



Jahresbericht **Critical**

Teil Gemüsebau - 2022

Autoren

W.-A. Bischoff¹, D. Williams¹, L. Mann¹, A. Schwarz¹, F. Argento², F. Liebisch²

Partner

¹ Gutachterbüro TerrAquat

² Agroscope

AfU – Kanton Solothurn

Bildungszentrum Wallierhof – Kanton Solothurn

Inforama – Kanton Bern

«Dieser Bericht wurde mit Unterstützung des BLW und BAFU verfasst»

Inhalt

Inhalt	2
Vorwort	3
Zusammenfassung	3
1 Einführung	5
1.1 Die Problematik in Kürze	5
1.2 Das Nitratprojekt und CriticalN	5
2 Methoden im Projekt	8
2.1 Düngungsmethoden.....	8
2.2 Versuchsdesign und Datenerhebung	10
2.3 Messmethoden.....	11
2.4 Evaluationsindikatoren.....	13
3 Stand der Forschungsarbeiten des Projekts	14
3.1 Kooperation im Gemüsebau 2021 / 2022	14
3.2 Aktuelle Herausforderungen – 2022.....	15
4 Ergebnisse und Diskussion	16
4.1 Wetter	16
4.2 Ertrag und Marktqualität	17
4.3 Düngermengen	20
4.4 N-Auswaschung.....	21
4.5 N-Bilanzen	22
4.6 Sonderfragen.....	24
4.7 Aktuelle Schlussfolgerungen	27
4.8 Ausblick.....	27
5 Literaturverzeichnis	29
6 Anhang	30
6.1 Datentabelle 2021	30
6.2 Datentabelle 2022	31

Vorwort

Der folgende Bericht ist als iterativer Bericht für die gesamte Dauer des Projekts gedacht. Konkret bedeutet das, dass der Bericht jedes Jahr mit den neuen Daten und dem Stand des Projekts ergänzt wird, während bestimmte Teile, wie die Einleitung und die Methoden, im Wesentlichen gleichbleiben. Auf diese Weise werden die Leserinnen und Leser regelmässig mit neuen Informationen versorgt und am Ende ist die Projektentwicklung gut nachvollziehbar.

Zusammenfassung

Die Region zwischen Niederbipp, Oensingen und Olten gehört zu den wichtigsten Trinkwasserressourcen im Kanton Solothurn. Gleichzeitig gehört der Talboden dieser Region auch zu den wichtigsten Acker- und Gemüsebaugebieten im Kanton. Aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und der hydrogeologischen Gegebenheiten ist das Grundwasser in dieser Region übermässig mit Nitrat belastet, sodass das Qualitätsziel der eidg. Gewässerschutzverordnung (GSchV) für Grundwasser von 25 mg Nitrat Liter⁻¹ vielerorts nicht eingehalten wird (Quelle: AfU SO, 2022). Seit dem Jahr 2000 wird deshalb das schweizweit grösste Nitratprojekt umgesetzt. Mit geeigneten und breit abgestützten Massnahmen sollen die Nitratwerte dauerhaft unter das gesetzliche Qualitätsziel für Grundwasser von 25 mg Nitrat Liter⁻¹ gesenkt werden. Das Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten wird in der vierten Projektperiode vom Forschungsprojekt CriticalN wissenschaftlich begleitet. Das Wirkungsziel ist, durch angepasste Massnahmen die durchschnittlichen **N-Verluste ins Grundwasser** aus landwirtschaftlich genutzten Flächen unter **30 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹** zu halten.

TerrAquat hat im Jahr 2021 angefangen, zusammen mit der Gemüsebauberaterin des Inforama Ins, Martin Freund, die Gemüsebetriebe zu informieren und für die Teilnahme sowohl am Nitratprojekt als auch am begleitenden Forschungsprojekt CriticalN zu gewinnen. Start von CriticalN war der 01.10.2021. Seit 2022 kooperieren alle vier grossen Gemüsebaubetriebe im Nitratperimeter mit einem Teil ihrer jeweiligen Anbaufläche. Insgesamt werden 24 ha Gemüse (34 % der durchschnittlichen Gemüseanbaufläche) inzwischen nach Nmin (GRUD, Neuweiler & Krauss, 2017 bzw. IGZ, Feller et al., 2011) gedüngt und grundwasserverträglich nach den Vorgaben betriebsindividueller Vereinbarungen bewirtschaftet.

Im Jahr 2021 konnte wegen Einschränkungen durch COVID19 sowie sich verzögernden Vertragsabschlüssen nur auf drei Flächen Vergleichsmessungen zwischen Nmin-Variante und betriebsüblicher Kontrolle durchgeführt werden. Das Jahr war durch einen extrem nassen Frühsommer (Mai – Juni waren die Niederschläge > 3-fach überhöht) und durch eine über das gesamte Jahr fast doppelten Niederschlagssumme geprägt (2021: 1414 mm vs. 1990 – 2020: 842 mm). Aus den damit verbundenen hohen N-Auswaschungen sowie durch im beauftragten Labor zu niedrig gemessene Nmin-Werte konnten in diesem Jahr nur 27 kg N ha⁻¹ oder rund 10 % der applizierten Menge mit der Düngung nach Nmin gespart werden. Die erzeugte Marktqualität lag dabei für die meisten Flächen leicht über, die Erträge leicht unter denen der betriebsüblichen Kontrolle, wieder ohne sich signifikant zu unterscheiden. Beispielhaft konnte der Effekt der Winterbegrünung (– 80 kg N ha⁻¹ Auswaschung im Winter; deutlich geringerer Herbst-Nmin-Gehalt) gezeigt werden.

Im Jahr 2022 nahmen bereits 21 Teilflächen am Untersuchungsprogramm teil, davon 13 nach Nmin gedüngte Flächen und 8 Kontrollflächen nach betriebsüblicher Praxis. Die Witterung war nicht ungewöhnlich mit einer kleinen Trockenperiode im März. Es konnten mit Nmin gegenüber der Kontrolle 60 kg N ha⁻¹ oder 22 % des Düngers eingespart werden, obwohl die Werte des Auftragslabors weiterhin zu niedrig waren. Das Laborproblem wurde im Laufe des Jahres erkannt und gegen Ende des Jahres abgestellt.

Die erzeugte Marktqualität (97 %) und die Erträge (96 %) lagen 2022 geringfügig unter denen der betriebsüblichen Kontrolle (je als 100 % gesetzt), ohne sich signifikant zu unterscheiden. Wenn eine Fläche mit einem lokalen Innenbrand an Salat (nicht düngbedingt) nicht mitberücksichtigt wird, hätten die Nmin-Flächen in beiden Kategorien sogar leicht besser abgeschnitten. Bisher liegen nur die N-Auswaschungen der Vegetationsperiode (März bis Oktober 2022) vor. Diese zeigen eine Entlastung von ca. 20 kg N ha⁻¹ durch Berücksichtigung des Nmin (Kontrolle: 110 kg ha⁻¹ N-Verlust; Nmin-Variante: 91 kg ha⁻¹ N-Verlust). Damit sind die absoluten Auswaschungen im Gemüse im Sommer bedeutend höher als im Ackerbau, was sowohl an den grösseren N-Überschüssen (Kontrolle: 175 kg N ha⁻¹; Nmin-Variante: 128 kg N ha⁻¹) als auch an der Bewässerung liegt. Hinzu kommt das hohe Nachmineralisierungspotenzial. In zwei Nulldüngewerten zum 2. Salatsatz (Sommerkulturen) wurden durch die Kulturen 81 bzw. 127 kg N ha⁻¹ mit dem Aufwuchs entzogen. Im einen Fall entsprach dies einer Netto-Mineralisation von 91 kg N ha⁻¹ in den 7 Wochen des Aufwuchses.

Zusammengefasst zeigt sich, dass das Potenzial zur Düngereinsparung hoch ist, und sich dies auch in geringeren N-Auswaschungen bemerkbar macht. Das volle Einsparpotenzial konnte jedoch noch nicht genutzt werden, weil die Auftragslaborwerte für Nmin zu niedrig waren. Das Versuchskonzept hat sich bewährt. Es liefert für Praxis und Wissenschaft interessante Daten, die zur Beratung und zur Problemlösung genutzt werden können. Die Nachmineralisation sollte nun verstärkt untersucht werden, um verlässlicher berücksichtigt werden zu können.

1 Einführung

1.1 Die Problematik in Kürze

Die Grundwasserleiter der Region zwischen Niederbipp, Oensingen und Olten gehört zu den wichtigsten Trinkwasserressourcen im Kanton Solothurn. Gleichzeitig gehört der Talboden dieser Region auch zu den wichtigsten Acker- und Gemüsebaugebieten im Kanton.

Stickstoff (N), der hauptsächlich durch Düngung zugeführt wird, kann in Form von Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen werden. Aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und der ungünstigen hydrogeologischen Gegebenheiten ist das Grundwasser in dieser Region übermässig mit Nitrat belastet, sodass das Qualitätsziel der eidg. Gewässerschutzverordnung (GSchV) für Grundwasser von 25 mg Nitrat Liter⁻¹ vielerorts nicht eingehalten wird (Quelle: AfU SO, 2022).

1.2 Das Nitratprojekt und CriticalN

Seit dem Jahr 2000 wird deshalb das schweizweit grösste Nitratprojekt umgesetzt. Mit geeigneten und breit abgestützten Massnahmen sollen die Nitratkonzentrationen im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, dauerhaft auf die gesetzliche Anforderung von 25 mg Nitrat Liter⁻¹ gemäss GSchV gesenkt werden. Gleichzeitig soll die landwirtschaftliche Produktion erhalten und das Einkommen der Landwirtinnen und Landwirte gesichert werden. Für Nachteile, welche durch die getroffenen Massnahmen entstehen, werden die Landwirtinnen und Landwirte entschädigt.

Dank diesen Anstrengungen sind die Nitratkonzentrationen im Grundwasser nicht weiter angestiegen und weisen teilweise bereits rückläufige Trends auf. Sie liegen aber noch immer über 25 mg Nitrat Liter⁻¹. Der Grenzwert nach der TBDV für Trinkwasser von 40 mg Nitrat Liter⁻¹ wurde dank der Zusammenarbeit mit den Landwirten und Landwirtinnen aber in keiner der Trinkwasserfassungen jemals überschritten. (Quelle: AfU SO, 2022).

1.2.1 Die ersten Projektperioden 1 – 3 (2000 – 2021)

Die Massnahmen beschränkten sich auf den Ackerbau, da dieser den grössten Flächenanteil aufweist. Die Massnahmen bestanden aus der Stilllegung von produktivem Ackerland und nitratarmen Ackerbau nach den Vorgaben des Nitratindezes (Fruchtfolge, Winterbegrünung, Bodenbearbeitung und Saatzeitpunkt im Spätsommer/Herbst). Mit Ausnahme eines Düngeverbotsfensters im Winter wurde die Düngung aber nicht als eigentliche Massnahme einbezogen (Quelle: AfU SO, 2022).

1.2.2 Das Forschungsprojekt NitroGäu (2017 – 2021)

Die Untersuchungen im Gemüsebau zeigen, dass den Gemüseproduzenten ein grosser Teil der N-Pools wie die N-Zufuhr über feste organische Dünger als Strukturverbesserer, der Aufbau des Humus-N-Pools durch die Erntereste und die Nachmineralisation aus dem Humus-Pool einerseits teils nicht bekannt waren, andererseits teils nicht berücksichtigt wurden, um nicht das Risiko einer Unterdüngung einzugehen. Daraus ergaben sich sehr hohe N-Überschüsse.

Die N-Verluste für 2018/19 und 2019/20 mit dem Sickerwasser waren mit 271 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹ 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, die schnell mineralisiert werden können (Vorräte meist > 10'000 kg N ha⁻¹, davon labile N-Reserven ca. 370 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹, mittlerer Nmin-Gehalt in 0 – 60 cm Tiefe: 245 kg N ha⁻¹).

Als Schlussfolgerung sollten die grossen labilen N-Reserven aus Ernteresten und Bodenspeicher bei der Düngung zum Schutz des Grundwassers angerechnet und verkleinert werden. Dies war in einem ersten Schritt über die Anrechnung von Nmin bei der Düngung ohne sonstige Betriebsanpassungen möglich. Die Anrechnung von Nmin bei der Düngung führte nicht zu signifikanten Ertrags- oder Qualitätseinbussen. Im einzigen Versuchsjahr mit Nmin-Varianten führte dies zu Düngereinsparungen von 65 kg N ha⁻¹ und einer verringerten N-Auswaschung in der gleichen Grössenordnung (Quelle: AfU SO, 2022).

1.2.3 Die 4. Projektperiode 2021-2026 «Nitratprojekt NGO»

Die hydrogeologischen Untersuchungen und das Forschungsprojekt NitroGäu zeigten, dass die bisherigen Massnahmen nicht ausreichen, um das Qualitätsziel im Grundwasser dauerhaft zu erreichen. Deshalb wird das Nitratprojekt in der vierten Projektperiode betriebsindividuelle Lösungen und Massnahmen umsetzen, deren Wirkung auf Felddaten und einer datenbasierten Beratung beruhen.

- **Erweiterung Niederbipp:** Nitratprojekt NGO (Niederbipp-Gäu-Olten). Der Kanton Bern ist durch die Erweiterung des Projektperimeters nun Teil der Projektträgerschaft und -umsetzung.
- **Einführung von Massnahmen im Gemüsebau:** Erstmals in der Schweiz werden Gemüsebauflächen in ein Nitratprojekt eingebunden.
- **Neue Massnahmen im Ackerbau:** Der im Boden bereits pflanzenverfügbare Stickstoff wird beim Ausbringen von Dünger besser berücksichtigt.

1.2.4 Das Begleitprojekt CriticalN

Das Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten wird in der vierten Projektperiode vom Forschungsprojekt CriticalN wissenschaftlich begleitet. Ziel ist es, die landwirtschaftlichen Überschüsse in der Stickstoff-Düngung zu senken. Der Weg dahin ist, die Stickstoff-Effizienz durch angepasste Stickstoff-Düngung zu steigern. Dies ist – vor dem Hintergrund steigender Düngerpreise und knapper werdender Ressourcen – auch im Sinne der Landwirte und Landwirtinnen. Konkret soll das erreicht werden durch:

- **Regionaler Forschungsansatz:** Versuche und Untersuchungen gemeinsam mit den Landwirten und Landwirtinnen und auf den Flächen ihrer Betriebe im Projektgebiet.
- **Ermittlung und Bewertung der Stickstoff-Effizienz:** Messungen zur Stickstoff-Bilanzierung für wichtige Kulturen und Fruchtfolgen.
- **Dialog:** Verbesserungsvorschläge von Landwirten und Landwirtinnen können erprobt und mit Messungen bewertet werden.
- **Regionale Datenauswertung:** Wie weit ist die aktuelle Praxis auf dem Weg zum dauerhaften Grundwasserschutz?

Das Wirkungsziel ist durch angepasste Massnahmen den durchschnittlichen **N-Verlust ins Grundwasser** aus landwirtschaftlich genutzten Flächen unter **maximal 30 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹** zu halten.

Das Begleitprojekt ist eng mit Ämtern, Beratung und Landwirtschaft verknüpft (Abbildung 1).

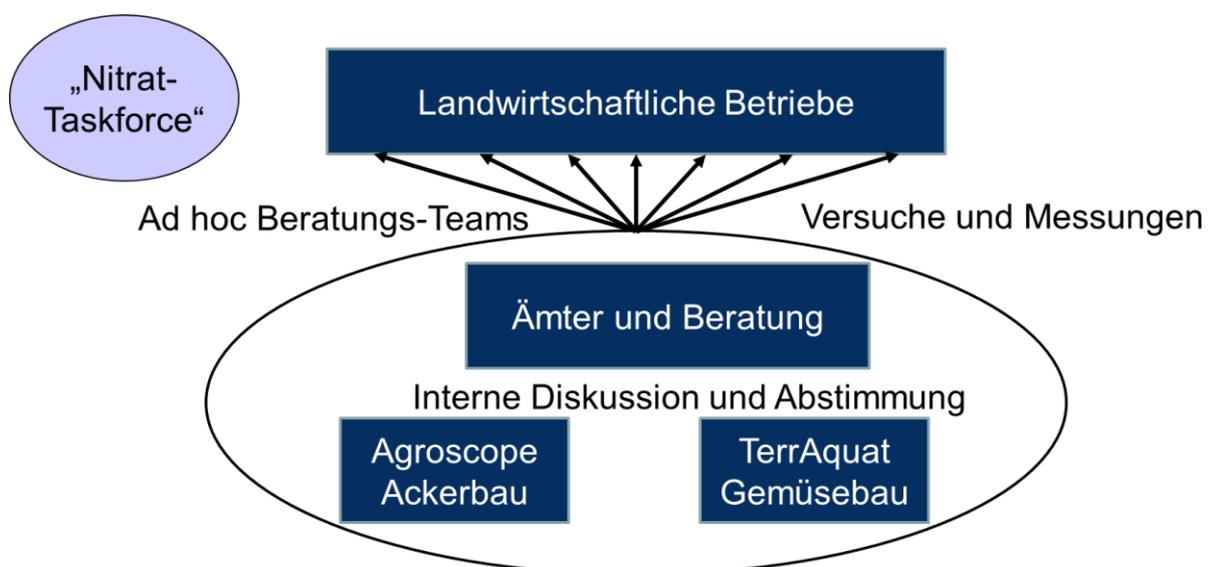


Abbildung 1: Nitrat-Taskforce - Austausch und Aussenwirkung von Nitratprojekt (Ämter und Beratung) und Forschungsprojekt (Agroscope / TerrAquat)

Das Gutachterbüro TerrAquat in D-Nürtingen (Projektleitung) ist für den Projektteil Gemüsebau zuständig. Die Agroscope-Gruppe «Gewässerschutz und Stoffflüsse» ist für den Projektteil Ackerbau zuständig (Abbildung 1). Das Forschungsteam arbeitet eng zusammen mit dem Amt für Umwelt Kanton Solothurn, dem Bodenschutz im Kanton Bern und den landwirtschaftlichen Beratungszentren Wallierhof (Solothurn) und den Inforamen Waldhof und Ins (Gemüse). Die Nitrat-Taskforce pflegt an einem 2-wöchentlichen Jour fixe einen lebendigen Austausch und stellt darin alle 4 Wochen neue Ergebnisse aus CriticalN zur Diskussion. Gespräche mit den Landwirtinnen und Landwirten erfolgen überwiegend in gemischten Teams aus Forschung und Beratung. Damit sind Informationsstand und Austausch aller Beteiligten innerhalb der Nitrat-Taskforce inzwischen recht hoch.



Abbildung 2: Das CriticalN-Kernteam. (Von links nach rechts) Frank Liebisch (Agroscope), Wolf Bischoff (TerrAquat, Projektleiter), David Williams (TerrAquat), Andreas Schwarz (TerrAquat), Francesco Argento (Agroscope). Hier auf einer gemeinsamen Unterbodenkartierung in der Region Oensingen zur Eignungsbewertung von Versuchsfeldern für das Demoexperiment.

2 Methoden im Projekt

Die Begleitung findet im Gemüsebau durch Besprechungen, Empfehlungen zur Düngemenge sowie Erhebung und Analyse von Boden- und Pflanzendaten statt. Innerhalb des Begleitungsprojekts werden folgende Methoden eingesetzt:

- Versuche auf Vergleichsparzellen zwischen Kontrolle (praxisüblich) und vertraglich vereinbarten Grundwasserschutzmassnahmen inkl. der Düngung nach Nmin.
- Düngungsempfehlungen nach standortangepasster Düngepraxis.
- Verteilte repräsentative und wiederholte Erhebungen von Ertrag, N-Entzug und Erntequalität
- Messung der N-Verluste in das Grundwasser als Massstab für die Effizienz der Massnahmen und zur Schliessung der Feld-N-Bilanzen.
- Messung von potentiellen Düngeüberschüssen mit Hilfe von Nulldüngewerten zur Erweiterung der Datengrundlage in der Fläche.
- Betriebsgespräche zur Umsetzbarkeit, dem subjektiven Erfolg, Fragen und Ideen zur Verbesserung der beteiligten Landwirtinnen und Landwirte

2.1 Düngungsmethoden

Gemäss den «Grundlagen der Düngung für Ackerkulturen» (GRUD, 2017, Kapitel 10; Neuweiler & Krauss, 2017) wird in der Schweiz zur Berechnung der angepassten N-Düngermenge die Nmin-Methode verwendet. Bei einzelnen Kulturen wie Salaten, die in der GRUD nur pauschal erfasst werden, wurde alternativ auch nach Feller et al. (2011) gedüngt.

2.1.1 Düngung nach Nmin (GRUD, Sinaj & Richner, 2017)

Diese Methode zur Berechnung der erforderlichen N-Menge beruht auf der Messung des mineralischen N im Boden. Die Nmin-Bestimmung berücksichtigt das in verschiedenen Bodenschichten (0 – 90 cm) enthaltene N in Form von Nitrat- ($\text{NO}_3\text{-N}$) und Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$). Diese werden nach der Agroscope Referenzmethode (Bürge und Agroscope, 2020) unter Berücksichtigung der Steingehalte und Bodendichte in Nmin-Gehalte umgerechnet. Der Vorteil ist, dass Nmin im Boden gemessen werden kann. Die zu düngende N-Menge wird durch einen Referenzwert für jede Kultur berechnet. Die Nachteile sind die Kosten und der Aufwand für die Beprobung und Analyse.



Abbildung 3: Mechanische Nmin-Probenahme. Pro Feld oder Sektor werden 12 – 15 Einstiche auf der Fläche in drei Horizonten (0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm) vorgenommen. Probenahme am 25.02.2022 durch Sven Schönmann (Briner AG), Probenehmer im Nitratprojekt.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Arbeitsablauf eingerichtet, um sicherzustellen, dass von der Bestellung der Proben bis zur Empfehlung max. 72 Stunden (Gemüsebau: 48 h) vergehen (Abbildung 4). Die Proben werden von einem «Probenehmer» gesammelt und gleichentags an ein Labor in der Region geliefert.

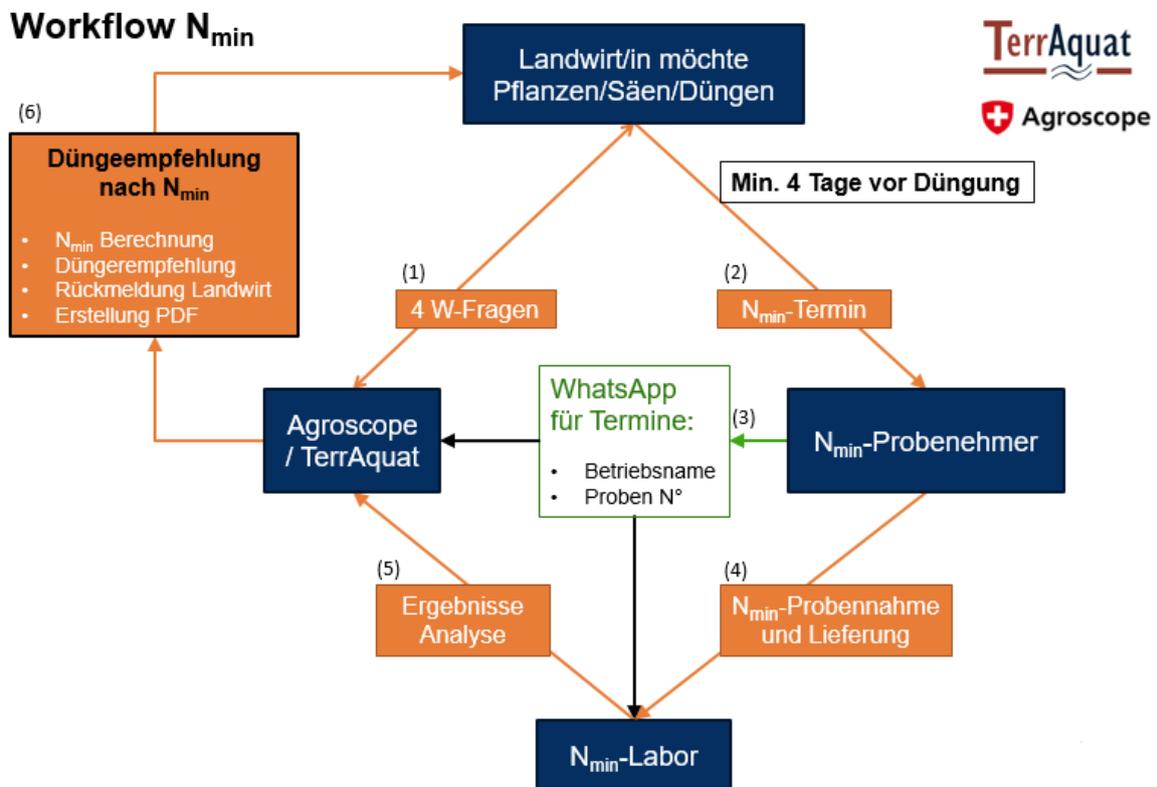


Abbildung 4: N_{min}-Arbeitslauf im Projekt im Ackerbau:

- (1) Die Landwirte und Landwirtinnen nehmen Kontakt mit den Projektpartnern (Agroscope oder TerrAquat) auf, um die vier W-Fragen zu besprechen: was, wo, wann, wie viel.
- (2) Min. 4 Tage vor der Düngung ist die Probenahme beim Probenehmer in Auftrag gegeben, der
- (3) mit Partnern und Labor die Probennahme per WhatsApp meldet.
- (4) Die Proben werden gesammelt und im Labor abgegeben.
- (5) Die Analysen werden an die Projektpartner weitergeleitet, eine Düngeempfehlung wird berechnet und
- (6) den Landwirten und Landwirtinnen zurückgemeldet.

2.1.2 Düngung nach N_{min}-Sollwert-System (Feller et al., 2011)

Zur Berechnung des N_{min}-Sollwertes zu Kulturbeginn wird die N-Aufnahme der Gemüseart zum N_{min}-Mindestvorrat addiert und die erwartete Netto-N-Mineralisierung abgezogen:

	N im Aufwuchs	[kg N ha ⁻¹]
+	N _{min} -Mindestvorrat	[kg N ha ⁻¹]
-	Netto-N-Mineralisierung	[kg N ha ⁻¹]
=	N_{min}-Sollwert	[kg N ha⁻¹]

Das N_{min}-Sollwertsystem kann aufgrund der hinterlegten Wachstums- und N-Aufnahmedaten zu jedem beliebigen Zeitpunkt während einer Kultur berechnet und angewendete werden. Es eignet sich daher auch ausgezeichnet für gesplittete N-Gaben.

Dies ist im Grundwasserschutz-Kontext besonders interessant, weil eine sehr geringe Startdüngung wegen der geringen zu erwartenden Aufnahme zu Wachstumsbeginn gegeben werden kann. Erst zur 2. Düngung (Kopfdüngung) erfolgt die Hauptgabe an N. Für viele Kulturen ist dies typischerweise nach 2 Wochen, wenn die N-Aufnahme exponentiell ansteigt (Abbildung 5). So kann die Nachmineralisation aus dem Boden besser berücksichtigt und die Phase der Auswaschungsgefährdung durch Starkregen um 2 – 3 Wochen verkürzt werden.

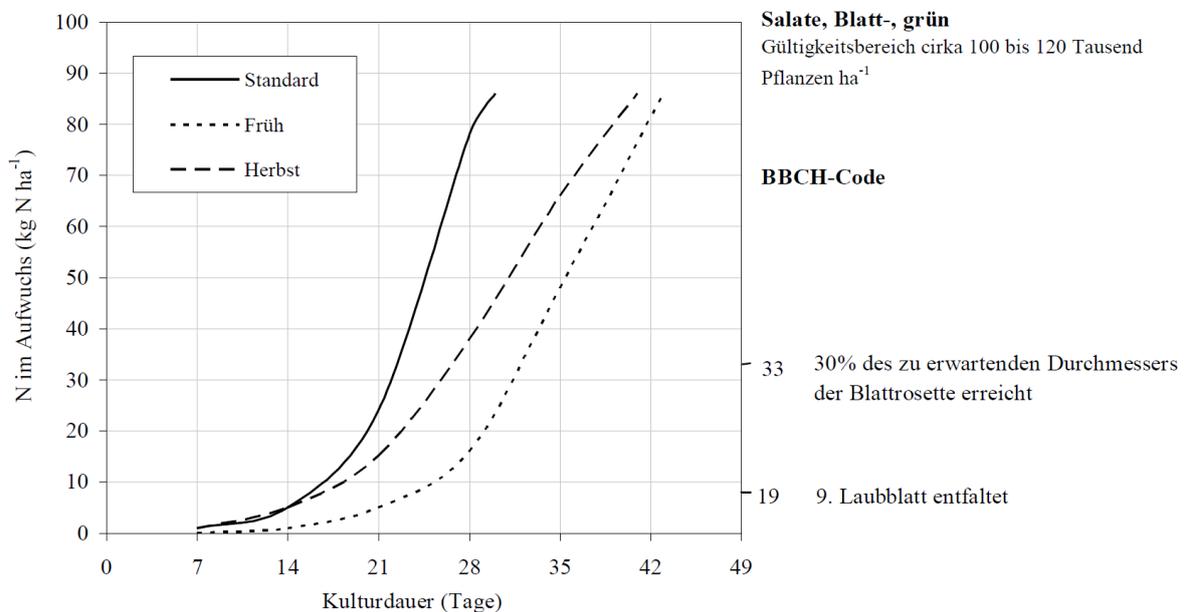


Abbildung 5: N-Aufnahmekurve am Beispiel von Blattsalat (aus: Feller et al., 2011, S. 133).

2.2 Versuchsdesign und Datenerhebung

2.2.1 Versuchsdurchführung

Die verwendeten Methoden sind Abbildung 6 zu entnehmen.

In 2021 wurden auf 2 intensiv untersuchten Vergleichsflächen mit Kontrolle und Nmin-Variante vor der ersten Kultur (i.d.R. Anfang März) **Selbst-Integrierende Akkumulatoren** (SIA, vgl. 2.3.3) installiert, um die N-Auswaschungen während der Vegetationszeit zu messen.

In 2022 wurden auf 8 intensiv untersuchten Vergleichsflächen mit Kontrolle und Nmin-Variante vor der ersten Kultur (i.d.R. Anfang März) **Selbst-Integrierende Akkumulatoren** (SIA, vgl. 2.3.3) installiert, um die N-Auswaschungen während der Vegetationszeit zu messen. Die SIA wurden im Herbst nach Ernte der letzten Gemüsekultur (ca. Ende Oktober) ausgetauscht. Die Winterauswaschungen der Messperiode November bis März 2022/23 liegen noch nicht vor.

Kurz vor jeder Pflanzung und jeder weiteren Düngung (Kopfdüngung) wurden auf allen Vergleichsflächen sowie auf den Nmin-Flächen ohne Kontrolle Bodenproben entnommen und auf die **Nmin-Gehalte** analysiert. Zusätzlich wurde stichprobenartig der Nmin-Gehalt zum Zeitpunkt der Ernte beprobt. Nach Ende der Vegetationsperiode wurde der Herbst-Rest-Nmin-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. 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.

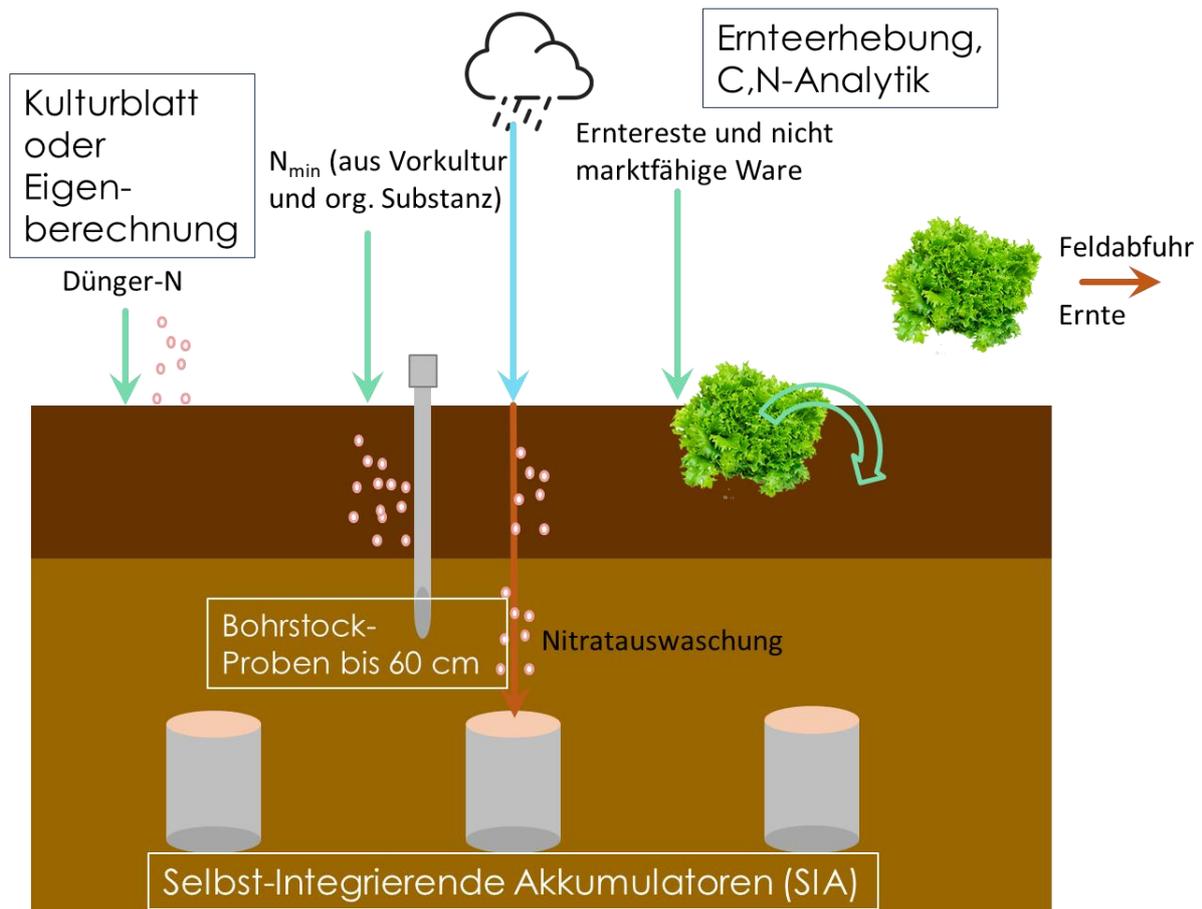


Abbildung 6: Schematische Darstellung der einzelnen Methoden zur Erhebung der N-Bilanzierung: grün: verfügbare N-Fractionen; braun: N-Abfuhr/Entzüge vom Feld; blau: Wasser (Transportmedium für Nitrat).

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

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^{-1} 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 bewertet (z.B. bei der N-Umweltbilanz).

2.3.2 N_{min}-Gehalte

Die N_{min}-Gehalte (Nitrat- und Ammoniumgehalte in kg N ha⁻¹) wurden an repräsentativen Mischproben aus 12 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. Um der geringen Durchwurzelungstiefe junger gemüsebaulicher Kulturen Rechnung zu tragen, wurden Proben aus drei Tiefenstufen entnommen: 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.

Die Proben wurden im LaborIns in Kerzers analysiert. Zur Mitte des Jahres 2022 waren die sehr niedrigen N_{min}-Werte im Vergleich zum Vorprojekt NitroGäu augenfällig. Darauf wurden von TerrAquat entnommene N_{min}-Proben homogenisiert, geteilt und frisch an ein weiteres Labor (Agrolab), das an zertifizierten Ringversuchen teilnimmt, versendet. Beim Vergleich stellte sich – wie auch bei unabhängigen Proben von Agroscope – heraus, dass das Labor im Mittel nur 50 % des N_{min}-Gehaltes anderer Labore erfasst. Daraufhin wurde mit dem Labor ein Qualitätssicherungskonzept aufgestellt, das zurzeit umgesetzt wird, um zukünftig zu verlässlichen N_{min}-Werten zu kommen. U.a. wird dazu z.Zt. jede Probe doppelt durch das Labor Ins und ein zertifiziertes Labor 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 (Abbildung 7). Nach dem Einbau wurden die Gruben verfüllt, so dass keinerlei Einschränkungen für die Bewirtschaftung des Schlages 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⁻¹. Die Analytik wurde durch die Core Facility der Universität Hohenheim (Stuttgart-Hohenheim, Deutschland) 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 Evaluationsindikatoren

Die zunächst isolierten Daten aus Umsetzung und Forschung werden zu lokalen N-Bilanzdatensätzen verbunden, die Auskunft über Effizienz, Verbesserungen und Probleme der vorangegangenen Messperioden geben. Die Bewertung wird durch Ertrag und Qualität, N-Nutzungseffizienz (scheinbare Ausnutzungseffizienz und Körner-Produktionseffizienz), N-Speicheränderung und N-Verlustpotential (N-Bilanzmethode) vollzogen. Die Nullparzellen sind als Kontrolle und zum Verständnis der N-Nachlieferung des Bodens sehr wichtig. Sie werden auch zur Berechnung der Indikatoren für Effizienz und N-Bilanz verwendet.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Indikatoren für die Effizienz des Stickstoffeinsatzes im Gemüsebau. Die Formeln werden angegeben, um zu verdeutlichen, welche Parameter aus den Felddaten für die Berechnung verwendet werden.

Tabelle 1: Indikatoren für die Effizienz des Stickstoffeinsatzes und die Umweltverträglichkeit im Gemüsebau

Indikator		Formel
N-Auswaschung	SAE	$\frac{\text{Messwerte}}{N \text{ Abfuhr}}$
Dünger-N-Nutzungseffizienz	PE	$\frac{N \text{ Düngung}}{N \text{ Abfuhr}}$
N Saldo	-	$N \text{ Düngung} - N \text{ Abfuhr}$
N-Verlustpotential	-	$N \text{ Düngung} + N \text{ Nachlieferung} + N_{\text{min Ernte}} - N \text{ Abfuhr}$

$N_{\text{min Ernte}}$ = Nmin-Gehalt im Boden zum Zeitpunkt der Ernte

3 Stand der Forschungsarbeiten des Projekts

3.1 Kooperation im Gemüsebau 2021 / 2022

Das Gutachterbüro TerrAquat hat im Jahr 2021 gemeinsam mit Martin Freund vom Inforama Ins alle wichtigen Gemüsebetriebe im Nitratperimeter aufgesucht und mit ihnen Wege zur Teilnahme am Nitratprojekt diskutiert.

Im Jahr 2021 wurde auf insgesamt drei Flächen von 2 Freilandgemüsebaubetrieben im Nitratperimeter Daten erhoben. Auf der Fläche Bahnwärterhaus wurde jedoch identisch gedüngt und bearbeitet. Daher wird diese Fläche für das Jahr 2021 bei der Vergleichsdarstellung nicht berücksichtigt.

Im Folgejahr 2022 wurden Untersuchungen auf 13 Flächen von allen vier grossen gemüseproduzierenden Betrieben durchgeführt (Abbildung 8). Dabei wurden auf 8 Flächen die betriebsübliche Praxis (kurz: *Kontrolle*) im Gemüsebau und vertraglich vereinbarte Grundwasserschutzmassnahmen inkl. der Düngung nach Nmin verglichen (kurz: *Nmin-Variante*).

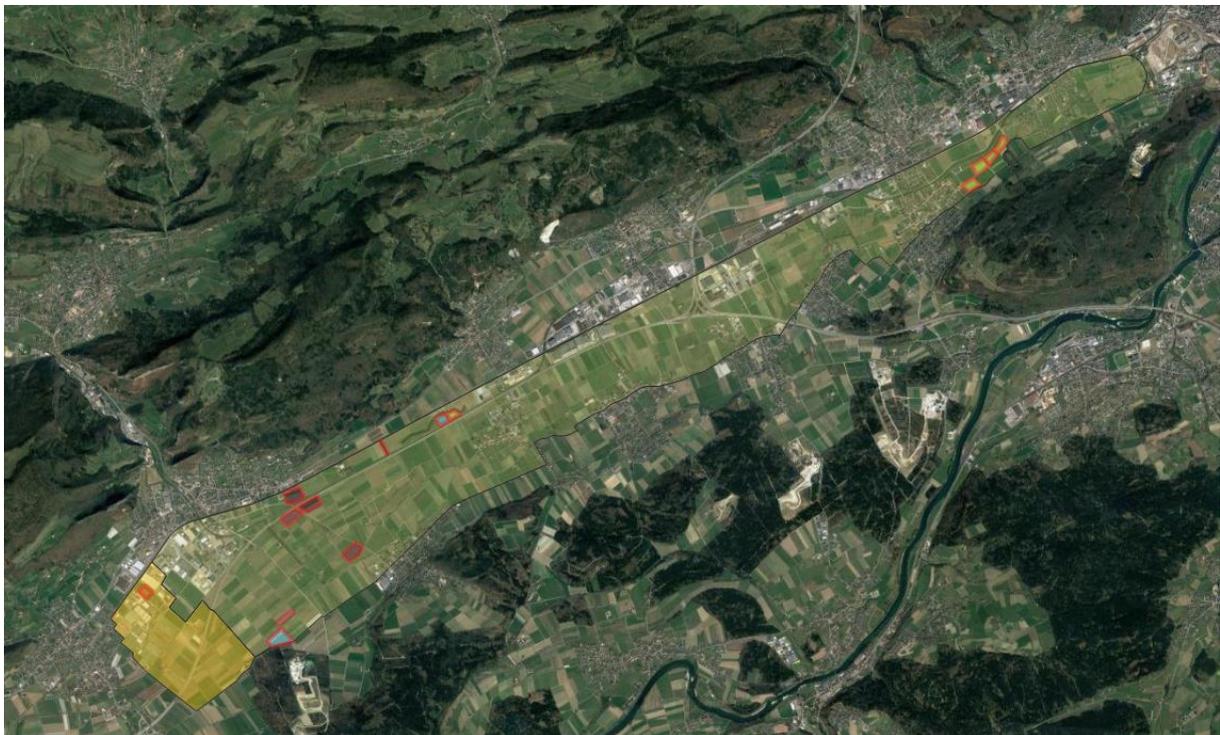


Abbildung 8: Lage der am Projekt beteiligten Gemüseflächen, rot umrandet (Stand: 31.12.2022)

Im Rahmen der Kooperationen mit allen grossen Gemüseproduzenten werden verschiedene Methoden zur Optimierung der Stickstoffdüngung und der Stickstoffkonservierung über den Winter «on-farm» getestet. Die Betriebsdaten werden gesammelt und für die Auswertung der verschiedenen Methoden verwendet.

Jeweils Ende Januar / Anfang Februar werden die gesammelten Ergebnisse im Überblick und dann speziell für die Flächen des jeweiligen Betriebs vorgestellt und mit den Betriebszuständigen diskutiert. So können Besorgnisse und Ärgernisse diskutiert und aufgenommen werden.

Im Jahr 2022 standen auf den untersuchten (Teil-)Parzellen zu 80 % verschiedene Salate und zu 20 % untergeordnete Kulturen wie Brokkoli, Zwiebeln, Zucchetti und Randen (Abbildung 9, Kulturen). Dies entspricht auch in etwa den erfragten Betriebsstrukturen, wobei andere untergeordnete Kulturen wie Lauch, Blumenkohl, Nüsslisalat... auch vorkommen und teils 2021, teils im Vorgängerprojekt NitroGäu bereits untersucht wurden.

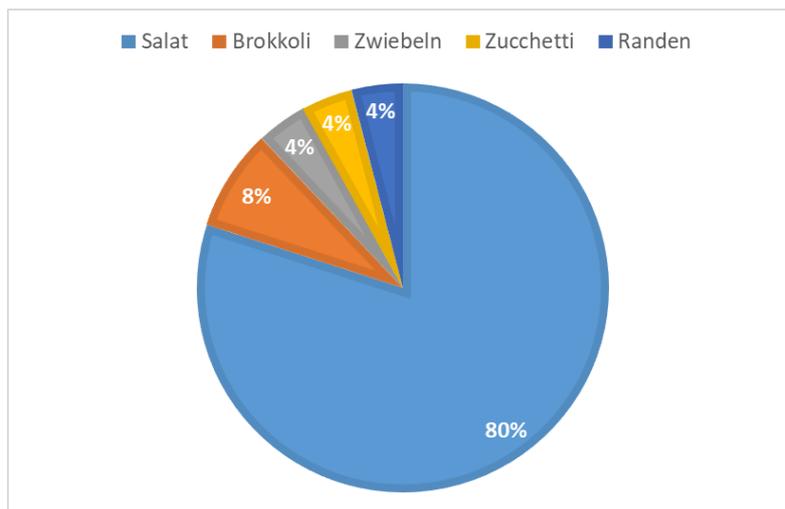


Abbildung 9: Übersicht über die 2022 untersuchten Gemüsekulturen im Projekt

Das Jahr 2021 war das erste operative Jahr mit Feldexperimenten des Gemüseteils im Projekt, und das Ziel bestand darin, Arbeitsabläufe im Netzwerk mit den Landwirten und allen anderen beteiligten Akteuren zu etablieren. Im Jahr 2022 konnte bereits nahezu die maximal untersuchbare Anzahl an intensiv begleiteten Flächen erreicht werden. Im Jahr 2023 sollen wenn möglich noch Flächen hinzukommen, die vor allem in die grundwasserschonende Bewirtschaftung überführt werden und eine Düngeberatung nach Nmin bekommen.

3.2 Aktuelle Herausforderungen – 2022

Die grundsätzliche Bereitschaft aller Betriebe, zumindest mit einigen Flächen am Programm teilzunehmen, war sehr begrüßenswert.

In der Praxis gab es trotz recht enger Betreuung und zahlreichen kurzen Organisationsgesprächen immer wieder spontane Aktionen auf den Versuchsflächen. So wurden benachbarte Vergleichsflächen zu unterschiedlichen Zeiten und/oder mit unterschiedlichen Kulturen bepflanzt oder wurden trotz abweichender Empfehlungen identisch gedüngt.

Auf der anderen Seite wurde das Zeitfenster von 48 h zwischen Probenahme und Düngeempfehlung sowie die Unterbrechungen am Wochenende, weil das Labor geschlossen hat, als teilweise zu lang empfunden. Auch wurde teils der Umstand, die Nmin-Beprobung melden zu sollen, teils die Hilfe bei der Probenahme, z.B. unter Folie, als lästig empfunden.

Hier braucht es auf beiden Seiten noch Erfahrung und Gewöhnung sowie – z.B. im Fall der Folienbeprobung – auch gute einfache Lösungen, wenn das Problem bekannt ist.

Von Projekt- und Betriebsseite wurde das o.a. angesprochene Problem der nicht zutreffenden Laboranalytik als Schaden für das Projekt angesehen. Hier kann man anmerken, dass in einem nicht wissenschaftlich begleiteten Projekt die Laborfehler vermutlich weder bemerkt noch korrigiert worden wären.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Feldsaisons 2021 / 2022 liegen fast vollständig vor. Sie werden hier zusammenfassend dargestellt. Dabei wird am Beispiel der wenigen Flächen, die bereits 2021 untersucht wurden die Einzelflächenauswertung vorgestellt. Für das Jahr 2022 werden in diesem Zwischenbericht im Wesentlichen die zusammengefassten Daten diskutiert. Die wichtigsten Daten für jede Einzelfläche sind in Kap. 6 (Anhang) aufbereitet.

4.1 Wetter

Die Wetterbedingungen in der Vegetationsperiode 2022 (Okt. 21 bis Okt. 22) waren gekennzeichnet durch eine kumulative Niederschlagsmenge von 1064 mm, die leicht über dem regionalen Jahresmittelwert lag, und einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 11°C (Abbildung 10). Die Niederschläge waren gut über die Saison verteilt, mit Ausnahme des Monats März, der mit nur 20 mm kumulativem Niederschlag der trockenste Monat der Saison war. Im Allgemeinen waren die Bedingungen für die Vegetationsperiode im Durchschnitt gut, ohne dass es zu extremen Ereignissen kam (wie z.B. langanhaltende Dürreperioden wie im Jahr 2020 oder hohe Niederschlagsmengen wie im Sommer 2021).

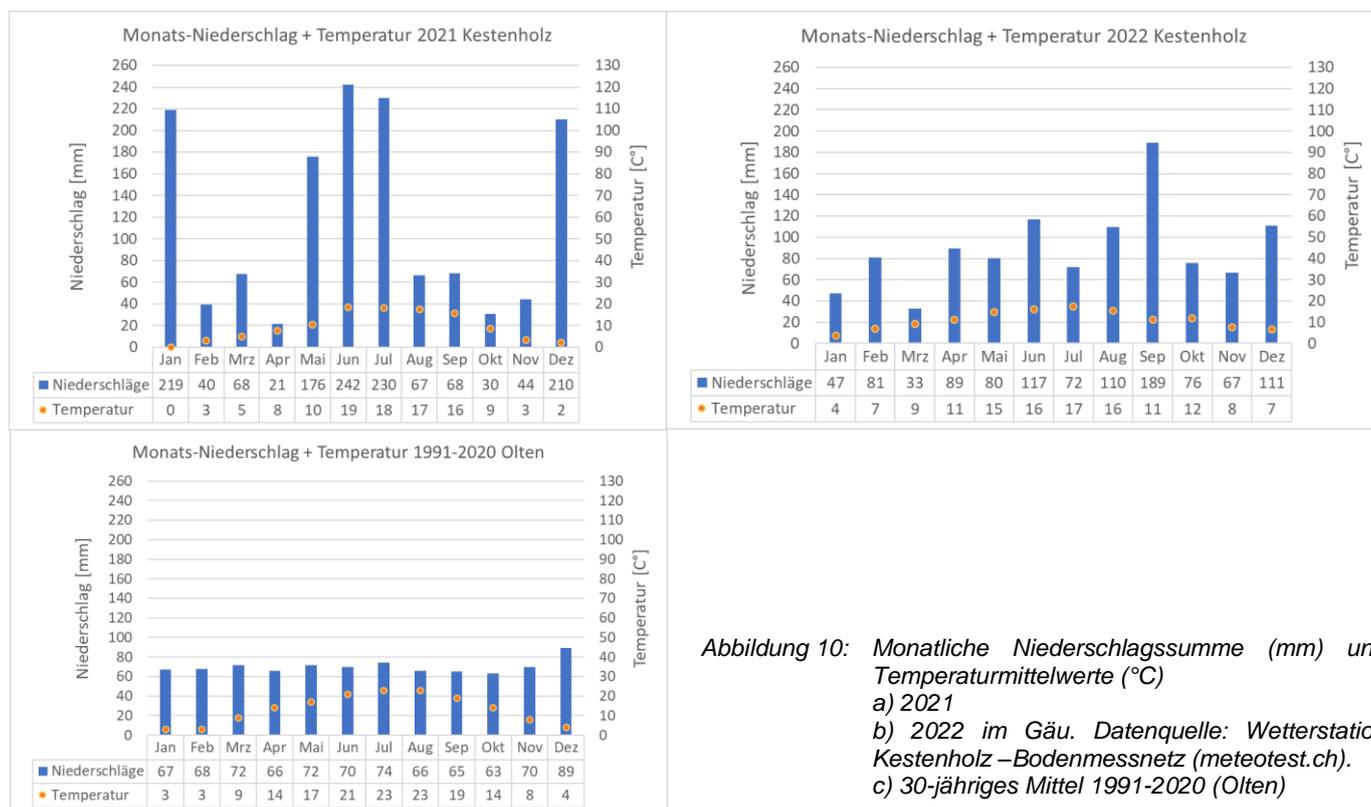


Abbildung 10: Monatliche Niederschlagssumme (mm) und Temperaturmittelwerte (°C)
 a) 2021
 b) 2022 im Gäu. Datenquelle: Wetterstation Kestenholz –Bodenmessnetz (meteotest.ch).
 c) 30-jähriges Mittel 1991-2020 (Olten)

Der Grundwasserstand schwankte jahreszeitentypisch zwischen 428 und 426 m ü. M. mit einem Höchststand im März, einer sinkenden Tendenz bis in den späten Herbst und einem beginnenden Wiederanstieg auf niedrigerem Niveau im Dezember (Abbildung 11). Der Grundwasserstand lag zum 31.12.2022 1 m tiefer als ein Jahr zuvor. Dies wird als Anpassung an Normalniveau nach dem sehr nassen Jahr 2021 mit entsprechend höherem Grundwasserstand gewertet.



Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung des Grundwasserstandes (m ü. M.) im Jahr 2022 in der Messstelle Kestenholz. Datenquelle: AfU Solothurn, Fachbereich Hydrometrie (2023).

4.2 Ertrag und Marktqualität

4.2.1 Ertrag und Marktqualität 2021

Für das Jahr 2021 werden 3 Vergleichsflächen eines Betriebs dargestellt.

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen, dass Einzelergebnisse pro Fläche abweichen können, sich aber insgesamt keine grossen Unterschiede zeigen. Dies wird durch die Mittelwerte bestätigt. Danach war die marktfähige Stückzahl auf den Nmin-Flächen (90 % marktfähig) nicht signifikant um 5 % höher als auf den Kontrollflächen (85 %). Demgegenüber waren die Massenerträge mit 321 dt ha⁻¹ auf den Kontrollflächen gegenüber der Nmin-Variante (291 dt ha⁻¹) fast 10 %, aber nicht signifikant, erhöht.

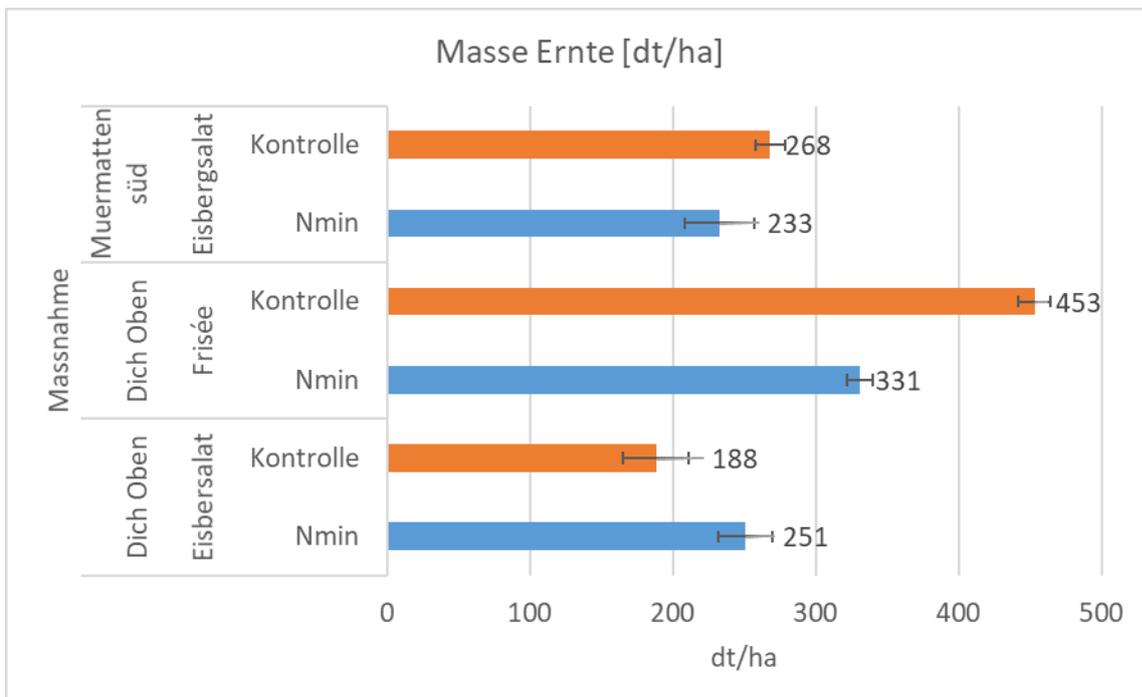


Abbildung 12: Vergleich der Ernteerträge im Jahr 2021 (Fehlerbalken = Standardfehler).

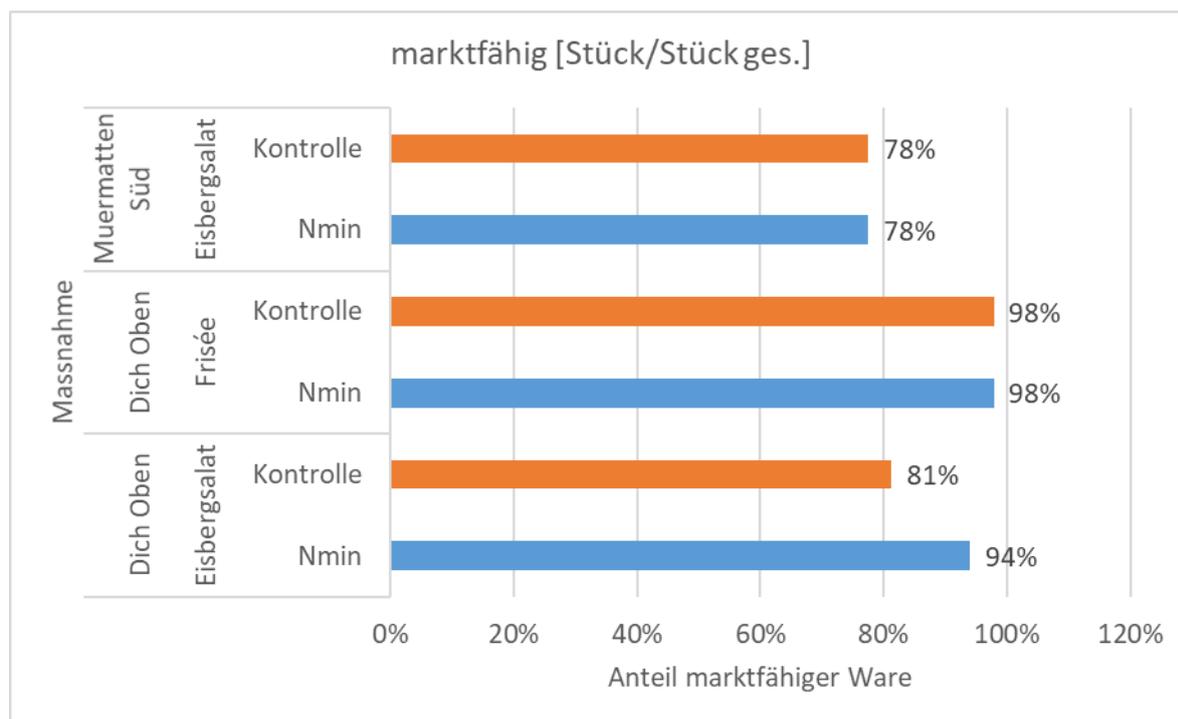


Abbildung 13: Vergleich der Erntequalität in Form marktfähiger Salatköpfe im Jahr 2021 [%]

4.2.2 Ertrag und Marktqualität 2022

Für das Jahr 2022 wird die zusammenfassende Darstellung gezeigt:

Die Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen ein sehr ähnliches Bild. Hier wurden die 5 Intensivvergleichsmessflächen, für die alle Daten vorliegen, zur besseren weiteren Vergleichbarkeit im Weiteren dargestellt. Der Massenertrag unterschied sich um < 2 %, die Qualität um 3 % nicht signifikant minimal zugunsten der Kontrolle. Wird hier eine lokale Innenbrandfläche, die nichts mit dem Düngeregime zu tun hat, nicht in den Mittelwert der Nmin-Varianten einbezogen, würden sich die Verhältnisse ins Gegenteil verkehren.

Aufwuchs, Qualität und Erträge können also für dieses Jahr als gleich im Rahmen der Messgenauigkeit angesehen werden.

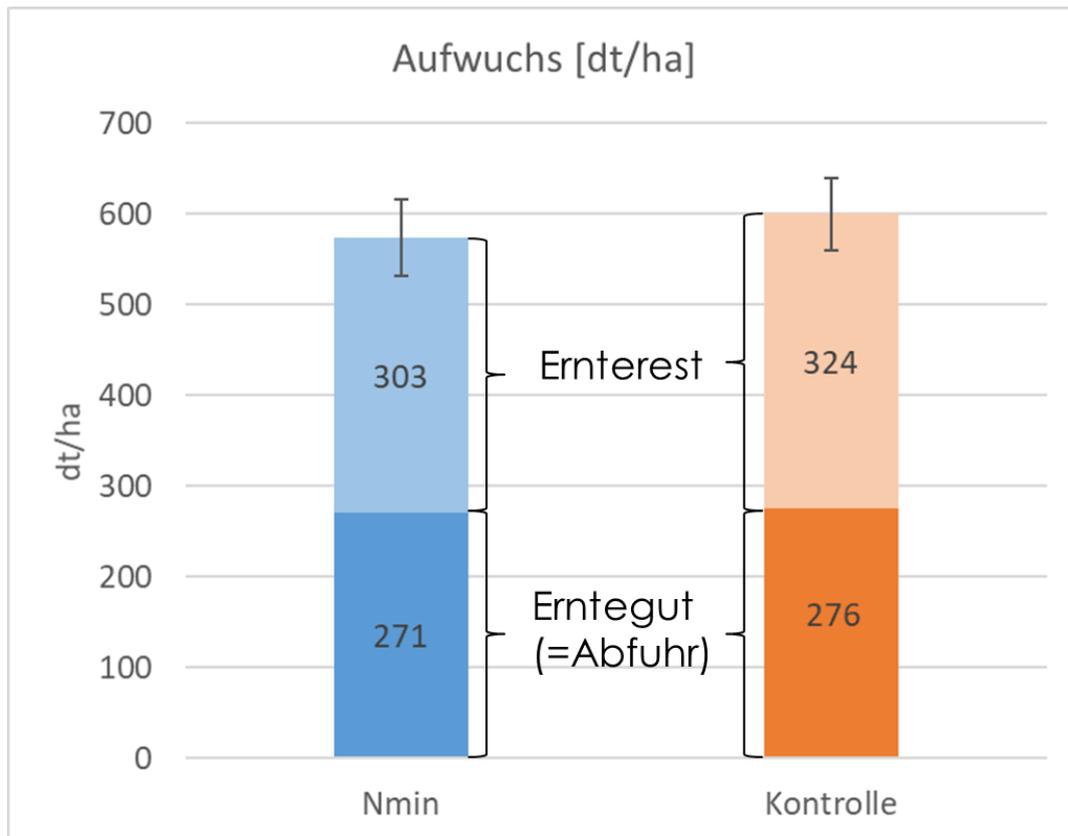


Abbildung 14: Vergleich von Aufwuchs und Ertrag (= Erntegut) zwischen Nmin-Variante und Kontrolle im Jahr 2022 [dt ha⁻¹] (Fehlerbalken = Standardfehler)

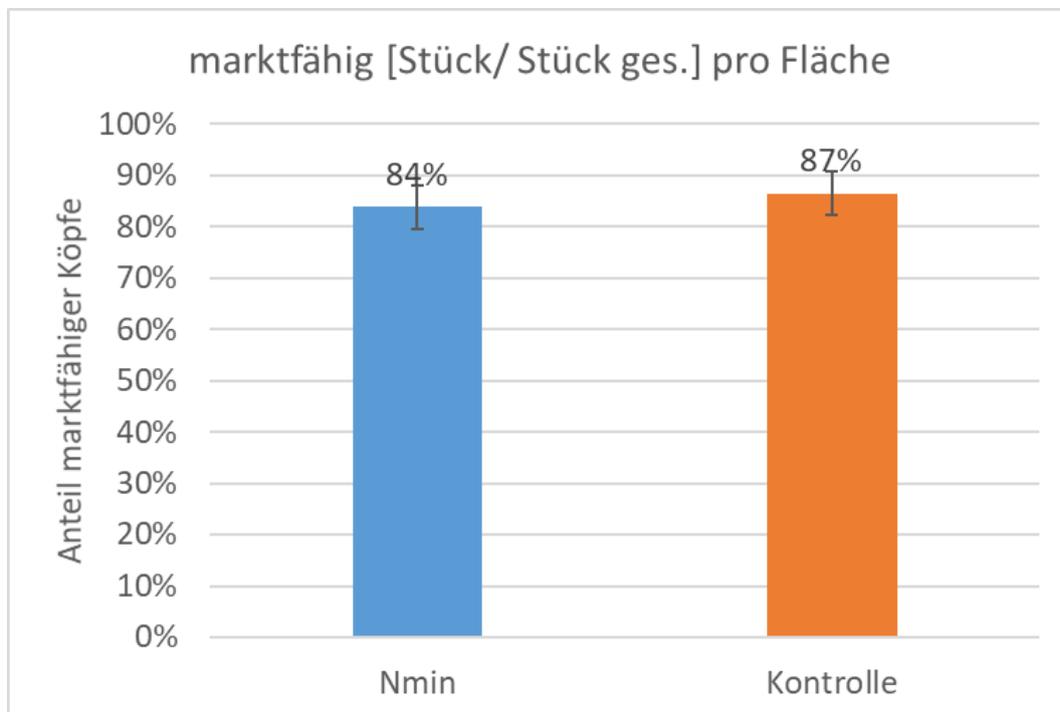


Abbildung 15: Vergleich der Erntequalität in Form marktfähiger Salatköpfe im Jahr 2022 [%] (Fehlerbalken = Standardfehler)

4.3 Düngermengen

4.3.1 Düngermengen 2021

Im Jahr 2021 konnten aufgrund der nassen Witterung und der zu niedrigen Labor-Nmin-Werte im Mittel nur 27 kg N ha^{-1} an Dünger gespart werden. Dabei waren die Düngergaben mit 264 kg N ha^{-1} (Praxis) vs. 237 kg N ha^{-1} (Nmin-Variante) in einem für Salate sehr hohen Bereich. Bei der Berechnung ist zu berücksichtigen, dass auf Parzelle Dich oben 2 Sätze Salat und auf Muermatten Süd nur 1 Satz Salat gepflanzt und gedüngt wurden.

In Abbildung 16 sieht man auch, dass es einen Fall gab, bei dem eine höhere Düngung nach Nmin erfolgte (Muermatten Süd). Hier war die nach GRUD-Nmin hohe Startdüngung durch starke Regenfälle bereits wieder ausgewaschen, so dass der volle Düngerbedarf zur Kopfdüngung nochmals gegeben werden musste. Dies zeigt am Beispiel, wie vorteilhaft eine gesplittete Düngergabe mit niedriger, am Entzug der ersten 2 – 3 Wochen orientierter Startgabe unter bestimmten Witterungsbedingungen ist.

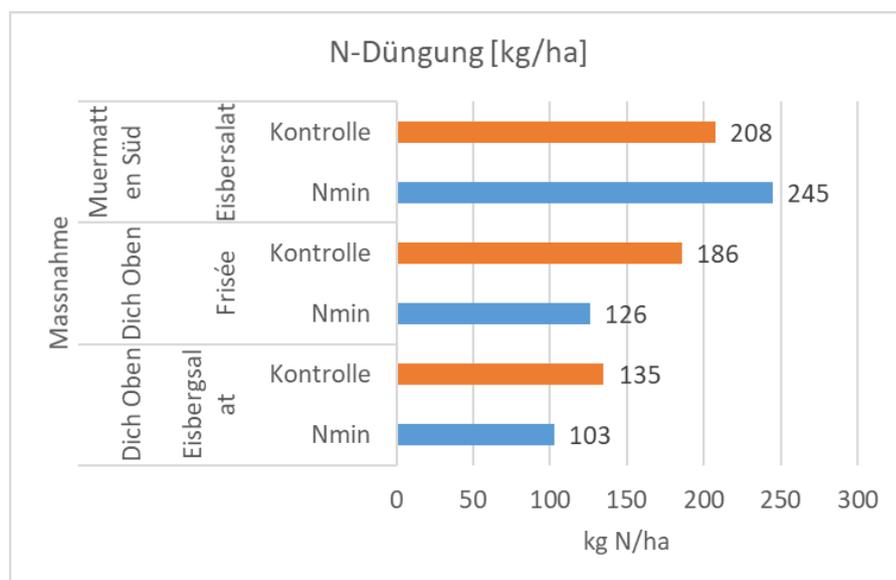


Abbildung 16: Vergleich der Düngemengen im Jahr 2021.

4.3.2 Düngermengen 2022

Im Jahr 2022 unterscheiden sich die Düngemengen aufgrund der Nmin-Empfehlungen trotz zu niedriger Labor-Nmin-Werte bereits signifikant um $> 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Abbildung 17).

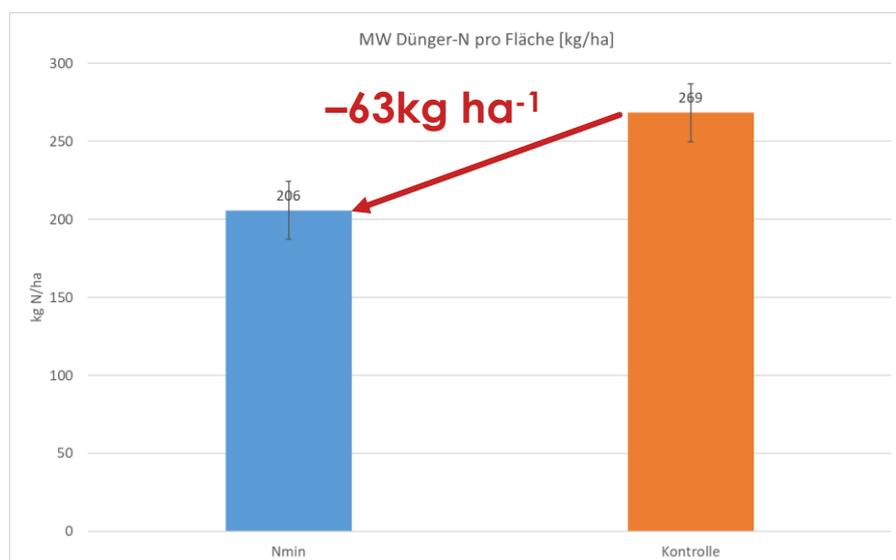


Abbildung 17: Vergleich der Düngemengen im Jahr 2022 (Mittelwerte von 6 Flächen; Fehlerbalken = Standardfehler).

4.4 N-Auswaschung

4.4.1 N-Auswaschung Winter 2021/2022

Im Winter des ersten Versuchsjahrs wurde die N-Auswaschung auf zwei benachbarten Parzellen gemessen. Bei der mit Lauch bestandenen Fläche Bahnwärterhaus ist zu bedenken, dass es zwischen den beiden Varianten in diesem Jahr keinen Behandlungsunterschied gab (s.o.). Eine Zwischenbegrünung war wegen des späten Erntedatums (18.10.21) und des kühlen Oktobers nicht mehr möglich. In der Eisbergsalatparzelle Muermatten Süd wurde die Nmin-Variante höher als die Kontrolle gedüngt (s.o.). Der N-Überschuss (Dünger – Abfuhr) aus den Vorkulturen 2021 lag auf allen vier Teilparzellen mit 180 bis 220 kg N ha⁻¹ recht nah beieinander. Es muss davon ausgegangen werden, dass eine Teilauswaschung des N-Überschusses schon während des extrem nassen Sommers erfolgte.

Der relevante Unterschied zwischen den beiden benachbarten Parzellen ist aber der Effekt der Zwischenbegrünung (Abbildung 18). Die unbegrünte Fläche verlor über den Winter (Ende Okt-Ende Feb, 4 Monate) > 100 kg N ha⁻¹, die begrünte Variante ca. 80 kg N ha⁻¹ weniger.

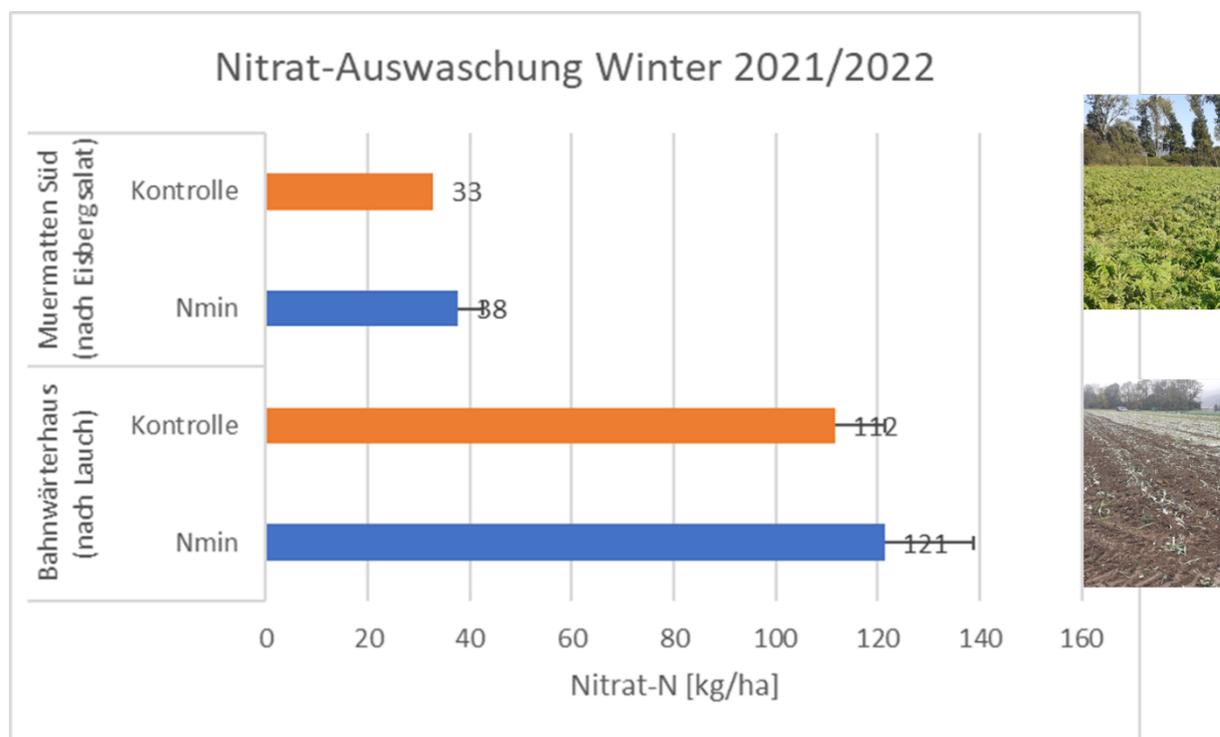


Abbildung 18: Vergleich der N-Auswaschung zwischen benachbarten Parzellen. Oben: Phacelia als Zwischenbegrünung. Unten: Unbearbeitete Fläche nach später Lauchernte. (Fehlerbalken = Standardfehler)

4.4.2 N-Auswaschung Vegetationsperiode 2022

In der Vegetationsperiode des 2. Versuchsjahrs wurde auf insgesamt 13 Teilparzellen die N-Auswaschung gemessen. Davon waren auf 6 Flächen direkte Vergleichsmessungen von Kontrolle und Nmin-Variante möglich. Die Fläche Dich oben Strasse war aufgrund der betrieblichen Fruchtfolge mit Winterweizen bestellt und fiel deshalb für den Gemüsevergleich heraus.

Nur auf der Fläche Rickenbach ist die N-Auswaschung auf der Nmin-Parzelle höher als in der praxisüblichen Kontrolle (Abbildung 19). Auf dieser Fläche gab es Nester von Innenbrand, von denen ein Teil im Bereich der Nmin-Messungen lag. Diese Bereiche wurden nicht beerntet und erhöhten damit a) den Verbleib von N in Ernteresten auf der Fläche und b) den N-Überschuss auf der betroffenen Teilfläche.

Die Unterschiede in der N-Auswaschung sind nur auf der Fläche Dich unten signifikant. Die Tendenz, dass sich höhere Düngegaben in höheren Auswaschungen wiederfinden, ist jedoch aufgrund der Häufigkeit schon recht klar ersichtlich.

Im Vergleich zum Ackerbau ist die Auswaschung bereits in der Vegetationsperiode mit im Mittel 100 kg N/ha sehr hoch. Dies ist durch einen natürlichen Anteil Frühjahrsickerung (März-April) sowie den Sonderfaktor Bewässerung im Sommer mit jeweils hohen Nitratkonzentrationen bedingt. Auch eine ordnungsgemässe Bewässerung, wie sie im Perimeter betrieben wird (Hunkeler et al., 2021), führt zu Mehrauswaschungen im Sommer, weil das Bodenprofil als ganzes feucht gehalten wird, und somit der Bodenspeicher in nassen Phasen deutlich voller ist und deutlich schneller Sickerung produziert als auf den bis in grössere Tiefen entwässerten Ackerbodenspeicher.

Einer besonderen Erwähnung bedarf die als «Parzelle 8/9» bezeichnete Fläche. Hier wurde aus der Diskussion mit einem Produzenten heraus die Auswaschung gemessen, weil zuvor ein stark wüchsiger Wirz über Winter auf einen mittelspäten Mais folgte. Die Vorgeschichte konnte hier nicht untersucht werden, daher sind z.B. die Rest-Nmin-Gehalte nach Mais nicht bekannt. Da der Wirz nur gering gedüngt wurde, war zu erwarten, dass das Gemüse hier als Catch Crop funktioniert und die N-Überschüsse aus dem Mais erfolgreich aufnehmen kann. Gemessen an den anderen Gemüseflächen ist der Wirz tatsächlich die Kultur mit der zweitniedrigsten Auswaschung, jedoch ist diese gemessen am 30 kg N ha⁻¹-Ziel für den Gesamtperimeter nicht zufriedenstellend. Dennoch könnte Wirz als Catch Crop für den Winter produktiv und erfolgreich sein. Hierzu sollen weitere Untersuchungen folgen.

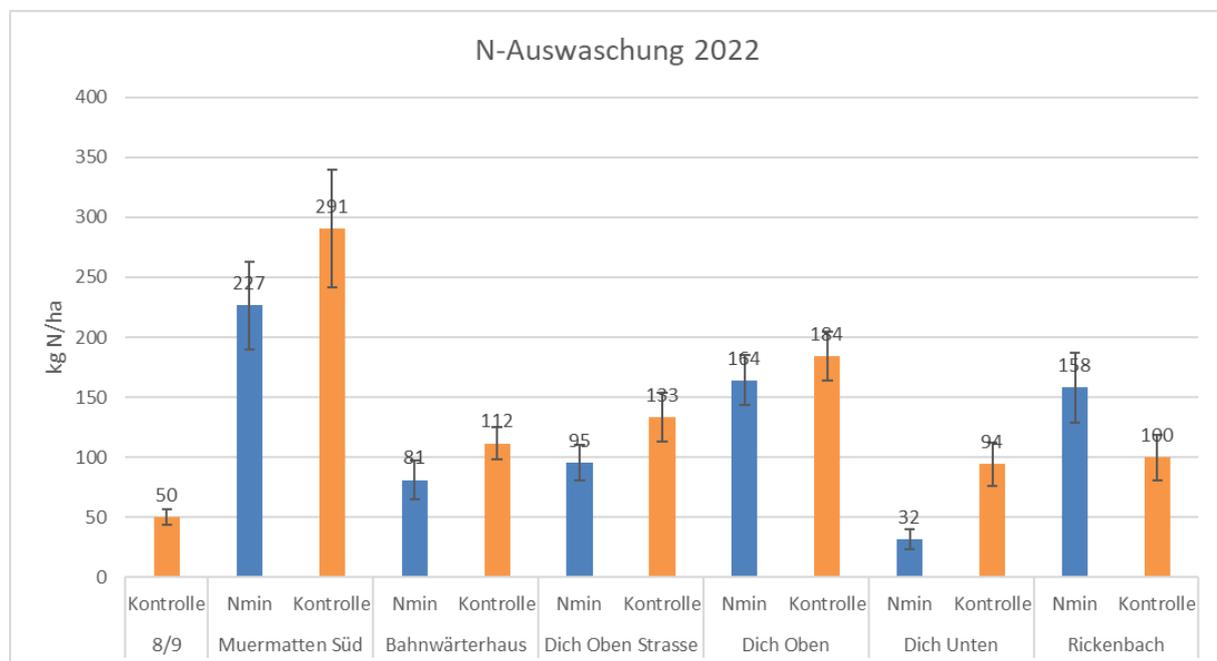


Abbildung 19: Vergleich der Auswaschungen der Vegetationsperiode 2022 (März – Oktober; Fehlerbalken = Standardfehler).

4.5 N-Bilanzen

4.5.1 N-Bilanzen 2021

Aus den gemessenen Werten der Ernten, zu Nmin-Gehalten und der Auswaschung lassen sich verschiedene Indikatoren ausweisen oder berechnen. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten berechneten **Indikatoren N1 – N3** für das Jahr 2021.

Der N-Saldo (**N1**) zeigt, dass auch ohne Berücksichtigung der Boden-Nachmineralisierung ein Überschuss von 69 bis 219 kg N ha⁻¹ auf den Gemüseflächen verbleibt. Bei ständig hohen Überschüssen ist in erster Näherung davon auszugehen, dass der Standort N-gesättigt ist und im Mittel der Jahre etwa so viel N an die Umwelt abgibt wie ihm als Überschuss zugeführt wird.

Der Indikator N2 (Düngung – Aufwuchs) zeigt, dass auch gemessen am Bedarf der Gesamtpflanzen zu hoch gedüngt wurde, und in diesem Jahr überall auch ein N-Überschuss von 47 bis 179 kg N ha⁻¹ gemessen am Gesamtbedarf der Pflanzen entstand. Ein Teil der Erklärung für 2021 ist, dass im frühen Sommer durch die hohen Niederschläge grosse Anteile der Startdüngung als verloren gelten mussten und deshalb von den Produzenten auch nochmals gegeben wurden. Diese doppelte Düngung nach Auswaschungsverlust spiegelt sich auch in der schlechten Effizienz des eingesetzten Düngers wider. Nur 14 – 45 % des eingesetzten Düngers (Mittelwert: 24 %) wurden der Fläche wieder entzogen (N3). Der Rest sollte im Durchschnitt der Jahre umweltwirksam werden. An den verschiedenen Indikatoren ist zu erkennen, wie gross die Potenziale für mehr Effizienz sind. So sollte N2 im Durchschnitt eher ausgeglichen sein, um die ganze Pflanze ausreichend zu ernähren, und dabei wird die hohe N-Mineralisation des Bodens im Nitratperimeter noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Wichtige N-Bilanzglieder für alle untersuchten Kulturen und Flächen im Jahr 2021, alle Angaben in [kg N ha⁻¹] ausser N3 [%]

Ernte-Datum	Kultur	Variante	N Ernte = Abfuhr	N Ernte-rest	N1: Düngung – Abfuhr	N2: Düngung – Aufwuchs	N3: N-Effizienz Ernte/Düngung [%]
25.06.21	Eisberg-salat	Nmin	25	41	219	179	10 %
25.06.21	Eisberg-salat	Kontrolle	29	37	179	141	14 %
01.07.21	Frisée	Nmin	57	21	69	48	45 %
01.07.21	Frisée	Kontrolle	79	21	107	86	42 %
14.09.21	Eisberg-salat	Nmin	25	30	78	47	24 %
14.09.21	Eisberg-salat	Kontrolle	19	31	116	85	14 %
18.10.21	Lauch	Nmin	50	44	187	143	21 %
18.10.21	Lauch	Kontrolle	56	40	181	142	23 %

4.5.2 N-Bilanz Jahr 2022

Die Ergebnisse des Jahres 2022 werden zusammengefasst in Tabelle 3 dargestellt. In dem klimatisch unauffälligen Jahr hat sich die Effizienz von 24 % auf 36 % respektive 41 % erhöht. Dennoch liegen die N-Überschüsse in beiden Varianten deutlich über 100 kg N ha⁻¹. Auch die Auswaschungsverluste sind bereits in der Vegetationsperiode mit 91 kg N ha⁻¹ (Nmin-Variante) bis 110 kg N ha⁻¹ (Kontrolle) erheblich und 3 – 4-fach über dem kritischen Wert von 30 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹. Wenn man bedenkt, dass die Winterauswaschungen bei den Messungen im NitroGäu-Projekt ähnlich hoch waren wie die Sommerauswaschungen, ist man im Gemüsebau 2022 noch weit von einer Grundwasserverträglichkeit entfernt.

Allerdings gibt es noch verschiedene ungenutzte Potenziale: Die N-Nachlieferung, die mit besserer Laboranalytik auch besser angerechnet werden kann. Die N-Freisetzung aus Ernteresten und die bedarfsgerechteren Düngemengen, die sich an den Entzügen, die in der Region / auf dem Betrieb relevant sind, ausrichten. Allein der Laboreffekt liegt mit dem besten Schätzer der korrigierten Werte bei max. 100 kg N ha⁻¹ im Jahr 2022 (Tabelle 3, Werte in Klammern). Die Auswirkungen auf alle Indikatoren wären sehr gross, wenn dieses Potenzial voll ausgenutzt werden kann.

Tabelle 3: Mittlere Gesamt-N-Bilanz 2022 auf 4 Vergleichsflächen mit 7 Ernten (mit * gekennzeichnete Werte geben den besten Schätzer wieder, wie die N-Bilanz bei korrekten Nmin-Laborwerten ausgesehen hätte)

Zur Verfügung [kg N/ha]	Nmin	Praxis
Dünger-N	215 (116*)	274
Erntereste	131	152
Output [kg N/ha]		
Feldabfuhr	87	99
Auswaschung (Sommer)	91	110
N-Saldo = Dünger – Abfuhr	128 (29*)	175
N-Effizienz Ernte/Düngung	41% (75%*)	36%
N-Speicheränderung /Jahr	37	65

4.6 Sonderfragen

4.6.1 Düngung bei Eisbergsalat

Es war auffällig, dass die für das Gebiet als Kultur sehr wichtigen Eisbergsalate ein sehr niedriges Ernte-N : Dünger-N-Verhältnis hatten (Abbildung 20). Der erntebedingt höhere Anteil an Ernteresten (Eisberg 56 %; Frisée 30 %) konnte dies nur teilweise erklären.

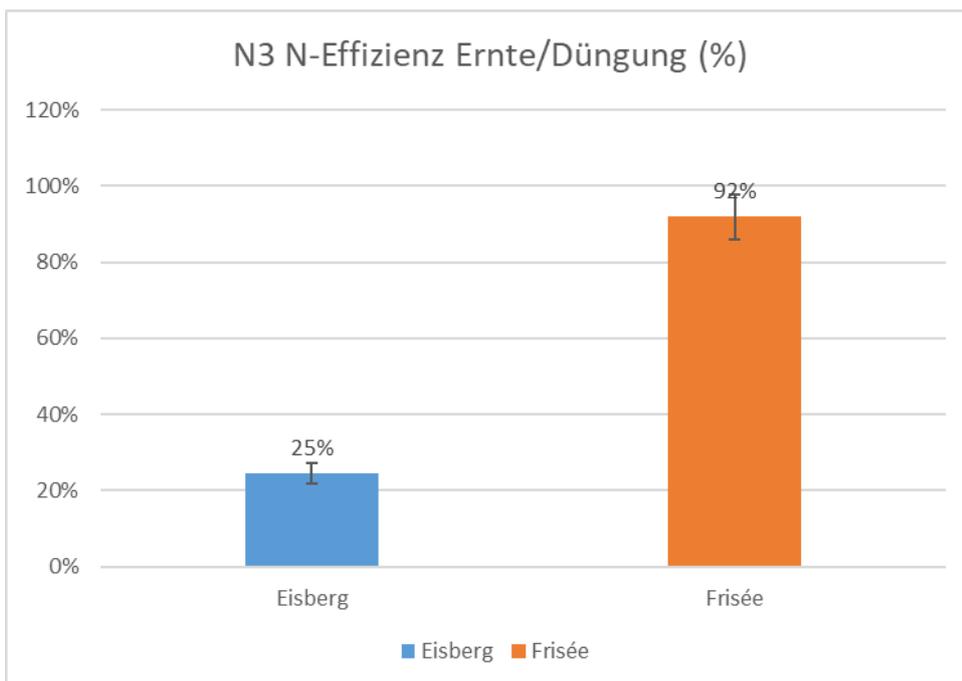


Abbildung 20: Vergleich der N-Ausnutzung von Eisbergsalat und Frisée (N Eisberg = 12; N Frisée = 4; Fehlerbalken = Standardfehler)

Einen genaueren Blick auf wichtige N-Bilanzglieder zeigt Abbildung 21. Daraus geht hervor, dass Eisbergsalat im Schnitt höher gedüngt wurde. Dabei waren der Düngedarf im Aufwuchs um 60 kg N/ha und die Abfuhr von der Fläche gar um 86 kg N ha⁻¹ geringer als bei Frisée. Daraus lässt sich schliessen, dass die Düngung beim Eisbergsalat deutlich verringert werden kann. Selbst unter Vernachlässigung der Nachmineralisation kann die Düngung für eine ausgeglichene Bedarfsbilanz (N₂ Düngung – Aufwuchs) um 30 kg N ha⁻¹ niedriger angesetzt werden. Unter Berücksichtigung der Nachmineralisation z.B. mit N_{min} sollte eine Düngung < 100 kg N ha⁻¹ pro Kultur Eisbergsalat ausreichend sein. In einem Betrieb waren 180 kg N ha⁻¹ der Standard. Dieser wurde im Gespräch mit dem Produzenten nun deutlich nach unten korrigiert.

Teil der gewünschten Ergebnisse im CriticalN sind genau solche relevanten Anpassungen für Kulturen mit schlechter N-Bilanz. An diesem Beispiel lässt sich auch dokumentieren, wie die einzelnen Bilanzglieder ineinandergreifen und interpretiert werden können, um bleibende Fortschritte bei der Anpassung von Düngemengen zu erzielen.

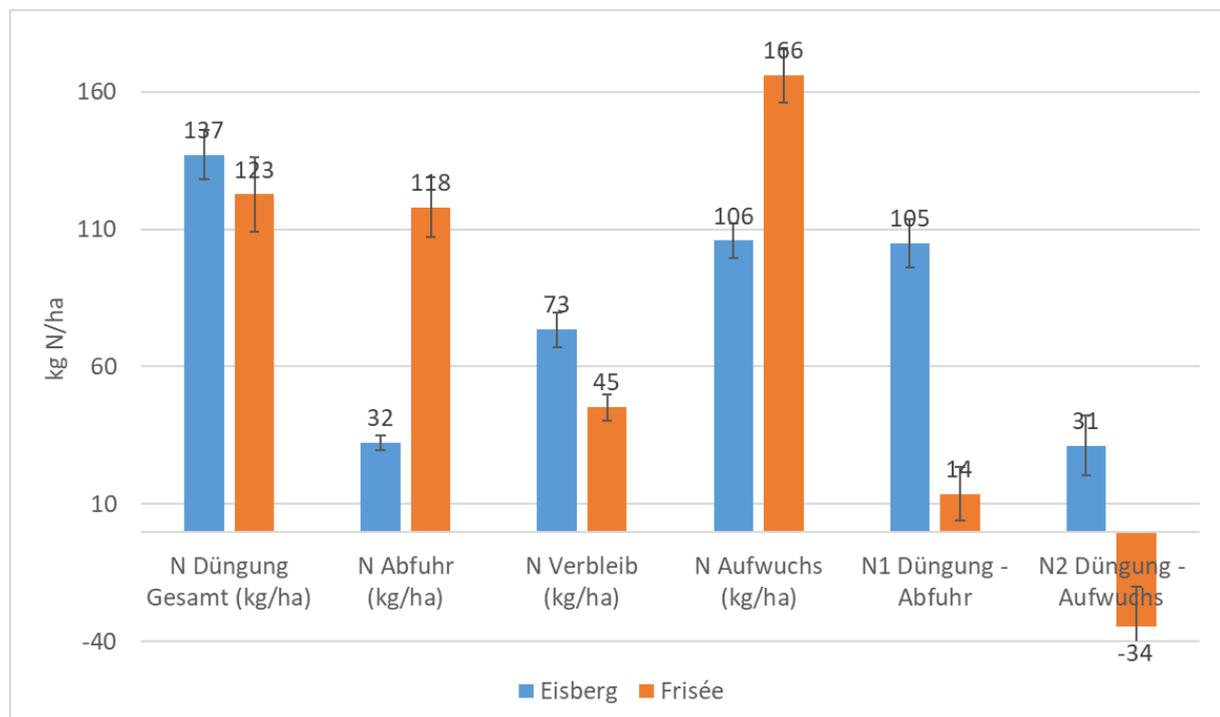


Abbildung 21: Vergleich der N-Ausnutzung von Eisbergsalat und Frisée (N Eisberg = 12; N Frisée = 4; Fehlerbalken = Standardfehler)

4.6.2 Nachmineralisierung in Nulldüngerfenstern

Auf zwei Flächen konnten zur 2. Kultur (Ende Juni – Anfang September) mit Unterstützung des Betriebs Nulldüngerfenster angelegt werden.

Erträge und Marktfähigkeit sind in Tabelle 4 dargestellt. Bei Nulldüngung im Sommer erreichten die Salate auf beiden Flächen etwa die gleiche Qualität wie die beiden gedüngten Varianten. In einem Fall waren sogar die Massenerträge vergleichbar hoch. Im anderen Fall können die Massenerträge nicht direkt verglichen werden, weil es sich um unterschiedliche Friséesorten handelte.

Tabelle 4: Vergleich der Ernterträge auf zwei Parzellen mit Nulldüngerfenster

Kultur und Standort	Parameter	Nmin-Variante	Kontrolle	Null
Eisbergsalat, 2. Satz Dich Unten	Erntertrag [dt/ha]	218	179	204
	Marktfähigkeit	76 % *	69 % *	74 % *
Frisée, 2. Satz Rickenbach	Erntertrag [dt/ha]	435	464	363 [#]
	Marktfähigkeit	92 %	96 %	96 %

* Viele Schosser

[#] Andere Sorte im Bereich der Nulldüngung gesetzt

Die Gründe für dieses zunächst vielleicht überraschende Ergebnis sind Tabelle 5 und Tabelle 6 zu entnehmen. Der Boden ist durch die Düngung, die Erntereste der Vorkultur sowie die sommerliche Nachmineralisation aus dem Humusvorrat bereits so reich an mineralischem Stickstoff (N_{min}-Gehalte der Nullparzellen: 203 bzw. 182 kg N ha⁻¹ in 0 – 60 cm Tiefe), dass auf beiden Flächen genügend N auch ohne Düngung vorhanden ist. Auch nach der Kultur sind noch ausreichende (Frisée Rest-N_{min} zur Ernte 68 kg N ha⁻¹) bis sehr hohe (Eisberg Rest-N_{min} zur Ernte 167 kg N ha⁻¹) mineralische N-Vorräte vorhanden.

Auch das Rest-N der Flächen aus N_{min} und leicht mineralisierbaren Ernteresten, das zur letzten Kultur ein Indikator für das N-Verlustpotential im Winter ist, liegt selbst in den Nullparzellen noch bei 95 bzw. 266 kg N ha⁻¹. Die Daten zeigen, was aufgrund der hohen Humusvorräten auf den Gemüseflächen sowie aus Berechnungen des Vorprojekts zu erwarten war: Eine sehr hohe Nachmineralisierung im Sommer.

Die N-Dynamik ist jedoch immer noch eine offene Fragestellung. So wurde innerhalb der 7 Wochen im Eisbergsalat zusätzlich 91 kg N ha⁻¹ aus dem Bodenvorrat mobilisiert, während mit 4-wöchigem Versatz im Frisée in 7 Wochen 33 kg N ha⁻¹ im Bodenvorrat festgelegt wurden.

Diese ersten Ergebnisse zeigen auf jeden Fall, dass in der Berücksichtigung der Vorfrucht- und Mineralisierungseffekte speziell auf den Gemüsestandorten des Gäu ein sehr grosses Potenzial zur Verbesserung der N-Effizienz liegt.

Tabelle 5: Messdaten und Indikatoren auf der Fläche Dich Unten, Eisbergsalat, 2.Satz, 27.06.-16.08.2022

Zur Verfügung [kg N/ha]	N _{min}	Praxis	Null
N _{min} Start _{0-60cm}	169	203	203
Dünger-N	113	153	0
N _{min} Ernte _{0-60cm}	175	198	167
Erntereste	102	120	99
Output [kg N/ha]			
Feldabfuhr = Ernte	33	27	28
N-Saldo = Dünger – Abfuhr	80	126	-28
Rest-N= N_{min} + Erntereste	277	318	266
Netto-N- Mineralisation /Kultur	28	-11	91

Tabelle 6: Messdaten und Indikatoren auf der Fläche Rickenbach, Frisée, 2. Satz, 21.07.-07.09.2022

Zur Verfügung [kg N/ha]	Nmin	Praxis	Null *
N _{min} Start _{0-60cm}	182	182	182
Dünger-N	101	108	0
N _{min} Ernte _{0-60cm}	154	107	68
Erntereste	44	46	27
Output [kg N/ha]			
Feldabfuhr = Ernte	76	77	54
N-Saldo = Dünger – Abfuhr	25	31	-54
Rest-N= Nmin + Erntereste	198	153	95
Netto-N- Mineralisation /Kultur	-8	-60	-33

4.7 Aktuelle Schlussfolgerungen

Das eingeschränkte Jahr 2021 und das volle Versuchsjahr 2022 haben gezeigt, dass die Gemüseproduzenten mit den bisherigen Düngeempfehlungen unter Berücksichtigung des Nmin-Gehaltes weder ein Qualitäts- noch ein Mengenproblem bei ihrer Ware bekommen.

Der N-Saldo (Düngung – Abfuhr) auf den bisherigen Praxisflächen ist mit einem Überschuss von 175 kg N ha⁻¹ im Jahr zu hoch für ein nitrat-sensitives Gebiet. Das Reduktionspotenzial ist mit aktuell 128 kg N ha⁻¹ Überschuss auf den grundwasserschonend bewirtschafteten Vergleichsflächen (u.a. Düngung nach Nmin) noch nicht ausgeschöpft. Reserven liegen noch in der Anrechnung korrekter, höherer Nmin-Werte im Boden sowie der Berücksichtigung von Ernteresten und Nachmineralisation aus dem Humus gerade für Kulturen im Hochsommer und 2. Sätze. N-Salden < 100 kg N ha⁻¹ oder niedriger im Gemüse sind unter Berücksichtigung dieser Faktoren sehr wahrscheinlich ohne Ertrags- und Qualitätseinbußen möglich.

Für die Auswaschungen liegen noch wenige Daten vor. Höhere N-Überschüsse wirken sich in der Vegetationsperiode in der Tendenz aber auch in höheren Auswaschungen aus. Über den Winter spielen wichtige Massnahmen wie die frühzeitige Begrünung offensichtlich eine grosse Rolle.

Am Beispiel der Eisbergsalat-Düngung lässt sich zeigen, dass die gewählte Methodik geeignet ist, über Effizienz-Parameter Probleme im N-Haushalt zu erkennen und über die Feldmessungen und Bilanzierungsansätze auch lösen zu können.

Der Austausch mit den Praxisbetrieben ist zeitintensiv, aber sehr lohnend, und verbessert beide Seiten, Wissenschaft und Praxis, in ihrem Systemverständnis.

4.8 Ausblick

Grundsätzlich bewährt sich das Versuchskonzept. Es sollen durch einige Flächenumstellungen jedoch weniger beteiligte Betriebe noch intensiver begleitet werden und z.B. der Bio-Gemüsebau besser mit einbezogen werden. Hierzu wird gerade die Bereitschaft bei verschiedenen Beteiligten erfragt.

Beratung und wissenschaftliche Begleitung wollen, wenn es mit den Gemüseproduzenten umsetzbar ist, ab 2023 verstärkt das Problem der N-Mineralisierung angehen. Hierzu wurden die Produzenten angefragt, ob sie im Gemüsebau Nulldüngewinter auch schon im Frühjahr ermöglichen. Hier gibt es aktuell nur einen Produzenten, der dazu bereit ist. Des Weiteren sollen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung Mesokosmen mit 4 verschiedenen Böden aus dem Nitratperimeter aufgebaut und regelmässig auf Nitrat im Sickerwasser untersucht werden. Die vorhandenen, guten Datensätze werden zum Eignungstest von ein bis drei N-Mineralisierungsmodellen benutzt. Sollte sich eines der Modelle bewähren, könnte es einen verbesserten Schätzrahmen sowohl in Kombination mit Nmin als auch zu Fragen der organischen Düngung, z.B. im Bio-Gemüsebau abgeben.

Es wurde im Berichtszeitraum in mehreren Treffen der Austausch mit anderen Fachgruppen angestossen. Aus diesem fachlichen Austausch soll auch ein Mehrwert für die Beteiligten entstehen:

Mit dem Ressourcenschutzprojekt Humus im Kanton Solothurn wird angestrebt, Landwirten eine gemeinsame Veranstaltung anzubieten. Darin sollen die Wechselwirkungen zwischen Humus(aufbau) und N-Speicherung / N-Mineralisation verständlich erklärt und mögliche Zielkonflikte angesprochen werden. Ziel ist es, das Boden-Systemverständnis der Landwirtschaft auf greifbarer Ebene zu fördern.

Im Fachaustausch unter Projektleitenden aus Forschung und Beratung zum Thema «Effizienter N-Einsatz dank digitalen Technologien» gab es Anknüpfungspunkte in den Bereichen Ertragsserhebung, N-Modellierung mit KI und Drohnenbilder als Messtechnik. Hier kann das Projekt CriticalN Raum zur Erprobung innovativer Technologien geben, wertvolle Datensätze als «ground truth» zur Validierung der Technologien bereitstellen und so die vorhandene wissenschaftliche Infrastruktur zusätzlich für andere Gruppen nutzbar machen.

Mit der recht neuen Agroscope-Versuchsstation zum Gemüsebau am Standort Ins, in Person Michael Gugger, wurde ebenfalls eine Zusammenarbeit vereinbart, die auf den Daten aus CriticalN aufbauen soll.

5 Literaturverzeichnis

AfU Solothurn. 2022. Das Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten - Amt für Umwelt - Kanton Solothurn. (<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/grundwasser/schutz/das-nitratprojekt-niederbipp-gaeu-olten/>)

AfU Solothurn, Fachbereich Hydrometrie. 2023. Hydrometrie - Daten - Umweltdaten - Kanton Solothurn. (<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/umweltdaten/wasser/hydrometrie/daten/>)

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.

Bürge, D. und Agroscope. 2020. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope. Version 1.2. Agroscope Reckenholz, Zurich (Switzerland).

Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. 2011. Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren.

Neuweiler & Krauss. 2017 , Kap. 10 in: Sinaj, S., Richner, W. 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8(6).

Sinaj, S., Richner, W. 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8(6).

6 Anhang

6.1 Datentabelle 2021

Tabelle 7: Erhobene Daten 2021

Ernte-Datum	Parzelle	Kultur	Variante	Masse Ernte [dt ha ⁻¹]	Masse Aufwuchs [dt ha ⁻¹]	N-Sickerung Nach-Vegetation [kg/ha]	marktfähig [Stück/Stück ges.]	Biomasse [%] Abfuhr	N Düngung [kg ha ⁻¹]	N Abfuhr/ Ernte [kg ha ⁻¹]	N Ernterest [kg ha ⁻¹]	N Verbleib [kg ha ⁻¹]	N Aufwuchs [kg ha ⁻¹]	N1: Düngung - Abfuhr	N2: Düngung - Aufwuchs	N3: N-Effizienz Ernte /Düngung [%]	N4: Nmin + N Verbleib nach Ernte	Nmin nach Ernte 0-60cm [kg/ha]	Nmin nach Ernte 0-15cm [kg/ha]	Bemerkung
25.06.21	Muermatten Süd	Eisberg-salat	Nmin	233	430	38	78%	54%	245	25	41	41	66	219	179	10%	n.b.	20	6	
25.06.21	Muermatten Süd	Eisberg-salat	Kontrolle	268	449	33	78%	60%	208	29	37	37	66	179	141	14%	n.b.	n.b.	4	
01.07.21	Dich oben	Frisée	Nmin	331	450	n.b.	98%	73%	126	57	21	21	78	69	48	45%	n.b.	n.b.	47	
01.07.21	Dich oben	Frisée	Kontrolle	453	584	n.b.	98%	78%	186	79	21	21	100	107	86	42%	n.b.		39	
14.09.21	Dich oben	Eisberg-salat	Nmin	251	396	n.b.	94%	63%	103	25	30	30	55	78	47	24%	213	183	47	Nach Ernte wurde hier
14.09.21	Dich oben	Eisberg-salat	Kontrolle	188	341	n.b.	81%	55%	135	19	31	31	50	116	85	14%	203	172	39	W-Weizen gesät
18.10.21	Bahnwärterhaus	Lauch	Nmin	297	498	121	95%	60%	237	50	44	44	94	187	143	21%	73	29	6	Beide Varianten
18.10.21	Bahnwärterhaus	Lauch	Kontrolle	262	426	112	96%	61%	237	56	40	40	95	181	142	23%	96	56	51	wurden gleich gedüngt

6.2 Datentabelle 2022

Tabelle 8: Erhobene Daten 2022

Betrieb	Parzelle	Variante	Kultur	Start	Ernte	Masse Erntegut [dt ha ⁻¹]	Masse Ernterest [dt ha ⁻¹]	Marktfähigkeit	Aufwuchs [dt/ha]	Biomasse Abfuhr [%]	N Düngung Gesamt [kg ha ⁻¹]	N Abfuhr [kg ha ⁻¹]	N Verbleib [kg ha ⁻¹]	N Aufwuchs [kg ha ⁻¹]	N1 Düngung - Abfuhr	N2 Düngung - Aufwuchs	N3 N-Effizienz Ernte/Düngung [%]	N4 Nmin + N Verbleib nach Ernte	Nmin zum Start 0-60 [kg/ha]	Netto Mineralisation [kgN/ha]	Nmin nach Ernte 0-15cm [kg/ha]	Nmin nach Ernte 0-30cm [kg/ha]	Nmin nach Ernte 0-60cm [kg/ha]
Bobst	10	Nmin	Zwiebel	30.09.21	01.06.22	536	170	99%	707	76%	114	59	45	104	55	10	52%						
Bösiger	Aebisholz	Kontrolle	Eissalat	28.03.22	31.05.22	181	450	67%	631	29%	120	24	102	126	96	-6	20%						
Bösiger	Aebisholz	Nmin	Eissalat	28.03.22	31.05.22	204	436	64%	641	32%	96	24	70	94	72	2	25%						
Bösiger	Aebisholz	Nmin	Kopfsalat	04.07.22	09.08.22	275	110	82%	385	71%	110	67	27	94	43	16	61%	233	170	20	46	107	206
Bösiger	Aebisholz	Monitoring	Zucchetti	04.07.22	10.10.22	696	289	99%	985	71%	104	157	147	303	-53	-199	151%	355			76	112	208
Bösiger	Bahnwärterhaus	Kontrolle	Brokkoli	25.04.22	07.07.22	180	610	98%	790	23%	174	66	188	254	108	-80	38%						
Bösiger	Bahnwärterhaus	Nmin	Brokkoli	25.04.22	07.07.22	164	620	93%	784	21%	168	56	168	224	111	-56	34%						
Müller	Dich oben	Kontrolle	Eissalat	29.03.22	31.05.22	326	240	91%	566	58%	180	40	59	98	140	82	22%						
Müller	Dich oben	Nmin	Eissalat	29.03.22	31.05.22	293	227	95%	520	56%	150	34	50	84	116	66	23%						
Müller	Dich oben	Kontrolle	Endivie Frisée	27.06.22	10.08.22	288	142	93%	430	67%	122	119	59	178	3	-56	98%	211	158	50	74	94	152

Betrieb	Parzelle	Variante	Kultur	Start	Ernte	Masse Erntegut [dt ha ⁻¹]	Masse Ernterest [dt ha ⁻¹]	Marktfähigkeit	Aufwuchs [dt/ha]	Biomasse Abfuhr [%]	N Düngung Gesamt [kg ha ⁻¹]	N Abfuhr [kg ha ⁻¹]	N Verbleib [kg ha ⁻¹]	N Aufwuchs [kg ha ⁻¹]	N1 Düngung - Abfuhr	N2 Düngung - Aufwuchs	N3 N-Effizienz Ernte/Düngung [%]	N4 Nmin + N Verbleib nach Ernte	Nmin zum Start 0-60 [kg/ha]	Netto Mineralisation [kgN/ha]	Nmin nach Ernte 0-15cm [kg/ha]	Nmin nach Ernte 0-30cm [kg/ha]	Nmin nach Ernte 0-60cm [kg/ha]
Müller	Dich oben	Nmin	Endivie Frisée	27.06.22	10.08.22	301	125	94%	426	71%	93	99	55	154	-6	-61	106%	210	133	82	25	88	155
Müller	Dich oben	Nmin	Endivie	27.06.22	10.08.22	335	123	93%	458	73%	115	114	43	157	1	-42	99%	161	133	26	23	35	118
Müller	Dich Unten	Kontrolle	Eissalat	28.03.22	30.05.22	310	292	83%	601	51%	180	36	72	109	144	71	20%						
Müller	Dich Unten	Nmin	Eissalat	28.03.22	30.05.22	335	288	88%	623	54%	119	37	64	101	82	18	31%						
Müller	Dich Unten	Kontrolle	Eissalat	27.06.22	16.08.22	179	480	69%	659	27%	153	27	120	147	126	6	18%	318	203	-11	69	108	198
Müller	Dich Unten	Nmin	Eissalat	27.06.22	16.08.22	218	446	76%	664	33%	113	33	102	134	80	-21	29%	277	169	27	32	66	175
Müller	Dich Unten	Null	Eissalat	27.06.22	16.08.22	204	461	74%	665	31%	0	28	99	128	-28	-128		266	203	91	91	114	167
Müller	Muer-matten Süd	Nmin	Randen	19.05.22	06.09.22	540	400	62%	940	57%	155	151	123	274	4	-119	97%	237	103	130	45	69	113
Bösiger	Oensing	Nmin	Kopfsalat	11.05.22	27.06.22	343	39	99%	382	90%	97	66	5	71	31	26	68%						
Müller	Rickenbach	Kontrolle	Eissalat	14.04.22	14.06.22	223	327	73%	550	41%	180	31	66	97	149	83	17%						
Müller	Rickenbach	Nmin	Eissalat	14.04.22	14.06.22	151	363	61%	513	29%	117	16	54	70	101	47	13%						
Müller	Rickenbach	Kontrolle	Endivie Frisée	21.07.22	07.09.22	464	267	96%	731	63%	108	77	46	123	31	-15	71%	154	182	-60	40	73	107
Müller	Rickenbach	Nmin	Endivie Frisée	21.07.22	07.09.22	435	288	92%	723	60%	101	76	44	121	25	-20	76%	198	182	-8	51	93	154
Müller	Rickenbach	Null	Endivie Frisée	21.07.22	07.09.22	363	187	96%	550	66%		54	27	81				95	182	-33	19	47	68