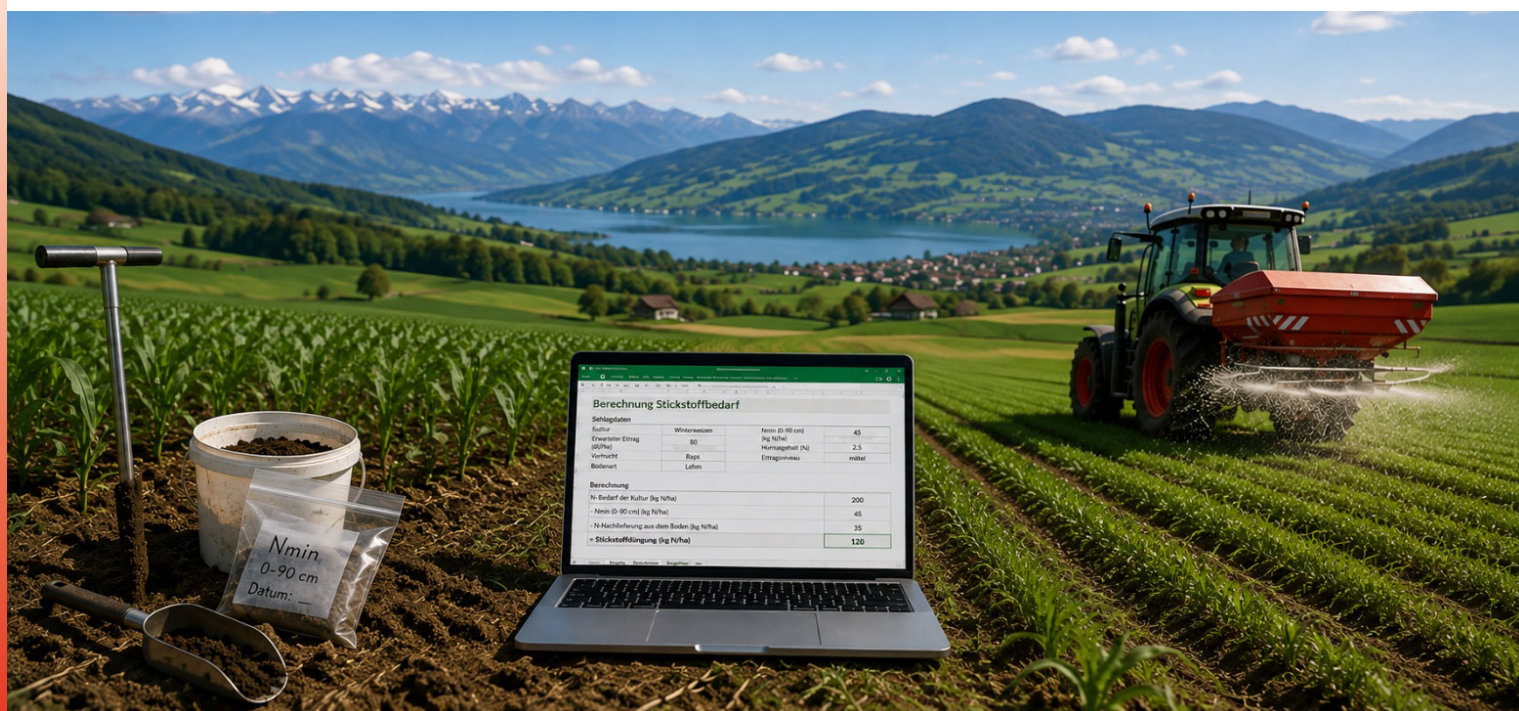




N_{min}-basierte Stickstoffdüngung im Ackerbau im Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten

Entwicklung eines Tabellen-Tools für die Berechnung
des N-Bedarfs ausgewählter Ackerkulturen

Version V4.2, 2026

Francesco Argento¹, Andreas Schwarz², Corinna Pünter³,
Wolf-Anno Bischoff², Frank Liebisch¹

¹ Agroscope, Gewässerschutz und Stoffflüsse, 8046 Zürich

² Gutachterbüro TerrAquat, Schellingstrasse 43, 72622 Nürtingen, DE

³ Bildungszentrum Wallierhof, Kanton Solothurn



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Partner :



Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191, 8046, Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Frank Liebisch frank.liebisch@agroscope.admin.ch
Redaktion	F. Argento, F. Liebisch, A. Schwarz
Gestaltung	Agroscope
Fotos	F. Argento
Titelbild	Eigene Darstellung, erstellt mit KI-Unterstützung (OpenAI, ChatGPT), 2026
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2026
DOI	https://doi.org/10.34776/as239g
Kontakte	nitratprojekt@agroscope.admin.ch

Haftungsausschluss:
Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Vorwort	4
Zusammenfassung	4
Résumé	5
Summary	6
Riassunto	7
1 Einführung	8
1.1 Die Düngung von Ackerkulturen nach GRUD-Norm und N _{min}	8
1.2 Revisionsbedarf der N _{min} Methode	8
1.3 N _{min} -Workflow im Nitratprojekt NGO	9
2 Düngebedarfsermittlung nach N_{min} für Ackerkulturen	10
2.1 Grundlagen	10
2.2 Kulturspezifische Düngebedarfsermittlung nach N _{min} im Tool	11
2.2.1 Probenahme, Termin und N _{min} Sollwert	11
2.2.2 Erläuterungen Getreideanbau	13
2.2.3 Erläuterungen Hackfrüchte	13
2.3 Grenzen der N _{min} Methode	13
3 Nutzung und Entwicklung des Tools	14
3.1 Struktur und Inhalt	14
3.1.1 Einleitung	15
3.1.2 Blatt 0: Zentrale Eingabe	16
3.1.3 Blatt 1: Dateneingabe	16
3.1.4 Blatt 2: N _{min} Berechnung	18
3.1.5 Blatt 3: N-Düngeempfehlung und Korrekturfaktoren	18
3.1.6 Blatt 4: Output und Empfehlung	20
3.1.7 Blatt 5: N _{min} für die Betriebe	20
3.1.8 Tool Annexes	20
4 Literaturverzeichnis	21
5 Abbildungsverzeichnis	22
6 Tabellenverzeichnis	22
7 Anhang	23
7.1 GRUD 2017 Tabellen - Kapitel 8	23
7.2 Skelettgehaltklassen	28

Vorwort

Der folgende Bericht hat zum Ziel, die theoretischen und praktischen Hintergründe sowie die technische Entwicklung des Tabellen-basierten Tools zur Berechnung einer N_{min}-basierten N-Düngeempfehlung zu dokumentieren. Das Tool ist als Guideline für die Beratung im [Nitratprojekt Niederbipp - Gäu - Olten \(4. Projektperiode 2021 - 2026\) - Amt für Umwelt - Kanton Solothurn](#) und dem wissenschaftlichen Begleitprojekt [CriticalN](#) entwickelt worden. Die Basis dafür sind die Grundlagen der Düngung (GRUD 2017) ergänzt um Expertenwissen sowie eine Literatur- und Methodenrecherche auf internationaler Ebene. Ein Vergleich der hier beschriebenen Methode mit der Empfehlung nach N_{min} in der GRUD sowie der korrigierten Norm ist Bestandteil des Syntheseberichts des CriticalN Projektes, welcher Ende 2026 erscheinen wird.

Die inhaltliche und technische Entwicklung wurde von Agroscope und TerrAquat zusammen mit der Beratung vom Bildungszentrum Wallierhof durchgeführt und wird vom Wallierhof, Kanton Solothurn, und dem Bildungszentrum Inforama, Kanton Bern, für die Beratung im Nitratprojektperimeter verwendet. Die Anwendung der Methode innerhalb des Tools, insbesondere der Korrekturfaktoren, ist für das Nitratprojekt entwickelt und ist aktuell nicht als schweizweite Empfehlung zu verstehen. Das Tool dient aber weiterhin als Grundlage für Projekte zu Weiterentwicklung der N_{min}-Methodik und als Blaupause für Digitalisierungsprojekte.

Zusammenfassung

Die N-Düngegaben vor Kulturbeginn oder während des Kulturverlaufs werden unter Berücksichtigung des pflanzenverfügbaren N_{min} (mineralischer N in Nitrat- und Ammoniumform), der zum Zeitpunkt der anstehenden N-Düngungsmassnahme im Wurzelraum der Kultur vorhandenen ist, angepasst. Die N_{min}-Bestimmung berücksichtigt das in verschiedenen Bodenschichten (0–30, 30–60 und 60–90 cm) im Ackerbau) enthaltene N in Form von Nitrat-(NO₃-N) und Ammonium-Stickstoff (NH₄-N). Diese werden unter Berücksichtigung der Steingehalte und der Bodendichte nach der Agroscope-Referenzmethode in den N_{min}-Gehalt umgerechnet.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass der aktuelle N_{min}-Gehalt im Boden zeitnah gemessen wird, was verlässlicher ist als eine Formelbasierte Schätzung wie die Methode der korrigierten Norm. Der zusätzliche Arbeitsaufwand und Kosten für die N_{min}-Probenahme und Analytik gelten als Nachteil im Vergleich zur Düngebedarfsermittlung nach korrigierter Norm ist. Zusätzlich liefert die N_{min}-Methode nur eine Momentaufnahme des pflanzenverfügbaren N.

Um eine qualitative hochwertige Düngeempfehlung nach N_{min} zu erstellen, müssen verschiedene Schritte berücksichtigt werden: von der Entnahme, Lagerung, Transport, über die Bearbeitung der Bodenproben und die Analytik bis hin zur Interpretation, Berechnung und Übermittlung der Düngerempfehlungen. Im Rahmen des Projekts «CriticalN» und des Nitratprojekts «Niederbipp Gäu Olten» (NGO) wurden die ersten Schritte zur Beprobung und Analyse bereits optimiert, indem die Proben standardisiert entnommen und die Qualität der Analyse durch einen direkten Vergleich mit einem Labor bei deutschen Ringversuchen überprüft und gesichert wurden. Im Rahmen des Projekts befasst sich dieser Bericht mit den weiteren Schritten zur Interpretation, Berechnung und Übermittlung von Düngerempfehlungen. Dieser Bericht zeigt projektbasierte Verbesserungen der N_{min}-Methodik und deren praktische Umsetzung, was eine zukünftige Überarbeitung der N_{min}-Methode im Rahmen der Grundlagen für die Düngung unterstützen kann.

Die Grundlage für die Düngebedarfsermittlung jeder Kultur ist eine Kombination verschiedener Faktoren, von denen einer der wichtigsten die Ertragserwartung und damit die potenzielle N-Aufnahme der gesamten Pflanze während der Saison ist. Dieser Wert wird als Referenzwert für den gesamten N-Bedarf der Kultur verwendet, auf den verschiedene Korrekturfaktoren angewandt werden. In der Schweiz sind für die Normdüngung Referenzwerte publiziert. In diesem Bericht werden die Norm- und Referenzwerte sowie bekannte N_{min}-Sollwerte aufgeführt. Anschliessend wird die Aufteilung in den Gaben für in der Schweiz angebaute Hauptkulturen erläutert: aktuell Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Körner- und Silomais und Zuckerrüben. Grundsätzlich gilt, dass jegliche Düngung vom N_{min}-Sollwert abgezogen werden muss und die N_{min}-Messung zum Zeitpunkt der grössten Düngegabe und Relevanz erfolgen sollte.

Um dieses Wissen im Projekt zu bündeln und die Interpretation, Berechnung und Übermittlung der Düngerempfehlungen für die Beratung zu erleichtern, wurde das hier vorgestellte Tabellen-Tool entwickelt. Es besteht aus vier Abschnitten: i) Die Dateneingabe, in der die notwendigen Daten (zentrale Eingabe zum Betrieb, Erfassung Hof- und Recyclingdünger, Boden, Kultur, Grunddüngung/erste N-Gabe, Zwischen- und Vorkultur) für die Berechnungen zusammengestellt und eingetragen werden; ii) Die N_{min}-Berechnung, in der die Labordaten importiert und die N_{min}-Werte berechnet werden; iii) Die N-Bedarfsberechnung, in der die N-Düngeempfehlung auf Grund der Eingaben und der Korrekturfaktoren berechnet werden, und schliesslich iv) die N-Empfehlung, in der die N-Düngeempfehlung und wichtige Betriebsdaten zusammengestellt werden, um als Beratungsinformation abgegeben zu werden. Wenn die Gesamt-N-Düngeempfehlung über dem Normwert liegt, wird zusätzlich eine Korrektur vorgenommen. Dadurch wird die Düngeempfehlung auf den Normwert für die jeweilige Kultur begrenzt.

Résumé

Les apports d'engrais azotés avant le début de la culture ou au cours de celle-ci sont adaptés en tenant compte du N_{min} disponible pour les plantes (azote minéral sous forme de nitrate et d'ammonium) présent dans la zone racinaire de la culture au moment de l'application d'engrais prévue. Pour déterminer le N_{min} en grandes cultures, on prend en compte l'azote présent sous forme d'azote nitrique (NO₃-N) et d'azote ammoniacal (NH₄-N) dans différentes couches du sol (0–30, 30–60 et 60–90 cm). Ceux-ci sont convertis en teneur en N_{min} selon la méthode de référence d'Agroscope, en tenant compte du pourcentage de pierres et de la densité du sol.

L'avantage de cette méthode réside dans le fait que la teneur en N_{min} du sol ainsi déterminée est une mesure en temps réel, ce qui est plus fiable qu'une estimation basée sur une formule, telle que la méthode de la norme corrigée. La charge de travail et les coûts supplémentaires liés au prélèvement des échantillons et à l'analyse du N_{min} sont considérés comme un inconvénient par rapport à la détermination des besoins en engrais selon la norme corrigée. De plus, la méthode N_{min} ne fournit qu'un relevé de l'azote disponible pour les plantes à un moment donné.

Pour établir des recommandations de fertilisation de haute qualité basées sur la teneur en N_{min}, il convient de passer par différentes étapes, à savoir le prélèvement, le stockage et le transport des échantillons de sol, sans oublier leur traitement et leur analyse, jusqu'à l'interprétation, au calcul et à la transmission des recommandations de fertilisation. Dans le cadre du projet «CriticalN» et du projet sur les nitrates «Niederbipp Gäu Olten» (NGO), les premières étapes de l'échantillonnage et des analyses ont déjà été optimisées: les échantillons ont été prélevés selon une méthode standardisée et la qualité des analyses a été vérifiée et garantie par une comparaison directe avec un laboratoire participant à des essais interlaboratoires allemands. Dans le cadre de ce projet, ce rapport traite des étapes suivantes, à savoir l'interprétation, le calcul et la transmission des recommandations de fertilisation. Ce rapport présente les améliorations apportées à la méthode N_{min} dans le cadre du projet ainsi que leur mise en œuvre, ce qui peut contribuer à une future révision de la méthode N_{min} dans le cadre des principes de fertilisation.

La détermination des besoins en engrais de chaque culture repose sur une combinaison de différents facteurs, dont l'un des plus importants est le rendement attendu et, par conséquent, l'absorption potentielle d'azote par la plante entière au cours de la saison. Cette valeur sert de référence pour l'ensemble des besoins en azote de la culture, valeur à laquelle sont appliqués divers facteurs de correction. En Suisse, des valeurs de référence sont publiées pour la fertilisation standard. Le présent rapport répertorie les valeurs standard et de référence ainsi que les valeurs cibles connues de N_{min}. Ensuite, la répartition des apports pour les principales cultures en Suisse sont détaillées: actuellement, il s'agit des cultures de blé d'automne, d'orge d'automne, de colza d'automne, de maïs grain et de maïs ensilage ainsi que de betterave sucrière. En principe, chaque apport d'engrais doit être déduit de la valeur cible de N_{min} et la mesure de N_{min} doit être effectuée au moment de l'apport d'engrais le plus important et le plus pertinent.

Afin de regrouper ces connaissances dans le projet et de faciliter l'interprétation, le calcul et la transmission des recommandations en matière de fertilisation à des fins de conseil, l'outil présenté ici a été développé. Il se compose de quatre parties: i) la saisie des données: les données nécessaires (informations générales sur l'exploitation, liste des engrais de ferme et des engrais de recyclage, sol, culture, fertilisation de base/premier apport d'azote, précédents culturaux et intermédiaires) sont rassemblées et saisies pour les calculs; ii) le calcul de l'azote présent dans le sol (N_{min}): les résultats d'analyse sont importés et les valeurs N_{min} calculées; iii) le calcul des besoins en

azote: la recommandation de fertilisation azotée est déterminée sur la base des données saisies et des facteurs de correction et enfin iv) la publication de la recommandation: la recommandation de fertilisation et les données importantes relatives à l'exploitation sont regroupées afin d'être transmises aux conseillers et aux exploitants. Si la recommandation de fertilisation azotée dépasse la valeur normale, une correction supplémentaire est appliquée. La recommandation de fertilisation est ainsi limitée à la valeur normale pour la culture concernée.

Summary

The N-fertiliser inputs before the start of or during the course of crop cultivation are adjusted by factoring in the plant-available N_{min} (mineral N in the form of nitrate and ammonium) in the root zone of the crop at the time of the pending N-fertilisation measure. N_{min} determination takes into account the N in the form of nitrate (NO₃-N) and ammonium nitrogen (NH₄-N) contained in different soil layers (depths of 0–30, 30–60 and 60–90 cm in arable production). These are converted into N_{min} content according to the Agroscope reference method, factoring in stone content and soil density.

The advantage of this method is that it measures the current soil N_{min} content in a timely manner, which yields a more reliable result than a formula-based estimate like the method of the corrected norm. The additional effort and costs of N_{min} sampling and analysis are regarded as drawbacks compared to the determination of the fertiliser requirement using the corrected norm. Furthermore, the N_{min} method provides only a snapshot of plant-available N.

To create a high-quality fertilisation recommendation according to N_{min}, several steps must be performed, ranging from sampling, storage and transport, through the processing and analysis of the soil samples, to the interpretation, calculation and communication of the fertilisation recommendations. Within the 'CriticalN' Project and the 'Niederbipp Gäu Olten' (NGO) Nitrate Project, the initial sampling and analysis steps have already been optimised, with the samples being taken in a standardised manner and the quality of the analysis being verified and ensured by direct comparison with a laboratory taking part in German ring trials. As part of the project, this report deals with the additional steps for interpreting, calculating and communicating fertilisation recommendations. The report shows project-based improvements of the N_{min} methodology and their implementation in practice, which can help with a future revision of the N_{min} method as part of the 'Principles of Agricultural Crop Fertilisation in Switzerland' (GRUD/PRIF).

The basis for determining the fertilisation requirement of each crop is a combination of different factors, one of the most important of which is yield expectation, and hence the entire plant's potential N uptake during the season. This value is used as a reference value for the total N requirement of the crop, to which various correction factors are applied. In Switzerland, reference values are published for standard fertilisation. This report lists the standard and reference values as well as known N_{min} target values, followed by a breakdown into the inputs for the main crops cultivated in Switzerland: currently, winter wheat, winter barley, winter oilseed rape, grain and silage maize, and sugar beet. As a general rule, every fertiliser application must be deducted from the N_{min} target value and the N_{min} should be measured at the time of the greatest fertiliser input and relevance.

The table tool introduced here was developed to bundle this knowledge in the project and to facilitate the interpretation, calculation and communication of the fertilisation recommendation for extension services. The tool consists of four steps: (i) data input, in which the necessary data (central input on the farm, recording of farmyard and recycled fertilisers, soil, crop, basic fertilisation/first N input, previous crop and catch crop) for the calculations are compiled and entered; (ii) the N_{min} calculation, in which the laboratory data are imported and the N_{min} values are calculated; (iii) the N-requirement calculation, in which the N-fertiliser recommendation is calculated based on the inputs and correction factors; and lastly (iv) the N recommendation, in which the N-fertiliser recommendation and important farm data are compiled to be issued as advisory information. Where the total N-fertiliser recommendation exceeds the standard value, a correction is also undertaken. This limits the fertiliser recommendation to the standard value for the crop in question.

Riassunto

La concimazione azotata prima dell'inizio della coltivazione o durante il ciclo colturale viene adeguata tenendo conto dell' N_{min} disponibile per le piante (N minerale sotto forma di nitrato e ammonio) presente nella zona radicale della coltura al momento dell'intervento previsto per la concimazione azotata. Nelle colture, l' N_{min} viene determinato in base all' N contenuto nei diversi strati del suolo (0–30, 30–60 e 60–90 cm) sotto forma di azoto nitrico (NO_3-N) e azoto ammoniacale (NH_4-N). Questi valori vengono convertiti nel tenore di N_{min} , considerando il contenuto di pietre e la densità del suolo, secondo il metodo di riferimento di Agroscope.

Grazie a questo metodo si può misurare istantaneamente l'attuale contenuto di N_{min} nel suolo, un'informazione più affidabile rispetto a una stima basata su formule, come il metodo della norma corretta. L'onere di lavoro aggiuntivo e i costi per il prelievo dei campioni di N_{min} e la loro analisi sono considerati svantaggiosi rispetto alla determinazione del fabbisogno di concime secondo la norma corretta. Inoltre, il metodo N_{min} fornisce solo un'istantanea dell' N disponibile per le piante.

Per formulare raccomandazioni affidabili per la concimazione secondo il N_{min} è necessario prevedere varie fasi: dal prelievo, alla conservazione e al trasporto, passando per la preparazione dei campioni di suolo e l'analisi, fino all'interpretazione, al calcolo e alla trasmissione delle raccomandazioni per la concimazione. Nell'ambito del progetto «CriticalN» e del progetto sui nitrati «Niederbipp Gäu Olten» (NGO), si sono già ottimizzate le prime fasi relative al prelievo dei campioni e all'analisi, standardizzando il prelievo dei campioni nonché verificando e garantendo la qualità delle analisi per mezzo di un confronto diretto con un laboratorio tramite test comparativi condotti in Germania. Nell'ambito del progetto, il presente rapporto riguarda le fasi successive relative all'interpretazione, al calcolo e alla trasmissione delle raccomandazioni per la concimazione. Questo rapporto illustra i miglioramenti della metodologia N_{min} sviluppati nell'ambito del progetto e la loro applicazione pratica, fornendo un supporto per una futura revisione del metodo N_{min} nell'ambito delle basi per la concimazione.

Per determinare il fabbisogno di concime di ciascuna coltura si valutano congiuntamente svariati fattori: uno dei più rilevanti è la resa prevista, dalla quale dipende il potenziale assorbimento di N da parte dell'intera pianta durante la stagione. Questo valore serve come riferimento per l'intero fabbisogno di N della coltura, al quale si applicano diversi fattori di correzione. In Svizzera sono stati pubblicati valori di riferimento per la concimazione normale. Nel presente rapporto figurano i valori normali e di riferimento nonché i valori target N_{min} noti. Successivamente viene illustrata la ripartizione dell'applicazione per le principali colture coltivate in Svizzera: attualmente frumento autunnale, orzo autunnale, colza autunnale, mais da granella e da insilato nonché barbabietola da zucchero. In linea di principio, qualsiasi concimazione deve essere sottratta dal valore target N_{min} e la misurazione di N_{min} dovrebbe avvenire nel momento di maggiore apporto della concimazione e di maggiore rilevanza.

Per riunire queste informazioni nel progetto e facilitare l'interpretazione, il calcolo e la trasmissione delle raccomandazioni per la concimazione a fini di consulenza, è stato sviluppato lo strumento presentato qui sotto forma di tabella. Si articola in quattro fasi: i) l'inserimento dei dati, in cui per i calcoli vengono raccolte e inserite le informazioni necessarie (dati generali sull'azienda, registrazione dei concimi aziendali e ottenuti dal riciclaggio, suolo, coltura, concimazione di base/prima concimazione azotata, colture intermedie e precedenti); ii) il calcolo di N_{min} in cui vengono importati i dati di laboratorio e vengono calcolati i valori di N_{min} ; iii) il calcolo del fabbisogno di N in cui viene calcolata la raccomandazione per la concimazione azotata sulla base dei dati inseriti e dei fattori di correzione; e infine iv) la raccomandazione di N in cui vengono raccolti la raccomandazione per la concimazione azotata e i dati aziendali importanti, da fornire come informazione per la consulenza. Se la raccomandazione complessiva per la concimazione azotata supera il valore normale, si procede con un'ulteriore correzione. In questo modo la raccomandazione per la concimazione viene limitata al valore normale per la singola coltura.

1 Einführung

1.1 Die Düngung von Ackerkulturen nach GRUD-Norm und N_{min}

Die N-Düngegaben vor Kulturbeginn oder während des Kulturverlaufs werden unter Berücksichtigung des pflanzenverfügbaren N_{min} (mineralischer N in Nitrat- und Ammoniumform), der zum Zeitpunkt der anstehenden N-Düngungsmassnahme im Wurzelraum der Kultur vorhandenen ist, angepasst (Wehrmann & Scharpf, 1979). In der GRUD entsprechen die N-Düngungsnormen dem Stickstoffbedarf der Ackerkulturen, um einen durchschnittlichen Ertrag zu erreichen. Die N-Entzüge sowie die entsprechenden Düngungsnormen sind in Tabelle 2 (Sektion 2.2.1) aufgeführt.

Ertragskorrekturfaktoren sind im Rahmen der Düngung nach dem Prinzip der korrigierten Düngernorm beschrieben (Sinaj & Richner, 2017: Kapitel 8, Tabelle 11). Die Werte der N-Gehalte stammen aus zahlreichen Versuchen, die von Agroscope durchgeführt wurden (Maltas et al., 2015, Richner et al., 2010). Die Methode der korrigierten Düngernorm beschreibt auch die Berücksichtigung verschiedener Faktoren bezüglich der Pflanzen, des Bodens und/oder des Klimas. Pro Feld oder Sektor wurden 12-15 Einstiche, wobei in der Referenzmethode mind. 8-10 empfohlen sind (Bürge et al., 2020) auf der Fläche in drei Horizonten (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) vorgenommen. Diese wurden dann als Mischprobe der jeweiligen Horizonte an das Labor geschickt.

Die N_{min}-Methode zur Berechnung der erforderlichen N-Menge beruht auf der Messung des mineralischen N im Boden. Die N_{min}-Bestimmung berücksichtigt das in verschiedenen Bodenschichten (drei Schichten 0–30, 30–60 und 60–90 cm im Ackerbau) enthaltene N in Form von Nitrat- (NO₃-N) und Ammonium-Stickstoff (NH₄-N) (Abb. 2). Diese werden unter Berücksichtigung der Steingehalte und der Bodendichte nach der Agroscope Referenzmethode (Bürge et al., 2020) in N_{min} umgerechnet. Der Vorteil im Vergleich zur Düngebedarfsermittlung nach korrigierter Norm ist, dass der aktuelle N_{min}-Gehalt im Boden gemessen und bei der Düngung berücksichtigt wird. Der zu düngende N-Bedarf wird von einem N_{min}-Sollwert, der für viele Kulturen zur Verfügung steht, berechnet. Die Nachteile aus den Kosten und dem Aufwand für die Beprobung und Analyse.



Abbildung 1: Mechanische N_{min}-Probenahme (Februar 2022, S. Schönmann, Briner AG).

1.2 Revisionsbedarf der N_{min} Methode

Im Rahmen des Projektes sind Unklarheiten und Verbesserungsmöglichkeiten dokumentiert und diskutiert worden, die für eine Revision der N_{min}-Methode der aktuellen GRUD (Sinaj & Richner, 2017), relevant sein könnten. Obwohl dieser Bericht keine offizielle Revision der N_{min} Methode bietet, werden mögliche Lösungen vorgeschlagen:

- Aktualisierung der Referenzmethoden für Entnahme, Lagerung, Transport und Bearbeitung der Bodenproben anhand aktueller Standards und Forschungsergebnisse:
 - Probenahme:
 - Parzellen unter 1 Hektar = 10 Einstiche (Bürge et al., 2020, Referenzmethode: Probenahme für die N_{min}-Untersuchung)
 - Parzellen unter 2 Hektar = 20 Einstiche (VDLUFA Methodenbuch I, A 1.2 Probenahme für die N_{min}-Methode, 2025, 26 Seiten)
 - Parzellen grösser als 2 Hektar werden unter Berücksichtigung der räumlichen Variabilität in Teilschläge für die Beprobung unterteilt (VDLUFA Methodenbuch I, A 1.2 Probenahme für die N_{min}-Methode, 2025, 26 Seiten).

- Die Labor- und Analytikqualität sollte durch Ringversuche regelmässig überprüft werden (Argento et al., in der Vorbereitung; Tanner et al. in der Vorbereitung)
- N_{min}-Sollwerte müssen für aktuelle Sorten und Ertragserwartungen überprüft werden
- Verwendung von Korrekturfaktoren sollten mit den Faktoren der korrigierten Norm harmonisiert werden (vergleich Ausland und Feldversuche)
- Regionsspezifische Überprüfung und Anpassungen (N_{min}-Sollwerte, Korrekturfaktoren, Umgang mit Dichte und Steingehalt) muss durch Kantone, Branchen und Projekte geliefert werden, wie z.B. aktuell im Nitratprojekt NGO

1.3 N_{min}-Workflow im Nitratprojekt NGO

Im Projekt CriticalN und Nitratprojekt NGO wurden die ersten Schritte zur Beprobung und Analyse optimiert (Abb. 2). Dank der Entwicklung des hier vorgestellten Tools kann in der Beratung jetzt auch der Berechnungsteil effizient genutzt. Das Tool vereinfacht vor allem die Prozesse (1) und (6) in Abb. 2. Der grösste Teil der notwendigen Daten wird im Winter im Rahmen der Düngeplanung zusammengetragen und eingetragen, damit die N_{min}-Berechnung bei Erhalt der Analysewerte aus dem Labor schnell durchgeführt und die Düngeempfehlung den Betrieben mitgeteilt werden kann.

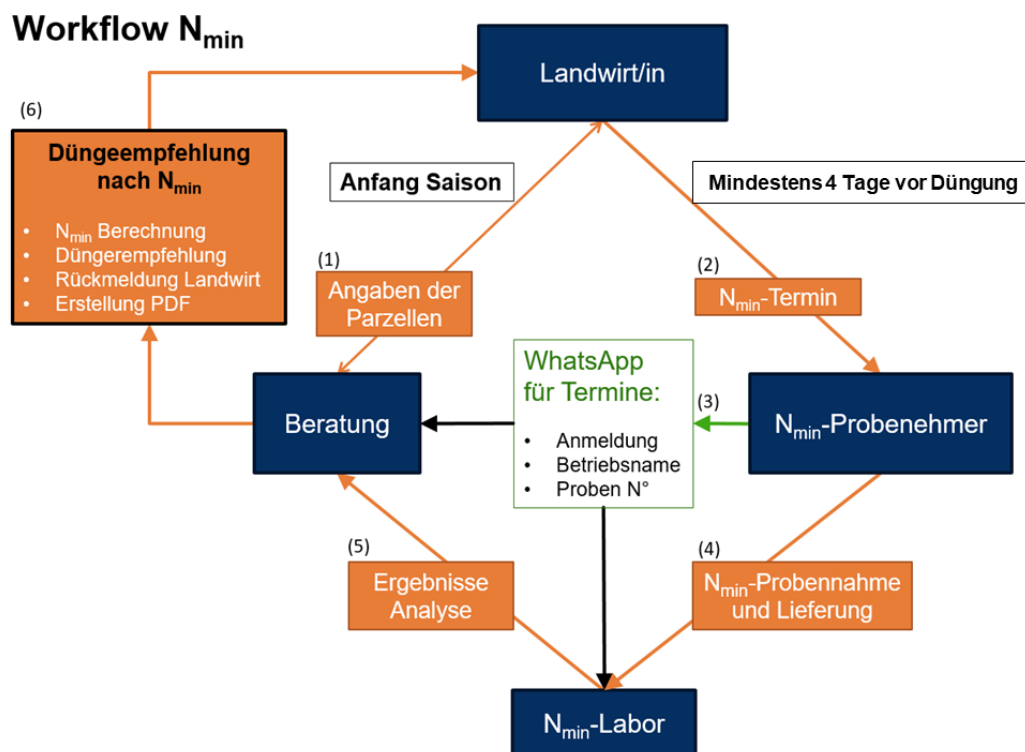


Abbildung 6: N_{min} Arbeitslauf im Projekt im Ackerbau. (1) Die Beratung und die Betriebe besprechen am Anfang der Saison die Düngeplanung, die Angaben der Parzellen inkl. der geplanten 1. Gabe. (2) Mindestens 4 Tage vor der Düngung wird die Probenahme beim Probennehmer in Auftrag gegeben, der (3) mit Partnern und Labor die Probenahme, Zeitpunkt und Befahrbarkeit per WhatsApp oder Mail abspricht. (4) Die Proben werden im Labor abgegeben. (5) Die Analyseergebnisse werden an die Beratung weitergeleitet, eine Düngeempfehlung wird berechnet und (6) an die Betriebe zurückgemeldet. Das Tool unterstützt die Prozesse (1) und (6).

2 Düngebedarfsermittlung nach N_{min} für Ackerkulturen

2.1 Grundlagen

Die Grundlage für die Düngebedarfsermittlung jeder Kultur ist eine Kombination verschiedener Faktoren, von denen einer der wichtigsten die durchschnittliche Ertragserwartung und damit die potenzielle N-Aufnahme der gesamten Pflanze während der Saison ist. Dieser Wert wird als Referenzwert, auch N_{min}-Sollwert genannt und für den gesamten Stickstoffbedarf der Kultur verwendet. In der Schweiz bildet die N_{min} Methode im Ackerbau (Neeteson, 1990, Sinaj & Richner, 2017, Kap 8) und das KNS-System (Kulturbegleitendes N_{min}-Sollwert-System) im Gemüsebau (Schöneberg und Liebisch, 2025; Feller et al., 2011) die methodische Basis. Hierbei wird der N_{min}-Sollwert als die Menge an mineralischem Stickstoff definiert, die zu Beginn der Hauptwachstumsphase im Bodenprofil (0–90 cm) im Ackerbau verfügbar sein muss, um das Ertragspotenzial auszuschöpfen (Sinaj & Richner, 2017, Kap 8). Auf diesen Wert werden verschiedene Korrekturfaktoren angewandt (siehe Sektion 3.1.5), um die Nachlieferung aus dem Boden nach der Probenahme zu berücksichtigen und schliesslich den Düngebedarf zu berechnen. Die in der GRUD beschriebenen N_{min}-Sollwerte und Korrekturfaktoren sind über 30igjährig und in einigen Projekten wurde auf veraltete Werte und fehlende Korrekturmöglichkeiten für die Anwendung hingewiesen, weswegen für dieses Projekt der Versuch unternommen wurde das aktuelle Wissen zum N_{min} in die Beratung einfließen zu lassen.

Während in der Schweiz Referenzwerte für die Normdüngung im Rahmen der Methode der korrigierten Norm publiziert sind, die als durchschnittlicher N-Bedarf nahe dem ökonomischen Optimum definiert werden (Maltas et al., 2015; Richner et al., 2010; Sinaj & Richner, 2017), zeigt der internationale Vergleich von N_{min}-basierten Düngeempfehlungen, dass N_{min}-Sollwerte häufig regional festgelegt werden (Jordan-Meille et al., 2023). Dabei wird der N_{min}-Sollwert grundsätzlich aus der Differenz zwischen der gesamten N-Aufnahme der Kultur und der durchschnittlichen Bodennachlieferung abgeleitet (Feller et al., 2025). Für eine genauere Bestimmung werden entweder Steigerungsversuche, oder die Beprobung des Wurzelsystems benötigt. Dies ist sehr aufwendig und deshalb sind diese Daten in der Regel nicht verfügbar. Wenn für bestimmte Kulturen oder Standorte keine spezifischen Schweizer Referenzwerte für N_{min}-Sollwerte vorliegen, kann die Differenz zwischen der kulturabhängigen N-Aufnahme und der durchschnittlichen Bodennachlieferung als erste Näherung zur Abschätzung von N_{min}-Sollwerten verwendet werden, da die durch die Wurzel aufgenommenen Nährstoffe in der Regel zurückbleiben (oder Teil der Abfuhr sind). Dieses Vorgehen ist seit mehr als 30 Jahren Bestandteil der GRUD und hat sich im Durchschnitt bewährt. Dies gilt insbesondere für Kulturen, die im vegetativen Stadium geerntet werden, wie z.B. Gemüse und Zuckerrüben. Da in den Abfuhrwerten jedoch die N-Aufnahme durch die Wurzel fehlt, kann, falls bekannt, die N-Gesamtaufnahme auch über das Wurzel-Sprossverhältnis zukünftig konkretisiert werden. Für abgreifende Kulturen, wie Weizen und Raps, kann allenfalls noch ein N-Verlust während der Abreife berücksichtigt werden, wenn keine Daten für die N-Aufnahme zum Zeitpunkt vor der Abreife zur Verfügung stehen.

Da die N-Aufnahme eng mit dem Ertragsniveau verknüpft ist, werden die Sollwerte in der Praxis häufig zusätzlich an das standortspezifische Ertragspotenzial angepasst (Jordan-Meille et al., 2023; Knöferl et al., 2025; LTZ -BW, 2020). In der Schweiz erfolgt diese Anpassung über die Ertragskorrektur der Normdüngung im Rahmen der Methode der korrigierten Norm nicht aber in der N_{min}-Methode. Da die N-Aufnahme durch die Kulturen aber Bodenunabhängig sind und dem Prinzip der Massenbilanz folgen sollten diese Korrekturfaktoren auch auf N_{min}-Sollwerte anwendbar sein. Die Ertragsanpassung in den N_{min}-Methoden (Jordan-Meille et al., 2023; Knöferl et al., 2025; LTZ -BW, 2020) folgen diesem Muster, weswegen wir dies auch im N_{min}-Tool berücksichtigen. Es ist allerdings darauf hinzuweisen das die Ertragskorrektur für die korrigierte Norm nicht dem tatsächlichen zusätzlichen N-Bedarf entsprechen, sie sind etwas niedriger. Eine zukünftige Anpassung auf eine Massenbilanzbasierte Methode (Jordan-Meille et al., 2023) würde diesem Umstand Rechnung tragen und die Übertragbarkeit von Korrekturfaktoren zwischen korrigierter Norm (Schätzmethode) und N_{min} (Messmethode) stark verbessern.

In den folgenden Abschnitten werden die Norm- und Referenzwerte sowie bekannte N_{min}-Sollwerte aufgeführt. Anschliessend wird die Aufteilung in Düngegaben für in der Schweiz angebaute Hauptkulturen (Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Körner- und Silomais sowie Zuckerrüben) erläutert. Grundsätzlich gilt, dass jegliche Düngung vom N_{min}-Sollwert abgezogen werden muss. Die N_{min}-Messung sollte zum Zeitpunkt der grössten Relevanz erfolgen: kurz vor der Phase des stärksten N-Zuwachses der Kultur, welche durch den Beginn der annähernd linearen N-Aufnahmedynamik charakterisiert werden kann (Feller et al. 2011) – beim Winterweizen etwa Ende März zur zweiten heute nach GRUD empfohlenen Gabe (Beginn Schossen, Tabelle 1). Zu diesem Zeitpunkt hat sich der Boden im Vergleich zur ersten Gabe bereits erwärmt, wodurch der Beitrag der Mineralisierung zum N_{min} besser messbar ist und auch die N-Aufnahme deutlicher ins Gewicht fällt. Damit ist die Messung deutlich sensibler auf den tatsächlichen Düngebedarf als zum Ende des Winters, wenn Mineralisierung und Pflanzenbedarf noch sehr niedrig sind. Die erste Gabe erfolgt dementsprechend pauschal (z. B. 20–50 kg N ha⁻¹) und wird ebenso wie eine geplante dritte Gabe vom Gesamtsollwert abgezogen.

In Nitratprojekten wird über die Suisse-Bilanz eine zusätzliche Beschränkung für die Düngung verlangt (BLW, 2026). Diese besagt, dass der Düngebedarf nur maximal den Normertrag zugrundelegen darf. Liegt die Empfehlung über dem Normwert, erfolgt im Tool eine Korrektur, um den Düngebedarf auf das Niveau der Standarderträge zu halten, um die Vorgaben der Wegleitung der Suisse-Bilanz in Nitratprojekten nach Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes einzuhalten (BLW, 2025). In diesem Bericht ist diese Berechnung als «SuiBi-62a» bezeichnet. Ein ähnlicher Ansatz wird in Nitrat-sensiblen Gebieten auch in Deutschland verfolgt, beispielsweise durch den Nitratinformationsdienst (NID) aus Baden-Württemberg ([Düngung BW - Informationen](#)).

2.2 Kulturspezifische Düngebedarfsermittlung nach N_{min} im Tool

2.2.1 Probenahme, Termin und N_{min} Sollwert

Tabelle 1: Termin und Entnahmetiefen der N_{min}-Proben für die sechs Kulturen die aktuell im Tool integriert sind.

Kultur	Termin für N _{min}	Entnahmetiefe
Getreide		
Winterweizen	Beginn Schossen (BBCH 30-32) *	0-30, 30-60, 60-90 cm
Wintergerste	Beginn Schossen (BBCH 30-32) *	0-30, 30-60, 60-90 cm
Hackfrüchte		
Raps	Beginn Schossen (BBCH 30)	0-30, 30-60, 60-90 cm
Körnermais	Blattstadium 5-6	0-30, 30-60, 60-90 cm
Silomais	Blattstadium 5-6	0-30, 30-60, 60-90 cm
Zuckerrüben	Blattstadium 4-6	0-30, 30-60, 60-90 cm

*statt Vegetationsbeginn

Tabelle 2: Normerträge, Düngenormen und N_{min}-Sollwerte für die sechs Kulturen im Tool.

Kultur	Kultur-gruppe	Normertrag (GRUD) [dt/ha]	Dünge-norm [kg N/ha]	N _{min} -Sollwert (GRUD) [kg N/ha]	Differenz (Düngenorm und N _{min} -Sollwert [kg N/ha]
Getreide					
Winterweizen	Winter	60	140	190	50
Wintergerste	Winter	60	110	150	40
Hackfrüchte					
Winterraps	Winter	35	150	200	50
Silomais	Sommer	185	110	210	100
Körnermais	Sommer	100	110	210	100
Zuckerrüben	Sommer	900	100	210	110

Tabelle 3: Zeitpunkt der N-Düngung, Prinzip der Aufteilung in verschiedene Gaben am Beispiel der sechs Kulturen im Tool.

Kultur	N _{min} -Sollwert [kg N/ha]	Grunddüngung (vor oder nach Aussaat) [kg N/ha]	1. Gabe (Frühjahr) [kg N/ha]	2. Gabe [kg N/ha]	3. Gabe [kg N/ha]
Getreide					
Winterweizen	190	--	40	120	30
Wintergerste	150	--	40	80	30
Hackfrüchte					
Winterraps	200	40	160 ^a	-- ^a	--
Körnermais	210	30	180 ^a	-- ^a	--
Silomais	210	30	180 ^a	-- ^a	--
Zuckerrüben	210	30	180 ^a	-- ^a	--

gelb hinterlegt: abzüglich N_{min} und weiteren Korrekturfaktorenorange hinterlegt: abzüglich Vorfruchtwert und Bodennachlieferung (oder N_{min})^a Aufteilung der Frühlingsdüngung in zwei Gaben ist möglich

Bei zukünftigen Anpassungen und der Etablierung mit anderen Kulturen sollten N_{min}-Sollwerte nicht starr übernommen, sondern konsequent an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden. Dabei ist zu entscheiden, ob diese Werte durch wissenschaftlich fundierte Modelle aus bestehenden Daten abgeleitet oder durch Feldversuche vor Ort experimentell bestimmt werden. Da Bodenbeschaffenheit und Klima stark variieren, sollten diese Sollwerte als regional festlegbare Grössen behandelt werden, um sowohl den ökonomischen Ertrag als auch den ökologischen Gewässerschutz im Ganzen zu optimieren.

2.2.2 Erläuterungen Getreideanbau

Im Unterschied zur Vorgabe der GRUD wird hier die N_{min} Analyse für Getreide bei BBCH 30-32, was dem Zeitpunkt der 2. Gabe entspricht, angewendet. Dies vor allem weil die frühzeitige Probenahme bei kaltem Wetter die Freisetzung aus dem Boden schlecht repräsentiert. Die Probenahme zur zweiten Gabe sollte also das Risiko zu hoher Düngung minimieren. Der N_{min}-Sollwert bleibt gleich, jedoch muss die zuvor applizierte Düngung nun schon abgezogen werden. Die maximale N-Menge in einer Gabe ist auf 50 kg N/ha (Wintergerste) bis 70 kg N/ha (Winterweizen) zu beschränken (GRUDAF, Walther et al., 1992; Tabelle 26, Kapitel 8, GRUD17, Sinaj & Richner, 2017). Ist die berechnete N-Gabe höher als diese Mengen, wird die nächste N-Gabe, um die bei der N_{min}-Gabe nicht verabreichte N-Menge erhöht (Walther et al., 1992), vorausgesetzt, die empfohlene maximale N-Menge wird nicht überschritten; andernfalls wird die dritte Gabe ausgelassen. Z.B. falls anhand der Berechnung ergibt, dass bei Wintergerste noch 70 kg N/ha gegeben werden dürfen, können 50 kg N/ha zur zweiten und dann noch 20 kg N/ha zur dritten Gabe gegeben werden. Darf noch 50 kg N/ha gegeben werden und diese werden bei der zweiten Gabe ausgebracht, dann kann keine dritte Gabe mehr gegeben werden. Der N_{min}-Sollwert abzüglich des gemessenen N_{min}-Wertes (inklusive Korrekturen) ergibt also rechnerisch die Gesamtmenge der Düngung, welche auf verschiedene Gaben aufgeteilt wird.

2.2.3 Erläuterungen Hackfrüchte

Der N_{min} wird bei Raps zum Stadium BBCH 30 entnommen, was der Frühjahrsdüngung entspricht; diese Düngung wird oft in zwei Gaben aufgeteilt. Bei Mais wird N_{min} für die Hauptdüngung im 5–6 Blattstadium entnommen. Die Grunddüngung von 40 kg N/ha ist in der Regel durch die Böden und die Vorfruchtwert gegeben, wodurch meist auf diese Düngung verzichtet werden kann. Dieser Wert kann allerdings auch zur Überprüfung des tatsächlichen Boden N_{min} herangezogen werden. Bei Zuckerrüben wird N_{min} im 4–6 Blattstadium entnommen. Bei Mais und Zuckerrüben können die Gaben auch in zwei aufgeteilt werden. Bei berechneten N-Gaben von mehr als 60–80 kg N/ha ist die N-Düngung ebenfalls aufzuteilen und im Abstand von 2–3 Wochen auszubringen (gilt vor allem für Standorte mit einer pflanzennutzbaren Gründigkeit von weniger als 70 cm) (GRUDAF, Walther et al., 1992; Tabelle 26, Kapitel 8, GRUD17, Sinaj & Richner, 2017).

2.3 Grenzen der N_{min} Methode

Die N_{min}-Methode hat auch ihre Grenzen (Neuweiler et al. 2023):

- Zusätzlicher Planungs- und Arbeitsaufwand. Die N_{min}-Methode wird heute von vielen Produzenten in der Schweiz als sehr aufwändig betrachtet. In anderen Ländern oder je nach Region, Label oder Kultur ist sie jedoch bereits Teil der vom Markt oder Gesetzgebung vorgeschriebenen Qualitätssicherung.
- N_{min}-Probenahme und -Transport, Analytik und Berechnung erfordern Absprachen, geeignetes Material und/oder Zusatzarbeit und/oder Wartezeit. Diese müssen so weit wie möglich beschränkt werden, um Betriebsabläufe effizient und entstehende Zusatzkosten in Grenzen zu halten.
- Die N_{min}-Methode liefert nur eine Momentaufnahme des pflanzenverfügbaren N, Nachlieferung aus organischer Substanz oder Hofdüngern ist aktuell kaum berücksichtigt.
- Auf intensiv oder mittelintensiv bewirtschaftetem Grasland ist die Festlegung eines sinnvollen Termins für die Probenahme schwierig, weil diese Flächen mehrmals pro Jahr genutzt und dementsprechend gedüngt werden. Die Kosten für wiederholte Analysen im Laufe des Jahres wären sehr hoch.
- Es ist aktuell keine Qualitätskontrolle (Ringanalysen) für Schweizer N_{min}-Labore vorgeschrieben oder in Durchführung.

3 Nutzung und Entwicklung des Tools

Das Tool ist als Leitfaden zur Vereinfachung der Berechnung des N-Düngerbedarfs auf Basis der N_{min}-Methode der GRUD (Sinaj & Richter, 2017) für die Beratung der Kantone Solothurn und Bern im Rahmen des Nitratprojekts NGO und des wissenschaftlichen Begleitprojektes CriticalN gedacht. Eine Verwendung ausserhalb des oben erwähnten Kontextes liegt nicht in der Verantwortung der Entwickler oder den genannten Projekten. **Die aktuelle Version des Tools (V4.2) basiert auf Excel (Excel 2021, V2108 - Microsoft Office LTSC Professional Plus 2021®)** und verwendet Verknüpfungen mehrerer Tabellen. Es wird empfohlen, nur im geschützten und nicht im Bearbeitungsmodus zu arbeiten. Bei Excel Version 2016 funktionieren einige Funktionen möglicherweise nicht wie vorgesehen. Beispielsweise muss der Blattschutz aufgehoben werden, um die Gruppen bei Bedarf ein- und auszublenden (+/- Zeichen auf der linken Seite einiger Blätter). Excel «Macros» wurden bewusst vermieden, um die Verteilung und Nutzung des Tools zu vereinfachen.

3.1 Struktur und Inhalt

Die Idee für die Nutzer und Nutzerinnen ist, eine Datei pro Betrieb und Jahr zu verwenden. Das Tool ist für 20 Parzellen pro Betrieb ausgelegt, aber erweiterbar. Die Daten aus dem Labor (wie sie jetzt vom Partnerlabor im Projekt gesendet werden) können ohne vorherige Formatierung oder Bearbeitung in das Tool in das vorgesehene Tabellenblatt «2_N_{min}_Berechnung» kopiert werden («Einfügen» -> «Werte einfügen»).

Tabelle 4: Überblick der Struktur (Tabellenblätter) des Tools.

Blatt	Name	Funktion
0_	Zentrale_Eingabe	Hier werden die Betriebsdaten und die Hof- und Recyclingdünger eingetragen.
1_	Dateneingabe	Hier werden die notwendigen Schlag- und Betriebsdaten für die Berechnungen zusammengestellt und eingetragen.
2_	N_{min}_Berechnung	Hier werden die Labordaten importiert und die N _{min} -Werte berechnet.
3a_	N_Bedarf	Hier werden die N-Düngeempfehlung auf Grund der Eingaben und der Korrekturfaktoren berechnet.
3b_	N_Bedarf_Auswahl	Hier werden nur die in Blatt 3 mit „Ja“ ausgewählte Parzellen angezeigt, für die in Blatt 2 N _{min} -Daten eingegeben wurden.
4a_	N_Empfehlung_Betrieb	Hier werden die N-Düngeempfehlung und wichtige Betriebsdaten für den PDF-Export zusammengefasst, um sie als Beratungsinformation abzugeben (4a).
4b_	N_Empfehlung_Beratung	Diese Seite gibt ausführlichere Informationen (4b).
5a_	N_{min}_Werte_Auswahl	Hier können die in Blatt 3 mit „Ja“ ausgewählte Parzellen angezeigt werden, für die in Blatt 2 N _{min} -Daten eingegeben wurden (5a) und alle N _{min} Daten (5b) als PDF exportiert werden.
5b_	N_{min}_Werte_Alle	

3.1.1 Einleitung

0 Zentrale Eingabe

- Alle verwendeten Hof- und Recyclingdünger müssen auf dieser Seite mit einem einzigartigen Namen eingetragen werden. Sie können dann bei der Dateneingabe ausgewählt werden.
- **Achtung:** Der Inhalt eines bestehenden Hofdüngers kann fortlaufend geändert werden und wird auf bereits eingegebene Düngungen übertragen. Wenn der Name des Hofdüngers geändert wird, wird der Inhalt bereits eingegebener Düngungen ausgelassen (mit dem alten Namen, der erhalten bleibt, aber nicht mehr im Dropdown-Menü zur Auswahl steht) und diese werden dann nicht mehr berechnet.
- Für die organische Düngung kann ein Wert von N_{ges} oder N_{verf} auf der Basis einer Laboranalyse eingegeben werden. Falls nicht vorhanden, werden Referenzwerte aus der GRUD-Tabelle 4/6 eingegeben. Mist muss immer in der gleichen Einheit eingegeben werden: Entweder Tonnen (t) oder m³.
- Auf den verfügbaren Stickstoff aus Hof- und Recyclingdüngern werden +10% vom Gesamt-N im Anwendungsjahr angerechnet. Fermentierte Produkte können ebenfalls eingetragen werden. Es ist möglich, mehrere (bis zu 3) verschiedene Hof- und Recyclingdüngereinträge für die bisherige erste N-Gabe, die N-Gaben für die Zwischenfrucht und bei der Vorfrucht einzugeben. Die Gesamt-N-Mengen werden dann automatisch summiert und übertragen. Achtung: Bei Excel Version 2016 muss der Blattschutz zuerst aufgehoben werden, um die Gruppen ein- und auszublenden.

1 Dateneingabe und 2 N_{min} Berechnung

- Die Reihenfolge der Parzellen muss mit der Reihenfolge im Ergebnisblatt mit den N_{min}-Werten aus dem Labor übereinstimmen. Dies muss vom Benutzer überprüft werden oder die Parzellen müssen einzeln kopiert werden.
- Der **Parzellenname muss einzigartig sein**. Es dürfen nicht mehrere Parzellen mit demselben Namen in verschiedenen Spalten eingefügt werden.
- Bei den Eingaben zum Boden: Oberboden = 0 - 30 cm; Unterboden = 30 - 60 & 60 - 90 cm. Mittelwert der jeweiligen Klasse (siehe nebenstehende Tabelle) verwenden z.B. Klasse 1 = 5 -10 % --> 7.5 % als Wert. Wenn für den Steinanteil und die Bodendichte kein Wert eingegeben wird, werden automatisch Standardwerte angenommen: für den Steinanteil 0 % und für die Bodendichte 1.3, 1.4 und 1.5 g/cm³ für die drei Schichten 0–30, 30–60 und 60–90, respektive.
- Die N-Referenzwerte für Ertrag beruhen auf dem 5-Jahres-Durchschnittsertrag auf Betriebsebene für die betreffende Kultur. Falls nicht verfügbar, wird als Referenz der N-Sollwert aus der GRUD-Tabelle 8/9, Kapitel 8 genutzt. Wird bei den Eingaben auf "1_Dateneingabe" ein Erfahrungswert eingetragen, wird dieser übernommen, ansonsten wird der Wert aus der GRUD verwendet.
- Ein zusätzlicher N-Bedarf von 30 kg N/ha pro Schnitt wird für die Zwischenfrucht berücksichtigt. Die für die Zwischenfrucht ausgebrachte Düngermenge wird ebenfalls hinzugerechnet, jeweils für Herbst und/oder Frühling.
- Eine zusätzliche "Freikorrektur" wurde eingefügt, um es der Beratung zu ermöglichen, die Düngeempfehlung auf Grund von Fachwissen, Erfahrung und Bewertung der saisonalen Pflanzenbestände anzupassen sowie eventuelle Einschränkungen des Tools zu übersteuern.

3 N Bedarf

- **Wenn die Gesamt-N-Düngerempfehlung über dem Normwert liegt, wird eine Korrektur für SuisseBilanz im 62a Projekte (SuiBi-62a) vorgenommen.** Dadurch wird die Düngeempfehlung auf den Normwert für die jeweilige Kultur begrenzt, und der Wert dieser Korrektur auf den Normwert wird in der Spalte „X“ angezeigt. Die Spalte „AC“ zeigt die N-Empfehlung als Gesamtwert (alle Gaben) ohne die SuiBi-62a-Begrenzung an (sie wird in Rot angezeigt, wenn sie den Normwert überschreitet).
- Der Korrekturfaktor für Zwischenfutter ist in dieser Version ausgeblendet, da er in den geplanten Szenarien oft 0 war. Wenn mehr Dünger ausgebracht wird als der berechnete Bedarf, sollte sich die Überdüngung in den N_{min}-Werten widerspiegeln oder der Berater sollte eine entsprechende Empfehlung aussprechen.
- Die Korrekturfaktoren für organische Düngung aus dem Vorjahr sowie die Vor-vorkultur sind in dieser Version auch ausgeblendet da im N_{min} grosse Teil von dieser Mineralisierung enthalten ist.

3.1.2 Blatt 0: Zentrale Eingabe

Auf dieser Seite werden Betriebsdaten (Name und Postleitzahl) und eingesetzte Hof- und Recyclingdünger vordefiniert, die im aktuellen Jahr und im Vorjahr eingesetzt wurden, um die Dateneingabe zu erleichtern. Es ist möglich bis 8 Hofdünger mit Analysewert oder Richtwert mit Verdünnung einzutragen. Zusätzlich ist die Eingabe von bis zu 8 Recyclingdünger und vergorene Hofdünger möglich.

- Berechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Ausbringungsjahr:
 - flüssiges Gärgut: $N_{\text{verf}} (\text{Analyse}) + N_{\text{ges}} * 10\%$
 - **alle anderen: $N_{\text{ges}} * \text{Faktor}$** aus bearbeitet und ergänzt Tabelle 4/6 der GRUD (Tabellenblatt Annex_2_Hilfstabellen_GRUD)
- Berechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im zweiten Jahr (wird aktuell in der Berechnung nicht berücksichtigt):
 - **alle: $N_{\text{ges}} * \text{Faktor}$** aus bearbeitet und ergänzt Tabelle 4/6 der GRUD (Tabellenblatt Annex_2_Hilfstabellen_GRUD)

3.1.3 Blatt 1: Dateneingabe

In diese Tabelle werden die Angaben zum Betrieb, Boden, Kultur, Grunddüngung/erste N-Gabe, Zwischenkultur, Vorkultur und Vor-Vorkultur als Input für die Berechnung abgefragt. Die Daten können aus verschiedenen Quellen bezogen werden, hauptsächlich direkt von den Betrieben oder aus GIS-Systemen wie GLAN oder [Web GIS Client Kanton Solothurn](#) für Boden Informationen (nach «Bodentyp» suchen und als Layer einfügen). Für die erste Ausbringung bzw. Grunddüngung kann ein Empfehlungswert verwendet werden (aus Tab. 2, Sektion 2.2.1) oder die aktuellen Daten nach Rückmeldung durch den Landwirt eingegeben werden. Fast alle Daten ausser der ersten Ausbringung und den N_{min}-Werten können im Winter vorgängig eingegeben werden. Ausserdem bleiben viele Daten auch für die Folgejahre gültig. Es ist möglich mehrere Düngergaben von verschiedenen Arten Hofdünger einzutragen (die Sektionen können mit + / - ein- und ausgeblendet werden).

Eingaben für N_{min}-Methode

Betrieb	Betrieb (Name)			
	Betrieb (PLZ Ort)			
	Parzellenname (muss einzigartig sein!)			
	Fläche	ha		
	Hauptkultur (übernommen)			
	Bemerkung			
Bodendaten	Steingehalt Oberboden 0-30 cm (keine Eingabe: 0%)	%		
	Steingehalt Unterboden 30-60 cm (keine Eingabe: 0%)	%		
	Steingehalt Unterboden 60-90 cm (keine Eingabe: 0%)	%		
	Bodendichte 0-30 cm (keine Eingabe: 1.3 g/cm ³)	g/cm ³		
	Bodendichte 30-60 cm (keine Eingabe: 1.4 g/cm ³)	g/cm ³		
	Bodendichte 60-90 cm (keine Eingabe: 1.5 g/cm ³)	g/cm ³		
	Tongehalt Oberboden (mit "+": Bodendichte einblenden)	%		
	Humusgehalt Oberboden	%		
Kultur	Hauptkultur		bitte auswählen	
	Ertrag (GRUD)	dt/ha		
	Ertrag Erfahrungswert (alternativ)*	dt/ha		
bisherige N-Gabe (Hackfrüchte: Grunddüngung, Getreide: 1. Gabe)	Düngeempfehlung	kg N/ha		
	Mineralische Dünger - Menge	kg N/ha		
	Organische Dünger - Art		bitte auswählen	
	Org. Dünger - Gehalt N-verf**	kg N/m ³ (t)		
	Org. Dünger - Menge**	m ³ (t)/ha		
	Org. Dünger - N-verf	kg N/ha		
	Org. Dünger - N-ges	kg N/ha		
	weitere Dünger(-komponenten) mit "+" links einblenden!			
	Bemerkung			
Zwischenkultur/ Zwischenfutter	Zwischenkultur/Zwischenfutter		bitte auswählen	
	weitere Dünger(-komponenten) mit "+" links einblenden!			
	1. Dünger - Frühi.	Organische Dünger - Art		bitte auswählen
		Org. Dünger - Gehalt N-verf**	kg N/m ³ (t)	
		Org. Dünger - Menge**	m ³ (t)/ha	
		Org. Dünger - N-verf	kg N/ha	
		Org. Dünger - N-ges	kg N/ha	
	weitere Dünger(-komponenten) mit "+" links einblenden!			
	Bemerkung			
Vorkultur	Vorkultur (Auswahl, GRUD)		bitte auswählen	
	Vorkultur (Freitexteingabe)			
	weitere Dünger(-komponenten) mit "+" links einblenden!			
	Bemerkung			
Freikorrektur	Korrektur Fachwissen / Beratung	kg N / ha		
	Bemerkung			

Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Blatt 1_Dateneingabe des Tools zur N_{min}-Berechnung.

3.1.4 Blatt 2: N_{min} Berechnung

Die Umrechnung der Nitrat- und Ammoniumgehalte (mg NO₃-N bzw. NH₄-N) in kg N/ha erfolgt über das Trockenraumgewicht (Bodendichte oder Lagerungsdichte), den Skelett- und Humusanteil des Bodens sowie die Schichtdicke des untersuchten Bodens (Referenzmethode Agroscope, Bürge et al., 2020). Die Formel 1 basiert auf der Berechnung nach der Referenzmethode. Die Formel im Projekt wurde angepasst, weil aus dem Labor die Nitrat- und Ammonium-Gehalte für feldfrische Böden übermittelt werden, während in der Referenzmethode die N-Gehalte für trockene Böden berücksichtigt werden. Die Lagerungsdichte geht (gemessen oder geschätzt) für die 3 Schichten 0-30, 30-60 und 60-90 cm in die Berechnung ein. Der Humusgehalt wird deswegen nicht berücksichtigt (in der Referenzmethode ist sie genutzt, um die Lagerungsdichte zu schätzen).

Der N_{min}-Gehalt wird im Nitratprojekt folgendermassen berechnet:

$$N_{\min} [\text{kg/ha}] = \frac{(\text{Nitrat-N} [\text{mg}/100\text{g Boden}] + \text{Ammonium-N} [\text{mg}/100\text{g Boden}])}{\text{Trockensubstanz} [\text{g}/100\text{g Boden}] / 1000 * 10000 * \text{Mächtigkeit} [\text{m}] * \text{Lagerungsdichte Boden} [\text{g}/\text{cm}^3] * 1000 * (1 - (\text{Steingehalt} [\%] / 100))} \quad (1)$$

Quelle: Angepasst von TerrAquat aus den Referenzmethode Agroscope (Bürge et al., 2020).

Die N_{min}-Daten müssen in der Saison vor der Empfehlung durch die Beratung manuell in das Tool eingegeben werden, sobald sie vom Labor übermittelt werden (Abb. 4). Die Daten können, wie sie aus dem Labor kommen, direkt in das Tool kopiert werden. Damit wird der N_{min}-Gehalt auf Basis der eingegebenen Betriebs- und Bodendaten berechnet. Achtung! Die Reihenfolge der Parzellen muss in den Laborergebnissen und in den Dateneingaben übereinstimmen.

Sektor	NminNr	ProbeDatum	Tiefenstufe_cm	NO3-N_mg/100g_Probe	NH4-N_mg/100g_Probe	TS g/100g

Abbildung 8: Ausschnitt aus dem Blatt 2_N_{min}_Berechnung.

3.1.5 Blatt 3: N-Düngeempfehlung und Korrekturfaktoren

Die Berechnung des N-Bedarfs beruht auf einem Referenzwert (Schwelle auf der Grundlage der N-Aufnahme durch die Kultur), von dem N_{min} subtrahiert wird (Sinaj & Richner, 2017). Der N_{min}-Sollwert ist höher als die Düngungsnorm, da er die durchschnittliche Nachlieferung aus dem Boden mit einbezieht. Er wurde in zahlreichen Feldversuchen ermittelt, bei denen die N_{min}-Messung mit der optimalen N-Menge in Beziehung gesetzt werden konnte (Neeteson, 1990; Wehrmann & Scharpf, 1979). Zusätzlich wird eine Auswahl von Korrekturfaktoren angewandt, um zusätzliche Auswirkungen weiterer Umwelt-, Boden- und Managementvariablen zu berücksichtigen (Gl. 2 und Tab. 5).

Die in Formel 2 dargestellte und im Tool verwendete Berechnung basiert auf der N_{min}-Methode der GRUD (Sinaj & Richner, 2017) und wird mit Erkenntnissen aus Düngeempfehlungen in Deutschland aus den Bundesländern Baden-Württemberg (LTZ-BW, 2020) und Bayern (Knöferl et al., 2025) sowie mit zusätzlichem Expertenwissen der Mitarbeiter des Nitratprojekts ergänzt, um eine Anpassung an die standortspezifischen Bedingungen des Projektgebiets zu erreichen.

Der N-Bedarf nach N_{min} wird folgendermassen berechnet:

$$\text{N-Bedarf [kg N/ha]} = \text{N-Sollwert [kg N/ha]} - 1. \text{ N-Gabe [kg N/ha]} + \text{Zuschläge [kg N/ha]} - \text{Abschläge [kg N/ha]} \quad (2)$$

Die für die Berechnung des N-Bedarfs benötigten Korrekturfaktoren sind in Tabelle 5 mit der Quelle im Tool sowie der Grundlagen erläutert.

Tabelle 5: Zu- und Abschläge (mit Quellen), die in der Berechnung berücksichtigt werden.

	Kurzbeschreibung	Quelle im Tool	Quelle der Grundlagen (Berechnung, Prinzip oder Wert)
Anrechnung bereits ausgebrachter Düngung			
Mineralisch	Mineralische Dünger	1_Dateneingabe	Feldkalender
Organisch N-verf	Hofdünger	1_Dateneingabe	Feldkalender
Korrektur Herbst (Raps)	Grunddüngung für Raps im Herbst	1_Dateneingabe	Feldkalender
Zu- und Abschläge			
Ertrags- erwartung	Korrektur basierend auf Erfahrungswerten für den Ertrag	1_Dateneingabe	Sinaj & Richner, 2017. Tabelle 8/11; Feldkalender
N_{min}	Aktuelle mineralische N-Vorräte im Boden	2_N _{min} -Berechnung	TerrAquat (Berechnung); Bürge et al. (2020)
Boden OS	Korrektur nach Mineralisierungspotential der organischen Substanz (OS)	Annex_2_Hilfstabellen_GRUD	Sinaj & Richner, 2017. Tabelle 8/12
Vorkultur	N-Nachlieferung aus Vorkultur	Annex_2_Hilfstabellen_GRUD	Sinaj & Richner, 2017. Tabelle 8/13
Freikorrektur	Anpassung von der Beratung aus Grund von eigener Schätzung / Expertise	1_Dateneingabe	Beratung
Korrektur SuisseBilanz im Nitratprojekten nach Artikel 62a (SuiBi-62a) der Gewässerschutzgesetz (GSchG SR 814.20)			
Ertrags- erwartung	Korrektur der Ertrag damit maximal die Standarderträge geltend gemacht werden.	1_Dateneingabe	Sinaj & Richner, 2017. Tabelle 8/11; BLW & Agridea, 2022. Wegleitung Suisse-Bilanz
Korrektur zu der Norm	Korrektur der N-Düngeempfehlung damit die Norm nicht überschritten wird.	1_Dateneingabe, 3_N_Bedarf	Sinaj & Richner, 2017. Tabelle 8/11; Agridea, 2022. Wegleitung Suisse-Bilanz

3.1.6 Blatt 4: Output und Empfehlung

Das Ergebnis ist eine kulturspezifische Düngeempfehlung, die als PDF-Dokument verschickt werden kann. Die Empfehlung wird zuerst als Summe des verbleibenden Düngebedarfs für die betreffende Kultur nach N_{min}-Beprobung ausgegeben. Die Entscheidung, wie der Dünger in einer oder mehreren Teilgaben ausgebracht wird, bleibt den Beratern und Betrieben überlassen und kann weiterhin in die Düngeempfehlungstabelle eingetragen werden.

In der Tabelle «4a_N_Empfehlung_Betrieb» wird eine Tabelle mit grundlegenden Informationen zur Verfügung gestellt (Abb. 5). In Tabelle «4b_N_Empfehlung_Berater» wird für die Beratung eine vollständige Tabelle über 2 Seiten mit einer detaillierteren Auflistung der Korrekturfaktoren (Seite 1) und der Düngeempfehlung (Seite 2) erstellt.

Düngeempfehlung Nitratprojekt NGO								Datum:	
Betrieb:		Bauerli							
Düngeempfehlung: zu düngende Menge <i>nach</i> N _{min} -Beprobung									
								Vorschlag zur Aufteilung	
Parzelle	GeoID_Kultur	Kultur	N-Dünge- empfehlung: Gesamtwert [kg N/ha]	Korrektur SuiBi-62a zu der Norm [kg N/ha]	N-Dünge- empfehlung SuiBi-62a [kg N/ha]	Bisher ausgebrachte N-Düngung [kg N/ha]	N-Düngeempfehlung: N-Bedarf (nach N _{min}) [kg N/ha]	2. Gabe	3. Gabe
P1	961000	Winterweizen	150	-10	140	40	100	50	50
P2	951223	Wintergerste	103	0	103	40	63	40	23
P5	915673	Winterraps	96	0	96	30	66	35	31
P7	929038	Winterweizen	153	-13	140	41	99	60	39
P8	961000	Wintergerste	35	0	35	35	0	0	0
P11	861673	Winterraps	143	0	143	47	97	60	37
P13	979473	Winterweizen	50	0	50	50	0	0	0
P14	929038	Wintergerste	77	0	77	30	47	25	22
P16	891882	Zuckerrüben	138	-38	100	0	100	70	30
P17	861873	Winterraps	133	0	133	0	133	70	63

Abbildung 9: Ausschnitt aus dem Blatt "4a_N_Empfehlung_Betrieb".

3.1.7 Blatt 5: N_{min} für die Betriebe

In dem Blatt 5_N_{min}_Werte_Betrieb wird eine Tabelle erstellt, in der vereinfacht die Ergebnisse der N_{min}-Analyse aufgeführt sind. Dieser Anhang wurde auch in ein separates, kleineres Tool für die Berechnung von N_{min} aus der Laboranalyse und die Übermittlung der Daten an die Betriebe integriert.

Nitratprojekt & CriticalN - Ergebnisse der N _{min} -Analyse										N _{min} -Proben	
Nitrat-N Ammonium-N											
Art	Betrieb	PLZOrt	Parzelle	GeoID_Kultur	Datum	Tiefe cm	NO ₃ -N kg N / ha	NH ₄ -N kg N / ha	N _{min} ^a kg N / ha	N _{min} 0-90 cm ^b kg N / ha	Kultur
Acker	Bauerli	4567 Gäuland	P1	961000	1. Mär 25	0-30	20	1	21	40	Winterweizen
						30-60	11	1	12		
						60-90	6	1	7		
Acker	Bauerli	4567 Gäuland	P2	951223	1. Mär 25	0-30	10	2	12	27	Wintergerste
						30-60	8	1	9		
						60-90	6	1	6		

Abbildung 10: Ausschnitt aus dem Blatt 5a_N_{min}_Werte_Auswahl.

3.1.8 Tool Annexes

Zusätzlich zur Erläuterung der Korrekturfaktoren in Anhang 1 (in Tabelle 5) enthält Anhang 2 die GRUD-Tabellen aus Kapitel 8, die zur Berechnung (Standards, Düngemittel, Korrekturfaktoren – Anhang 5.1) verwendet werden.

4 Literaturverzeichnis

- BLW, 2025. Wegleitung Suisse-Bilanz, Version 1.19. Ökologischer Leistungsnachweis
- Bürge, D., 2020. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope. Version 1.2. Agroscope Reckenholz, Zürich (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 M. Fink (Hrsg.), Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) (3. Aufl., Heft 4). Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ).
- Feller C, Laber H., Ziegler J., Heistermann K., Mahler K., 2025. Düngung im Freilandgemüsebau. Erling Verlag GmbH & Co. KG. 1. Auflage. ISBN: 978-3-86263-216-9.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R., Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 16 (2), 06-31.
- Jordan-Meille, L., Denoroy, P., Dittert, K., Cugnon, T., Quemada, M., Wall, D., Bechini, L., Marx, S., Oenema, O., Reijneveld, A., Liebisch, F., Diedhiou, K., Degan, F., & Higgins, S., 2023. Comparison of nitrogen fertilisation recommendations of West European Countries. European Journal of Soil Science, 74(6), e13436. <https://doi.org/10.1111/ejss.13436>
- Knöferl, R., Diepolder, M., Offenberger, K., Raschbacher, S., Brandl, M., Kavka, A., Hippich, L., Schmücker, R., Sperger, C., & Schmücker, S., 2025. Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland (11. Aufl.). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland; Gelbes Heft 2022 - LfL
- LTZ -BW, 2020. Merkblatt zur Ermittlung des Stickstoff-Düngebedarfs (N) für Ackerkulturen (§ 4 DüV). Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Düngung BW - Informationen
- Maltas, A., Charles, R., Pellet, D., Dupuis, B., Levy, L., Baux, A., Jeangros, B. und Sinaj, S., 2015. Evaluation zweier Methoden für eine optimale Stickstoffdüngung im Ackerbau. Agrarforschung Schweiz 6(3), pp. 84-93. https://www.agrarforschungschweiz.ch/wpcontent/uploads/2019/12/2015_03_2049.pdf
- Neeteson J. J., 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. Fertilizer research 26 (1–3), 291–298.
- Neuweiler, R., Huguenin-Elie, O., Schöneberg, T., Guillaume, T., und Liebisch, F., 2023. Nmin-Methode für die Düngebedarfsermittlung. Agroscope Merkblatt Nr. 194 / 2023.
- Richner, W. , Flisch, R., Sinaj, S. und Charles, R., 2010 Ableitung der Stickstoffdüngungsnormen von Ackerkulturen. Agrarforschung Schweiz 1 (11–12): 410–415, 2010
- Schöneberg T., Liebisch F., 2025. 10_Zusatz / Düngung von neuen Spezialkulturen und Verarbeitungsgemüse. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD). Hrsg. Agroscope. 1–5. [1, 2] https://doi.org/10.34776/grud23-10_add25
- Sinaj, S., Richner, W., 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8(6).
- Walther, U., Jäggli, F., Flisch, R., 1992. Stickstoffdüngung im Ackerbau aufgrund des Nmin-Gehaltes des Bodens. FAP, Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau Zürich.
- Wehrmann, J., Scharpf, H.C., 1979. Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (Nmin-Methode). Plant Soil 52, 109–126. <https://doi.org/10.1007/BF02197737>

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mechanische N _{min} -Probenahme (Februar 2022, S. Schönmann, Briner AG).	8
Abbildung 2: N _{min} Arbeitslauf im Projekt im Ackerbau.	9
Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Blatt 1_Dateneingabe des Tools zur N _{min} -Berechnung.....	17
Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Blatt 2_N _{min} _Berechnung.	18
Abbildung 5: Ausschnitt aus dem Blatt "4a_N_Empfehlung_Betrieb".	20
Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Blatt 5a_N _{min} _Werte_Auswahl.	20

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Termin und Entnahmetiefen der N _{min} -Proben für die sechs Kulturen die aktuell im Tool integriert sind. ...	11
Tabelle 2: Normerträge, Düngenormen und N _{min} -Sollwerte für die sechs Kulturen im Tool.	12
Tabelle 3: Zeitpunkt der N-Düngung, Prinzip der Aufteilung in verschiedene Gaben am Beispiel der sechs Kulturen im Tool.	12
Tabelle 4: Überblick der Struktur (Tabellenblätter) des Tools.	14
Tabelle 5: Zu- und Abschläge (mit Quellen), die in der Berechnung berücksichtigt werden.....	19

7 Anhang

7.1 GRUD 2017 Tabellen - Kapitel 8

Tabelle 11 | Korrektur der N-Düngung bei einem Zielertrag, der vom Durchschnittsertrag (Referenzertrag) abweicht.

Kultur	Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit des Ertrags (kg N/dt zusätzlicher Kornertrag)	Maximaler Zielertrag (dt Körner/ha)
Winterweizen (Brotgetreide)	1,0	80
Winterweizen (Futtergetreide)	1,0	95
Wintergerste	0,7	90
Winterroggen	0,8	80
Winterroggen (Hybridsorten)	1,2	90
Wintertriticale	0,3	95
Winterraps	3,0	45

Tabelle 12 | Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des Mineralisierungspotenzials der organischen Substanz (OS).

Mineralisierungspotenzial der OS	OS-Gehalt des Bodens (%)			Korrektur gegenüber Norm (kg N/ha)
	Ton < 15 %	Ton 15–30 %	Ton > 30 %	
schwach bis mittel	< 1,2	< 1,8	< 2,5	0 bis +40
mittel	1,2–2,9	1,8–3,9	2,5–5,9	0
mittel bis hoch	3,0–6,9	4,0–7,9	6,0–9,9	0 bis –40
hoch bis sehr hoch	7,0–19,9	8,0–19,9	10,0–19,9	–40 bis –80
sehr hoch	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	–80 bis –120

Tabelle 13 | Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit der Vorkultur.

Vorkultur	Korrektur der Folgekultur (kg N/ha)	
	Umbruch/Einarbeitung	
	Herbst	Frühling
Natur- oder Kunstwiese (drei Jahre und älter)	–30	–40
Kunstwiese (zwei Jahre)	–20	–30
Kunstwiese (ein Jahr)	–10	–20
Natur- oder Kunstwiese (drei Jahre und älter) als Vor-Vorkultur ¹	–10	–10
vor Rispenschieben der Gräser gemulchte Kunstwiese		–30 bis –60 2
vor Blüte der Gräser gemulchte Kunstwiese		–20 bis –40 2
Getreide oder Mais (Stroh eingearbeitet) vor:		
- im Herbst gesäten Kulturen	+ 20	
- im Frühjahr (Februar–März) gesäten Kulturen	+ 10	
Körnerleguminosen (Eiweisserbsen, Ackerbohnen, Sojabohnen, Lupinen) vor:		
- im Herbst gesäter frühreifer Kultur	40 bis 60	
- im Herbst gesäter spätreifer Kultur	20 bis 40	
- im Frühjahr gesäter bzw. gepflanzter Kultur	0 bis 20	
Rüben (Kraut eingearbeitet)	–20	
Gründüngung mit nicht winterharten Arten (Phacelia, Gelbsenf)	–10	0
Gründüngung mit nicht winterharten Leguminosen	–20	–10
Gründüngung mit winterharten Arten (Raps, Rübsen usw.)	0	–20
Gründüngung mit winterharten Leguminosen	0	–30
Faserhanf	–10	
Kartoffeln	–10	
andere Vorkulturen ³	0	

Tabelle 14 | Korrektur der Stickstoff-Normdüngung infolge Nachwirkung organischer Dünger.

Die Stickstoffwirkung der Hofdünger im Anwendungsjahr ist in Tabelle 7 von Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern enthalten.

Organischer Dünger	Anteil (%) des ausgebrachten Gesamtstickstoffs, der im zweiten Jahr nach der Ausbringung pflanzenverfügbar wird und von der Normdüngung abzuziehen ist
Vollgülle und kotarme Gülle (Rindvieh)	10
Stapelmist und Laufstallmist	10
Rottemist	15
Mistkompost	20
Pferdemist	5
Schaf- und Ziegenmist	10
Schweinegülle und Schweinemist	10
Hennenkot (Kotband)	10
Hennenmist (Bodenhaltung)	10
Geflügelmist (Mast), Poulet, Truten	5
Kompost	0
Ricokalk	10

Tabelle 16 | Zusätzliche N-Nachlieferung des Bodens durch mehrmaliges Hacken nach dem Auflaufen der Kultur in Abhängigkeit des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens.

OS-Gehalt des Bodens (%)	Korrektur der N-Düngung (kg N/ha)
< 8	-10
8–20	-15
> 20	-20

Tabelle 17 | Korrektur der N-Normdüngung in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen im Frühling (Feuchtigkeit und Temperatur) und des Bodenzustands.

Bedingungen im Frühling	Korrektur der N-Düngung (kg N/ha)
warmer Frühling mit ausreichend mit Wasser versorgtem und gut strukturiertem Boden	-20
durchschnittliche Bedingungen	0
kalter Frühling mit sehr feuchtem oder sehr trockenem Boden mit ungünstiger Struktur	+20

Tabelle 18 | Zeitpunkt und Probennahmetiefe für die N_{min}-Bestimmung.

Kultur	Zeitpunkt der Probennahme	Probennahmetiefe (cm) 1
Wintergetreide, Raps	kurz vor Vegetationsbeginn	0–30, 30–60, 60–90
Sommergetreide		0–30, 30–60, 60–90
Rüben ²	4- bis 6-Blattstadium	0–30, 30–60, 60–90
Mais ²	5- bis 6-Blattstadium (nur voll entwickelte Blätter zählen!)	0–30, 30–60, 60–90
Kartoffeln	kurz vor der Pflanzung	0–30, 30–60

Tabelle 19 | Stickstoffdüngung im Getreidebau aufgrund des N_{min}-Gehalts des Bodens.

Kultur	Erste N-Gabe	Zweite N-Gabe 1	Dritte N-Gabe ^{1, 2}
	kg N/ha		
Winterweizen	120 – N _{min}	30	40
Sommerweizen, Dinkel	110 – N _{min}	30	40
Wintergerste	80 – N _{min}	30	40
Wintertriticale	90 – N _{min}	30	40
Sommergerste, Winterroggen, Sommertriticale	80 – N _{min}	30	30
Hafer	100 – N _{min}	30	30

Die oben stehenden Empfehlungen gelten nur unter folgenden Voraussetzungen:

- Ertragspotenzial des Standortes: den Angaben in Tabelle 9 entsprechend oder höher
- Risiko der Lagerung minimal (eventuell Einsatz von Wachstumsregulatoren)
- Ertragsausfälle durch Krankheiten & Schädlinge minimal (Sortenwahl, Anbautechnik, Fruchtfolge, eventuell Einsatz von Pflanzenschutzmitteln)
- OS-Gehalt des Bodens unter 5 %, pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens über 70 cm.

Bei speziellen Fällen sind Abzüge vorzunehmen (die Abzüge sind nicht additiv, der maximale Abzug pro Gabe beträgt 30 kg N/ha):

Korrekturgrund	Erste N-Gabe	Zweite N-Gabe	Dritte N-Gabe
	kg N/ha		
mehrfährige Kunstwiese oder Naturwiese als Vorfrucht	–20	–10	–20
Boden mit 5–20 % organischer Substanz	–10	–20	–20
pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens unter 70 cm oder geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes (Grenzlagen des Ackerbaus)	–10	–10	–20
genereller Verzicht auf Wachstumsregulatoren	–10 ³ bis –20 ⁴	–10	0

Tabelle 20 | Stickstoffdüngung von Hackfrüchten aufgrund des N_{min}-Gehaltes des Bodens (Probennahmetiefe 0–90 cm).

Kultur	Erste N-Gabe (kg N/ha)	Zweite N-Gabe 1 (kg N/ha)
Mais	0–30	N _{min} > 120: 200 – N _{min} N _{min} < 120: 180 – N _{min}
Zucker- und Futterrüben	0–30	180 – N _{min}
Kartoffeln für Speisezwecke und technische Verarbeitung	200 – N _{min} (bei Pflanzung)	
Früh- und Pflanzkartoffeln	180 – N _{min} (bei Pflanzung)	
Winterraps	0–40 (bei Saat)	160 – N _{min}

Korrekturen für erhöhten OS-Gehalt des Bodens und niedriges Ertragspotenzial des Standortes:

OS-Gehalt des Bodens 5–20 %	0 bis –30	–20 bis –40
geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes	0	–20 bis –40
Für eine eventuelle N-Nachwirkung von Zwischenkulturen, Gründüngung oder Hofdünger sind keine Korrekturen vorzunehmen; diese N-Nachwirkung wird bei der Bestimmung des N _{min} -Gehaltes des Bodens grösstenteils erfasst.		

Tabelle 26 | Optimaler Zeitpunkt und Höchstmenge einzelner Stickstoffgaben für verschiedene Kulturen in Abhängigkeit von Niederschlags- und Bodenverhältnissen.

Kultur bzw. Gruppe von Kulturen	Trockenere Gebiete ¹ oder tiefgründigere Böden ²		Feuchtere Gebiete ³ oder flachgründigere Böden ⁴	
	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	maximale N-Gabe (kg N/ha)	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	maximale N-Gabe (kg N/ha)
Getreide, Hirse und Mais				
Wintergetreide	Herbst (vor/nach der Saat)	0	Herbst (vor/nach der Saat)	0
	Ende Winter bis Vegetationsbeginn	60	Vegetationsbeginn	60
	Beginn des Schossens bis ein Knoten	80	ein Knoten	70
	Erscheinen des letzten Blatts	80	Erscheinen des Fahnenblattes bis Ährenschieben	80
	keine dritte Gabe für Biskuitweizen		keine dritte Gabe für Biskuitweizen	
Sommergetreide	Saat	40	Saat	30
	Bestockung bis Beginn des Schossens	80	drei Blätter bis Beginn der Bestockung	50
	zwei Knoten bis Öffnen der Blattscheide	40	ein Knoten	40
			Erscheinen des letzten Blatts bis Beginn des Ährenschiebens	40
Hirse	Saat	40	Saat	40
	Bestockung	40	Bestockung	40
Körnermais und Silomais	Saat	80	Saat	40
	sechs bis acht Blätter	80	vier bis sechs Blätter	40
			sechs bis acht Blätter	80
Grünmais	Saat	60	Saat	40
	vier bis sechs Blätter	30	vier bis sechs Blätter	40
Knollen und Wurzelfrüchte				
Kartoffeln Speisezwecke und techn. Verarbeitung	Pflanzung	80	Pflanzung	40
	Auflaufen bis Staudengrösse 10 cm	80	Stauden 10–15 cm	80
			kurz vor dem Schliessen der Stauden in der Reihe	40
Frühkartoffeln	Pflanzung	60	Pflanzung	40
	Auflaufen bis Staudengrösse 10 cm	60	Stauden 5–10 cm	80
Pflanzkartoffeln	Pflanzung	50	Pflanzung	40
	Auflaufen bis Staudengrösse 10 cm	50	Stauden 5–10 cm	60
Zucker- und Futterrüben	Saat	80	Saat	40
	vier bis sechs Blätter	80	vier bis sechs Blätter	60
			sechs bis acht Blätter	60
Öl- und Faserpflanzen				
Winterraps	Saat	0	Saat	0
	Ende Winter bis Vegetationsbeginn	80	Vegetationsbeginn	80
	Beginn der Streckung	80	Streckung (Pflanzenhöhe 30–40 cm)	80
Sommerraps	Saat	50	Saat	30
	Rosettenbildung bis Beginn der Streckung	80	Rosettenstadium	60
			Streckung (Pflanzenhöhe 30–40 cm)	40
Sonnenblumen	Saat	80	Saat	60
	Saat	40	Saat	40

Ölhanf	Pflanzenhöhe 15–20 cm	40	Pflanzenhöhe 15–20 cm	30
Faserhanf	Saat	50	Saat	40
	Pflanzenhöhe 15–20 cm	70	Pflanzenhöhe 15–20 cm	80

7.2 Skelettgehaltklassen

Feldkartierung (FAL-Datenschlüssel 6.2)		Waldkartierung	
Klasse	Definition	Klasse	Definition
0	0-5% (skelettfrei, skelettarm)	0	0-5% (skelettfrei, skelettarm)
1	5-10% (schwach skeletthaltig)	1	5-10% (schwach skeletthaltig)
2	10-20% (kieshaltig)	2	10-20% (skeletthaltig)
3	10-20% (steinhaltig)		
4	20-30% (stark kieshaltig)	4	20-30% (stark skeletthaltig)
5	20-30% (stark steinhaltig)		
6	30-50% (kiesreich)	6	30-50% (skelettreich)
7	30-50% (steinreich)		
8	>50% (Kies)	8	>50% (Kies, Geröll, Geschiebe)
9	>50% (Geröll, Geschiebe)		

Feldkartierung: Bei mehr als 1/3 Grobskelett (ab 5 cm Durchmesser) gelten die Klassen 0, 1, 3, 5, 7 und 9.

Quelle: Kantonaler Bodendienst Kanton Solothurn