteabfälle von anderen Feldern etc. soll in Menge, Art und ggf. Qualität erfasst werden. Dazu müssen sie auf den Datenblättern der Teilparzellen erfasst sein, um bei der Düngebilanz berücksichtigt werden zu können.

Für die verschiedenen Materialien sollten innerhalb des Projekts von Zeit zu Zeit lokale Stichproben genommen werden, die die Spannweite der N-Importe charakterisieren.

Im Rahmen der Umsetzung 2021 – 2026 sollte kooperativ zwischen Betrieb und Beratern entschieden werden, wie organische Dünger und Zuschlagsstoffe in Zukunft eingesetzt werden. Dabei geht es um Zeitpunkt der Ausbringung und Art des organischen Materials. Hierbei sollen insbesondere die Aspekte Düngerwirkung, Auswaschungsgefahr, Bodenstruktur und Hygiene berücksichtigt werden.

Unmittelbare Verbote bestimmter Materialien oder Zeitpunkte sind nicht geplant. Jedoch wird ein das Grundwasser schonender Einsatz organischer Dünger und Materialien erwartet.

Perspektive Grundwasser:

- Massnahme mit indirekter Wirkung. Die Anrechnung der organischen Inputs erfolgt z.Zt. noch praxisüblich durch Abschätzung und nach HoDuFlu. Danach werden organische Dünger nur teilweise oder rudimentär angerechnet und bilden eine zusätzliche Quelle von N-Überschüssen. Das ist zu Zwecken des Grundwasserschutzes nicht ausreichend.
- Organische Dünger sind in ihrer Umwelt- und Düngerwirkung schwerer abschätzbar als mineralische Dünger. In der vorgeschlagenen Ausgestaltung werden sie über Parzellenbilanzierung und $N_{\min}$ i.d.R. ausreichend miterfasst und angerechnet. Zumindest in den Sommermonaten führt dies vermutlich zu einer sehr effizienten Berücksichtigung und Vermeidung.
- Nach Einführung flächendeckender Massnahmen zur korrekten Berücksichtigung aller Düngarten wäre der Einsatz organischer Dünger jahreszeitabhängig nicht mehr problematisch und könnte sogar in der Region zu einer Entlastung anderer Flächen führen (Verbesserung der regionalen N-Bilanz). Ein generelles Verbot der Ausbringung im Gemüsebau ist also auch aus Umweltsicht nicht sinnvoll.
- Jedoch muss der Umgang mit Zeitpunkt der Ausbringung, Art und Menge in der Praxis vermutlich noch deutlich verbessert werden. Dazu gehört die Vermeidung N-reicher, strukturarmer organischer Dünger nach Ende der Kulturen im Herbst / Winter. Hierzu ist wahrscheinlich ein Lernprozess zum bewussten und verantwortlichen Umgang mit diesen vielfältigen Materialien nötig.

Perspektive Landwirtschaft:

- Das eingearbeitete Material wirkt sich in der Regel gut auf die Bodenstruktur, den Humusgehalt und die Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen aus. Richtig verwendet kann es einen guten Anteil der Düngung darstellen.
- Gerade im konventionellen Gemüsebau (und im Gegensatz zum Bio-Gemüsebau) wird organischer Dünger aber recht selten angerechnet, weil seine Wirksamkeit direkt nach Aufbringung nicht gut dokumentiert ist oder vorsichtig mit geringer Wirkung angerechnet wird. Im Rahmen der HoDuFlu-Erhebungen wird er jedoch auf die Betriebsbilanz angerechnet und auch teilweise anteilig berücksichtigt, um den Düngevorgaben gerecht zu werden.
- Die Aufbringung organischer Reste anderer Betriebe hat häufig eine soziale (Entsorgungs-) Komponente.
- Bei der Verwendung organischer Dünger, insbesondere tierischer Reststoffe, sind die Hygienevorschriften zu beachten.

- Bei der Übernahme von Feldern wird teilweise organischer Dünger beliebiger Herkunft und Menge zum Humusaufbau und zur Strukturverbesserung genommen. Diese Praxis gehört jedoch überprüft. Sinnvoll wäre ein Humusaufbau bzw. -erhalt mit eigenen Ernteresten, Zwischenfrucht und/oder teils holzigen oder strohigen Materialien mit hohem C/N-Verhältnis vor allem im Herbst.
- Damit kann auch der Besorgnis begegnet werden, die externen organischen Dünger würden für die Bodenstruktur gebraucht.
- Die Technik zur Ausbringung ist entweder auf den Betrieben oder bei Nachbarn vorhanden. Der Stand der Technik entscheidet mit über die Art der N-Emissionen (in Luft, Wasser, Boden)

Akzeptanz: mittel (in dieser Ausgestaltung)

Aufwand / Ablauf

1. Schulung zur Wirkung unterschiedlicher organischer Dünger zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit den praktisch Verantwortlichen
2. Kooperation mit beratenden Stellen vor der geplanten Ausbringung oder vor der Saison
3. Ausbringung wie bisher
4. Erfassung in der Parzellendatei von Art und Menge des Materials sowie Zeitpunkt der Ausbringung
5. Stichprobenartige Analysen auf Wassergehalt, C, N, Trockensubstanz.

Voraussetzungen:

- Keine

Laufende Kosten und Ersparnisse:

- Transport- und Ausbringungskosten: 5 SFr/m³; z.B. 500 SFr für 100 m³/ha (Latscha, 2020)
- Düngerersparnis durch erhöhtes N_{min}: bei 100 m³ Rinderflüssigmist/ha und 50 % N-Ausnutzung z.B. 19 SFr/ha (KTBL, 2018; SZG, 2018), möglicherweise weniger Düngetermine

5 Zusammenfassung

Ziel des Teilprojekts 2.2: «Gemüsebau in der Praxis» innerhalb des Forschungsprojekts «NitroGäu» war es zunächst, exemplarisch die Stickstoffverluste durch Auswaschung unter Praxisflächen des Gemüsebaus zu erheben. Die Ziele wurden im Projektverlauf erweitert. Es sollten vollständige N-Bilanzen erhoben und Massnahmen getestet werden. Aus den Ergebnissen sollten, wenn möglich, Handlungsoptionen zur Verbesserung der Düngepraxis abgeleitet werden.

Entsprechend wurden 2018 exemplarische Praxisdaten beginnend im Kanton Solothurn, 2019 gefolgt vom Kanton Bern, auf insgesamt drei Betrieben erhoben. Zusätzlich wurden erste Praxistests zur Wirksamkeit von Massnahmen im Grundwasserschutz im Jahr 2019 durchgeführt.

Für die Ist-Zustandserhebungen wurden 2018 fünf Flächen auf einem Betrieb und 2019 acht Flächen auf drei Betrieben untersucht. Zusätzlich wurden Massnahmen zur N-Reduktion auf vier Flächen getestet. Insgesamt wurden 21 Sätze von 10 Gemüsearten auf 13 Flächen untersucht.

Methodisch wurden quantitativ Ernten, N-Auswaschungen, $N_{\min}$, N-Vorräte und N-Düngung gemessen oder erhoben. Daraus wurden N-Bilanzen mit Aussagen zu Überschüssen, Effizienz und zur Beurteilung des N-Haushalts berechnet. Für den Vergleich der Massnahmen mit der aktuellen Praxis wurde analog verfahren. Ausserdem wurden die für die Betriebe wichtigen Ertrags- und Qualitätsgrössen quantifiziert, um mögliche betriebliche Einbussen zu erkennen.

In der jetzigen Praxis werden vom verfügbaren Nitrat zwei Drittel ausgewaschen und nur ein Drittel für den Pflanzenaufwuchs genutzt.

Alle drei Betriebe arbeiteten nach guter fachlicher Praxis und blieben mit ihrer Düngung ca. 60 kg N/(ha*Kultur) unter dem Entzug durch die Ganzpflanzen. Dennoch bedeutet dies aufgrund des hohen Anfalls von Ernteresten einen durchschnittlichen N-Überschuss von ebenfalls ca. 60 kg N/(ha*Kultur). Hinzu kommt der Totalausfall bei Qualitätsmängeln oder Problemen bei der Abnahme durch den Markt.

Die N-Verluste für 2018/19 und 2019/20 mit dem Sickerwasser waren mit 271 kg N/(ha* Jahr) auf den Praxisflächen im Mittel sehr hoch. Diese hohe N-Auswaschung erklärt sich nicht nur aus den aktuellen Überschüssen, sondern auch aus den grossen labilen N-Reserven aus Ernteresten und Bodenspeicher (Vorräte meist > 10.000 kg N/ha, labiler Pool ca. 370 kg N/ha, mittlerer $N_{\min}$ in 0 – 60 cm Tiefe: 245 kg N/ha).

Es wurden im Jahr 2019 vier Massnahmen zur Reduzierung der N-Überschüsse getestet:

M1: Breitwürfige Düngung (entspricht der Praxis) unter Berücksichtigung von $N_{\min}$ (4 Flächen)

M2: Platzierte Düngung unter Berücksichtigung von $N_{\min}$ (4 Flächen)

M3: Fertigation unter Berücksichtigung von $N_{\min}$ (1 Fläche)

M4: Entfernung der Erntereste bei nicht reduzierter Düngung (1 Fläche)

Die Einzelergebnisse von M3 und M4 waren so nicht zielführend und sind dem Volltext zu entnehmen.

Die beste Massnahme im Test war **M1**. Hierbei kam es im Durchschnitt zu geringen (ca. 5 %), nicht signifikanten Ertragseinbussen. Die Warenqualität war nahezu identisch. Die Düngung konnte im Durchschnitt um ca. 65 kg N/(ha*Kultur) gesenkt werden. Daraus resultierten um 88 kg N/(ha*Jahr) niedrigere Auswaschungen als in den Kontrollen, was einer Minderung um 25 % entspricht.

Auch bei **M2** konnte die Düngung um ca. 70 kg N/(ha*Kultur) gesenkt werden. Die Auswaschung ging um 63 kg N/(ha*Jahr) zurück. Es kam nicht zu grossen Qualitätseinbussen. Der Massenertrag ging aber im Mittel über alle Kulturen von 420 dt/ha (Kontrollen) auf 348 dt/ha um 17 % zurück. Zwar gab es ein paar Sondereffekte, die bei der kleinen Stichprobe ins Gewicht fallen. Jedoch ist **M2** mit neuer Technik für die Betriebe verbunden und nicht nachweislich besser als **M1**.

Die Ergebnisse wurden mit den beteiligten Betrieben ausführlich diskutiert und über mögliche Lösungen zur Reduktion der Nitrat-Problematik im Gemüsebau gesprochen.

Schlussfolgerungen

Die gute fachliche Gemüsebau-Praxis auf dem jetzigen Stand ist aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten nicht ausreichend für den Schutz des Grundwassers im Perimeter des Nitrat-Projekts Niederbipp-Gäu-Olten. Die aktuellen Auswaschungen sind mit im Mittel 271 kg N/ha (ca. 270 mg Nitrat/L) zu hoch. In diesem problematischen Gebiet bedarf es einer Reduktion der N-Überschüsse auf ein verträglicheres Mass für das Grundwasser.

Die grossen labilen N-Reserven aus Ernteresten und Bodenspeicher müssen bei der Düngung zum Schutz des Grundwassers angerechnet und verkleinert werden. Dies war in einem ersten Schritt über die Anrechnung von $N_{\min}$ bei der Düngung ohne sonstige Betriebsanpassungen möglich. Die Anrechnung von $N_{\min}$ bei der Düngung führte auch nicht zu signifikanten Ertrags- oder Qualitätseinbussen.

Ausblick und Handlungsoptionen

Für den Gemüsebau bleibt das zentrale Erfordernis, dass eine hohe, verkäufliche Marktqualität mit den Massnahmen erreicht werden kann.

Für den Grundwasserschutz bleibt das zentrale Erfordernis, dass die Massnahmen wesentlich und nachweislich Nitrat im Sickerwasser reduzieren müssen, um von dem problematisch hohen Überschussniveau abzukommen.

Der gemeinsame Nenner ist die zurzeit geringe Nutzungseffizienz des Boden-N. Die Verschiebung von N-Verlusten zu N im Aufwuchs der Pflanze ist eine Win-Win-Situation, die es zu nutzen gilt. Die Gemüsebetriebe profitieren durch geringere Dünger- und Arbeitskosten. Der Trinkwasserschutz und die Umwelt als Ganzes profitieren von jedem Kilogramm Stickstoff weniger in der Landschaft.

Es wurden drei Handlungsoptionen herausgearbeitet, die sich gegenseitig ergänzen.

1. Die Reduzierung der Düngemenge durch Berücksichtigung von $N_{\min}$ senkt die bisherigen, zu hohen N-Inputs, die über den Entzügen liegen und die Nachlieferung aus den labilen N-Pools nicht berücksichtigen.
2. Die Winterbegrünung/Zwischenfrucht reduziert den labilen N-Pool über Winter und bewahrt als Zwischenspeicher einen Teil des labilen N für die Kulturen des nächsten Jahres.
3. Das Gesamt-N aus organischen Reststoffen und Hofabfällen ist voll umweltwirksam. Auch die nicht direkt düngewirksamen Anteile stocken die Boden-Gesamtvorräte und den labilen N-Pool auf. Die organischen Materialien, die auf die Felder kommen, sollen deshalb voll in der N-Bilanzierung und Düngung berücksichtigt werden.

Für die notwendige starke Reduktion der N-Auswaschungen bedarf es der möglichst flächigen Adaption der Massnahmen und deren fachlicher Begleitung in der Einführungsphase. Diese kann durch das Nitrat-Projekt Niederbipp-Gäu-Olten und eine weitere wissenschaftliche Begleitung unterstützt werden.

Anmerkung für die Leserinnen und Leser des Vollberichts:

Die mittleren Zahlen der Zusammenfassung weichen von denen der zusammenfassenden Diskussion teilweise ab. In der Diskussion (Kap. 4) werden nur konsistente Datensätze miteinander verglichen. Das führt dazu, dass in Kap. 4 vor allem die Daten von 2019, teilweise eingeschränkt auf die 4 Flächen mit Massnahmen und Kontrollen für den direkten Vergleich verwendet werden. In der Zusammenfassung wurden dagegen die Gesamtmittelwerte aus allen verfügbaren Daten bevorzugt, wo sie nicht zum Vergleich benötigt werden.

6 Dank

Dieses Projekt wurde erst möglich durch die freundliche Förderung des Amtes für Umwelt des Kantons Solothurn (AfU), des Amtes für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA), des Amtes für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern (LANAT), des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), die auch mit ihren konstruktiven, kritischen Stimmen im Hintergrund und im Plenum zum Erfolg beigetragen haben.

Wir bedanken uns ganz herzlich bei den Mitarbeitern und Betriebsleitern der beteiligten Gemüsebaubetrieben für die gelungene Kooperation, ihr Vertrauen, ihre Unterstützung und die guten Gespräche.

Im Zuge des Gesamtprojekts möchten wir Else Bünemann-König für ihre sorgsame Koordination, Hanna Frick und Hannah Wey für die gute gemeinsame Zeit im Feld und die spannenden fachlichen Diskussionen sowie allen weiteren Beteiligten am Projekt NitroGäu für den immer freundlichen und interessanten fachlichen Austausch in den gemeinsamen Treffen bedanken. Ebenso bedanken wir uns sehr gerne bei der Begleitgruppe für offene Diskussionen, aus denen wir jedes Mal etwas lernen konnten und für ihre Unterstützung bei der vertiefenden Untersuchung im praktischen Gemüsebau.

7 Literatur

- Agroscope (2017): Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017); Koordinatoren: Walter Richner und Sokrat Sinaj, 276 S.
- Akkal-Corfini, N.; Morvan, T.; Menasseri-Aubry, S.; Bissuel-Belaygue, C.; Poulain, D.; Orsini, F.; Leterme, P. (2010): Nitrogen mineralization, plant uptake and nitrate leaching following the incorporation of (15N)-labeled cauliflower crop residues (*Brassica oleracea*) into the soil: A 3-year lysimeter study. *Plant and Soil* 328(1-2): 17-26.
- Ambus, P.; Jensen, E.S.; Robertson, G.P. (2001): Nitrous oxide and N-leaching losses from agricultural soil: Influence of crop residue particle size, quality and placement. *Phyton-Annales Rei Botanicae* 41(3): 7-15.
- Bischoff, W.-A. (2009): Development and Applications of the Self-Integrating Accumulators: A Method to Quantify the Leaching Losses of Environmentally relevant Substances. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte*, Heft 91, Herausgeber: Kandeler, E.; Kuzyakov, Y.; Stahr, K.; Streck, T.; Kaupenjohann, M., Universität Hohenheim, Stuttgart. 145 S.
- Bruckler, L.; De Cockborne, A.M.; Rebault, P.; Claudot, B. (1997): Spatial and temporal variability of nitrate in irrigated salad crops. *Irrigation Science* 17(2):53-61.
- Bünemann, E.; Frick, H.; Wey, H.; Hunkeler, D.; Bischoff, W.-A.; Schwarz, A.; Hug, R.; Gasche, T.; Müller, V. und Jäggi, T. (2019): Grundwasserverträglicher Acker- und Gemüsebau in der Region Gäu-Olten in *Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG, Hrsg.): DBG-Mitteilungen Band 119: Gemeinsame Jahrestagung der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz und der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 24. – 29. August 2019, Bern: Exkursionsführer, S. 100-109.
- Davies, D.B. (2000): The nitrate issue in England and Wales. *Soil Use and Management* 16: 142-144.
- De Neve, S.; Pannier, J.; Hofman, G. (1996): Temperature effects on C- and N-mineralization from vegetable crop residues. *Plant and Soil* 181(1): 25-30.
- Eidgenössisches Departement des Inneren (EDI, 2016): Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV) vom 16. Dezember 2016, Stand am 1. Juli 2020
- Eigenmann, M. (2018): Nitratauswaschung unter Gemüsebauflächen; Semesterarbeit an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften; Fachbereich Agronomie – Pflanzenwissenschaften; 29 S. + Datenanhang
- Everaarts, A.P.; Demoel, C.P.; van Noordwijk, M. (1996): The effect of nitrogen and the method of application on nitrogen uptake of cauliflower and on nitrogen in crop residues and soil at harvest. *Neth. J. Agric. Sci.* 44: 43-55.
- Finck, M. (2012): Nitratverlagerung – Bedeutung, Mechanismen und Lösungswege. Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung; Sachgebiet Wasserschutz, Referat Agrarökologie des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ); Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e.V. und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), Würzburg.
- Finck, M. (2016): SchALVO-Nitratbericht; Ergebnisse der Beprobung 2016: Ergebnisse der Nitratuntersuchungen von Böden aus Wasserschutzgebieten (WSG) gemäß der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung Baden-Württembergs (SchALVO); Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe.

- Fröhlicher, H. (1972): IV. Grundwasserprovinzen A. DIE TALSOHLEN DER HAUPTTÄLER (in hydrographischer Reihenfolge), in: Berichte der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Schweizerischen Geologischen Kommission, Hydrologischen Kommission (Eds.), Hydrogeologische Karte der Schweiz.
- Geypens, M.; Mertens, J.; Elst, P.V.; Bries, J. (2005): Evaluation of fall residual nitrogen influenced by soil chemical characteristics and crop history in Flanders (Belgium). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36(1-3): 363-372.
- Hauert, C.; v. Rohr, G.; Margreth, S.; Schmidhauser, A. und Gasche, T. (2017): Böden im Kanton Solothurn; in: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Solothurn, Heft 43; S. 49-175; verfügbar unter https://so.ch/fileadmin/internet/bjd/bjd-afu/20_Boden/2_Boden/fb-17-04_Boeden_im_Kanton_Solothurn.pdf
- Hunkeler, D.; Sonney, R.; Paratte, D.; Tallon, L.; Gerber, C. und Purtschert, R. (2015): Nitratprojekt Gäu-Olten: Hydrochemische Erkundung des Grundwasserleiters und Bestimmung der Altersstruktur; 109 S.
- Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Grossbeeren und Erfurt (IGZ, 2011): Düngung im Freilandgemüsebau; Schriftenreihe des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau Grossbeeren und Erfurt, Autoren: Feller, C. et al., 265 S.
- KTBL (2018): Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL, Hrsg.): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 15. Auflage, Darmstadt, 1379 S.
- Latscha (2020): freundliche mündliche Mitteilung zu lokalen Kosten.
- Magid, J.; Henriksen, O.; Thorup-Kristensen, K.; Mueller, T. (2001): Disproportionately high N-mineralisation rates from green manures at low temperatures - implications for modeling and management in cool temperate agro-ecosystems. *Plant and Soil* 228(1): 73-82.
- Meteo Schweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, 2018): Klimanormwerte Wynau, Normperiode 1981–2010, in: [climsheet_WYN_np8110_d.pdf](https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-diagrams-normal-values-station-processing/WYN/climsheet_WYN_np8110_d.pdf). URL: https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-diagrams-normal-values-station-processing/WYN/climsheet_WYN_np8110_d.pdf (abgerufen am 10.02.20).
- Nendel C. (2009): Evaluation of Best Management Practices for N fertilisation in regional field vegetable production with a small-scale simulation model; *European Journal of Agronomy* 30(2): 110-118.
- Prasuhn, V. & Spiess, E. (2003): Regional differenzierte Abschätzung der Nitratauswaschung über Betriebszählungsdaten. In: Bericht über die 10. Lysimetertagung; Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irdning, S.55-58.
- Robertson, G. P.; Huston, M.A.; Evans, F.C.; Tiedje, J.M. (1988): Spatial variability in a successional plant community: patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69: 1517-1524.
- Schweizerischer Bundesrat (2020): Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, Stand 1. April 2020.
- SZG (2018): Schweizerische Zentralstelle für Gemüsebau und Spezialkulturen (SZG, Hrsg.): ProfiCost Gemüse, Vollkosten und Deckungsbeiträge für den Anbau von Gemüse, Ausgabe 2018, Koppingen, 208 S.
- Weier, U. (1999): Späte Einarbeitung von Ernterückständen verringert die Gefahr der Nitratauswaschung über Winter. Versuche im deutschen Gartenbau, LVG Hannover-Ahlem.
- Zemek, O.; Neuweiler, R.; Spiess, E.; Stüssi, M.; Richner, W. (2020): Nitratauswaschungspotenzial im Freilandgemüsebau – eine Literaturstudie; *Agroscope Science* Nr. 95/2020; 117 S.

8 Anhang

8.1 Übersicht über die durchgeführten Tätigkeiten und Messungen

Tabelle 7: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 1, 2018. Die Untersuchungsfläche war nicht einheitlich mit derselben Kultur bepflanzt.

Feld 1					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	nur P 1: 4 SIA	
	04.04.2018	1. Düngung	kg N/ha	119	Mineraldünger
Frisée*	04.04.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	46200	
<i>Berechnung:</i> 28.04. 10 mm; 07.05. 18 mm; gesamt: 28	08.04.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	259	nach Düngung
	08.04.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	25	nach Düngung
	08.04.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	284	nach Düngung
	27.04.2018	Hacken			
	27.04.2018	2. Düngung	kg N/ha	27	Mineraldünger
	09.06.2018	N-Ernte	kg/ha	52	
	09.06.2018	N-Erntereste	kg/ha	24	
	10.06.2018	Unterpflügen			
	11.06.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	58	
Kopfsalat	19.06.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	58400	
<i>Berechnung:</i> 20.06. 18 mm; 22.06. 10 mm; 27.06. 18 mm; gesamt: 46	19.06.2018	1. Düngung	kg N/ha	78	Mineraldünger
	09.07.2018	Hacken			
	09.07.2018	2. Düngung	kg N/ha	27	Mineraldünger
	30.07.2018	N-Ernte	kg/ha	41	
	30.07.2018	N-Erntereste	kg/ha	44	
	03.08.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	214	
Sommerhafer	20.09.2018	Aussaat	kg/ha Samer	100	abfrierend
	06.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	2	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	72	
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	346	

* nicht geerntet

Feld 1					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	nur P 1: 4 SIA	
	04.04.2018	1. Düngung	kg N/ha	119	Mineraldünger
Endivie	04.04.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	46200	
<i>Berechnung:</i>	08.04.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	259	nach Düngung
28.04. 10 mm;	08.04.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	25	nach Düngung
07.05. 18 mm;	08.04.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	284	nach Düngung
gesamt: 28	27.04.2018	Hacken			
	27.04.2018	2. Düngung	kg N/ha	27	Mineraldünger
	05.06.2018	N-Ernte	kg/ha	24 bzw. über SIA 0	*
	05.06.2018	N-Erntereste	kg/ha	86 bzw. über SIA 110	*
	10.06.2018	Unterpflügen			Mineraldünger
	11.06.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	58	
Kopfsalat	19.06.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	58400	
<i>Berechnung:</i>	19.06.2018	1. Düngung	kg N/ha	78	Mineraldünger
20.06. 18 mm;	09.07.2018	Hacken			
22.06. 10 mm;	09.07.2018	2. Düngung	kg N/ha	27	Mineraldünger
27.06. 18 mm;	30.07.2018	N-Ernte	kg/ha	28	
gesamt: 46	30.07.2018	N-Erntereste	kg/ha	30	
	03.08.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	214	
Sommerhafer	20.09.2018	Aussaat	kg/ha Samen	100	abfrierend
	05.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	2	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	72	
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	346	

*4/9 Reihen geerntet; 5/9 R. untergepflügt, darunter die SIA

Tabelle 8: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 2, 2018.

Feld 2					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	12	
	25.03.2018	1. Düngung	kg N/ha	119	Mineraldünger
Cicorino rosso	27.03.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	58800	
<i>Beregnung:</i>	15.04.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	14	nach Düngung
17.04. 10 mm;	15.04.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	72	nach Düngung
28.04. 10 mm;	15.04.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	212	nach Düngung
<i>gesamt: 20</i>	27.04.2018	Hacken			
	22.05.2018	Mulchen			
	04.06.2018	Ernte			*
	12.06.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	117	**
	12.06.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	60	
	12.06.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	177	
Frisée	19.06.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	63000	
<i>Beregnung:</i>	19.06.2018	1. Düngung	kg N/ha	78	Mineraldünger
19.06. 18 mm;	09.07.2018	Hacken			
21.06. 10 mm;	09.07.2018	2. Düngung	kg N/ha	27	Mineraldünger
27.06. 18mm;	30.07.2018	N-Ernte	kg/ha	95	
<i>gesamt: 46</i>	30.07.2018	N-Erntereste	kg/ha	56	
	03.08.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	204	
Sommerhafer	20.09.2018	Aussaat	kg/ha Samen	100	abfrierend
	06.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	2	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	33	
	<i>gesamt</i>	<i>N-Sickerung (SIA)</i>	kg/ha	239	

* untergepflügt

** wegen Schossern, Kopfsalate 200-300g pro gemulchter Kopf statt 400g Erntegewicht

Tabelle 9: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 3, 2018. Die Untersuchungsfläche war nicht einheitlich mit derselben Kultur bepflanzt.

Feld 3a					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	nur P3: 4 SIA	
Brokkoli	26.03.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	40000	
<i>Beregnung:</i> 06.05. 18 mm; 07.05. 18 mm; gesamt: 36	26.03.2018	1. Düngung	kg N/ha	119	Mineraldünger
	27.03.2018	PSM*			
	08.04.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	192	nach Düngung
	08.04.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	24	nach Düngung
	08.04.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	216	nach Düngung
	28.04.2018	PSM*			
	30.04.2018	Hacken			
	30.04.2018	2. Düngung	kg N/ha	81	Mineraldünger
	21.05.2018	PSM*			
	10.06.2018	N-Ernte	kg/ha	58	
	10.06.2018	N-Erntereste	kg/ha	110	
Brokkoli	28.07.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	59000	
	28.07.2018	1. Düngung	kg N/ha	108	Mineraldünger
	19.10.2018	N-Ernte	kg/ha	57	
	19.10.2018	N-Erntereste	kg/ha	157	
	06.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	86	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	61	
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	147	

*Daten für PSM siehe Kulturblätter

Feld 3b					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	P1, 2: 8 SIA	
Früh-Kabis	26.03.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	40000	
<i>Beregnung:</i> 06.05. 18 mm; 07.05. 18 mm; gesamt: 36	26.03.2018	1. Düngung	kg N/ha	119	Mineraldünger
	27.03.2018	PSM*			
	28.04.2018	PSM*			
	30.04.2018	Hacken			
	30.04.2018	2. Düngung	kg N/ha	54	Mineraldünger
	21.05.2018	PSM*			
	30.07.2018	N-Ernte	kg/ha	276	
	30.07.2018	N-Erntereste	kg/ha	232	
Sommerhafer	20.09.2018	Aussaat	kg/ha Samen	100	abfrierend
	06.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	52	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	61	
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	113	

*Daten für PSM siehe Kulturblätter

Tabelle 10: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 4, 2018.

Feld 4					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	12	
	15.04.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	153	
	15.04.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	50	
	15.04.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	203	
Eisberg	16.04.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	56900	
Beregnung: 17.04. 10 mm; 24.04. 10 mm; 28.04. 10 mm; 06.05. 18 mm; gesamt: 48	16.04.2018	1. Düngung	kg N/ha	119	Mineraldünger
	08.05.2018	Hacken			
	08.05.2018	2. Düngung	kg N/ha	27	Mineraldünger
	07.06.2018	N-Ernte	kg/ha	34	
	07.06.2018	N-Erntereste	kg/ha	65	
Frisée	25.06.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	63000	
25.06. 18 mm; 27.06. 18 mm; gesamt: 36 mm	25.06.2018	1. Düngung	kg N/ha	78	Mineraldünger
	06.08.2018	N-Ernte	kg/ha	54	
	06.08.2018	N-Erntereste	kg/ha	16	
Sommerhafer	12.-21.09.2018	Aussaat	kg/ha Samen	100	abfrierend
	07.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	161	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	44	
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	205	

Tabelle 11: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 5, 2018.

Feld 5					2018
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Menge	Bemerkungen
	27./28.02.2018	SIA Einbau	Stück	12	
	12.04.2018	Nmin (0-30)	kg/ha	136	
	12.04.2018	Nmin (30-60)	kg/ha	48	
	12.04.2018	Nmin (0-60)	kg/ha	184	
Rot-Kabis	11.05.2018	1. Düngung	kg N/ha	97	*
27.05. 18mm; 25.06. 18 mm; 08.08. 18 mm; 26.08. 18 mm; 10.09. 18 mm; gesamt: 90 mm	26.-29.05.2018	Pflanzung	Pflanzen/ha	31100	
	11.06.2018	2. Düngung	kg N/ha	79	Mineraldünger
	11.06.2018	Hacken			
	23.10.2018	N-Ernte	kg/ha	95	
	23.10.2018	N-Erntereste	kg/ha	315	
	08.11.2018	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	121	
	25.02.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	8	
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	129	

*Mineraldünger, Düngung vor Aussaat wegen herbizider Wirkung

Tabelle 12: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.1; M2.1; M3.1) auf Feld 6, 2019.

Feld 6					2019		
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle	M1.1 (breit)	M2.1 (platziert)	M3.1 (Fertigation)
Sommerhafer z.T. abgefroren	27.02.2019	SIA Einbau					
		Pflug/Kreiselegge					
Kopfsalat*	01.05.2019	Pflanzung	Pflanzen/ha	74000	74000	74000	74000
Beregnung: 10 mm nach Satz; 18.05. 15 mm; gesamt: 25 mm	24.04.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	45	51	38	44
	24.04.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	52	47	43	41
	24.04.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	58	128	70	53
	24.04.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	155	226	151	138
	01.05.2019	1. Düngung	kg N/ha	99	57	15	15
	13.05.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	235	109	60	34
	13.05.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	83	88	61	44
	13.05.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	100	107	74	54
	13.05.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	418	304	195	132
	16.05.2019	2. Düngung	kg N/ha	51	0	14	66
	19.06.2019	N-Ernte	kg/ha	62	30	6	47
	19.06.2019	N-Erntereste	kg/ha	48	39	61	28
	11.07.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	465	145	43	49
	11.07.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	197	98	74	52
	11.07.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	223	107	81	51
	11.07.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	885	350	198	152
		Kreiselegge					
Endivie	13.07.2019	Pflanzung	Pflanzen/ha	62000	62000	62000	62000
Beregnung: Start 10 mm + 2*10 mm = 30 mm	13.07.2019	1. Düngung	kg N/ha	81	40	89	106
	30.08.2019	N-Ernte	kg/ha	93	76	66	88
	30.08.2019	N-Erntereste	kg/ha	53	62	75	45
	09.09.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	48	36	50	41
	09.09.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	23	30	33	49
	09.09.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	68	47	77	79
	09.09.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	139	113	160	169
	15.11.2019	Nitrat-Sickerung (\$	kg N/ha	233	240	222	110
	13.05.2020	Nitrat-Sickerung (\$	kg N/ha	163	61	81	47
	gesamt	Nitrat-Sickerung (\$	kg N/ha	396	301	303	156

* untergepflügt

Tabelle 13: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.2; M2.2) auf Feld 7, 2019.

Feld 7					2019	
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle	M1.2 (breit)	M2.2 (platziert)
Sommerhafer z.T. abgefroren	27.02.2019	SIA Einbau				
		Pflug/Kreiselegge				
Frisée	01.05.2019	Pflanzung	Pflanzen/h	74000	74000	74000
Beregnung: 10 mm nach Satz; 18.05. 15 mm; gesamt: 25 mm	24.04.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	65	63	57
	24.04.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	45	51	53
	24.04.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	73	76	80
	24.04.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	183	190	190
	02.05.2019	1. Düngung	kg N/ha	99	42	0
	13.05.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	202	47	34
	13.05.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	106	56	63
	13.05.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	110	88	93
	13.05.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	418	191	190
	16.05.2019	2. Düngung	kg N/ha	62	68	75*
	27.06.2019	N-Ernte	kg/ha	102	85	96
	27.06.2019	N-Erntereste	kg/ha	96	65	98
	11.07.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	197	81	92
	11.07.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	102	64	62
	11.07.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	151	95	92
	11.07.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	450	240	246
		Kreiselegge				
Cicorino rosso	13.07.2019	Pflanzung	Pflanzen/h	43000	43000	43000
	13.07.2019	1. Düngung	kg N/ha	81	40	40
	15.09.2019	N-Ernte	kg/ha	62	68	39
	15.09.2019	N-Erntereste	kg/ha	102	93	117
	14.11.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	30	34	45
	14.11.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	32	36	41
	14.11.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	38	55	63
	14.11.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	100	125	149
	15.11.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	196	162	195
	13.05.2020	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	151	99	104
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	347	261	299

* +9 kg N f. Nmin-Festlegung

Tabelle 14: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.3; M2.3) auf Feld 8, 2019.

Feld 8					2019	
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle	M1.3 (breit)	M2.3 (platziert)
Sommerhafer z.T. abgefroren	27.02.2019	SIA Einbau				
	24.04.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	43	43	43
	24.04.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	38	38	38
	24.04.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	115	115	115
	24.04.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	196	196	196
	30.05.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	29	29	29
	30.05.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	32	32	32
	30.05.2019	Nmin (30-60)	kg N/ha	73	73	73
	30.05.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	134	134	134
		Pflug/Kreiselegge				
Lagerkabis (weiß)	04.06.2019	Pflanzung	Pflanzen/ha	33300	33300	33300
	05.06.2019	1. Düngung	kg N/ha	95	40	40
Beregnung: gesamt: 36 mm	24.06.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	74	74	70
	24.06.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	65	59	56
	24.06.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	127	120	106
	24.06.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	266	253	232
	29.06.2019	2. Düngung	kg N/ha	99	83	104
	28.07.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	121	81	139
	28.07.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	93	76	71
	28.07.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	157	141	141
	28.07.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	371	298	351
	01.08.2019	3. Düngung	kg N/ha	0	0	0
	30.10.2019	N-Ernte	kg/ha	169	151	159
	30.10.2019	N-Erntereste	kg/ha	167	112	129
	14.11.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	20	20	38
	14.11.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	29	25	24
	14.11.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	29	56	28
	14.11.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	78	101	90
	15.11.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	29	17	31
	13.05.2020	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	64	87	63
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	93	104	94

Tabelle 15: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten mit verschiedenen Massnahmen (M1.4; M2.4; M4.4) auf Feld 9, 2019.

Feld 9							2019
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle	M1.4 (breit)	M2.4 (platziert)	M4.4 (Reste entfernt)
Vorkultur Eisberg	06.06.2019	SIA Einbau					
	07.06.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	66	66	66	66
	07.06.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	26	26	26	26
	07.06.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	58	58	58	58
	07.06.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	150	150	150	150
	05.06.2019	Pflug					
	14.06.2019	Kreiselegge					
Blumenkohl	14.06.2019	Pflanzung	Pflanzen/ha	46400	46400	46400	46400
	13.06.2019	1. Düngung	kg N/ha	120	36	36	120
	04.07.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	91	60	104	48
	04.07.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	70	57	53	56
	04.07.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	71	64	64	64
	04.07.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	232	181	221	168
	11.07.2019	2. Düngung	kg N/ha	81	79	39	81
	02.09.2019	N-Ernte	kg/ha	115	96	94	125
	02.09.2019	N-Erntereste	kg/ha	199	212	165	303
	09.09.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	45	27	37	38
	09.09.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	27	19	35	31
	09.09.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	179	96	149	174
	09.09.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	251	142	221	243
	12.11.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	282	147	231	171
	24.02.2020	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	296	254	257	223
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	578	401	488	394

Tabelle 16: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 10, 2019.

Feld 10				2019
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle
Vorkultur Kopfsalat	23.05.2019	SIA Einbau		
	11.06.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	24
	11.06.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	22
	11.06.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	28
	11.06.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	74
	05.06.2019	Pflug		
	12.06.2019	Kreiselegge		
Zucchetti (Fertigation)	12.06.2019	Pflanzung	Pflanzen/ha	10360
	12.06.2019	1. Düngung	kg N/ha	18*
	04.07.2019	2. Düngung	kg N/ha	15*
	15.07.2019	3. Düngung	kg N/ha	15*
	29.07.2019	4. Düngung	kg N/ha	15*
	05.08.2019	5. Düngung	kg N/ha	15*
	12.08.2019	6. Düngung	kg N/ha	15*
	26.08.2019	7. Düngung	kg N/ha	15*
	04.10.2019	N-Ernte	kg/ha	108
	04.10.2019	N-Erntereste	kg/ha	247
	04.10.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	43
	04.10.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	24
	04.10.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	36
	04.10.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	103
	08.11.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	75
	24.02.2020	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	128
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	203

* Düngung mit Fertigation / Dosatron-System

Tabelle 17: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 11, 2019.

Feld 11				2019
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle
Vorkultur Blumenkohl		KEINE SIA		
	13.06.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	20
	13.06.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	42
	13.06.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	23
	13.06.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	85
	11.06.2019	Pflug		
	19.06.2019	Kreiselegge		
Eisberg	19.06.2019	Pflanzung	Pflanzen/ha	83300
	19.06.2019	1. Düngung	kg N/ha	53
	04.07.2019	2. Düngung	kg N/ha	54*
	05. +	N-Ernte	kg/ha	43
	09.08.2019	N-Erntereste	kg/ha	177
	09.08.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	24
	09.08.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	30
	09.08.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	22
	09.08.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	76
	04.10.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	39
	04.10.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	27
	04.10.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	35
	04.10.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	101

* Nmin zur Kopfdüngung nicht untersucht

Tabelle 18: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 12, 2019.

Feld 12				2019
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle
Vorkultur Sellerie (2018)		KEINE SIA		
Blumenkohl	20.05.019	Pflanzung	Pflanzen/ha	42350
	22.05.2019	1. Düngung	kg N/ha	180
	23.05.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	53*
	23.05.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	54
	23.05.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	83
	23.05.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	190
	entfällt	2. Düngung	kg N/ha	63
	29.07. + 09.08.	N-Ernte	kg/ha	53
	29.07.2019	N-Erntereste	kg/ha	108
	04.10.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	45
	04.10.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	38
	04.10.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	39
	04.10.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	122

* Nmin nach 180 kg N-Düngung

Tabelle 19: Übersichtsplan der durchgeführten Tätigkeiten auf Feld 13, 2019.

Feld 13				2019
Kultur	Datum	Aktion	Einheiten	Kontrolle
Vorkultur Lauch	23.05.2019	SIA Einbau		
	23.05.2019	Nmin (0-15)	kg/ha	23
	23.05.2019	Nmin (15-30)	kg/ha	18
	23.05.2019	Nmin (30-60)	kg/ha	23
	23.05.2019	Nmin (0-60)	kg/ha	64
Zucchetti	24.05.019	Pflanzung	Pflanzen/ha	94000
(Fertigation)	27.05.2019	1. Düngung	kg N/ha	96
	19.07.2019	N-Ernte	kg/ha	96
	19.07.2019	N-Erntereste	kg/ha	0*
	08.11.2019	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	241
	24.02.2020	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	78
	gesamt	N-Sickerung (SIA)	kg/ha	319

* keine Reste, da im Lager geputzt

8.2 Ernteerhebungen

Tabelle 20: Anteil marktfähiges Erntegut, 2018.

Feld	Erntedatum	Kultur	marktfähig [%]	Masse Ernte [dt/ha]
Feld 1	09.06.2018	Frisée*/**		0
	09.06.2018	Endivie**		0
	24.07.2018	Kopfsalat Freiland	60	238
Feld 2	10.06.2018	Cicorino rosso*	0	0
	30.07.2018	Frisée	84	636
Feld 3a	10.06.2018	Brokkoli	0***	150
	19.10.2018	Brokkoli	72	95
Feld 3b	30.07.2018	Frühkabis (Folie)	89	1379
Feld 4	11.06.2018	Eisberg	0	352
	06.08.2018	Frisée	88	249
Feld 5	23.10.2018	Rot-Kabis	55	413
* nicht geerntet				
** nur Masse Aufwuchs bekannt (Frisée: 378 dt/ha; Endivie: 668 dt/ha)				
*** nur 2. Ernte ermittelt				

Tabelle 21: N-Entzüge, 2018.

Feld	Erntedatum	Kultur	N-Ernte	N-Ernterest [kg/ha]	N-Entzüge
Feld 1	09.06.2018	Frisée*	52	24	76
	09.06.2018	Endivie*	24	86	110
	24.07.2018	Kopfsalat	41	44	85
Feld 2	10.06.2018	Cicorino rosso*	-	-	-
	30.07.2018	Frisée	95	56	151
Feld 3a	10.06.2018	Brokkoli	58	110	168
	19.10.2018	Brokkoli	57	157	214
Feld 3b	30.07.2018	Frühkabis (Folie)	276	232	508
Feld 4	11.06.2018	Eisberg	34	65	99
	06.08.2018	Frisée	54	16	70
Feld 5	23.10.2018	Rot-Kabis	95	315	410
* nicht geerntet					

Tabelle 22: Anteil marktfähiges Erntegut, 2019.

Feld	Erntedatum	Kultur	Massnahme	marktfähig [%]	Masse Ernte [dt/ha]
Feld 6	21.06.2019	Kopfsalat*	Kontrolle	82	260
			M1.1	70	196
			M2.1	14	34
			M3.1	90	278
	29.08.2019	Endivie	Kontrolle	88	391
			M1.1	83	330
			M2.1	75	264
			M3.1	95	399
Feld 7	28.06.2019	Frisée	Kontrolle	91	367
			M1.2	89	366
			M2.2	89	382
	21.10.2019	Cicorino rosso	Kontrolle	89	273
			M1.2	93	309
			M2.2	79	185
Feld 8	21.10.2019	Lagerkabis weiss	Kontrolle	96	816
			M1.3	100	839
			M2.3	100	870
Feld 9	29.08.2019	Blumenkohl	Kontrolle	73	415
			M1.4	72	346
			M2.4	73	350
			M4.4	91	480
Feld 10	10.09.2019	Zucchetti	Kontrolle	-	433
Feld 11	05.08.2019	Eisberg	Kontrolle	70	435
Feld 12	29.07.2019	Blumenkohl	Kontrolle	53	235
Feld 13	19.07.2019	Eisberg	Kontrolle	70	168
* nicht geerntet					

Tabelle 23: N-Entzüge, 2019.

Feld	Erntedatum	Kultur	Massnahme	N-Abfuhr	N-Ernterest [kg/ha]	N-Entzüge
Feld 6	21.06.2019	Kopfsalat*	Kontrolle	61	48	109
			M1.1	31	39	70
			M2.1	6	61	67
			M3.1	48	28	76
	29.08.2019	Endivie	Kontrolle	93	53	146
			M1.1	76	62	138
			M2.1	66	75	141
			M3.1	88	45	133
Feld 7	28.06.2019	Frisée	Kontrolle	102	96	198
			M1.2	85	65	150
			M2.2	96	98	194
	21.10.2019	Cicorino rosso	Kontrolle	62	102	164
			M1.2	68	93	161
			M2.2	39	117	156
Feld 8	21.10.2019	Lagerkabis weiss	Kontrolle	169	167	336
			M1.3	151	112	263
			M2.3	159	129	288
Feld 9	29.08.2019	Blumenkohl	Kontrolle	115	199	314
			M1.4	96	212	308
			M2.4	94	165	259
			M4.4	428	0	428
Feld 10	10.09.2019	Zucchetti	Kontrolle	108	247	355
Feld 11	05.08.2019	Eisberg	Kontrolle	43	177	220
Feld 12	29.07.2019	Blumenkohl	Kontrolle	53	108	161
Feld 13	19.07.2019	Eisberg	Kontrolle	67	37	104
* nicht geerntet						

8.3 $N_{\min}$ -Gehalte

Tabelle 24: $N_{\min}$ -Gehalte Felder 1 – 5, 2018.

Beprobungs- Datum	Feld- Nr.	Kultur	Maßnahme Düngung	Termin	$N_{\min}$ (0-30 cm) [kg/ha]	$N_{\min}$ (30-60 cm) [kg/ha]	$N_{\min}$ (0-60 cm) [kg/ha]
08.04.2018	Feld 1	Frisée/Endivie	Kontrolle	nach Pflanzung	259	25	284
15.04.2018	Feld 2	Cicorino rosso	Kontrolle		140	72	212
12.06.2018	Feld 2	Cicorino rosso	Kontrolle	nach Ernte	117	60	177
08.04.2018	Feld 3	Brokkoli	Kontrolle	nach Pflanzung	192	24	216
15.04.2018	Feld 4	Eisberg	Kontrolle	vor Pflanzung	153	50	203
12.04.2018	Feld 5	Rot-Kabis	Kontrolle	vor Pflanzung	136	48	184

Tabelle 25: $N_{\min}$ -Gehalte Felder 6 und 7, 2019.

Beprobungs- Datum	Feld- Nr.	Kultur	Maßnahme Düngung	Termin	$N_{\min}$ (0-15 cm) [kg/ha]	$N_{\min}$ (15-30 cm) [kg/ha]	$N_{\min}$ (30-60 cm) [kg/ha]	$N_{\min}$ (0-60 cm) [kg/ha]
24.04.2019	Feld 6	Kopfsalat	Kontrolle	vor 1. Düngung	45	52	58	155
24.04.2019	Feld 6	Kopfsalat	M1.1 (breit)	vor 1. Düngung	51	47	128	226
24.04.2019	Feld 6	Kopfsalat	M2.1 (platziert)	vor 1. Düngung	38	43	70	151
24.04.2019	Feld 6	Kopfsalat	M3.1 (Fertigation)	vor 1. Düngung	44	41	53	138
13.05.2019	Feld 6	Kopfsalat	Kontrolle	vor 2. Düngung	235	83	100	418
13.05.2019	Feld 6	Kopfsalat	M1.1 (breit)	vor 2. Düngung	109	88	107	304
13.05.2019	Feld 6	Kopfsalat	M2.1 (platziert)	vor 2. Düngung	60	61	74	195
13.05.2019	Feld 6	Kopfsalat	M3.1 (Fertigation)	vor 2. Düngung	34	44	54	132
11.07.2019	Feld 6	Kopfsalat	Kontrolle	nach Ernte	465	197	223	885
11.07.2019	Feld 6	Kopfsalat	M1.1 (breit)	nach Ernte	145	98	107	350
11.07.2019	Feld 6	Kopfsalat	M2.1 (platziert)	nach Ernte	43	74	81	198
11.07.2019	Feld 6	Kopfsalat	M3.1 (Fertigation)	nach Ernte	49	52	51	152
09.09.2019	Feld 6	Endivie	Kontrolle	nach Ernte	48	23	68	139
09.09.2019	Feld 6	Endivie	M1.1 (breit)	nach Ernte	36	30	47	113
09.09.2019	Feld 6	Endivie	M2.1 (platziert)	nach Ernte	50	33	77	160
09.09.2019	Feld 6	Endivie	M3.1 (Fertigation)	nach Ernte	41	49	79	169
24.04.2019	Feld 7	Frisée	Kontrolle	vor 1. Düngung	65	45	73	183
24.04.2019	Feld 7	Frisée	M1.2 (breit)	vor 1. Düngung	63	51	76	190
24.04.2019	Feld 7	Frisée	M2.2 (platziert)	vor 1. Düngung	57	53	80	190
13.05.2019	Feld 7	Frisée	Kontrolle	vor 2. Düngung	202	106	110	418
13.05.2019	Feld 7	Frisée	M1.2 (breit)	vor 2. Düngung	47	56	88	191
13.05.2019	Feld 7	Frisée	M2.2 (platziert)	vor 2. Düngung	34	63	93	190
11.07.2019	Feld 7	Frisée	Kontrolle	nach Ernte	197	102	151	450
11.07.2019	Feld 7	Frisée	M1.2 (breit)	nach Ernte	81	64	95	240
11.07.2019	Feld 7	Frisée	M2.2 (platziert)	nach Ernte	92	62	92	246
14.11.2019	Feld 7	Cicorino rosso	Kontrolle	nach Ernte	30	32	38	100
14.11.2019	Feld 7	Cicorino rosso	M1.2 (breit)	nach Ernte	34	36	55	125
14.11.2019	Feld 7	Cicorino rosso	M2.2 (platziert)	nach Ernte	45	41	63	149

Tabelle 26: N_{min} -Gehalte Felder 8 – 13, 2019.

Beprobungs-Datum	Feld-Nr.	Kultur	Maßnahme Düngung	Termin	N_{min} (0-15 cm) [kg/ha]	N_{min} (15-30 cm) [kg/ha]	N_{min} (30-60 cm) [kg/ha]	N_{min} (0-60 cm) [kg/ha]
24.04.2019	Feld 8	nach abgefrorenem Sommerhafer	Kontrolle		43	38	115	196
24.04.2019	Feld 8	nach abgefrorenem Sommerhafer	M1.3 (breit)		43	38	115	196
24.04.2019	Feld 8	nach abgefrorenem Sommerhafer	M2.3 (platziert)		43	38	115	196
30.05.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	Kontrolle	vor 1. Düngung	29	32	73	134
30.05.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M1.3 (breit)	vor 1. Düngung	29	32	73	134
30.05.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M2.3 (platziert)	vor 1. Düngung	29	32	73	134
24.06.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	Kontrolle	vor 2. Düngung	74	65	127	266
24.06.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M1.3 (breit)	vor 2. Düngung	74	59	120	253
24.06.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M2.3 (platziert)	vor 2. Düngung	70	56	106	232
28.07.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	Kontrolle	vor 3. Düngung	121	93	157	371
28.07.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M1.3 (breit)	vor 3. Düngung	81	76	141	298
28.07.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M2.3 (platziert)	vor 3. Düngung	139	71	141	351
14.11.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	Kontrolle	nach Ernte	20	29	29	78
14.11.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M1.3 (breit)	nach Ernte	20	25	56	101
14.11.2019	Feld 8	Lagerkabis (weiss)	M2.3 (platziert)	nach Ernte	38	24	28	90
07.06.2019	Feld 9	Blumenkohl	Kontrolle	vor 1. Düngung	66	26	58	150
07.06.2019	Feld 9	Blumenkohl	M1.4 (breit)	vor 1. Düngung	66	26	58	150
07.06.2019	Feld 9	Blumenkohl	M2.4 (platziert)	vor 1. Düngung	66	26	58	150
07.06.2019	Feld 9	Blumenkohl	M4.4 (Reste entfernt)	vor 1. Düngung	66	26	58	150
04.07.2019	Feld 9	Blumenkohl	Kontrolle	vor 2. Düngung	91	70	71	232
04.07.2019	Feld 9	Blumenkohl	M1.4 (breit)	vor 2. Düngung	60	57	64	181
04.07.2019	Feld 9	Blumenkohl	M2.4 (platziert)	vor 2. Düngung	104	53	64	221
04.07.2019	Feld 9	Blumenkohl	M4.4 (Reste entfernt)	vor 2. Düngung	48	56	64	168
09.09.2019	Feld 9	Blumenkohl	Kontrolle	nach Ernte	45	27	179	251
09.09.2019	Feld 9	Blumenkohl	M1.4 (breit)	nach Ernte	27	19	96	142
09.09.2019	Feld 9	Blumenkohl	M2.4 (platziert)	nach Ernte	37	35	149	221
09.09.2019	Feld 9	Blumenkohl	M4.4 (Reste entfernt)	nach Ernte	38	31	174	243
11.06.2019	Feld 10	Zucchetti (Fertigation)	Kontrolle	vor 1. Düngung	24	22	28	74
04.10.2019	Feld 10	Zucchetti (Fertigation)	Kontrolle	nach Ernte	43	24	36	103
13.06.2019	Feld 11	Eisberg	Kontrolle	vor 1. Düngung	20	42	23	85
09.08.2019	Feld 11	Eisberg	Kontrolle	nach Ernte	24	30	22	76
04.10.2019	Feld 11	Eisberg	Kontrolle	Herbst	39	27	35	101
23.05.2019	Feld 12	Blumenkohl	Kontrolle	nach 1. Düngung	53	54	83	190
04.10.2019	Feld 12	Blumenkohl	Kontrolle	nach Ernte	45	38	39	122
23.05.2019	Feld 13	Eisberg	Kontrolle	vor 1. Düngung	23	18	23	64

8.4 Nitrat- und Ammoniumauswaschung

Tabelle 27: N-Auswaschung, einzelne Messperioden, 2018.

Messperiode	Feld-Nr.	Massnahme	Kulturen	N-Auswaschung [kg/ha]
27.02. – 11.06.18	Feld 1	Kontrolle	Frisée/Endivie	58
11.06. – 03.08.18	Feld 1	Kontrolle	Kopfsalat	214
03.08.18 – 05.11.18	Feld 1	Kontrolle	nach Kopfsalat	2
05.11.18 – 25.02.19	Feld 1	Kontrolle	Sommerhafer	72
27.02. – 03.08.18	Feld 2	Kontrolle	Cicorino rosso - Frisée	204
27.02. – 03.08.18	Feld 2	Kontrolle	Sommerhafer	2
06.11.18 – 25.02.19	Feld 2	Kontrolle	Sommerhafer	33
27.02. – 06.11.18	Feld 3a	Kontrolle	Brokkoli - Brokkoli	86
06.11.18 – 25.02.19	Feld 3a	Kontrolle	Sommerhafer	61
27.02. – 06.11.18	Feld 3b	Kontrolle	Früh-Kabis	52
06.11.18 – 25.02.19	Feld 3b	Kontrolle	Sommerhafer	61
27.02. – 07.11.18	Feld 4	Kontrolle	Eisberg - Frisée	161
07.11.18 – 25.02.19	Feld 4	Kontrolle	Sommerhafer	44
27.02. – 08.11.18	Feld 5	Kontrolle	Rot-Kabis	121
08.11.18 – 25.02.19	Feld 5	Kontrolle	nach Rot-Kabis	8

Tabelle 28: N-Auswaschung, gesamtes Messjahr, 2018.

Messperiode	Feld-Nr.	Massnahme	Kulturen	N-Auswaschung gesamt [kg/ha]
27.02.18 – 25.02.19	Feld 1	Kontrolle	Frisée/Endivie - Kopfsalat - Sommerhafer	346
27.02.18 – 25.02.19	Feld 2	Kontrolle	Cicorino rosso - Frisée - Sommerhafer	239
27.02.18 – 25.02.19	Feld 3a	Kontrolle	Brokkoli - Brokkoli - Sommerhafer	147
27.02.18 – 25.02.19	Feld 3b	Kontrolle	Früh-Kabis - Sommerhafer	113
27.02.18 – 25.02.19	Feld 4	Kontrolle	Eisberg - Frisée - Sommerhafer	205
27.02.18 – 25.02.19	Feld 5	Kontrolle	Rot-Kabis	129

Tabelle 29: N-Auswaschung, einzelne Messperioden, 2019.

Messperiode	Feld-Nr.	Massnahme	Kulturen	N-Auswaschung [kg/ha]
27.02. – 15.11.19	Feld 6	Kontrolle	Kopfsalat - Endivie	233
27.02. – 15.11.19	Feld 6	M1.1 (breit)	Kopfsalat - Endivie	240
27.02. – 15.11.19	Feld 6	M2.1 (platziert)	Kopfsalat - Endivie	222
27.02. – 15.11.19	Feld 6	M3.1 (Fertigation)	Kopfsalat - Endivie	110
15.11.19 – 13.05.20	Feld 6	Kontrolle		163
15.11.19 – 13.05.20	Feld 6	M1.1 (breit)		61
15.11.19 – 13.05.20	Feld 6	M2.1 (platziert)		81
15.11.19 – 13.05.20	Feld 6	M3.1 (Fertigation)		47
27.02. – 15.11.19	Feld 7	Kontrolle	Frisée - Cicorino rosso	196
27.02. – 15.11.19	Feld 7	M1.2 (breit)	Frisée - Cicorino rosso	162
27.02. – 15.11.19	Feld 7	M2.2 (platziert)	Frisée - Cicorino rosso	195
15.11.19 – 13.05.20	Feld 7	Kontrolle		151
15.11.19 – 13.05.20	Feld 7	M1.2 (breit)		99
15.11.19 – 13.05.20	Feld 7	M2.2 (platziert)		104
27.02. – 15.11.19	Feld 8	Kontrolle	Lagerkabis (weiss)	29
27.02. – 15.11.19	Feld 8	M1.3 (breit)	Lagerkabis (weiss)	17
27.02. – 15.11.19	Feld 8	M2.3 (platziert)	Lagerkabis (weiss)	31
15.11.19 – 13.05.20	Feld 8	Kontrolle		64
15.11.19 – 13.05.20	Feld 8	M1.3 (breit)		87
15.11.19 – 13.05.20	Feld 8	M2.3 (platziert)		63
06.06. – 12.11.19	Feld 9	Kontrolle	Blumenkohl	282
06.06. – 12.11.19	Feld 9	M1.4 (breit)	Blumenkohl	147
06.06. – 12.11.19	Feld 9	M2.4 (platziert)	Blumenkohl	231
06.06. – 12.11.19	Feld 9	M4.4 (Reste entfernt)	Blumenkohl	171
12.11.19 – 24.02.20	Feld 9	Kontrolle		296
12.11.19 – 24.02.20	Feld 9	M1.4 (breit)		254
12.11.19 – 24.02.20	Feld 9	M2.4 (platziert)		257
12.11.19 – 24.02.20	Feld 9	M4.4 (Reste entfernt)		223
06.06. – 08.11.19	Feld 10	Kontrolle	Zucchetti	75
08.11.19 – 24.02.20	Feld 10	Kontrolle		128
23.05. – 08.11.19	Feld 13	Kontrolle	Eisbergsalat	241
08.11.19 – 24.02.20	Feld 13	Kontrolle		78

Tabelle 30: N-Auswaschung, gesamtes Messjahr, 2019.

Messperiode	Feld-Nr.	Massnahme	Kulturen	N-Auswaschung gesamt [kg/ha]
27.02.19 – 13.05.20	Feld 6	Kontrolle	Kopfsalat - Endivie	396
27.02.19 – 13.05.20	Feld 6	M1.1 (breit)	Kopfsalat - Endivie	301
27.02.19 – 13.05.20	Feld 6	M2.1 (platziert)	Kopfsalat - Endivie	303
27.02.19 – 13.05.20	Feld 6	M3.1 (Fertigation)	Kopfsalat - Endivie	157
27.02.19 – 13.05.20	Feld 7	Kontrolle	Frisée - Cicorino rosso	347
27.02.19 – 13.05.20	Feld 7	M1.2 (breit)	Frisée - Cicorino rosso	261
27.02.19 – 13.05.20	Feld 7	M2.2 (platziert)	Frisée - Cicorino rosso	299
27.02.19 – 13.05.20	Feld 8	Kontrolle	Lagerkabis (weiss)	93
27.02.19 – 13.05.20	Feld 8	M1.3 (breit)	Lagerkabis (weiss)	104
27.02.19 – 13.05.20	Feld 8	M2.3 (platziert)	Lagerkabis (weiss)	94
06.06.19 – 24.02.20	Feld 9	Kontrolle	Blumenkohl	578
06.06.19 – 24.02.20	Feld 9	M1.4 (breit)	Blumenkohl	401
06.06.19 – 24.02.20	Feld 9	M2.4 (platziert)	Blumenkohl	488
06.06.19 – 24.02.20	Feld 9	M4.4 (Reste entfernt)	Blumenkohl	394
06.06.19 – 24.02.20	Feld 10	Kontrolle	Zucchetti	203
23.05.19 – 24.02.20	Feld 13	Kontrolle	Eisbergsalat	319