



Software-Lösungen für die Düngeplanung

**Inklusive Prüfung einer Webanwendung der
Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher
Kulturen (GRUD)**

Stand Juni 2024

Autoren

Yannic Meyer und Frank Liebisch



Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Yannic Meyer, yannic.meyer@hotmail.com , +41 78 652 21 98 Frank Liebisch, frank.liebisch@agroscope.admin.ch , +41 58 480 87 23
Titelbild	Prisca Koller
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2026
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as224g

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

Zusammenfassung	5
Résumé 6	
Summary 7	
Riassunto 8	
Abkürzungsverzeichnis	9
Teil 1 10	
1 Einleitung	10
1.1 Hintergrund	10
1.2 Aktuelle Herausforderungen	10
1.3 Lösungsweg der Digitalisierung	11
2 Methodik	12
2.1 Vorgehensweise Übersicht	12
2.1.1 Funktionalität	12
2.1.2 Preiskategorien (in der Tabelle mit Preis abgekürzt)	13
2.1.3 Zielgruppe	13
2.1.4 Geografische Verbreitung (in der Tabelle mit Region / Land abgekürzt)	13
2.1.5 Hintergrund des Anbieters	13
2.2 Vorgehensweise Vergleich	14
3 Ergebnisse	14
3.1 Übersicht über verschiedene Softwarelösungen in der Landwirtschaft	14
3.2 Ausführlicher Vergleich ausgewählter Softwarelösungen in der Landwirtschaft	18
3.2.1 PLANET	18
3.2.2 FertiliCalc	20
4 Schlussfolgerung	23
Teil 2 24	
5 Einleitung	24
5.1 Was ist die GRUD?	24
5.2 Was ist die korrigierte Norm?	24
5.3 Die drei Grundziele	25
5.3.1 Application Programming Interface (API) testen	25
5.3.2 Webseite für didaktische Zwecke	25
5.3.3 Beispiele zur Veranschaulichung der Umwelteffizienz	26
6 Methodik	27
6.1 Application Programming Interface (API) verstehen und testen	27
6.1.1 Resource Description Framework (RDF)	27
6.1.2 Hypermedia-driven API	27
6.2 Entwicklung einer Website zum Kennenlernen der Berechnung der korrigierten Norm	27
6.3 Technische Aspekte der Webseite	29
6.3.1 JavaScript, React und Hypertext Markup Language	29
6.3.2 Tailwind CSS	30
6.3.3 Netlify und Continuous Integration and Continuous Deployment (CI/CD)	30

6.4	Programmierprozess	30
7	Ergebnis	32
7.1	Probleme und Fehler bei der Arbeit mit der API	32
7.1.1	Cross-origin Resource Sharing (CORS)	32
7.1.2	Unvollständige Dokumentation.....	32
7.1.3	Mehrmalige Verwendung des Korrekturfaktors Niederschlag.....	34
7.2	Main Section.....	34
7.3	Hero Section.....	35
7.4	Roadmap	35
7.5	Beispiele	36
8	Schlussfolgerung	37
9	Referenzliste	37
10	Anhang	39
10.1	Tabelle zum Vergleich der Softwarelösungen.....	39
10.2	Liste der Links	41
10.3	E-Mail an die Softwareanbieter	43

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft steht vor der Herausforderung, hohe Erträge mit minimaler Umweltbelastung zu erzielen, insbesondere angesichts des Verlustes der Biodiversität und der Verschmutzung von Luft und Wasser. Diese Probleme sind eng mit ineffizienter Nutzung und Verlust von Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor verbunden, was sowohl ökologische als auch ökonomische Folgen hat. Die Grundlagen für die Düngung (GRUD), das Standardwerk für die gute Düngepraxis der Schweiz, ist heute nur analog oder als digital lesbares PDF-Dokument publiziert und nicht offiziell als digitale Anwendung verfügbar. Einige Softwareanbieter für die Schweiz haben Teile der GRUD integriert, diese sind aber nicht vollständig, aktuell oder transparent überprüft. Zusätzlich steigen die Anforderungen an die Dokumentation landwirtschaftlicher Praktiken wie der Düngeplanung und -Ausbringung, was den Aufwand für Landwirte erhöht. Digitale Lösungen können hier helfen, den Verwaltungsaufwand zu verringern, aktuelle Forschungsergebnisse praktisch und schnell umzusetzen und den Austausch zwischen Forschung, Praxis und Gesetzgebung zu fördern. Besonders im Fokus stehen Softwarelösungen zur Düngeplanung, Effizienzbewertung und im Ressourcenmanagement.

Dieser technische Bericht entstand im Rahmen eines kombinierten Universitätspraktikums im Bereich Informationstechnologie und Umweltmanagement. Er besteht aus zwei Teilprojekten und befasst sich im ersten Teil mit den heute verfügbaren Möglichkeiten des digitalen Nährstoffmanagements (Teil 1 Software und Funktionsübersicht) und testete im zweiten Teil das aus dem Pilotprojekt WebGRUD bereitgestellte «Application Programming Interface» (API) in Form einer Anwender-orientierten Website. Die Erfahrungen halfen Fehler und Unstimmigkeiten in der API zu beseitigen und liefern wichtige Inputs für die Entwicklung einer digitalen GRUD.

In Teil 1 wurden über 40 Softwarelösungen anhand von der fünf Kriterien Funktionalität, Preis, Zielgruppe, geographische Verbreitung und Hintergrund des Anbieters verglichen. Zwei Lösungen, welche besonders interessant erschienen, PLANET und FertilCalc, wurden genauer untersucht. PLANET ist eine benutzerfreundliche Desktopanwendung aus dem Vereinigten Königreich, die umfassende Funktionen zur Nährstoffplanung und Dokumentation bietet. Sie befindet sich in der Weiterentwicklung hin zu einer Webanwendung und hat das Potenzial, durch Schnittstellen mit Verwaltungssystemen den gesetzlichen Dokumentationsaufwand zu reduzieren. FertilCalc, ist ein kostenloses, wissenschaftlich fokussiertes Tool der Universität Córdoba, das Nährstoffbedarf, Umweltverluste und Kosten berechnet. Trotz einiger funktionaler Einschränkungen stellt es eine zugängliche und globale Lösung dar, die einen Überblick über die Grundaspekte der Düngeplanung ähnlich den Prinzipien der GRUD für sehr viele Kulturen und Umweltsituationen bereitstellt.

Das Teilprojekt 2 zur Integration der API aus dem Pilotprojekt WebGRUD unterstützt das Ziel, die Anwendung der «korrigierten Norm» in der Düngeplanung der Zukunft über eine Nutzeroberfläche für verschiedene Nutzer, wie Landwirtinnen und Landwirte, Verwaltung und Bildung näherzubringen zu können. Die WebGRUD-API bietet eine Schnittstelle zu einem Teil der Tabellen der GRUD, die zur Berechnung des Düngebedarfs einer Kultur (zum Beispiel Stickstoff) benötigt werden. Entwickler und Nutzer könnten diese API nutzen, um die Berechnung des Düngebedarfs und der zugrundeliegenden Daten effizient und aktuell umzusetzen. Das Projekt testete die API, integrierte sie erfolgreich und beschreibt aktuelle technische Herausforderungen für eine zukünftige Implementierung. Zusätzlich wurde eine interaktive Webseite entwickelt, die die Berechnung des Düngebedarfs und der Einflussfaktoren aufzeigt. Praxisorientierte Beispiele auf der Webseite verdeutlichen die Funktion der korrigierten Norm und der Optimierungspotenziale. Die Webseite wurde mit JavaScript und React umgesetzt und online gestellt. Im Laufe des Projekts wurden Verbesserungspotenziale bei der Dokumentation und der Benutzerführung der API sowie die Möglichkeit künftiger Aktualisierungen (zusätzlicher Korrekturfaktoren) erkannt (Stand: Juni 2024).

Insgesamt zeigt das Projekt, wie digitale Tools die Berechnung der Düngemenge vereinfachen und so die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion steigern und gleichzeitig Umweltaspekte sichtbar machen können. Die Erfahrungen sind eine wichtige Grundlage für eine digitale Umsetzung der Grundlagen für die Düngung in der Schweiz.

Résumé

L'agriculture doit relever le défi de fournir des rendements élevés tout en limitant son impact sur l'environnement, notamment en raison de la perte de biodiversité et de la pollution de l'air et de l'eau. Ces enjeux sont étroitement liés à l'utilisation inefficace et à la perte d'éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, avec des conséquences à la fois écologiques et économiques. Les principes de fertilisation (PRIF), ouvrage de référence pour les bonnes pratiques de fertilisation en Suisse, ne sont actuellement publiés qu'en version papier ou sous forme de document PDF et ne sont pas disponibles sous forme d'application numérique de manière officielle. Certains fournisseurs de logiciels pour la Suisse ont intégré des extraits des PRIF, mais ces contenus sont incomplets, parfois obsolètes ou rarement mis à jour de manière transparente. En outre, les exigences relatives à la documentation des pratiques agricoles telles que la planification et l'épandage des engrais ne cessent de croître, ce qui augmente la charge de travail des agriculteurs. Les solutions numériques peuvent contribuer à alléger cette charge, à appliquer rapidement les résultats les plus récents de la recherche et à favoriser les échanges entre la recherche, la pratique et la législation. L'accent est mis en particulier sur les outils logiciels dédiés à la planification de la fertilisation, l'évaluation de l'efficacité et la gestion des ressources.

Ce rapport technique a été rédigé dans le cadre d'un stage universitaire alliant technologies de l'information et gestion environnementale. Il s'articule autour de deux sous-projets: la première partie traite des possibilités actuellement disponibles en matière de gestion numérique des éléments nutritifs (partie 1: aperçu des logiciels et de leurs fonctionnalités), tandis que la seconde évalue l'interface de programmation d'application (API) proposée par le projet pilote WebGRUD sous la forme d'un site web orienté utilisateur. Les expériences réalisées ont permis de corriger des erreurs et des incohérences dans l'API et fournissent des informations précieuses pour le développement de PRIF numériques.

Dans la première partie, plus de quarante solutions logicielles ont été comparées sur la base de cinq critères: fonctionnalité, coût, groupe cible, diffusion géographique et profil du fournisseur. Deux outils jugés particulièrement intéressants, PLANET et FertilCalc, ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie. PLANET est une application de bureau conviviale développée au Royaume-Uni qui offre des fonctions complètes de documentation et de planification des apports en éléments nutritifs. Elle est en cours de développement vers une version web et pourrait contribuer à réduire les charges légales en matière de documentation grâce à des interfaces avec les systèmes de gestion. FertilCalc, quant à lui, est un outil gratuit à vocation scientifique conçu par l'université de Cordoue. Il permet de calculer les besoins en éléments nutritifs, les pertes environnementales et les coûts. Malgré certaines limites fonctionnelles, il s'agit d'une solution accessible et globale qui fournit une vue d'ensemble des principes fondamentaux de la fertilisation, proche des PRIF, pour un très grand nombre de cultures et de contextes environnementaux.

Le sous-projet 2 visant à intégrer l'API du projet pilote WebGRUD est conforme à l'objectif qui est de familiariser différents publics, tels que les agricultrices et agriculteurs, l'administration et les acteurs de la formation, avec l'application de la «norme corrigée» dans la planification de la fertilisation à l'avenir via une interface utilisateur. L'API WebGRUD met à disposition une interface permettant d'accéder à une partie des tableaux des PRIF nécessaires au calcul des besoins en engrais d'une culture (par exemple en azote). Développeurs et utilisateurs pourraient ainsi utiliser cette API pour effectuer des calculs actualisés et efficaces des besoins en engrais et des données associées. Le projet a testé l'API, l'a intégrée avec succès et a documenté les défis techniques actuels en vue d'une utilisation future. En outre, un site web interactif a été développé pour illustrer le calcul des besoins en engrais et les facteurs qui les influencent. Des exemples pratiques sur le site web y montrent le rôle de la norme corrigée et les potentiels d'optimisation. Ce site, réalisé en JavaScript et React, est désormais en ligne. Au cours du projet, des pistes d'amélioration ont été identifiées en ce qui concerne la documentation et l'accompagnement des utilisateurs de l'API, ainsi que la possibilité d'intégrer des mises à jour (facteurs de correction supplémentaires) (état: juin 2024).

Summary

The agricultural sector faces the big challenge to produce high yields with minimal environmental impact, especially in the light of biodiversity loss, water and air pollution. These problems are closely linked to the inefficient use and loss of nutrients such as nitrogen and phosphorus, which have both ecological and economic consequences. The Principles of Agricultural Crop Fertilisation in Switzerland (PRIF), the Swiss reference for good fertiliser practice, is currently published only in paper form or as a digitally readable PDF document; it is not officially available as a digital application. Some software providers in Switzerland have integrated parts of the PRIF, however these have not been checked for completeness, transparency and data updating. Furthermore, as requirements to document agricultural practices such as fertiliser planning and application continue to grow, so too does the burden on farmers. Digital solutions can help reduce the administrative workload, implement current research results in a swift and practical manner, and encourage exchanges between researchers, practitioners and legislative bodies. Software solutions for fertiliser planning, efficiency assessment and resource management are a particular focus.

This technical report is the result of a combined university internship in information technology and environmental management. It consists of two sub-projects. The first part looks at current options for digital nutrient management (Part 1 Software and Overview of Functions), while the second tested the API (application programming interface) from the WebGRUD pilot project by developing a user-friendly website. The insights gained helped eliminate errors and inconsistencies in the API and provided important inputs for the development of a digital PRIF.

In Part 1, over 40 software solutions were compared based on five criteria: functionality, price, target group, geographical distribution and provider background. Two solutions which appeared particularly promising were then examined in more detail – PLANET and FertiCalc. PLANET is a user-friendly desktop application from the UK which offers extensive functions in context of nutrient management planning and record-keeping. It is currently being further developed as a web application and has the potential to reduce the documentation burden through interfaces with management systems. FertiCalc is a free, science-based tool from the University of Córdoba which calculates the nutrient requirement, environmental losses and costs. Despite some functional limitations, it is an accessible, global solution which, like PRIF, provides an overview of the basic aspects of fertiliser planning for a very wide range of crops and environmental conditions.

Part 2 focusses on integrating the API from the WebGRUD pilot project. It supports the aim of simplifying the application of the 'corrected norm' in future fertiliser planning through a user interface for different users such as farmers, managers and educators. The WebGRUD API serves as an interface for some of the PRIF tables which are needed to calculate a crop's fertiliser requirement (nitrogen, for example). Developers and users can use this API to calculate the fertiliser demand and the underlying data efficiently and directly. The project tested the API, successfully integrated it and outlined the current technical challenges for future implementation. In addition, an interactive website was developed which shows how to calculate the fertiliser requirement and which factors influence it. Practical examples on the website explain the function of the corrected norm and the potential for optimisation. The website was built using JavaScript and React and placed online. Opportunities to improve the API's documentation and user navigation and allow for future updates (additional correction factors) were identified during the project (effective: June 2024).

Overall, the project shows how digital tools can simplify the fertiliser calculation and thus increase the efficiency of agricultural production and at the same time highlight environmental aspects. The insights obtained provide an important basis for the digital application of the principles of fertilisation in Switzerland.

Riassunto

L'agricoltura deve affrontare la sfida di ottenere rese elevate con un impatto ambientale minimo, soprattutto in ragione della perdita di biodiversità e dell'inquinamento di aria e acqua. Tali problemi sono strettamente legati a un uso inefficiente e alla perdita di sostanze nutritive come l'azoto e il fosforo, con conseguenze sia ecologiche che economiche. I Principi di concimazione (PRIC), il testo di riferimento per la buona pratica di concimazione in Svizzera, sono attualmente pubblicati solo in formato cartaceo o come documento PDF e non sono ufficialmente disponibili come applicazione digitale. Alcuni fornitori di software per la Svizzera hanno integrato parti del PRIC, ma i contenuti non sono completi, aggiornati o verificati in modo trasparente. Inoltre, i requisiti per documentare le pratiche agricole, come la pianificazione e l'applicazione dei concimi, stanno aumentando, con conseguente crescita del carico di lavoro per gli agricoltori. Le soluzioni digitali possono contribuire a ridurre l'onere amministrativo, a implementare i risultati della ricerca attuale in modo rapido e pratico e a promuovere lo scambio tra ricerca, pratica e legislazione. L'attenzione è rivolta in particolare alle soluzioni software per la pianificazione della concimazione, la valutazione dell'efficienza e la gestione delle risorse.

Questo rapporto tecnico è stato redatto nell'ambito di uno stage universitario che combinava tecnologie dell'informazione e gestione ambientale. È composto da due sottoprogetti: la prima parte tratta le possibilità di gestione digitale delle sostanze nutritive oggi disponibili (Parte 1: panoramica del software e delle sue funzioni), mentre la seconda valuta l'"Application Programming Interface" (API) fornita dal progetto pilota WebGRUD in qualità di sito web orientato all'utente. L'esperienza acquisita ha contribuito a eliminare gli errori e le incongruenze dell'API e ha fornito importanti input per lo sviluppo di un PRIC digitale.

Nella prima parte, sono state confrontate oltre 40 soluzioni software sulla base di cinque criteri: funzionalità, prezzo, gruppo target, diffusione geografica e background del fornitore. Sono stati quindi analizzati più in dettaglio due tool che sembravano particolarmente interessanti, PLANET e FertiliCalc. PLANET è un'applicazione desktop di facile utilizzo sviluppata nel Regno Unito che offre funzioni complete per la documentazione e la pianificazione delle sostanze nutritive. Attualmente è in fase di sviluppo come applicazione web e ha il potenziale per ridurre gli oneri legali in materia di documentazione grazie alle interfacce con i sistemi amministrativi. FertiliCalc è uno strumento gratuito con focus scientifico creato dall'Università di Córdoba che calcola il fabbisogno di sostanze nutritive, le perdite ambientali e i costi. Nonostante alcune limitazioni funzionali, si tratta di una soluzione accessibile e globale che fornisce una panoramica degli aspetti fondamentali della pianificazione della concimazione, simile ai PRIC, per un'ampia gamma di colture e situazioni ambientali.

Il sottoprogetto 2 per l'integrazione dell'API del progetto pilota WebGRUD persegue l'obiettivo di rendere accessibile a utenti diversi, come agricoltori e agricoltrici, persone occupate nell'amministrazione e nell'istruzione, l'applicazione della "norma corretta" nella pianificazione della concimazione del futuro attraverso un'interfaccia utente. L'API WebGRUD fornisce un'interfaccia per alcune delle tabelle PRIC necessarie per calcolare il fabbisogno di concimi di una coltura (come l'azoto). Gli sviluppatori e gli utenti potrebbero utilizzare l'API per calcolare in modo efficiente i requisiti attuali di concimazione sulla base dei relativi dati. Il progetto ha testato l'API, l'ha integrata con successo e descrive le attuali sfide tecniche per una futura implementazione. Inoltre, è stato sviluppato un sito web interattivo che mostra il calcolo del fabbisogno di concimi e i fattori che lo influenzano. Esempi pratici sul sito illustrano la funzione della norma corretta e il potenziale di ottimizzazione. Il sito web è stato realizzato con JavaScript e React e messo a disposizione online. Nel corso del progetto sono stati individuati potenziali miglioramenti nella documentazione e nella guida per l'utente dell'API, nonché la possibilità di aggiornamenti futuri (fattori di correzione aggiuntivi) (stato: giugno 2024).

Nel complesso, il progetto indica come gli strumenti digitali possano semplificare il calcolo delle quantità di concimazione e quindi aumentare l'efficienza della produzione agricola, mettendo al contempo in evidenza gli aspetti ambientali. L'esperienza acquisita è una base importante per l'implementazione digitale dei principi di concimazione in Svizzera.

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
CI/CD	Continuous Integration and Continuous Deployment
CSS	Cascading Style Sheets
GRUD	Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz
JSON-LD	JavaScript Object Notation for Linking Data
LINDAS	Linked Data Services
PLANET	Planning Land Applications of Nutrients for Efficiency and the environment
RDF	Resource Description Framework
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
TTL	Turtle
Turtle	Terse RDF Triple Language
URIs	Uniform Resource Identifiers
WebGRUD	Web Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz
W3C	World Wide Web Consortium

Teil 1

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

In einer Zeit des wachsenden Umweltbewusstseins und der zunehmenden Bedeutung des Ressourcenschutzes steigen die Anforderungen an die Landwirtschaft sowohl in Bezug auf die Produktion als auch auf den Umweltschutz. Diese Entwicklung wird durch ein immer besseres Verständnis der Probleme und Ursachen verstärkt.

Das Hauptziel der Landwirtschaft besteht in der Produktion von Nahrungsmitteln, Futtermitteln und Biomasse zur Bioenergieerzeugung, wobei sie häufig in Konflikt mit der Umwelt gerät. Die Landwirtschaft trägt zur Entstehung von Umweltproblemen bei und ist gleichzeitig stark davon betroffen. Insbesondere der Klimawandel, der durch die Emissionen von Treibhausgasen durch die Landwirtschaft angetrieben wird, stellt für sie eine große Herausforderung dar (Smith et al., 2007). Er erfordert eine Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen und vermehrt auftretende Extremwetterereignisse. Die Biodiversitätskrise, welche unter anderem ausgelöst wurde durch die breite Anwendung von Monokulturen und Pestiziden, führt in landwirtschaftlichen Gebieten zum Rückgang von Bestäuberpopulationen. Zudem beeinflusst die Landwirtschaft die Qualität des Grundwassers. Dabei belasten die Auswaschung von Düngemitteln und Pestiziden die Gewässer und kann die Gesundheit der Menschen beeinträchtigen. Die Qualität der Luft leidet unter den Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung sowie der Lagerung und Ausbringung von Hofdünger (Sutton et al., 2011).

Schlussendlich haben diese Umweltprobleme eine gemeinsame Komponente als Auslöser: den Verlust von Nährstoffen aus dem landwirtschaftlichen System. Dabei sind die schwerwiegendsten Verluste jene von Stickstoff und Phosphor. Es ist anzumerken, dass diese Nährstoffverluste nicht nur ökologische, sondern auch negative ökonomische Konsequenzen haben. Die Notwendigkeit, verlorene Nährstoffe durch den Einsatz zusätzlicher Düngemittel zu kompensieren, erhöht die Betriebskosten und beeinträchtigt die Rentabilität der landwirtschaftlichen Produktion. Darüber hinaus entstehen Kosten für die Gesellschaft bei der Aufrechterhaltung von Ökosystemdienstleistungen, die durch die Veränderung der Umwelt bereits verloren gegangen sind oder verloren zu gehen drohen.

1.2 Aktuelle Herausforderungen

Da hohe Erträge mit guter Qualität und der Minimierung negativer Umweltauswirkungen oft in Konflikt stehen, entsteht ein komplexes und hohes Anforderungsprofil für die Landwirtschaft.

Zusätzlich wird dieses Anforderungsprofil durch hohe Ansprüche an die Dokumentation der ausgeführten Arbeiten und verwendeten Produktionsmittel erweitert, weil daraus die Direktzahlungen für die Landwirte berechnet werden. Die Direktzahlungen sind für viele Landwirte überlebenswichtig, da ihre Betriebe ohne sie häufig nichtprofitabel sind.

Bei der Dokumentation zum Erhalt von Direktzahlungen kommt es oft dazu, dass Landwirte Daten mehrfach erfassen müssen. Dies resultiert in zusätzlichem Zeitaufwand und kann zu Frustration führen. Da der Gewinn des Landwirts vor allem auf Produktionserträgen basiert, liegt der Fokus der Landwirtschaft mehr auf diesen Erträgen als auf den Auswirkungen für die Umwelt.

Das Wissen, wie man beide Aspekte vereinen kann, ist in der Forschung vorhanden und wird laufend ausgebaut. Allerdings fehlt es an einem Weg, dieses Wissen schnell und einfach in die landwirtschaftliche Praxis zu transferieren und in der Gesetzgebung abzubilden, welche bestimmt, wofür man die Direktzahlungen erhält.

Es ist schwierig, ein komplexes Anforderungsprofil zu erfüllen, das hohe Ansprüche der Gesellschaft an Umweltverträglichkeit, vertreten durch die Politik, und hohe, qualitativ hochwertige Erträge für die Lebensmittelhändler beinhaltet, wenn das dazu notwendige Wissen begrenzt ist. Daher stellt die Brücke zwischen Forschung, Praxis und Gesetzgebung eine entscheidende Herausforderung dar, die es herzustellen gilt.

1.3 Lösungsweg der Digitalisierung

Die Digitalisierung bietet einen vielversprechenden Lösungsweg für die komplexen Herausforderungen in der Landwirtschaft. Ähnlich wie in anderen Branchen könnte der Einsatz von Softwareapplikationen bei der Bewältigung der aktuellen Probleme helfen. Durch den Einsatz von Softwarelösungen lässt sich der administrative Aufwand verringern, wodurch Landwirte sich stärker auf ihre eigentlichen Aufgaben konzentrieren können. Eine vorteilhafte Dimension der Digitalisierung besteht darin, dass aktuelles Forschungswissen unmittelbar in Anwendungsprogramme für die landwirtschaftliche Praxis integriert werden kann.

Landwirte können somit von den neuesten Erkenntnissen profitieren, während sie gleichzeitig die Option haben, ihre eigenen Daten zu Forschungszwecken zur Verfügung zu stellen. Eine Schwierigkeit der Digitalisierung besteht allerdings darin, benutzerfreundliche Software zu entwerfen, welche ohne Probleme verwendet werden kann. Das Spektrum möglicher Softwarelösungen ist breit und viele existieren bereits in unterschiedlicher Qualität. Dabei kann man die Lösungen nach Funktionsumfang unterscheiden (siehe Kapitel "2.1 Vorgehensweise Übersicht"). Für diesen Bericht besonders interessant sind Softwarelösungen, welche die Dokumentation, die Planung und die Bewertung der Düngung anhand von Effizienzindikatoren ermöglichen. Auch bezüglich Technologie gibt es Unterschiede: Vor dem digitalen Zeitalter waren viele Unterstützungshilfen in Papierform verfügbar. In einer nächsten Phase wurden diese durch Exceltabellen und desktopbasierte Software ergänzt. Die aktuelle Entwicklung deutet nun deutlich zu webbasierter Software und Apps für mobile Endgeräte. Die Vielfalt an Funktionen der Software reicht von Düngebedarfsberechnungen für die Planung, über die Dokumentation der tatsächlich verwendeten Nährstoffmengen für die Düngung und der Ressourcenverwaltung bis hin zur automatisierten Bewertung der Nutzungseffizienz und Berichterstellung für den Vollzug.

Ausserdem unterscheiden sich die Softwarelösungen in ihrem Umfang und ihrer Komplexität. Am unteren Ende des Spektrums stehen solche, die nur ein Problem in digitaler Form lösen. Also zum Beispiel die Dokumentation der Fruchtfolge oder die Berechnung des Nährstoffbedarfs einer bestimmten Kultur oder die Schätzung des Ertrags oder die Planung eines Arbeitsschrittes. Am oberen Ende des Spektrums lassen sich ganzheitliche Softwarelösungen finden, welche viele Funktionen wie Datenerfassung, Entscheidungshilfen und Ressourcenmanagement vereinen. Dabei ermöglichen diese auch die Dokumentation und Analyse von Prozessen auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe, was dann wiederum zur Produktivitätssteigerung genutzt werden kann. Diese nennt man in den meisten Fällen Farm Management Information Systems (FMIS). Oft sind FMIS modular aufgebaut und umfassen Funktionen wie Feldkalender, Düngeplaner, Betriebseffizienz, Nährstoff-, Tier- und Futtermanagement sowie Reportingfunktionen, welche für den Vollzug von Nutzen sind.

Oft wird eine Vielzahl verschiedener Begriffe mit leicht unterschiedlicher Bedeutung verwendet, wie zum Beispiel Software, Applikation, Softwareanwendung, FMIS, Webseite, Programm, Desktop Programm, Softwarelösung, Softwarepakete, Softwareapplikation, Agrar-Software. Je benutzerfreundlicher, umfassender und besser eine Softwarelösung in ein Thema und dessen Arbeitsabläufe integriert ist (z.B. Düngung im Farmmanagementsystem), desto mehr kann sie bei der Arbeit eine Entlastung und Hilfe sein. Daher könnte ein gut entworfenes System allen in der Agrarbranche tätigen Menschen grosse Vorteile bringen. Dies wiederum könnte zu gleichbleibenden oder sogar höheren Erträgen bei reduzierter Umweltbelastung führen.

Das Hauptziel des ersten Teils dieses Berichts besteht darin, dem Leser eine umfassende Übersicht über die breite Palette von Softwarelösungen für die Landwirtschaft zu bieten. Dabei liegt der Fokus auf der Düngeempfehlung, Düngeplanung, dem Nährstoffmanagement, der Darstellung des Funktionsumfangs dieser Programme sowie deren potenziellen Vorteilen für landwirtschaftliche Betriebe. Eine detaillierte Analyse verschiedener Softwaretools gewährt dem Leser Einblicke in deren Eigenschaften, Stärken und Einsatzmöglichkeiten besonders in Bezug auf die Optimierung bei der Anwendung von Düngern, die effiziente Nutzung von Ressourcen und die Minimierung von Umweltauswirkungen. Darüber hinaus soll dieser Bericht das Verständnis für die Rolle der Digitalisierung in der Landwirtschaft vertiefen und potenzielle Chancen durch den Einsatz von Informationstechnologien aufzeigen. Durch die Betrachtung verschiedener Softwarelösungen und ihrer Anwendungsfelder wird ein umfassender Überblick über die Digitalisierungstrends in der Landwirtschaft ermöglicht. Dadurch können Landwirte und andere Interessierte fundierte Entscheidungen treffen, um landwirtschaftliche Betriebe effizienter und nachhaltiger zu gestalten.

Der Einfachheit halber wird im Folgenden für alle Arten von digitalen Hilfsmitteln, die oben aufgeführt wurden, von Softwarelösung gesprochen.

2 Methodik

2.1 Vorgehensweise Übersicht

Es wurde eine Liste von 40 Softwarelösungen zusammengestellt, die für den Einsatz in der Landwirtschaft entwickelt wurden. Die erfassten Softwarelösungen umfassen sämtliche Arten von Software in den Bereichen Dokumentation, Planung, Informationsverarbeitung für Direktzahlungen sowie Darstellung von Umwelt- und Betriebseffizienz. Dabei erhebt die Liste aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Obwohl zu Beginn alle Arten von Programmen erfasst wurden, wurden einige zu einem späteren Zeitpunkt ausgeschlossen, da ihre Funktionalität nicht den Anforderungen dieses Vergleichs entsprach oder weil die Beschaffung der Informationen zu aufwändig oder gar unmöglich war.

Im Anschluss wurden fünf Eigenschaften festgelegt, die für den Vergleich der Softwarelösungen von Interesse sind: Funktionalität, Preis, Zielgruppe, geografische Verbreitung und Hintergrund des Anbieters. Diese untersuchten Eigenschaften werden im Abschnitt "Definition der Eigenschaften" genauer beschrieben. Bei der Recherche auf den Webseiten der Anbieter lag der Fokus darauf, möglichst viele Informationen zu den definierten Eigenschaften zu erhalten. Die Erfassung der Eigenschaften gestaltete sich jedoch als herausfordernd, da viele Anbieter nur begrenzte Informationen auf ihren Webseiten zur Verfügung stellen. Um diese Informationslücken zu schliessen, wurde der direkte Kontakt zu den Anbietern gesucht. Die Herausforderung dabei bestand darin, die Person und ihre Kontaktdaten zu finden, die Informationen zu dem jeweiligen Produkt bereitstellen konnten.

Insgesamt wurden E-Mails an 32 verschiedene Anbieter gesendet. Die deutsche und englische Version dieser E-Mail befinden sich im Anhang. Ein Grossteil reagierte auf die Anfragen und stellte die gewünschten Informationen bereit. Die direkte Kommunikation ermöglichte es, Lücken zu füllen, Unsicherheiten zu beseitigen und zusätzliche Einblicke hinter die Kulissen der Softwarelösungen zu gewinnen. Insgesamt bieten die Informationen aus der Internetrecherche und der E-Mail-Umfrage zusammen einen breiten Überblick über verschiedene Softwarelösungen für die Digitalisierung in der Landwirtschaft. Dieser Überblick bildet die Grundlage für die weitere Arbeit und Analyse.

Definition der Eigenschaften:

In diesem Abschnitt werden die Eigenschaften erläutert, die für den tabellarischen Vergleich der Software verwendet wurden. Einige dieser Eigenschaften wurden vordefinierten Kategorien zugeordnet, die ebenfalls in diesem Abschnitt erläutert werden.

Die Tabelle 1 im Kapitel 3.1 "Übersicht über verschiedene Softwarelösungen in der Landwirtschaft" enthält dann detaillierte Informationen zu jeder Software in Bezug auf diese Eigenschaften. Dazu gehören: der Name der Software und ein oder mehrere Links zu den Informationsquellen, häufig ist dies die Website des Anbieters.

2.1.1 Funktionalität

Die Funktionalität einer Softwarelösung beschreibt, welche Form der Informationsverarbeitung sie bereitstellt und welche Arbeitsabläufe sie erleichtern kann oder soll.

- **Dokumentation:** Erfasst die Fähigkeit der Software, vergangene landwirtschaftliche Arbeiten zu dokumentieren. Dies umfasst Aspekte wie Fruchtfolge, Pestizidanwendungen und insbesondere die Ausbringung von Düngemitteln.
- **Planung:** Bewertet die Software hinsichtlich ihrer Fähigkeit, zukünftige Arbeitsschritte im landwirtschaftlichen Betrieb zu planen und zu organisieren.
- **Vollzug:** Untersucht, ob die Software in der Lage ist, Informationen zusammenzufassen und mehr oder weniger automatisch an Behörden weiterzuleiten, sei es für Direktzahlungen oder zum Nachweis der Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen.

- **Effizienzindikatoren:** Beschreibt, ob die Software eine vergleichende Einstufung der Betriebsaktivitäten anhand von Effizienzindikatoren in Bezug auf konkurrierende Betriebe und/oder Umweltziele wie Nährstoffbilanz und Nährstoffeffizienz ermöglicht.

2.1.2 Preiskategorien (in der Tabelle mit Preis abgekürzt)

Die Preiskategorie gibt an, ob für die Nutzung der Software ein finanzieller Aufwand erforderlich ist.

- **Kostenlos:** Software, die ohne Kosten genutzt werden kann.
- **Freemium:** Bietet eine kostenlose Basisversion, während erweiterte Funktionen kostenpflichtig sind.
- **Kostenpflichtig:** Erfordert eine finanzielle Investition, um die Software nutzen zu können.
- **Nicht verfügbar:** Zeigt an, dass die Software für die Zielgruppe der Landwirte nicht verfügbar ist, z.B. weil sie sich noch in der Entwicklung befindet oder veraltet ist.

2.1.3 Zielgruppe

Die Zielgruppe beschreibt, für welche Benutzergruppen die Anwendung entwickelt wurde. Dabei kann eine Software mehreren Kategorien zugeordnet werden, da es Überschneidungen gibt.

- **Landwirte:** Software, die auf die Bedürfnisse von Landwirten zugeschnitten ist.
- **Beratung:** Software, die sich an Berater in der Landwirtschaft richtet.
- **Behörden:** Entwickelt für den Einsatz in staatlichen Institutionen auf regionaler oder nationaler Ebene.
- **Wissenschaft:** Geeignet für Forschungs-, Labor- und Bildungseinrichtungen.

2.1.4 Geografische Verbreitung (in der Tabelle mit Region / Land abgekürzt)

- Beschreibt die geografische Ausrichtung der Software und gibt an, für welche Region sie entwickelt wurde.

2.1.5 Hintergrund des Anbieters

Dieses Merkmal beschreibt den Hintergrund des Softwareanbieters, um potenzielle Interessenkonflikte aufzuzeigen und einen Überblick über die Unternehmensstruktur zu geben.

- **Grossunternehmen:** Der Anbieter hat viele Mitarbeiter und ist möglicherweise international tätig.
- **Kleines Unternehmen:** Einzelpersonen oder Unternehmen mit nur wenigen Mitarbeitern.
- **Öffentliche Institution:** Gibt an, dass die Software von einer Universität, einer Regierungsbehörde oder einer ähnlichen Einrichtung angeboten wird.
- **Andere:** Hierunter fallen Anbieter, die nicht in eine der vorstehenden Kategorien fallen.

2.2 Vorgehensweise Vergleich

Im Kapitel 3.2 “Ausführlicher Vergleich ausgewählter Softwarelösungen” haben wir uns für einen Vergleich zwischen PLANET und FertiCalc entschieden. Dabei war ein wichtiges Auswahlkriterium, dass die Software, zumindest in einer Testversion, kostenlos zur Verfügung stand. Darüber hinaus war es uns wichtig, einen Einblick in Softwarelösungen mit unterschiedlichen Funktionalitäten und Stärken zu erhalten.

PLANET ist ein offizielles Softwareangebot der britischen Regierung, das Landwirte bei der Bewirtschaftung ihrer Betriebe, insbesondere hinsichtlich Nährstoffmanagement, unterstützt. Es handelt sich um ein komplexes Programm mit vielen Funktionen und wird daher den Farm-Management-Informationen-Systemen (FMIS) zugeordnet. Dies ermöglicht eine engere Anbindung an den Vollzug.

Im Gegensatz dazu ist FertiCalc ein einfacheres Berechnungstool, das von einer spanischen Universität zur Verfügung gestellt wird. Es soll den wissenschaftlichen Kenntnisstand in einfacher Form allen Interessierten zugänglich machen und konzentriert sich dabei auf die Nährstoffeffizienz sowie die Bedarfs- und Kostenrechnung der Düngung.

Mit dieser Auswahl soll die Digitalisierung der Landwirtschaft aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und verschiedene Aspekte von Softwarelösungen erfasst werden.

In einem ersten Teil werden die Eckdaten des Programms umrissen. Diese umfassen Entwicklungsjahr, Anwendungsart der Software, das bedeutet konkret, ob die Softwarelösung als Desktop- oder Web Anwendung oder als mobile Applikation zur Verfügung steht, sowie etwaige Besonderheiten. Danach wird unter dem Punkt Datenmanagement besprochen, wie und ob die Daten gespeichert werden. Unter Berechnungsgrundlage wird ausgeführt, auf Grundlage welcher Bücher und wissenschaftlichen Artikel die Berechnungen ausgeführt werden.

Im Kapitel Funktionalität wird zuerst der grobe Funktionsumfang umrissen, dann wird konkret auf die verschiedenen Funktionen eingegangen. Anschliessend wird aufgeführt, welche Daten im Programm erfasst werden müssen, um die Funktionalität zu gewährleisten und welche weiteren Daten zusätzlich erfasst werden können.

Im nächsten Kapitel wird anhand von einigen subjektiven Beispielen die Benutzerfreundlichkeit genauer beleuchtet. Zuletzt wird noch ein Fazit gezogen, wobei die Funktionalität und die Benutzerfreundlichkeit der Softwarelösung zusammengefasst und in den Kontext der Schweiz eingeordnet werden.

3 Ergebnisse

3.1 Übersicht über verschiedene Softwarelösungen in der Landwirtschaft

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Softwarelösungen und ihre Funktionalität, zusätzlich sind auch Informationen über Preis, Zielgruppe, Region, Hintergrund des Anbieters und Links zu Softwareanbietern oder weiteren Informationsquellen enthalten. Der Fokus wurde auf Softwarelösungen gelegt, welche vorzugsweise einen Bezug zur Düngebedarfsbemessung oder Düngeplanung haben. Es ist zu sehen, dass auf der ganzen Welt viele verschiedene Softwarelösungen existieren. Dabei wurden am meisten Softwarelösungen im deutschsprachigen Raum gefunden. Es ist naheliegend, dass dies aufgrund der Vernetzung der Autoren und dem Sitz von AgroScope in der Schweiz zustande gekommen sein könnte. Weiter lässt sich feststellen, dass ein nicht unerheblicher Teil der Softwarelösungen von öffentlichen Institutionen zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1 | Überblick über verschiedene Softwarelösungen.

Bei den mit * gekennzeichneten Softwarelösungen stammen die Informationen aus der direkten Kommunikation mit dem Anbieter. Bei den anderen wurden die Informationen überwiegend über die beigefügten Links bezogen. Fragezeichen zeigen Unsicherheiten oder fehlende Informationen an.

Name	Funktionalität	Preis	Zielgruppe	Region / Land	Hintergrund Anbieter	Link
Barto*	Dokumentation Planung Vollzug Effizienzindikatoren	Freemium	Landwirte Beratung Wissenschaft Planungstoolanbieter	Schweiz	Grossunternehmen	Link 1 Link 2
IP-SUISSE	Dokumentation Planung Vollzug?	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Schweiz	Andere - Label	Link 3
AGRO-TECH	Dokumentation Planung Vollzug	Kostenpflichtig	Landwirte	Schweiz	Öffentliche Institution Kleines Unternehmen	Link 4 Link 5
Agroplus*	Dokumentation Planung Effizienzindikatoren	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Schweiz	Kleines Unternehmen	Link 6 Link 2
Agrosoft - Farmsolution*	Dokumentation Planung Vollzug	Kostenpflichtig	Landwirte	Schweiz	Kleines Unternehmen	Link 7 Link 8
MaisNet*	Dokumentation Effizienzindikatoren	Nicht verfügbar	Landwirte Beratung Wissenschaft	Schweiz	Öffentliche Institution Andere	Link 9 Link 10
eFeldkalender*	Dokumentation Planung Vollzug Effizienzindikatoren	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung Wissenschaft	Schweiz / Deutschland	Kleines Unternehmen	Link 11 Link 2
XComply	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig?	Landwirte Beratung	DACH	Kleines Unternehmen?	Link 12
BESyD*	Dokumentation Planung	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden Wissenschaft	Deutschland	Öffentliche Institution	Link 13
DüProNP und DüProBilanz*	Dokumentation Planung Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte Behörden Wissenschaft	Deutschland	Öffentliche Institution	Link 14 Link 15
Helm-Software	Dokumentation Planung Vollzug	Freemium	Landwirte	Deutschland	Kleines Unternehmen	Link 16

Name	Funktionalität	Preis	Zielgruppe	Region / Land	Hintergrund Anbieter	Link
NEXT Farming (BayWa)	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte	Deutschland	Grossunternehmen	Link 17
LfL Düngebedarf online*	Dokumentation Planung	Kostenlos	Landwirte	Bayern (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link 18 Link 19
ENNI*	Dokumentation Vollzug	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden	Niedersachsen (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link 20 Link 21 Link 22
Düngung BW*	Planung	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden	Baden-Württemberg (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link 23
Düngeplanungsprogramm	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Schleswig-Holstein (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link 24
LIZ- Npro*	Planung	Nicht verfügbar	Landwirte Beratung	Deutschland (und Europa)	Grosses Unternehmen	Link 25 Link 26 Link 27
365FarmNet	Dokumentation Planung	Freemium	Landwirte	Europa	Grossunternehmen	Link 28
Atfarm (Yara)	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Europa?	Grossunternehmen	Link 29
xfarm	Dokumentation Planung	Freemium	Landwirte Beratung	Europa?	Kleines Unternehmen?	Link 30
ISAGRI Geofolia*	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung Wissenschaft	Europa & Kanada	Grossunternehmen	Link 31 Link 2
reglette azote colza*	Planung	Kostenlos	Landwirte Beratung	Frankreich	Öffentliche Institution?	Link 32 Link 33
AzoFert*	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Frankreich	Öffentliche Institution	Link 34 Link 35
Planet*	Dokumentation Planung Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte	Grossbritannien	Öffentliche Institution	Link 36 Link 37 Link 38
Manner-NPK*	Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte	Grossbritannien	Öffentliche Institution	Link 36 Link 37 Link 38
ENCASH*	Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte	Grossbritannien	Öffentliche Institution	Link 36
Fertilizer P & K Calculator	Planung	Kostenlos	Landwirte	Irland	Andere - Bauernverband	Link 39

Name	Funktionalität	Preis	Zielgruppe	Region / Land	Hintergrund Anbieter	Link
(Teagasc)						
LIZ- Managementsystem	Dokumentation Planung Vollzug	?	Landwirte	Lettland	Öffentliche Institution	Link 40 Link 41 Link 42
Regenera Limia	Dokumentation Planung	Kostenlos	Landwirte	Ourense (Spanien)	Öffentliche Institution	Link 43
FertiliCalc Cordoba*	Dokumentation Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden Wissenschaft Studenten	Weltweit / Spanien	Öffentliche Institution	Link 44 Link 45 Link 46 Link 47
Augmenta (Raven)	?	?	Landwirte	Weltweit	Grossunternehmen	Link 48
Trimble Ag Software	Dokumentation Planung?	Kostenpflichtig	Landwirte	USA / Global	Grossunternehmen	Link 49
BFDC Interrogator	Dokumentation Planung	?	?	Australien	Öffentliche Institution	Link 50 Link 51 Link 52
Site-specific fertilizer management systems	Dokumentation Planung	?	Landwirte	Sri Lanka	Andere - FAO, UN	Link 53
Düngeplanung China	Planung	?	Landwirte	China	Öffentliche Institution	Link 54 Link 55 Link 56

Wie bereits erwähnt wurden im Rahmen der Recherche auch einige Softwarelösungen wieder ausgeschlossen, weil entweder nicht genügend Informationen im Internet dazu zu finden waren oder sie nicht den für diesen Bericht interessanten Funktionsumfang besitzen. Das sind die Folgenden: Agrammon (Link 57), minGAP (Link 58), ACORDA, Agricola, agriGIS, agri-Portal, Agate (Link 59). Ausserdem finden sich unter folgenden Links zwei Veröffentlichungen, welche weitere Softwarelösungen vorstellen (Link 60, Link 61).

3.2 Ausführlicher Vergleich ausgewählter Softwarelösungen in der Landwirtschaft

3.2.1 PLANET

PLANET wurde von DEFRA (Department for Environment Food & Rural Affairs UK), ADAS (Agricultural Development and Advisory Service UK) und der schottischen Regierung für Landwirte in England, Wales und Schottland entwickelt. Im selben Rahmen wurden die Programme MannerNPK und ENCASH entwickelt, die als Module von PLANET und einfachere Vorgängerversionen verstanden werden können. PLANET wurde erstmals im Jahr 2005 öffentlich für Landwirte zugänglich gemacht und bis 2014 kontinuierlich weiterentwickelt und aktualisiert. Es handelt sich dabei um eine Desktopanwendung. Derzeit wird eine webbasierte Version entwickelt, um den aktuellen Anforderungen gerecht zu werden.

3.2.1.1 Datenmanagement

Die Daten werden automatisch als lokales Backup in Form von mdb Dateien (Microsoft Access Database) gespeichert. Auch kann manuell gespeichert werden. Beim Öffnen des Programms kann man früher gespeicherte Dateien wieder öffnen. Beim ersten Laden der verschiedenen Module muss dann erneut ausgewählt werden, welche Jahre und Felder geladen werden sollen. Ein Teil der Resultate kann in Form eines PDFs gespeichert und gedruckt werden.

3.2.1.2 Berechnungsgrundlage

Die Berechnungen von PLANET basieren auf dem Fertiliser Manual (RB209), welches, wie auch PLANET, von der DEFRA herausgegeben wird (Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2010). Allerdings dürften die zugrundeliegenden Daten mittlerweile durch neue Erkenntnisse ergänzt worden sein, da das letzte Update des Programms bereits 10 Jahre zurückliegt (2014).

3.2.1.3 Funktionalität

Der Name PLANET steht für Planning Land Applications of Nutrients for Efficiency and the environment. PLANET ist eine umfassende Softwarelösung, die sich auf das Management von Nährstoffen auf Feld- und Betriebsebene fokussiert. Ziel ist es, Landwirte bei der Dokumentation und Planung zu unterstützen.

Das bedeutet konkret, dass geplant werden kann, wie viele Nährstoffe das Feld, bepflanzt mit einer spezifischen Kultur, benötigt, und wann diese in welcher Form ausgebracht werden sollen. Zusätzlich werden die Düngemassnahmen der vergangenen Jahre dokumentiert, um für jedes Feld eine Historie zu haben und nachvollziehen zu können, was mit dem Feld geschehen ist. PLANET ist dabei in verschiedene Module unterteilt.

Für jedes Feld wird auch die Nährstoffbilanz berechnet. Hierbei wird ermittelt, wie viel Nährstoffe die Pflanze benötigt und wie viel organischer Dünger bereits zugeführt wurde. Daraus lassen sich Düngeempfehlungen ableiten.

Diese Informationen können über mehrere Jahre hinweg erfasst und nachträglich eingesehen und angepasst werden. So behält man einen klaren Überblick über die Kulturen, den Dünger, die Bodenanalysen und den Niederschlag der vergangenen Jahre.

Weitere Module bieten Berechnungen zur Einhaltung von Richtlinien an. Zum Beispiel die Berechnung der maximalen Lagerungskapazität von organischem Dünger oder die maximale Anzahl an Tieren, die gehalten werden dürfen.

3.2.1.4 Dateneingabe

Zuerst wird die Lage des Betriebes durch die Postleitzahl erfasst. Danach werden die Felder angelegt und für jedes Feld die Fläche, die Bodenart und ob das Feld in einer "Nitrogen Vulnerable Zone" liegt, eingetragen. In dem Modul Records können Kulturen pro Feld und Erntejahr samt Ertrag, Eigenschaften über die Verwendung der Ernte und Eigenschaften über die Vorkultur eingegeben werden. Ausserdem können Bodenanalysen mit pH, N, P, K und Mg erfasst werden. In einem weiteren Abschnitt wird die Ausbringung von Düngern sowohl organisch wie auch mineralisch pro Feld, Kultur und Jahr mit Details zur Menge, Ausbreitungsart, Einarbeitungszeitpunkt und Nährstoffgehalt dokumentiert. Zuletzt lässt sich auch noch die Niederschlagsmenge anpassen.

3.2.1.5 Benutzerfreundlichkeit

In Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit ist zu erwähnen, dass viele Funktionen an den Benutzer angepasst werden können. Zum Beispiel ist die Datenerfassung dynamisch, das bedeutet, die weitere Dateneingabe ist abhängig davon, welche Daten zuvor eingegeben wurden.

Es gibt auch eine Funktion, die dazu beitragen soll, die mehrfache Eingabe derselben Daten zu verhindern. Auf diese Weise müssen bestimmte Daten nur einmal eingegeben werden und können dann einfach wieder geladen und verwendet werden.

In zahlreichen Bereichen des Systems wird durch das Bewegen des Mauszeigers über bestimmte Felder eine kurze Erläuterung angezeigt. Zusätzlich verfügen viele dieser Felder über ein kleines Informationssymbol, das Benutzer dazu einlädt, bei Unklarheiten mit dem Mauszeiger darüber zu fahren, um eine präzise Beschreibung zu erhalten. Grundsätzlich sind viele Dinge gut und einfach erklärt. Falls dies jedoch nicht ausreicht, um sich im Programm zurechtzufinden, gibt es 18 kurze Video-Tutorials, die die jeweiligen Module genauer erklären. Ausserdem stehen ein Quick Start und ein ausführlicher Guide im PDF-Format zur Verfügung. Auch eine Hilfe-Hotline steht Landwirten bei Fragen zur Verfügung. Viele Fehlermeldungen sind hilfreich, um Probleme bei der Bedienung des Programms eigenständig lösen zu können. Sie zeigen, wo das Problem liegt und wie es behoben werden kann.

Positiv ist, dass die Orientierung im Programm, durch die Verwendung einer Navigationsleiste und Tabs sowie einen visuellen Indikator, der den aktuellen Modul- und Abschnittsstandort anzeigt, einfach fällt. Die Benutzeroberfläche ist zwar nicht besonders ansprechend, jedoch übersichtlich und einfach gehalten. Angesichts der Tatsache, dass das Programm im Jahr 2005 entwickelt und zuletzt 2014 aktualisiert wurde, kann die Benutzeroberfläche als sehr gut bewertet werden. Obwohl die Grösse des Fensters angepasst werden kann, bleibt die Schriftgrösse unverändert. Dies kann insbesondere auf kleinen Bildschirmen und für Personen mit Sehschwäche eine Herausforderung darstellen. Ausserdem ist das Programm nicht responsiv, was bedeutet, dass sich die Grösse der Elemente nicht an die Fenstergrösse anpasst.

Ein weiterer Punkt ist der Aufwand beim Wechsel zwischen den Modulen: Obwohl die bereits eingegebenen Daten gespeichert bleiben, müssen beim Hin- und Herwechseln zwischen den Modulen die gewünschten Felder und Jahre jedes Mal erneut ausgewählt und die Daten neu importiert werden. Dies kann bei Nutzern, die sich ohnehin schon über den Aufwand von mehrfacher Dateneingabe beschweren, als störend empfunden werden.

Die Möglichkeit die angezeigten Felder und Jahre einzuschränken, ist eine tolle Funktionalität für grosse Betriebe und langjährige Nutzer, da sie dadurch einfacher den Überblick behalten können. Die Einbindung dieser Funktionalität könnte jedoch benutzerfreundlicher erfolgen.

Es gibt Situationen, in denen unklar ist, welche Daten manuell eingegeben werden müssen und welche automatisch berechnet werden. Dadurch können die Ergebnisse von PLANET verwirrend sein und es ist nicht immer offensichtlich, welcher Schritt als nächstes folgt.

Obwohl PLANET, wie oben bereits erwähnt, oft hilfreiche Fehlermeldungen ausgibt, haben wir auch Fälle beobachtet, in denen dies nicht der Fall ist. Ein Beispiel hierfür ist der Zugriff auf das Modul Farmgate Nutrient Balance, bei dem das Programm mit einer kryptischen Fehlermeldung abstürzt.

3.2.1.6 Fazit

Insgesamt bietet PLANET eine umfassende Lösung für das Nährstoffmanagement auf Betriebsebene in der Landwirtschaft. Die Möglichkeiten zur Dokumentation der Fruchtfolge, der Bodenanalysen und der Düngung sind

sehr ausführlich und umfassend. Es könnte jedoch von Vorteil sein, die Empfehlungen des Tools noch etwas ausführlicher zu gestalten.

Bezüglich Benutzerfreundlichkeit lässt sich sagen, dass das Produkt besser bewertet werden kann als einige Konkurrenzprodukte. Es gibt jedoch noch Verbesserungspotenzial beim User Flow und der Bedienung.

In Bezug auf die Schweiz könnten Softwarelösungen wie PLANET mit einer geeigneten Schnittstelle die Dokumentation für den Vollzug und das kommende DigiFLUX erheblich vereinfachen. Die Software zeigt auch, dass eine zentrale Datenverwaltung bestimmter Daten für Landwirte durch eine Software möglich ist.

3.2.2 FertiliCalc

FertiliCalc wurde von Mitarbeitern der Universität von Cordoba entwickelt. Die Entwicklung wurde im Jahr 2019 begonnen und seitdem finden regelmässige Updates statt.

Das Programm steht in 91 verschiedenen Sprachen kostenlos zum Download zur Verfügung. Es gibt verschiedene Versionen, die als App und Desktop Anwendung verfügbar sind. Ausserdem gibt es die Software auch als Python Code Datei. Im Folgenden geht es um die Desktop Version FertiliCalc 4.0.

3.2.2.1 Datenmanagement:

Leider ist keine Speicherung von Daten möglich. Bei jedem Neustart des Programms müssen die Daten erneut eingegeben werden. Eventuell wäre eine Speicherung bei der auf der gleichen Webseite verfügbaren Python Version möglich. Dies ist jedoch selbst für Nutzer mit Informatik-Hintergrund nicht geeignet, da Python-Kenntnisse erforderlich sind und zunächst noch Fehler behoben werden müssen. Allerdings werden die Resultate der Berechnungen automatisch als Textfile gespeichert.

3.2.2.2 Berechnungsgrundlage:

Die Berechnungen, welche im Abschnitt Funktionalitäten beschrieben sind, basieren auf den Kapiteln Fertilizers (Delgado et al., 2016a), Nitrogen fertilization I: The nitrogen balance (Quemada et al., 2016a), Nitrogen fertilization II: Fertilizer requirements (Quemada et al., 2016b), Fertilization with phosphorus, potassium and other nutrients (Delgado et al., 2016b) aus dem Buch Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Dieses Buch ist das spanische Pendant zu den Schweizer Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUD) (Richner & Sinaj, 2017).

Es ist möglich, dass in verschiedene Versionen neue Erkenntnisse eingeflossen sind. Dies ist allerdings nicht ersichtlich, da es keine detaillierte Änderungshistorie zu den verschiedenen Versionen gibt.

3.2.2.3 Funktionalität

FertiliCalc ist ein Entscheidungsunterstützungswerkzeug mit umfangreicher Funktionalität.

Ziel ist es, Landwirten eine fundierte Basis für die Auswahl von Düngemitteln und die Bestimmung optimaler Düngermengen bzw. des Düngebedarfs zu liefern. Die Software erstellt dabei nicht nur Nährstoffbilanzen, sondern berechnet auch Verluste, den spezifischen Nährstoffbedarf von Kulturen sowie die Kostenstruktur. Dies soll zur nachhaltigen und effizienten Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen beitragen.

3.2.2.4 Kulturspezifischer Nährstoffbedarf:

FertiliCalc berechnet den Nährstoffbedarf für jede eingetragene Kultur unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wie dem Ertrag und dem Nährstoffgehalt des Bodens auf Feldebene. Dadurch kann die Düngung auf die Anforderungen der Kultur abgestimmt werden. Allerdings ist nicht klar, welcher Ertrag als Input eingegeben werden soll: der gewünschte Zielertrag, der durchschnittliche Referenzertrag oder ein anderweitiger definierter Ertrag. Am wahrscheinlichsten ist der Zielertrag.

3.2.2.5 Nährstoffbilanzen:

Die Software erstellt Bilanzen für die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Schwefel (S) in Kilogramm pro Hektar pro Jahr. Diese ermöglichen die Quantifizierung von Überschüssen oder Defiziten und bieten somit die Möglichkeit, den Boden und die Nährstoffnutzung zu bewerten.

3.2.2.6 Bodenversauerung:

Durch FertiCalc wird die Versauerung des Bodens in Kilogramm CO_3Ca pro Hektar durch die Düngung und die Kultur abgeschätzt. Dies ermöglicht eine gezielte pH-Wert-Steuerung, etwa durch Aufkalkung oder andere Massnahmen zur Beeinflussung des pH-Wertes.

3.2.2.7 Differenzierter Stickstoffverlust (N):

Die Software prognostiziert den Verlust von Stickstoff in Kilogramm pro Hektar und bietet eine differenzierte Aufteilung in Verflüchtigung, Denitrifikation und Auswaschung. Dies ermöglicht eine Risikobewertung und Effizienzsteigerung in der Düngungsstrategie zur Minimierung von Nährstoffverlusten und somit auch von Umweltauswirkungen.

3.2.2.8 Optimierung der Düngerkombination:

FertiCalc ermittelt die kostengünstigste Kombination von Handelsdüngern aus einer zuvor definierten Auswahl (maximal vier verschiedene Dünger). Dabei fließen der Nährstoffbedarf der Pflanze, Ausbringungszeitpunkte (vor oder nach der Aussaat) und die Kosten der Dünger mit ein. Landwirte können so Kosten minimieren, ohne Einbussen bei der Ertragsmenge oder Qualität hinnehmen zu müssen. Die Software erlaubt zudem den mehrfachen Vergleich der berechneten Ergebnisse hinsichtlich Kosten, Nährstoffbilanz und Stickstoffverlusten. Diese Funktion ermöglicht eine umfassende Einschätzung der verschiedenen Alternativen basierend auf individuellen Bedürfnissen und Präferenzen. Der Nutzer hat die Möglichkeit, die Düngerpreise anzupassen, was eine realistische Kostenplanung ermöglicht.

3.2.2.9 Dateneingabe:

Die oben beschriebenen Funktionalitäten, welche sich in den berechneten Ergebnissen zeigen, basieren auf den folgenden Inputs, wobei unklar ist, welche Information zur Berechnung welches Ergebnisses verwendet wird. Dies liesse sich sehr wahrscheinlich in der erwähnten Berechnungsgrundlage nachlesen.

Die folgende Beschreibung der Dateneingabe folgt der Programmstruktur, welche aus den drei Tabs besteht: Ernte und Boden, Düngemittel und Ergebnisse.

Im ersten Tab "Ernte und Boden" wird folgendes erfasst:

- Der Standort in Form von Koordinaten
- Die Wasserversorgung (Wird bewässert? Ja/Nein)
- Die verschiedenen Kulturen inklusive des Ertrages, der prozentual im Feld verbleibenden Ernterückstände und ob diese verbrannt werden. Ausserdem ist es möglich Informationen, jeweils in Prozent, zu der Varianz des Ertrages, dem Volumen, dem Ernteindex und den Nährstoffen N, P und K einzufügen. Falls diese Informationen nicht eingegeben werden, werden bei allen Werten Referenzwerte verwendet, ausser beim Ertrag. Dieser muss zwingend erfasst werden.
- Informationen über den Boden, welche die Bodenart, ob der Boden bearbeitet wurde, die hydrologische Bodengruppe, sowie den mineralischen Stickstoffgehalt in $\text{mg NO}_3\text{-N/L}$ umfassen. Auch hier werden Referenzwerte verwendet, wenn keine Informationen eingetragen sind. Zusätzlich kann, wenn vorhanden, eine Bodenanalyse erfasst werden, welche Daten über Analysemethode, P-Gehalt, K-Gehalt, organische Substanz, Kationenaustauschkapazität und pH-Wert des Bodens beinhaltet.
- Falls eine Bodenanalyse erfasst wurde, kann zusätzlich eine von vier Strategien für die P- und K-Düngung ausgewählt werden. Die vier Strategien sind: minimale Düngung, reduzierte Düngung, maximaler Ertrag, Erhaltung des aktuellen Zustandes.

Im nächsten Tab "Düngemittel" können nun Informationen zur Düngung erfasst werden.

- Dabei lassen sich verschiedene Dünger aus einer langen Liste auswählen (Die Anzahl der verschiedenen Dünger ist zwei- bis dreistellig).
- Für jeden ausgewählten Dünger lassen sich dann Preis, sowie N, P, K, Ca, Mg, S Gehalt sowie auch, ob der Dünger eingearbeitet und vor der Aussaat ausgebracht wurde, eingeben.
- Grundsätzlich lassen sich beliebig viele verschiedene Dünger hinzufügen, allerdings war es bei den Testversuchen nur dann möglich, zu den Ergebnissen fortzufahren, wenn maximal 4 Dünger erfasst waren.

Im letzten Tab "Ergebnisse" werden die meisten der oben beschriebenen Ergebnisse dargestellt und es werden keine weiteren Daten erfasst.

3.2.2.10 Benutzerfreundlichkeit

Beim Testen der Software FertiCalc sind verschiedene Aspekte hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit aufgefallen.

Eine hilfreiche Funktion ist, dass der Benutzer zusätzliche Informationen erhält, wenn er den Mauszeiger über bestimmte Elemente der Benutzeroberfläche bewegt. Dadurch wird dem Benutzer das Verständnis der verschiedenen Funktionen und Möglichkeiten der Software erleichtert. FertiCalc ermöglicht es den Benutzern, die Ergebnisse wie Stickstoffverlust und Nährstoffbilanz sowie die Düngewahl der verschiedenen berechneten Alternativen leicht zu vergleichen.

Obwohl die Fenstergrösse angepasst werden kann, bleibt die Schriftgrösse jedoch unverändert. Dies kann insbesondere auf kleinen Bildschirmen und für Personen mit Sehschwäche eine Herausforderung darstellen. Das Programm wirbt damit, in 91 verschiedenen Sprachen verfügbar zu sein. Allerdings sind dabei einige Übersetzungsfehler entstanden, welche die Benutzerfreundlichkeit beeinträchtigen können. In der deutschen Version ist beispielsweise ein Dünger mit dem Namen "Organisch-Türkei (fest keine Bettwäsche)" in der Düngerauswahl zu finden. Gemeint war "Trockenkot aus der Truthahnhaltung ohne Einstreu". Dies ist ein klassischer Fehler der automatischen Übersetzung ohne nachträgliche Kontrolle.

Es fehlt eine ausführliche Anleitung, die mögliche Unklarheiten beseitigt. Die vorhandenen Anleitungen auf YouTube und im PDF-Format könnten detaillierter sein, um den Benutzern eine bessere Orientierung und Verständnis zu bieten. Sie sind jedoch hilfreich als Orientierungshilfen beim Einstieg. Insbesondere bei Eingabefeldern wie zum Beispiel der hydrologischen Bodengruppe, bei der eine Auswahl zwischen den Werten 1, 2, 3 und 4 möglich ist, wäre eine detaillierte Erläuterung wünschenswert. Selbst für Experten auf diesem Gebiet ist nicht klar, was damit gemeint ist. Es ist möglich, dass es sich hierbei um eine Klassifizierung handelt, die im Ursprungsland des Programms, Spanien, bekannt ist.

Es ist nicht immer offensichtlich, ob die Änderung eines Wertes Auswirkungen auf die Berechnungen hat, wie etwa beim Ernteindex. In diesem Fall kann durch die Konsultation der Anleitung festgestellt werden, dass der Ernteindex die berechneten Ergebnisse beeinflusst. Diese Unsicherheit resultiert aus der Möglichkeit, dass viele Felder angepasst werden können, die offensichtlich nicht modifiziert werden sollten, wie zum Beispiel der lateinische Name einer Kultur.

Wenn versehentlich eine falsche Kultur ausgewählt wurde, kann diese nicht einfach wieder entfernt werden. In diesem Fall muss die Anwendung neu gestartet werden. Da dem Programm eine Speicherfunktion fehlt, müssen bereits eingegebene Daten wie Bodeneigenschaften und Nährstoffwerte erneut eingegeben werden. Bei einigen Anzeigeelementen, wie zum Beispiel bei den Düngern oder den Kulturen, wird die Textanzeige abgeschnitten, wodurch nur ein Teil des Wortes sichtbar ist. Dadurch entsteht eine unübersichtliche Darstellung, die zu Verwirrung führen kann. Die Fehlermeldungen in der Software könnten verbessert werden, um den Benutzern eine klare Rückmeldung zu geben, wenn etwas nicht wie erwartet funktioniert. Derzeit müssen Benutzer häufig selbst nach dem Fehler suchen, zum Beispiel wenn mehr als vier Dünger zum Vergleich hinzugefügt wurden.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die sehr begrenzte Auswahl an vergleichbaren Düngemitteln in einem Programm, das unter anderem dazu dient, die optimale Düngemittelkombination zu ermitteln. Im Gegensatz zu den Kulturen kann der zuletzt hinzugefügte Dünger wieder gelöscht werden. Es bestehen ausserdem einige Unklarheiten bei den Bezeichnungen der Dünger. Interessanterweise beeinflusst die Reihenfolge, in der die Dünger eingegeben werden,

das Ergebnis. Leider ist dies weder in den Anleitungen noch im Programm beschrieben. Es ist unklar, ob dieses Verhalten beabsichtigt ist, da es in der Mobilversion nicht auftritt.

3.2.2.11 Fazit

Zusammenfassend kann man sagen, dass durch die vielen erfassten Informationen viele nützliche Ergebnisse, wie der Stickstoffverlust an die Umwelt, der Nährstoffbedarf der Pflanzen, die Nährstoffbilanz des Feldes, die Kosten und Kombinationen der Dünger, berechnet werden. Allerdings beschränkt sich das Programm auf die Berechnungen und hat somit einen beschränkten Funktionsumfang. Auch gibt es negative Punkte, wie zum Beispiel, dass die Daten nicht gespeichert werden können. Während die Resultate als einfaches Textdokument gespeichert werden, müssen alle eingegebenen Daten bei einem Neustart des Programms erneut eingegeben werden. Ausserdem ist bei den Ergebnissen auch immer eine Alternative 0 dabei, welche suggeriert, dass bei keinerlei Düngung die Nährstoffbilanz neutral ist, sich der pH-Wert des Bodens nicht verändert und es zu keinen Stickstoffverlusten kommt, was nicht realistisch ist. Ausserdem könnte die Benutzerfreundlichkeit und die Dokumentation von FertiCalc verbessert werden, um eine bessere Nutzererfahrung zu gewährleisten.

FertiCalc basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aus dem Buch Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture und stellt diese Landwirten weltweit kostenlos in einfacher Form zur Verfügung. Mit FertiCalc können Landwirte Düngermengen für ihre Felder und Kulturen berechnen, um Ertragserwartungen zu erfüllen und gleichzeitig die Umwelt zu schonen. Diese Software ist eine digitale Umsetzung der Düngeempfehlung. Sie kann als Vorbild für eine einfache digitale Umsetzung der Schweizer Grundlagen für die Düngung in Form einer Weboberfläche dienen. Es könnte jedoch überlegt werden, in einer Schweizer Version Funktionen zur Dokumentation zu ergänzen, um dem Nutzer den Einstieg und das Verständnis zu erleichtern.

4 Schlussfolgerung

In diesem Bericht wird dem Leser eine umfassende Übersicht über die Softwarelösungen im Bereich der Landwirtschaft geboten, wobei der Schwerpunkt auf der Düngeplanung und dem Nährstoffmanagement liegt. Es wird verdeutlicht, dass es eine breite Palette von Softwarelösungen mit unterschiedlichem Funktionsumfang und von unterschiedlicher Qualität gibt. Dies unterstreicht die Tatsache, dass bereits fortschrittliche Informationstechnologien eingesetzt werden, um Landwirten und Beratern dabei zu helfen, hohe Erträge bei minimaler Umweltbelastung zu erzielen. Die Erkenntnisse bieten der Schweizer Landwirtschaft Potenzial zur Verbesserung, indem sie sich an bewährten Praktiken aus dem Ausland orientiert und die Digitalisierung vorantreibt.

Das Beispiel von FertiCalc verdeutlicht, wie eine einfache und effektive Umsetzung für die digitale Berechnung des Düngebedarfs auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse aussehen kann. Die Software benötigt relativ wenige Daten, um verschiedene Düngewerte und Umweltindikatoren zu berechnen, einschliesslich der Verluste von Stickstoff aus dem System, die als Effizienzindikatoren dienen. Die Softwarelösung PLANET zeigt hingegen, wie eine komplexere Lösung aussehen kann, die einen stärkeren Fokus auf die Dokumentation von Massnahmen legt. Es ist besonders interessant zu sehen, dass PLANET als zentrale Datenverwaltung für Landwirte fungieren kann und durch eine Schnittstelle zum Vollzug eine einfachere Datenweitergabe ermöglicht.

Insgesamt bietet Teil 1 des Berichtes einen fundierten Einblick in aktuelle Softwarelösungen für das Nährstoffmanagement in der Landwirtschaft und ihre Potenziale für die Zukunft, sowohl in der Schweiz als auch international.

Teil 2

5 Einleitung

5.1 Was ist die GRUD?

“Die Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD) [(Richner & Sinaj, 2017)] sind das Schweizer Grundlagenwerk für Aspekte der Düngung und Ernährung landwirtschaftlicher Kulturen für Landwirtinnen und Landwirte, die landwirtschaftliche Beratung, Forschende und Personen der Verwaltung und des Vollzugs. Sie beinhalten ca. 150 mehrheitlich miteinander verknüpfte Tabellen mit Norm- und Korrekturwerten für die kultur- und standortspezifische Düngungsbemessung” (Hirte, 2022, S. 1). Die GRUD wird von Agroscope herausgegeben. “Agroscope ist das Kompetenzzentrum des Bundes für landwirtschaftliche Forschung und ist dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) angegliedert” (Agroscope, 2023, Absatz 1). Im Rahmen des aktuellen Arbeitsprogramms 2022 bis 2025 spielen das Nährstoffmanagement und die Digitalisierung wichtige Rollen (Agroscope, 2021). “Daher hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) für das Agroscope-Arbeitsprogramm 22-25 die Digitalisierung der GRUD-Tabellen und der zugrundeliegenden Metadaten für maschinenlesbare Zwecke und zeitgemässe Nutzbarkeit vorgesehen” (Hirte, 2022, S. 1).

5.2 Was ist die korrigierte Norm?

Die korrigierte Norm ist eine rechnerische Entscheidungshilfe für die standortspezifische Düngebedarfsberechnung. Sie ist neben der Nmin-Methode (Richner & Sinaj, 2017) eine der beiden in der Schweiz eingesetzten und in der GRUD empfohlenen Methoden zur Berechnung des Düngebedarfs. Die Berechnung der benötigten Stickstoffmenge basiert auf einer Referenzdosis, die an die jeweiligen Anbau- und Bodenbedingungen des Standortes angepasst wird. Dies geschieht über eine Düngungsnorm und Korrekturfaktoren, die positive oder negative Werte hinzufügen. Alle verwendeten Referenzwerte sind in der GRUD beschrieben und belegt.

Maltas et al. (2015) vergleicht die beiden Methoden der standortangepassten Düngebedarfsermittlung mit der nicht angepassten Normdüngung. Es kam heraus, dass die Empfehlungen der standortangepassten Methoden tatsächlich näher an der optimalen Nährstoffdosis liegen. So auch Grossrieder et al. (2022, S. 103): “Generell hatten alle [standortangepassten] Methoden im Vergleich zur Norm und der stark gedüngten Kontrolle eine höhere N-Nutzungseffizienz ohne signifikante Ertragsreduktion.”

Dies zeigt, dass durch die Verwendung der korrigierten Norm die Düngeverluste aus dem System reduziert werden können. Dadurch werden auch die negativen Auswirkungen von Nährstoffverlusten in die Umwelt minimiert.

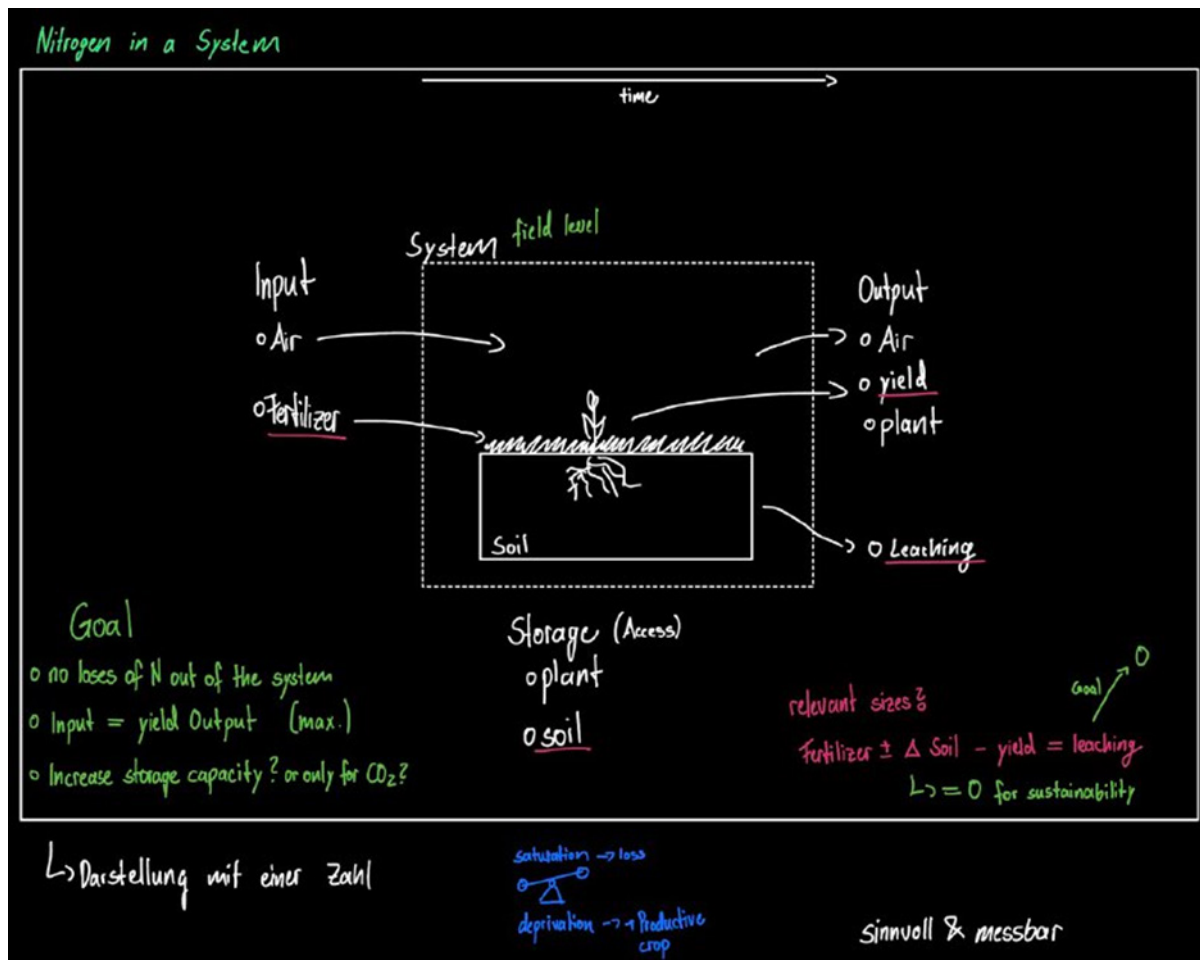


Abbildung 1 | Skizze: Stickstoffflüsse auf Feldebene.

5.3 Die drei Grundziele

5.3.1 Application Programming Interface (API) testen

Die Basis für das Projekt bildet die aus einem Pilotprojekt entstandenen Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (WebGRUD).

In der WebGRUD ist ein erster Teil der Tabellen aus der GRUD in digitaler Form erfasst. Zusätzlich wurden weitere Verknüpfungen für die Berechnung der korrigierten Norm auch digital hinterlegt und ein Application Programming Interface (API) zur Abfrage der Daten entwickelt. Die Schnittstelle verbindet die Tabellen, die für die Berechnung der Düngung nach korrigierter Norm notwendig sind mit mehreren programmierbaren Endpunkten. Diese Endpunkte können von verschiedenen Benutzern eingebunden werden wie beispielsweise von der im nächsten Kapitel vorgestellten Webseite oder in Zukunft auch von verschiedenen Anbietern von Farm Management Information System (FMIS). Das Ziel dieser Schnittstelle ist es, in einer ersten Phase eine einfache Abfrage der Berechnung der korrigierten Norm zu ermöglichen. Langfristig sollen alle Informationen, welche in der GRUD verfügbar sind, in digitaler Form verschiedenen Nutzergruppen zur Verfügung stehen.

Das erste Ziel war es, diese Schnittstelle zu testen, um mögliche Fehler zu identifizieren und herauszufinden, welche weiteren Hilfestellungen für Entwickler nützlich sein könnten. Das Resultat davon findet sich in Kapitel 7.1 Probleme und Fehler bei der Arbeit mit der API.

5.3.2 Webseite für didaktische Zwecke

Ein weiteres Ziel war es, eine Webseite zu entwerfen, die Landwirten und Interessierten anhand von Beispielen veranschaulicht, wie die korrigierte Norm funktioniert. Die Resultate finden sich in Kapitel 7.2 Main Section, 7.3 Hero Section und 7.4 Roadmap.

5.3.3 Beispiele zur Veranschaulichung der Umwelteffizienz

Ein weiteres wichtiges Ziel war es, eine Reihe von Beispielen zu entwickeln, die zeigen sollen, wie die Anwendung der korrigierten Norm positive Auswirkungen haben kann, indem sie den Verlust von Nährstoffen aus dem landwirtschaftlichen System in die Umwelt vermeidet. Die Ergebnisse davon sind in Kapitel 7.5 Beispiele festgehalten.

6 Methodik

6.1 Application Programming Interface (API) verstehen und testen

Um die API der WebGRUD besser zu verstehen, war es zunächst erforderlich, sich mit den zugrundeliegenden Technologien und Konzepten vertraut zu machen. Dazu gehören Resource Description Framework (RDF) und hypermedia-driven APIs. Im Folgenden werden diese Konzepte vorgestellt und ihre Bedeutung für das Projekt erläutert.

6.1.1 Ressource Description Framework (RDF)

RDF ist die Abkürzung für Resource Description Framework. Es ist ein maschinenlesbares Datenformat zur Speicherung und Strukturierung von Daten. RDF ist ein wichtiger Standard in der Vision des Semantic Web, entwickelt vom World Wide Web Consortium (W3C).

RDF organisiert die Daten in Form von Tripeln. Ein Tripel besteht aus Subjekt, Prädikat und Objekt. Diese Elemente werden häufig durch Uniform Resource Identifiers (URIs) dargestellt. RDF-Daten können in verschiedenen Varianten dargestellt werden, wie zum Beispiel Terse RDF Triple Language (Turtle (TTL)) oder JavaScript Object Notation for Linking Data (JSON-LD). Um RDF-Datensätze zu durchsuchen und Abfragen zu erstellen, wird die Datenbanksprache SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL) verwendet. Sowohl für R als auch für Python steht eine Bibliothek zur Verfügung, mit der SPARQL-Abfragen erstellt werden können (Boettiger et al., 2023; RDFLib, 2024).

Die gesamte API der WebGRUD basiert auf RDF. Die Daten werden als JSON-LD, einer Variante von RDF, zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig stellen die Daten auch die Dokumentation der API dar. Dies wird später im Abschnitt über hypermedia-driven APIs näher erläutert. Anfragen an die API und Antworten von der API werden ebenfalls im RDF-Datenformat übertragen. Hierfür wird häufig Turtle (TTL) verwendet, da die Verwendung von Abkürzungen die Lesbarkeit für Menschen verbessert, ohne dabei den Inhalt zu verändern.

Daher basiert die gesamte Interaktion mit der API im Projekt auf RDF. Zunächst um die Beispiele zu verstehen, dann um eigene Anfragen zu formulieren und schlussendlich die Antworten zu interpretieren. Dabei bilden die RDF-Daten die Grundlage für die Berechnungen, beschreiben den Berechnungsprozess und das Ergebnis der Berechnungen.

6.1.2 Hypermedia-driven API

Hypermedia-driven APIs, auch bekannt als “Hypermedia as the Engine of Application State” (HATEOAS), sind ein zentraler Bestandteil moderner APIs. Sie folgen dem Prinzip, dass der Server dem Client nicht nur Daten, sondern auch Hypermedia-Links zur Verfügung stellt, die den möglichen nächsten Aktionen entsprechen. Dies ermöglicht eine dynamische und flexible Navigation durch die API, da sie grundsätzlich selbstbeschreibend ist und daher wenig bis keine Dokumentation benötigt. Der Fokus liegt darauf, dass auch Maschinen die API navigieren können, indem die verwandten Ressourcen jeweils direkt verlinkt sind. Diese Links sind in die JSON-LD-Darstellung der Daten eingebettet, was die Integration und Nutzung der Daten im semantischen Web erleichtert. Applikationen, die hypermedia-driven APIs verwenden, navigieren durch die API ähnlich wie ein Mensch über die Links einer Webseite. Dadurch können APIs generisch gehalten werden und müssen nicht auf spezifische Kunden ausgerichtet sein. Allerdings kann die Lesbarkeit für den Menschen verringert werden, da die Navigation durch die vielen eingebetteten Links und die selbstbeschreibende Natur der API komplexer und weniger intuitiv als bei herkömmlichen, dokumentationsintensiven APIs sein kann (Hydra, 2024; Wikipedia contributors, 2024a).

6.2 Entwicklung einer Website zum Kennenlernen der Berechnung der korrigierten Norm

Bei der Gestaltung der Webseite wurde zunächst viel von Hand skizziert. Diese Skizzen wurden kontinuierlich an das neu gewonnene und veränderte Verständnis angepasst.

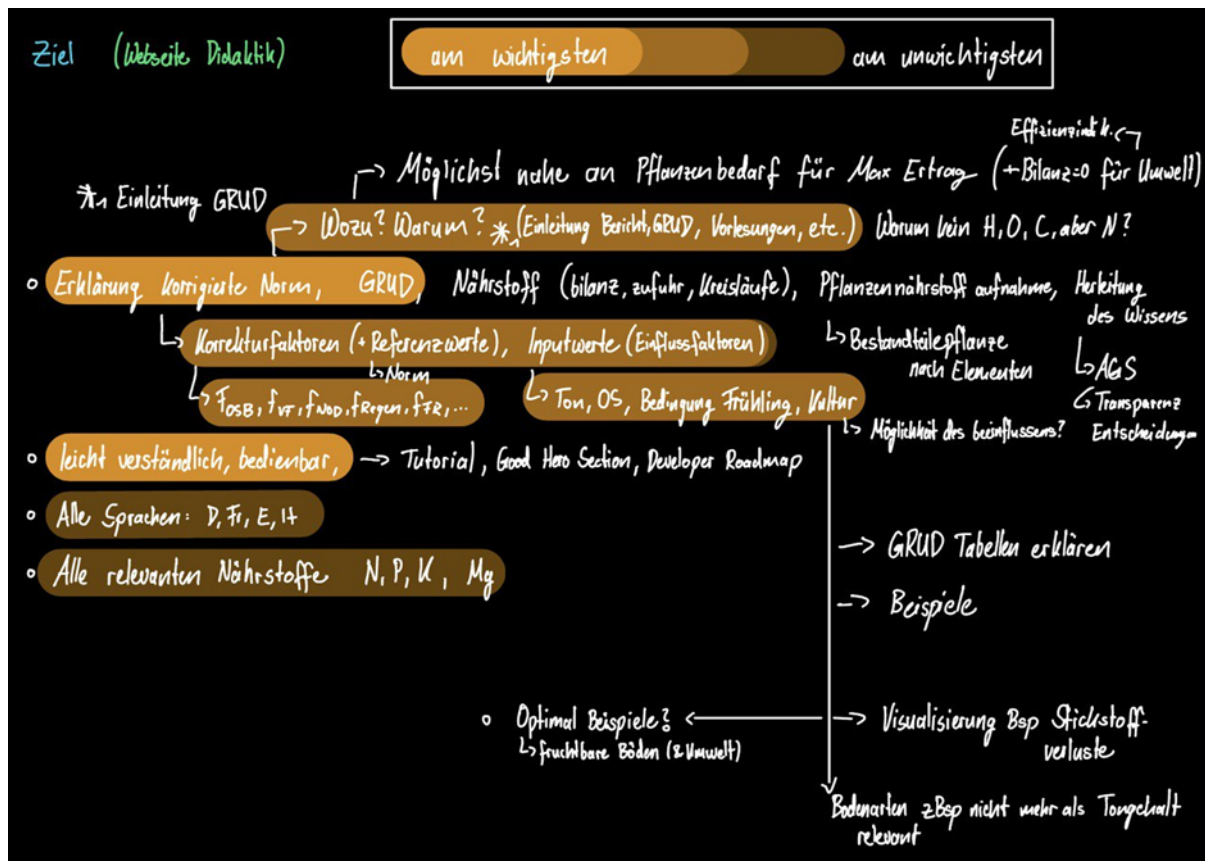


Abbildung 2 | Skizze: Priorisierung der Funktionalität der WebGRUD Webseite.

Da die korrigierte Norm ein mathematisches Modell ist, lässt sich jeder Korrekturfaktor als Funktion beschreiben. Das bedeutet, jeder Ausgabewert (Korrekturfaktor) ist abhängig von zwei bis maximal vier Eingabewerten.

GRUD 8/23

$$X = \text{Norm} + (f_{\text{Ertrag}} + f_{\text{OSB}} + f_{\text{VFr}} + f_{\text{NOD}} + f_{\text{Regen}} + f_{\text{Hackum}} + f_{\text{Fr}})$$

↓

①

N-Düngmenge TS

T11 T12 T13 T14 T15 T16 T17

Abbildung 4 | Skizze: Darstellung der korrigierten Norm als mathematische Formel.

Vorkultur	Organische Düngung	Niederschlag	=	Düngeempfehlung
-12 N kg ha ⁻¹	+ 12 N kg ha ⁻¹	+ -12 N kg ha ⁻¹		-12 N kg ha ⁻¹

Abbildung 3 | Skizze: Erste Idee für die Darstellung der korrigierten Norm.

Daraus resultierte die Idee, die Ausgabewerte in zwei Zeilen (Werte und Beschreibung) darzustellen und sie wie eine additive mathematische Formel zu strukturieren: Norm + f_{Ertrag} + f_{Vorkultur} + ... = zu düngende N-Menge. Oberhalb dieser Formel sollten die entsprechenden Eingabewerte erläutert werden.

Da der Benutzer die Eingabewerte jedoch bearbeiten können soll, mussten die Werte in einen Eingabeblock und einen Ausgabeblock unterteilt werden. Um den Zusammenhang zwischen den Werten darzustellen, sollen bei Mauszeigerkontakt mit einem Wert alle abhängigen Werte hervorgehoben werden (Highlight on Hover). Diese Variante wurde schliesslich gewählt, da sie übersichtlich ist und gleichzeitig die Funktionalität veranschaulicht.

The sketch shows a web interface for fertilizer planning, divided into two main sections: 'Korrekturfaktoren' (Correction Factors) and 'Eingabedaten' (Input Data).

Korrekturfaktoren: This section lists various factors with input fields and units (N kg ha⁻¹). The factors are:

- Düngungsnorm: 12
- Zielertrag: -12
- Organische Substanz: 12 (highlighted with a green background and a pink circle around the input field)
- Vorkultur: -12
- Organische Düngung: 12
- Niederschlag: -12
- Hacken: 12
- Frühling: -12
- Empfohlene Düngungsmenge: 12

Eingabedaten: This section contains input fields for various parameters:

- Kultur: dropdown menu
- Zielertrag: input field with unit dt ha⁻¹
- Organische Substanz: slider from 0% to 100% with a value of 35% (highlighted with a green background)
- Tongehalt: slider from 0% to 100% with a value of 35% (highlighted with a green background)
- Vorkultur: dropdown menu
- Einarbeitungszeitpunkt Vorkultur: dropdown menu
- Zeitpunkt Aussaat Kultur: dropdown menu

At the bottom of the 'Eingabedaten' section, there is a legend for the input fields:

- Ant. Dünger: Menge / N Anteil
- Regenzeitpunkt: Regenmenge

Abbildung 5 | Skizze: Weitere Idee für die Darstellung der korrigierten Norm.

6.3 Technische Aspekte der Webseite

6.3.1 JavaScript, React und Hypertext Markup Language

Bei der Wahl der Programmiersprache für die Umsetzung des Projekts fiel die Entscheidung auf JavaScript in Verbindung mit dem beliebten Framework React. React ermöglicht es dem Entwickler, Hypertext Markup Language (HTML) direkt in den JavaScript-Code zu integrieren. Diese Technologien sind Standard für die meisten komplexeren Webseiten. JavaScript ist derzeit die populärste aller Programmiersprachen und React das meistgenutzte Framework für JavaScript (GeeksforGeeks, 2024; Statista, 2024). Daher ist die Verwendung dieser Technologien im Rahmen dieses Projekts sehr sinnvoll.

Für das Projekt bedeutet dies, dass zukünftige Projektmitarbeiter diese Technologien wahrscheinlich bereits beherrschen und somit einen einfachen Einstieg finden. Dadurch sind Erweiterungen und Änderungen an bestehenden Komponenten mit geringem Aufwand möglich.

Auch für das Praktikum ist dies von Vorteil, da einerseits eine umfangreiche Dokumentation und zahlreiche Lernressourcen zu den gewählten Technologien zur Verfügung stehen. Andererseits bietet das Projekt erste praktische Erfahrungen im Umgang mit JavaScript und React, die im späteren Berufsleben von Bedeutung sein werden.

Zu verschiedenen Zeitpunkten stellte sich die Frage, ob neben dem Frontend (bestehend aus JavaScript, React, HTML) auch ein Backend (data access layer) hinzugefügt werden sollte, da das Datenmanagement klassischerweise dort stattfindet. Letztendlich wurde darauf verzichtet, da keine Limitierung erkennbar war und die technische Komplexität der Webseite niedrig gehalten werden sollte.

6.3.2 Tailwind CSS

Um Farben und Formen auf einer Webseite zu gestalten, werden Cascading Style Sheets (CSS) verwendet. Für dieses Projekt wurde Tailwind CSS gewählt. „Tailwind CSS is a utility-first CSS framework for rapidly building modern websites without ever leaving [...] HTML“ (Tailwind CSS, 2024). Die Verwendung von Tailwind CSS vereinfacht das Styling, indem es eine Vielzahl vorgefertigter Klassen bietet, die direkt in HTML verwendet werden können, wodurch der Entwicklungsprozess beschleunigt wird. Dieses Framework ermöglicht eine einfache Handhabung des Designs einer Webseite, insbesondere bei weniger umfangreichen Projekten.

Tailwind CSS unterscheidet sich nur leicht von klassischem CSS und verfügt über eine umfangreiche Dokumentation. Daher war es perfekt geeignet, um während des Praktikums erlernt zu werden.

6.3.3 Netlify und Continuous Integration and Continuous Deployment (CI/CD)

Um das Projekt online verfügbar zu machen, wurde Netlify (<https://www.netlify.com/>) verwendet. “Netlify is a remote-first cloud computing company that offers a development platform that includes build, deploy, and serverless backend services for web applications and dynamic websites” (Wikipedia contributors, 2024b, Absatz 1).

Netlify ermöglicht es Entwicklern, mit wenigen Klicks eine Webseite online zu stellen. Dazu muss das Projekt für den produktiven Einsatz erstellt werden (build for production deployment). Ausserdem ist es notwendig, einen Account auf Netlify zu erstellen und den für die Produktion vorgesehenen Ordner auf die Plattform hochzuladen.

Bei dieser Methode muss bei jeder Änderung, die online gestellt werden soll, das Projekt erneut für den Produktionseinsatz erstellt und der entsprechende Ordner auf die Webseite kopiert werden. Diese Methode wurde gewählt, da die Webseite während der Entwicklungsphase für Tests zur Verfügung stand und die Entwicklung mit dem Abschluss dieses Projekts vorerst abgeschlossen ist.

Zu einem späteren Zeitpunkt könnte es sinnvoll sein, auf Continuous Integration and Continuous Deployment (CI/CD) umzusteigen. Dadurch können Änderungen in kürzeren Abständen und automatisch auf die Website übertragen werden. In der aktuellen Projektphase war dieser zusätzliche Aufwand jedoch nicht notwendig, auch weil es je nach Anbieter zu Zusatzkosten führen kann.

6.4 Programmierprozess

Während des Programmierprozesses traten zahlreiche technische Herausforderungen auf, die überwunden werden mussten, um eine funktionale und benutzerfreundliche Anwendung zu entwickeln. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Schritte und Schwierigkeiten dieses Prozesses detailliert beschrieben.

Die Initialisierung des Projektes verlief ohne nennenswerte Schwierigkeiten. Dies ist zum einen auf die Unterstützung durch die Software Vite, einem “Local Deployment Server”, und zum anderen auf die Vorerfahrungen des Entwicklers mit diesen Technologien zurückzuführen.

Der erste Kontakt mit der API gestaltete sich hingegen schwieriger. Es war zunächst nicht möglich, die Daten in das Programm zu importieren, was auf einen Cross-Origin Resource Sharing (CORS) Fehler zurückzuführen war. Auf dieses Thema wird im Kapitel 3.1.1 Cross-Origin Ressource Sharing näher eingegangen. Darüber hinaus stellte der Umgang mit RDF (Ressource Description Framework) anfangs eine Hürde dar. Diese Faktoren führten dazu, dass der Weg bis zum ersten erfolgreichen Request an die API sehr zeitaufwändig war, da zu diesem Zeitpunkt noch kein tiefgehendes Verständnis von CORS und RDF vorhanden war.

Im nächsten Schritt wurden die Daten manipuliert. Aus den vom Benutzer eingegebenen Daten wurde eine Anfrage generiert, an die API gesendet und die Antwort der API extrahiert, um die Ergebnisse anzuzeigen. Die richtige Interpretation und Weiterverarbeitung dieser Daten waren entscheidend, um die gewünschten Funktionalitäten zu implementieren.

Parallel dazu wurde an der Umsetzung der Idee des “Hover-Effekts” gearbeitet, die in Kapitel 6.2 Entwicklung einer Website zum Kennenlernen der Berechnung der korrigierten Norm beschrieben wurde. Eine technische Herausforderung bestand darin, dass viele verschiedene Elemente in Abhängigkeit von der Auswahl eines anderen Elementes angesteuert und Eigenschaften modifiziert werden mussten, um ein visuelles Feedback für den Benutzer zu erzeugen. Die technisch saubere Umsetzung dieser Anforderung war schwierig. Eine einfache Lösung war zwar

schnell gefunden. Diese hatte jedoch den Nachteil, dass sie im späteren Projektverlauf nur schwer modifizierbar wäre. Daher war dies keine dauerhafte Lösung und diente nur als Übergangslösung für zwei Projektpräsentationen bis zu einer sauberen Umsetzung.

Dies führte zur Entwicklung von zwei Versionen der Webseite. Eine Version konnte Eingabedaten verarbeiten, erfolgreich mit der API kommunizieren und die Ergebnisse anzeigen. Die andere Version ermöglichte eine komplexere Darstellung, bei der verknüpfte Elemente hervorgehoben wurden, wenn ein bestimmtes Element angesteuert wurde. Dieser Ansatz war nützlich, um die Qualität beider Teile zu überprüfen. Die Herausforderung bestand darin, die beiden Teile zusammenzuführen, ohne eine der beiden Funktionalitäten zu verlieren, was sich aufgrund der zahlreichen Abhängigkeiten als schwierig erwies.

Um diesen Prozess zu erleichtern, wurde während des Entwicklungsprozesses ein umfangreiches Refactoring durchgeführt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Benennung der Variablen und der Umstrukturierung des Codes in sinnvolle Programmdateien, um eine hohe Kohäsion und lose Kopplung (high cohesion and low coupling) durch einen modularen Aufbau zu gewährleisten (Saxena & Kumar, 2012).

Dieser Schritt war notwendig und wertvoll, um die Pflege und Erweiterbarkeit des Codes zu verbessern. Durch die Einführung klar definierter Module und Schnittstellen konnte die Komplexität des Systems reduziert und die Wiederverwendbarkeit von Komponenten erhöht werden.

Abschliessend wurde die Webseite ausgiebig getestet, Fehler wurden behoben und weitere dokumentiert. In diesem Prozess wurden auch die Abschnitte Hero Section und Roadmap (siehe Kapitel 7.5 und 7.6) erstellt. Diese Teile der Webseite dienen dazu, Benutzer und Tester abzuholen und ihnen einen klaren Überblick über die Anwendung und ihre Funktionalitäten zu geben.

Durch den strukturierten Programmierprozess und die gezielte Bewältigung der technischen Herausforderungen konnte eine benutzerfreundliche Webseite entwickelt werden. Die iterative Verbesserung und das sorgfältige Testen der verschiedenen Komponenten führten zu einer stabilen Lösung. Der Code-Refactoring-Prozess und die Implementierung von unterstützenden Abschnitten wie der Hero Section und der Roadmap haben die Benutzerfreundlichkeit für Nutzer und die Erweiterbarkeit für die Entwickler der Webseite weiter verbessert und bieten eine solide Basis für zukünftige Projekte.

7 Ergebnis

7.1 Probleme und Fehler bei der Arbeit mit der API

7.1.1 Cross-origin Resource Sharing (CORS)

“Cross-Origin Resource Sharing (CORS) ist ein Mechanismus zur Integration von Anwendungen. CORS bestimmt für Client-Webanwendungen, die in einer Domain geladen sind, eine Möglichkeit zur Interaktion mit Ressourcen in einer anderen Domain. Dies ist nützlich, da komplexe Anwendungen in ihrem clientseitigen Code häufig auf APIs und Ressourcen von Drittanbietern verweisen. [...] Mit CORS kann der Client-Browser vor der Datenübertragung bei den Servern Dritter prüfen, ob die Anfrage autorisiert ist” (AWS, 2024). Auf diese Weise verhindert CORS unberechtigte Zugriffe und erhöht die Sicherheit einer API.

Da die API neu entwickelt wurde, wurde sie bisher noch nie von ausserhalb des eigenen Netzwerks aufgerufen, weshalb der Zugriff für dieses Projekt zunächst verweigert wurde. Da der Autor dieses Berichts bisher nur wenig Erfahrung mit APIs und CORS hatte, dauerte es einige Zeit, den Fehler zu lokalisieren und eine Lösung zu finden. Nachdem das Problem identifiziert worden war, konnte das API-Entwicklungsteam eine Einstellung ändern, um dem Entwickler der Webseite den Zugriff zu ermöglichen. Während die Identifizierung des Problems einige Zeit in Anspruch nahm, konnte die Lösung sehr schnell und einfach implementiert werden.

7.1.2 Unvollständige Dokumentation

Im Folgenden werden die Tabellen des Buches mit GRUD bezeichnet (Richner & Sinaj, 2017), während die in digitaler Version vorhandenen Tabellen der API aus dem Pilotprojekt mit WebGRUD (<https://webgrud-app.zazukoians.org>) bezeichnet werden.

Die unvollständige Dokumentation der API zum Zeitpunkt dieser Arbeit hat die effiziente Nutzung und das Verständnis dieser erschwert. Aus den Erfahrungen mit der API und der vorhandenen Dokumentation wurden die folgenden Punkte abgeleitet. Sie können als Vorschläge zur Verbesserung der Dokumentation angesehen werden:

7.1.2.1 Mapping der Tabellen aus der GRUD in die WebGRUD

Ein wesentliches Problem war das Fehlen einer klaren Dokumentation oder Anleitung, wie die Tabellen der GRUD zu Tabellen der WebGRUD wurden. Dabei geht es überwiegend um Design Entscheidungen. Ein Beispiel dafür findet sich in der GRUD Kapitel 8, Tabelle 13. Hierbei geht es um die verwendeten Key Dimensions (Eingabewerte der WebGRUD). In der Tabelle der GRUD wird aufgrund der beiden Attribute Umbruch (Herbst oder Frühling) und Vorkultur (z.B. zweijährige Kunstwiese) ein Stickstoffkorrekturwert ermittelt. Hierbei ist zu ergänzen, dass die Vorkulturen weiter nach Saatzeitpunkt der Hauptkultur und weiteren Merkmalen wie Alter der Kultur und Stroheinarbeitung differenziert werden. Dies spiegelt sich jedoch nicht in der Tabellenstruktur wider. In der WebGRUD hingegen ist dies in verschiedene Key Dimensions unterteilt: Umbruch, Saatzeitpunkt, Spezifikationen und Vorkultur. Eine kurze Erläuterung mit Beispielen, wie diese Zuordnung erfolgt ist, wäre hier sehr hilfreich.

Ein weiteres Beispiel ist in der GRUD Kapitel 8, Tabelle 9 & 11. Es wurde nicht dokumentiert, dass der maximale Zielertrag für alle Kulturen, die nicht in Tabelle 11 enthalten sind, dem Referenzertrag entspricht. Dies führt zu Missverständnissen bei der Anwendung der Düngungsnormen. Der Anwender könnte denken, dass die zu düngende Norm linear an den Zielertrag angepasst wird (z.B. Dinkel: 100 kg N/ha bei 45 dt/ha Zielertrag, und entsprechend 200 kg N/ha bei 90 dt/ha Zielertrag). Eine Beschreibung, die erklärt, dass die Skalierung der Düngungsnorm nur für die Kulturen der Tabelle 11 möglich ist, würde hier Klarheit schaffen.

7.1.2.2 Unklarheiten bei der Verwendung WebGRUD von Organic Fertilizer

Die Funktionsweise der Berechnungen für die Nachwirkung von organischem Dünger ist nicht ausreichend dokumentiert. Für die Arbeit mit der API muss klarer beschrieben werden, welche Daten wo verfügbar sind und wie diese zusammenhängen. Beim Studium der Berechnungen stösst man auf nicht selbsterklärende Endpunkte wie z.B:

"<https://webgrud-app.zazukoians.org/api/schema/rule>": "fertilizationN-rules.n3"

"https://webgrud-app.zazukoians.org/api/schema/rule": "calc.n3"

Es fehlt eine Erklärung, wofür diese ('fertilizationN-rules.n3' und 'calc.n3') stehen und wenn es Dateien sind, was diese enthalten und wo sie zu finden sind.

7.1.2.3 Übersicht und Struktur der Dokumentation

Eine graphische Übersicht, welche Tabellen der GRUD digitalisiert wurden, wäre hilfreich gewesen. Zudem war die Dokumentation auf verschiedene Plattformen verteilt (Teams, Confluence, API), was das Verständnis erschwerte und zu einer Dopplung von Informationen führte. Eine klare Strukturierung und Trennung zwischen der Dokumentation zur Erstellung digitaler Tabellen (GRUD zu Cube Creator und LINDAS) und der Nutzung der API unter <https://webgrud-app.zazukoians.org/> wäre wünschenswert.

7.1.2.4 Einstiegshilfen für neue Benutzer

Es sollten mehr Einstiegshilfen und Erklärungen für Benutzer, die wenig Erfahrung mit hypermedia-driven APIs haben, zur Verfügung gestellt werden. Auch der Begriff HATEOAS, ein weiter verbreitetes Synonym für hypermedia-driven API, und seine Bedeutung sollten in der Dokumentation beschrieben werden. Visualisierungen können helfen, API-Requests und -Responses besser zu verstehen. Auch für das Verständnis der JSON-LD RDF Tabellen der WebGRUD API sind Visualisierungen besonders hilfreich. Die Links zu diesen Tools könnte man der Dokumentation hinzufügen, um den Benutzern den Umgang mit der API zu erleichtern:

- WebGRUD API Einstiegspunkt: <https://webgrud-app.zazukoians.org/>
 - /Calculations, /Tables, /Dimensions, /Api, /shape/fertilizationN-inputShape sind die wichtigsten Unterpunkte (Bsp: webgrud-app.zazukoians.org/dimensions).
 - /Metadata lässt sich an spezifische Tabellen anhängen, um mehr über diese zu erfahren (Bsp: webgrud-app.zazukoians.org/table/PRIFm8t13/metadata).
- JSON-LD Playground: <https://json-ld.org/playground/>
 - Kann JSON-LD in Tabellenform darstellen und zu N-Quads umwandeln.
- Visualisierung von RDF 1: <https://www.ldf.fi/service/rdf-grapher>
 - Rohe Darstellung der Daten als Graph.
 - Aktivieren von "Send form as HTTP POST (needed for large RDF data)" für viele Dateien notwendig.
- Visualisierung von RDF 2: <https://giacomociti.github.io/rdf2dot/>
 - Sehr nützlich, um API-Tabellen zu verstehen. Von JSON-LD mit Playground zu N-Quads, von N-Quads mit diesem Tool zu Graph.
 - Custom Rules visualization.n3 für Reduktion der Informationen.
- Test UI für N Düngung von Zazuko: <https://webgrud-app.zazukoians.org/ui/fertilizationN>
 - Request und Response können mit den oben genannten Visualisierungstools graphisch dargestellt werden.
- Allgemeine Beispiele von Zazuko: <https://webgrud-app.zazukoians.org/test>
- Erste Webseite basierend auf der API: <https://agroscope-webgrud.netlify.app/>
 - Wurde im Rahmen dieses Projektes erstellt.

7.1.2.5 Glossar

Ein kleines Glossar mit den wichtigsten Begriffen (z.B. RDF, Turtle, GRUD, WebGRUD, Zazuko, n3, N-Quads, Cube Creator, LINDAS) und Links zu weiterführenden Informationen könnte für die Benutzer hilfreich sein. Diese Verbesserung würde einen grossen Mehrwert im Verhältnis zum Aufwand bieten.

7.1.2.6 Beispiele für API-Requests und -Responses

Obwohl die API selbsterklärend sein sollte, wären Beispiele für das Senden von Requests und die Interpretation von Responses sehr hilfreich. Es gibt bereits hilfreiche Abschnitte auf der Confluence-Webseite, dennoch würde ein konkretes Beispiel mit Erläuterungen neuen Benutzern helfen, die API schneller zu verstehen und zu verwenden.

Diese Punkte zeigen, welche Änderungen der Dokumentation hilfreich wären, um die Nutzung der API zu erleichtern und Missverständnisse zu vermeiden.

7.1.3 Mehrmalige Verwendung des Korrekturfaktors Niederschlag

Weitere Unklarheiten ergeben sich aus dem Korrekturfaktor Winter- und Frühlingsniederschläge, bei denen nur eine Niederschlagsintensität angegeben werden kann. Dieser Faktor sollte hingegen zweimal angewendet werden können: einmal für die Periode Winterruhe von November bis Januar und einmal für die Periode Vegetationsbeginn/Saat von März bis Mai. Dazu ein Beispiel: Nehmen wir an, dass wir Sommergetreide haben, und es regnet in beiden Niederschlagsperioden wenig, also weniger als 60 mm/Monat. Dann müssten wir für die Winterruhe 20 kg N/ha und für die Vegetationsbeginn/Saat 10 kg N/ha von der Düngungsnorm abziehen. In der API kann jedoch nur eine Niederschlagsintensität angegeben werden, dadurch wird auch nur ein Wert ausgegeben. Dies führt dazu, dass die Berechnung in einigen Fällen nicht korrekt durchgeführt werden kann.

7.2 Main Section

Dieser Abschnitt "Main Section" (<https://agroscope-webgrud.netlify.app/>) ist in zwei Bereiche unterteilt: Im linken Bereich können Benutzer ihre Eingaben machen, während im rechten Bereich die Ergebnisse angezeigt werden.

Die Eingabeseite beginnt mit einem Dropdown-Menü, das verschiedene Beispiele zur Auswahl stellt. Diese Beispiele sollen verschiedene Fälle mit wenigen Klicks demonstrieren. Im Anschluss an das Dropdown-Menü folgen mehrere Eingabefelder, die es den Benutzern ermöglichen, die vorgegebenen Beispiele zu modifizieren oder eigene Daten einzugeben.

Auf der Ausgabeseite befindet sich der Button zur Berechnung der Resultate. Darüber hinaus werden verschiedene Korrekturfaktoren sowie das Ergebnis der korrigierten Norm, die insgesamt empfohlene Stickstoff-Düngermenge, angezeigt. Die Korrekturfaktoren sind weiter unterteilt in solche, die korrekt berechnet werden, und solche, die noch nicht in der WebGRUD ("Not Yet Available in Digital Form"), also in der digitalisierten Version der GRUD, enthalten sind.

Ein besonderes Merkmal der Webseite ist die visuelle Hervorhebung von Feldern. Wenn der Mauszeiger über ein Feld geführt wird, werden alle anderen Felder, die mit diesem Feld in der Berechnung verknüpft sind, farblich hervorgehoben. Dies impliziert, dass bei einem Eingabefeld alle relevanten Ausgabefelder hervorgehoben werden, die diese zur Berechnung nutzen. Umgekehrt werden bei den Ausgabefeldern alle Felder markiert, die in die Berechnung einfließen.

Es sei darauf hingewiesen, dass es bei den Korrekturfaktoren für organische Dünger und den entsprechenden Eingabewerten noch Fehler gibt. Diese konnten im Rahmen des Praktikumsprojektes nicht behoben werden.

Main Section

Input Values

Select Example: **Basic Example**

Crop: **winter wheat (bread and bio)**

Target Yield (t/ha): **170**

Soil Organic Matter (%): **2.6**

Clay Content (%): **18**

Pre-crop: **legume and temporary grassland**

Pre-crop Incorporation Season: **spring**

Pre-crop Specification: **straw not incorporated**

Main Crop Sowing Season: **spring**

Organic Fertilizer Type: **full slurry (cattle manure)**

Organic Fertilizer Amount: **155**

Organic Fertilizer Nitrogen Content (kg N / Org. Fert. Unit):

Organic Fertilizer Unit: **1/ha**

Precipitation Period: **winter**

Precipitation Intensity: **high**

Calculation Result

Fertilization Norm

Fertilization Norm: **140.0** N kg / ha

Correction Factors

Correction Factor Target Yield: **20.0** N kg / ha

Correction Factor Soil: **0.0** N kg / ha

Correction Factor Rainfall: **20.0** N kg / ha

Correction Factor Pre-crop: **0** N kg / ha

Fertilization based on the Corrected Norm

Total Suggested Fertilization: **180** N kg / ha

Not Yet Working

Correction Factor Legacy Effect (Org. Fert.): **-** N kg / ha

Not Yet Available in Digital Form

Correction Factor Spring Weather: **-** N kg / ha

Correction Factor Harvest: **-** N kg / ha

Abbildung 6 | Screenshot: Main Section der WebGRUD Webseite mit Mauszeiger auf "Correction Factor Soil".

7.3 Hero Section

Dieser Abschnitt der Webseite ist darauf ausgelegt, die Besucher auf alle wesentlichen Informationen aufmerksam zu machen. Er erläutert den Zweck der Webseite und die angestrebten Ziele. Des Weiteren wird dargelegt, was die korrigierte Norm ist, warum deren Verwendung sinnvoll ist, dass Agroscope die Informationen bereitstellt und was Agroscope ist.

Hero Section

Mit Beispielen die Berechnungen des Düngebedarfs verstehen

Die korrigierte Norm der GRUD erklärt

Unsere interaktive Webseite ermöglicht es, die Berechnungen des Düngebedarfs mittels korrigierter Norm durch praktische Beispiele auf Feldebene zu verstehen. Man kann vorgefertigte Szenarien auswählen, sich ein eigenes Beispiel aussuchen oder eigene Felddaten eingeben. Es wird gezeigt, wie verschiedene Boden-, Wetter- und Feldbearbeitungsfaktoren den Düngebedarf beeinflussen. Man kann lernen, wie Düngestrategien effizient und nachhaltig gestaltet werden können.

Was ist die korrigierte Norm?

Die korrigierte Norm ist eine mathematische Entscheidungshilfe. Sie ist neben der N-min-Methode eine der beiden in der Schweiz eingesetzten Methoden zur Berechnung des Düngebedarfs. Die Berechnung der erforderlichen Stickstoffmenge basiert auf einer Referenzdosis, die an die Anbau- und Bodenbedingungen des Standortes angepasst wird. Dies geschieht über eine Düngequote und Korrekturfaktoren, die positive oder negative Werte hinzufügen. Alle verwendeten Referenzwerte sind in der GRUD (Grundlagen der Düngung für landwirtschaftliche Kulturen in der Schweiz) beschrieben und belegt.

Warum sollte man die korrigierte Norm verwenden?

Wer stellt Informationen dazu bereit?

Im nächsten Abschnitt sieht man die korrigierte Norm aus der GRUD in Aktion. Weiter kann man entdecken, welche Korrekturfaktoren von welchen Eingabewerten beeinflusst werden und umgekehrt. Diese werden bei Kontakt mit dem Mauszeiger grün hervorgehoben.

Start mit praktischen Beispielen erkunden

Abbildung 7 | Screenshot: Hero Section der WebGRUD Webseite.

7.4 Roadmap

Im Abschnitt "Roadmap" erfolgt eine Darlegung derjenigen Aspekte, welche seitens der Tester der Webseite zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus findet sich eine Aufstellung derjenigen Features, deren Umsetzung bereits erfolgt ist, sowie eine priorisierte Liste jener Features, deren Implementierung noch in Betracht gezogen werden könnte.



Abbildung 8 | Screenshot: Roadmap der WebGRUD Webseite.

7.5 Beispiele

Im Folgenden werden zwei Beispiele von Feldern verglichen. Ziel ist es aufzuzeigen, wie sich die Nährstoffnutzungseffizienz verändert. In beiden Beispielen wird Winterweizen (Brot- und Biskuitweizen) betrachtet.

Im ersten Beispiel wird nur die Norm ohne Korrekturfaktoren verwendet. Dies wird als "Nur Normdüngung" bezeichnet. Diese entspricht für Winterweizen (Brot- und Biskuitweizen) 140 kg N / ha bei einem Referenzertrag von 60 Dezitonnen pro Hektar. Für das Beispiel auf der Webseite wurden die Parameter absichtlich so gewählt, dass alle Korrekturfaktoren 0 ergeben, um nur die Verwendung der Norm zu simulieren. Die Parameter werden bei dieser Methode zur Bestimmung der Düngermenge nicht benötigt.

Im zweiten Beispiel werden die verschiedenen Parameter wie folgt festgelegt: Der Zielertrag beträgt 60 Dezitonnen pro Hektar. Der organische Substanz Gehalt des Bodens wird auf 7% und der Tongehalt auf 14% festgelegt. Die Vorkultur ist eine Kunstwiese (drei Jahre oder älter), die im Herbst umgebrochen wird und im Vorjahr wird mit 50 Kubikmeter pro Hektar Vollgülle (Rindviehmast) gedüngt. Die Winterniederschläge liegen unter 60 mm pro Monat und sind somit gering. Dieses zweite Beispiel wird als "Korrigierte Normdüngung" bezeichnet und resultiert in einer Düngeempfehlung von 10 Kilogramm Stickstoff pro Hektar. Zusammengesetzt ist diese Empfehlung aus 140 kg N / ha der Düngungsnorm, -60 kg N / ha Korrektur in Abhängigkeit des Mineralisierungspotenzial des Bodens, -30 kg N / ha Korrektur in Abhängigkeit der Vorkultur, -20 kg N / ha Korrektur infolge Nachwirkung von organischem Dünger und -20 kg N / ha in Abhängigkeit der Winter- und Frühlingsniederschläge.

Somit wird für den gleichen Ertrag bei dem Beispiel "Nur Normdüngung" ein Düngermenge mit einer Stickstoffmenge von 140 kg N / ha empfohlen, während bei dem Beispiel "Korrigierte Normdüngung" fast kein weiterer Dünger empfohlen wird, da das Resultat bei nur 10 kg N / ha liegt. Durch die Verwendung der korrigierten Norm können wie in diesem Beispiel die Verluste von Nährstoffen, in diesem Fall Stickstoff, in die Umwelt reduziert werden.

Tabelle 2 | Beispiel Vergleich der Stickstoffnutzungseffizienz.

	Nur Normdüngung	Korrigierte Normdüngung
Zielertrag	60 dt / ha	60 dt / ha
Empfohlene Düngermenge	140 kg N / ha	10 kg N / ha
Stickstoffnutzungseffizienz	2.33 kg N / dt Ertrag	0.16 kg N / dt Ertrag

8 Schlussfolgerung

Nachdem im ersten Teil des Berichts das Potenzial von Softwarelösungen im Bereich der Landwirtschaft aufgezeigt wurde, wird im zweiten Teil anhand eines konkreten Beispiels aufgezeigt, wie der Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis aussehen könnte. Dieser Teil des Berichtes gibt dem Leser einen umfassenden Einblick in den Test der WebGRUD API aus dem Pilotprojekt von Agroscope und die Erstellung der darauf basierenden WebGRUD-Webseite inklusive Berechnung des Düngebedarfs anhand von Beispielen.

Die Analyse zeigt, dass die API und darauf basierende Softwarelösungen ein grosses Potenzial haben, welche Technologien dazu in der Schweiz eingesetzt werden und potenziell in Zukunft verwendet werden könnten, welche Ergebnisse das Projekt gebracht hat, welche Schwierigkeiten bei der Umsetzung auftreten können, worauf bei einer Weiterführung des Projektes zu achten ist und welche Auswirkung der richtige Einsatz von Softwarelösungen auf die Nährstoffeffizienz haben kann.

Die WebGRUD-Webseite kann für didaktische Zwecke eingesetzt werden und zeigt, was eine mögliche Umsetzung einer Düngeempfehlung beinhalten könnte. Zusätzlicher Feinschliff an der Benutzeroberfläche wäre von Vorteil, um die korrekte Eingabe von Daten zu fördern.

9 Referenzliste

Agroscope (2023). Aufgaben & Strategie. Abgerufen am 08. September 2023 von <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/ueber-uns/agroscope.html>

Agroscope (2021). Arbeitsprogramm Agroscope 2022–2025. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/ueber-uns/agroscope/arbeitsprogramm-2022-2025.html>

AWS (2024). Was ist CORS?. Abgerufen am 25. Juni 2024 von <https://aws.amazon.com/de/what-is/cross-origin-resource-sharing/>

Boettiger, C., Mecum, B., Krystalli, A., & Senderov V. (2023). rdfliib: Tools to Manipulate and Query Semantic Data. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://CRAN.R-project.org/package=rdfliib>

Delgado, A., Quemada, M., Villalobos, F.J. (2016a). Fertilizers. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds) Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_23

Delgado, A., Quemada, M., Villalobos, F.J., Mateos, L. (2016b). Fertilization with Phosphorus, Potassium and Other Nutrients. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds) Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_26

Department for Environment, Food and Rural Affairs (2010). Fertiliser Manual (RB209) (8. Auflage). The Stationery Office.

GeeksforGeeks (2024). Top 10 Most Popular JavaScript Frameworks For Web Development. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://www.geeksforgeeks.org/most-popular-javascript-frameworks-for-web-development/>

- Grossrieder, J., Ringger, C., Argento, F., Grandgirard, R., Anken, T., & Liebisch, F. (2022). Standortangepasste Stickstoffdüngung: aktuelle Methoden und Erfahrungen. *Agrarforschung Schweiz*, 13, 103–113. <https://doi.org/10.34776/afs13-103g>
- Hirte, J. (2022). Projektantrag Pilotprojekt WebGRUD. Agroscope.
- Hydra. (2024). Build better Web APIs. Enable smart clients. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://www.hydra-cg.com/>
- Maltas, A., Charles, R., Pellet, D., Dupuis, B., Levy, L., Baux, A., Jeangros, B., & Sinaj, S. (2015). Evaluation of two methods for optimising nitrogen fertilisation of field crops. *Agrarforschung Schweiz*, 6(3), 84–93.
- Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L., Villalobos, F.J. (2016a). Nitrogen Fertilization I: The Nitrogen Balance. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_24
- Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L., Villalobos, F.J. (2016b). Nitrogen Fertilization II: Fertilizer Requirements. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_25
- RDFLib (2024). rdflib 7.0.0. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://rdflib.readthedocs.io/en/stable/>
- Richner, W., & Sinaj, S. (2017). Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). *Agrarforschung Schweiz*.
- Saxena, V., & Kumar, S. (2012). Impact of Coupling and Cohesion in Object-Oriented Technology. *Journal of Software Engineering and Applications*, 5(9), 671–676. <http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2012.59079>
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, 2007: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Statista. (2024). Most used programming languages among developers worldwide as of 2023. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://www.statista.com/statistics/793628/worldwide-developer-survey-most-used-languages/>
- Sutton, M. A., Howard, C. M., Erisman, J. W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H., & Grizzetti, B. (2011). The European nitrogen assessment sources, effects and policy perspectives. Library of Congress Cataloguing in Publication Data ISBN 978–1–107–00612–6.
- Tailwind CSS. (2024). SEO Text. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://tailwindcss.com/>
- Wikipedia contributors. (2024a). HATEOAS. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=HATEOAS&oldid=1194241687>
- Wikipedia contributors. (2024b). Netlify. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Abgerufen am 17. Juni 2024 von <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Netlify&oldid=1229256982>

10 Anhang

10.1 Tabelle zum Vergleich der Softwarelösungen

Bildschirmaufnahmen aus dem zugehörigen Google Sheet

*This document has been created using Google Sheets. As a result, formatting or functionality may not be correct when used in Excel.
For the sake of simplicity in the following, the term FMIS we will be used for all kind of software applications related to agriculture.*

Language	German & English
About	Information about this spreadsheet, what it is and how to use it
table all FMIS	table overview over many different FMIS and some basic characterisation
contact FMIS provider	list with email-adresses of the different FMIS provider, who was contacted and who responded
Additionally to this spreadsheet there is a report where the results and methods are described.	
Weitere Applikationen:	https://www.agrarheute.coi (Ackerschlagkarteien) https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_ws_digital-tools-nutrient-management_final-report_2022_en.pdf_0.pdf https://www.super-g.eu/wp-content/uploads/2021/11/SUPER-G_Task_5.1_DST_Report_FINAL.pdf https://slashdot.org/software/farm-management/in-europe/

Was created by	Autor	Supervisor
Name	Yannic Meyer	Frank Liebisch
Company	Agroscope / UZH	Agroscope
Phone number	0041 58 463 04 57 0041 78 652 21 98	0041 58 480 87 23
E-Mail 1	yannic.meyer@agroscope.admin.ch	frank.liebisch@agroscope.admin.ch
E-Mail 2	yanniclaurent.meyer@uzh.ch	
E-Mail 3	yannic.meyer@hotmail.com	
	Agroscope www.agroscope.ch Department Agroecology and Environment Group Water Protection and Substance Flows	Agroscope www.agroscope.ch Department Agroecology and Environment Group Water Protection and Substance Flows
	Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zurich	Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zurich

table all FMIS terminology		
Eigenschaft	Einteilung in	Beschreibung
Funktionalität	Dokumentation Planung Vollzug Effizienzindikatoren Andere	Vergangene landwirtschaftliche Arbeiten zu dokumentieren. Zukünftige Arbeitsschritte im landwirtschaftlichen Betrieb zu planen und zu organisieren. Informationen zusammenfassen und an Behörden weiterzuleiten. Vergleichende Einstufung der Betriebsaktivitäten für Umweltziele.
Preis	Kostenlos Freemium Kostenpflichtig Nicht verfügbar	Software, die ohne finanzielle Belastung genutzt werden kann. Bietet eine kostenlose Basisversion, während erweiterte Funktionen kostenpflichtig sind. Erfordert eine finanzielle Investition, um die Software nutzen zu können. Für die Zielgruppe nicht verfügbar ist, z.B. weil sie sich noch in der Entwicklung befindet oder veraltet ist.
Zielgruppe	Landwirte Beratung Behörden Wissenschaft Andere	Software, die auf die Bedürfnisse von Landwirten zugeschnitten ist. Software, die sich an Berater in der Landwirtschaft richtet. Entwickelt für den Einsatz in staatlichen Institutionen auf regionaler oder nationaler Ebene. Geeignet für Forschungs-, Labor- und Bildungseinrichtungen.
Region / Land		Beschreibt die geografische Ausrichtung der Software und gibt an, für welche Region sie entwickelt wurde.
Hintergrund Anbieter	Grossunternehmen Kleines Unternehmen Öffentliche Institution Andere	Der Anbieter hat viele Mitarbeiter und ist möglicherweise international tätig. Einzelpersonen oder Unternehmen mit nur wenigen Mitarbeitern. Wird einer Universität, einer Regierungsbehörde oder einer ähnlichen Einrichtung angeboten. Hierunter fallen Anbieter, die nicht in eine der vorstehenden Kategorien fallen.

?	nach einem Wort zeigt grosse Unsicherheit an
?	in Zelle zeigt keine Informationen dazu gefunden
-	nichts davon
*	Informationen von Anbieter beige-steuert. Sonst möglichst gut nach Informationen aus dem Internet ergänzt.

Name	Funktionalität	Preis	Zielgruppe	Region / Land	Hintergrund Anbieter	Link	Bemerkung	Link
BESyD*	Dokumentation Planung	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden Wissenschaft	Deutschland	Öffentliche Institution	Link	Planung teilweise Effizienzindikatoren geplant Schon alt, Support läuft aus	https://www.landwirtschaft.de
Barto*	Dokumentation Planung Vollzug Effizienzindikatoren	Freemium	Landwirte Beratung Wissenschaft Planungstoolanbieter	Schweiz	Grossunternehmen	Link Link	Düngungsplanungsmodul noch	https://www.barto.ch/ https://arenenberg.tg.ch
365FarmNet	Dokumentation Planung	Freemium	Landwirte	Europa	Grossunternehmen	Link		https://www.365farmnet.com
Planet*	Dokumentation Planung Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte	Grossbritannien	Öffentliche Institution	Link Link Link	web-based platform in devel	https://www.planet4farm.com https://adass.co.uk/very https://farmpep.net/pro
Manner-NPK*	Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte	Grossbritannien	Öffentliche Institution	Link Link Link	web-based platform in devel	https://www.planet4farm.com https://adass.co.uk/very https://farmpep.net/pro
ENCASH*	Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte	Grossbritannien	Öffentliche Institution	Link	web-based platform in devel	https://www.planet4farm.com
ENNI *	Dokumentation Vollzug	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden	Niedersachsen (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link Link Link	Elektronische Nährstoffmeldung	https://www.hsk-nieder https://www.duengelbel https://www.duengelbel
DuProNP und DuProBilan	Dokumentation Planung Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte Behörden Wissenschaft	Deutschland	Öffentliche Institution	Link Link	Wird abgelöst	https://www.isip.de/isip https://ifl.brandenburg
BFDC Interrogator	Dokumentation Planung	?	?	Australien	Öffentliche Institution	Link Link Link		https://grdc.com.au/ise https://grdc.com.au/ire https://www.dpi.nsw.gov.au
IP-SUISSE	Dokumentation Planung Vollzug?	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Schweiz	Andere - Label	Link	Düngungsplanungsmodul noch	https://www.psuiss.ch
eFeldkalender*	Dokumentation Planung Vollzug Effizienzindikatoren	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung Wissenschaft	Schweiz Deutschland	Kleines Unternehmen	Link Link	Vergleich mit Barto: https://www.barto.ch/ Düngungsplanungs kommt	https://feldkalender.ch/ https://arenenberg.tg.ch

Name	Funktionalität	Preis	Zielgruppe	Region / Land	Hintergrund Anbieter	Link	Bemerkung	Link
Atfarm (Yara)	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Europa?	Grossunternehmen	Link	Yara ist Mutterkonzern	https://www.at.farm.de
LIZ-Managementsystem	Dokumentation Planung Vollzug	?	Landwirte	Lettland	Öffentliche Institution	Link Link Link		https://www.vaad.gov.lv https://www.laukutiks.lv https://www.laukutiks.lv
Augmenta (Raven)	?	?	Landwirte	Weltweit	Grossunternehmen	Link	Farmroboter, Raven ist Mutter	https://www.augmenta.com
Regenera Limia	Dokumentation Planung	Kostenlos	Landwirte	Ourense (Spanien)	Öffentliche Institution	Link	2019	http://regenera-limia.org
Site-specific fertilizer man	Dokumentation Planung	?	Landwirte	Sri Lanka	Andere - FAO, UN	Link	Im Aufbau	https://www.fao.org/3/c
Fertilizer P & K Calculator	Planung	Kostenlos	Landwirte	Irland	Andere - Bauernverband	Link	App, 9 Jahre alte, Fertilizer	https://www.fertilizer-ai.com
NEXT Farming (BayWa)	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte	Deutschland	Grossunternehmen	Link	BayWa, wenig Nutzer Schw	https://www.baywa.de/
Düngungsplanungsprogramm	Dokumentation Planung	Kostenpflichtig	Landwirte Beratung	Schleswig-Holstein (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link		https://www.lks.de/far
Helm-Software	Dokumentation Planung Vollzug	Freemium	Landwirte	Deutschland	Kleines Unternehmen	Link		https://helm-software.de
LfL Düngebedarf online*	Dokumentation Planung	Kostenlos	Landwirte	Bayern (Deutschland)	Öffentliche Institution	Link Link		https://www.lfl.bayern.de https://www.lfl.bayern.de
3 wissenschaftliche Artikel	Planung	?	Landwirte	China	Öffentliche Institution	Link Link Link	Veröffentlicht zwischen 2010	https://link.springer.com https://www.sciencedirect.com https://link.springer.com
FertilCalc Cordoba*	Dokumentation Effizienzindikatoren	Kostenlos	Landwirte Beratung Behörden Wissenschaft Studenten	Weltweit	Öffentliche Institution	Link Link Link Link	Entwickelt in Cordoba (Spanien) 2019 gestartet und regelmäßig Verfügbar in 91 Sprachen	https://link.springer.com https://www.uco.es/fito https://fertilcalc.com/ https://www.uco.es/fito
AGRO-TECH	Dokumentation Planung Vollzug	Kostenpflichtig	Landwirte	Schweiz	Öffentliche Institution Kleines Unternehmen	Link Link	Wurde abgeschafft?	https://www.agridea.ch http://agridea.raq.ch/raq

Schreiben?	Zugriff anfrager	Name	Gesendet?	Antwort?	Verwendbare A	Sprache
Y	N	BE SyD	Y	Y	Y	D
N	Y	Barto	N	Y	Y	D
Y	N	365FarmNet	Y	YW	N	D
Y	Y	Planet	Y	Y	Y	E
Y	N	Manner-NPK	Y	Y	Y	E
Y	N	ENCASH	Y	Y	Y	E
Y	N	eFeldkalender	Y	Y	Y	D
Y	N	BFDC Interroga	Y	YW	N	E
Y	N	Atfarm	Y	N	N	E
Y	N	Augmenta	Y	N	N	E
Y	N	Fertilizer P & K	Y	N	N	E
Y	N	Site-specific fer	Y	N	N	E
Y	N	Trimble Ag Soft	Y	YW	N	E
Y	N	xfarm	Y	N	N	E
Y	N	3 wissenschaftl	Y	N	N	E
Y	N	LIZ-Managemer	Y	YW	N	E & Lettisch
Y	N	Regenera Limia	Y	N	N	E & Spanisch
Y	Y	FertiliCalc Cord	Y	Y	Y	E & Spanisch
Y	N	NEXT Farming	Y	N	N	D
Y	N	LIZ- Npro	Y	Y	Y	D
Y	N	Düngung BW	Y	Y	Y	D
Y	N	ENNI	Y	Y	Y	D
Y	N	DüProNP und D	Y	Y	Y	D
Y	N	Düngeplanungs	Y	N	N	D
Y	N	Helm-Software	Y	N	N	D
Y	N	LfL Düngebeda	Y	Y	Y	D
Y	N	Agroplus	Y	Y	Y	D
Y	Y	Agrosoft	Y	Y	Y	D
Y	N	XComply	Y	N	N	D
Y	N	reglette azote c	Y	Y	Y	D & Französisch
Y	N	AzoFert	Y	Y	Y	D & Französisch
Y	N	ISAGRI Geofolia	Y	Y	Y	D & Französisch
Y	N	MaisNet	Y	Y	Y	D

10.2 Liste der Links

- Link 1: <https://www.barto.ch/>
- Link 2: https://arenenberg.tg.ch/public/upload/assets/141477/2023_Dossier_Merkblaetter_Digitale_Aufzeichnungshilfen_V1.pdf?fp=1
- Link 3: <https://www.ipsuisse.ch/produzenten/services/#suisse-bilanz>
- Link 4: <https://www.agridea.ch/de/dienstleistungen/unsere-produkte/software/agro-tech/>
- Link 5: <http://agridea.raq.ch/agro-tech/>
- Link 6: <https://agroplus.ch/de/willkommen/>
- Link 7: <https://www.agrosoft.ch/>
- Link 8: <https://www.farmsolution.ch/>
- Link 9: <https://www.melior.ch/news-aktionen/artikel/das-projekt-maisnet-stellt-sich-vor>
- Link 10: <https://www.schweizerbauer.ch/pflanzen/futterbau/mit-maisnet-stickstoffbedarf-ermitteln>
- Link 11: <https://feldkalender.ch/index.php>
- Link 12: <https://xcomply.info/>
- Link 13: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/duengebedarfsermittlung-besyd-20619.html>
- Link 14: <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/regionales/brandenburg/landwirtschaft/duengung/duepronp>

- Link 15: <https://lelf.brandenburg.de/lelf/de/landwirtschaft/acker-und-pflanzenbau/bodenschutz-und-duengung/>
- Link 16: <https://helm-software.de/duengerrechner-duengebedarfsermittlung>
- Link 17: <https://www.baywa.de/de/i/entdecken/duengung/einfach-duengen/duengebedarfsermittlung/>
- Link 18: <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/234905/index.php>
- Link 19: <https://www.lfl.bayern.de/duengebedarfsermittlung>
- Link 20: https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/35973_Was_Sie_jetzt_ueber_ENNI_wissen_muessen
- Link 21: https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/thema/684_Naehrstoffbericht
- Link 22: https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/thema/693_ENNI_-_Elektronische_Naehrstoffmeldung_Niedersachsen
- Link 23: <https://www.duengung-bw.de/landwirtschaft/views/welcome.xhtml>
- Link 24: <https://www.lksh.de/landwirtschaft/duengung/duengebedarfsermittlung-duengeplanung-duengeplanungsprogramm/>
- Link 25: <https://www.liz-online.de/>
- Link 26: <https://www.liz.pl/>
- Link 27: <https://www.zuckerruebe.ch/beratung/stickstoffduengung/>
- Link 28: <https://www.365farmnet.com/de/>
- Link 29: <https://www.at.farm/de/uber-uns/>
- Link 30: <https://xfarm.ag/en/field-management>
- Link 31: <https://www.isagri.ch/geofolia>
- Link 32: <http://www.regletteazotecolza.fr/#/etape1>
- Link 33: <https://www.terresinovia.fr/produits-et-services?category=146213>
- Link 34: <http://www.rmt-fertilisationenvironnement.org/moodle/course/view.php?id=6>
- Link 35: <https://www.agrarforschungschweiz.ch/en/2015/07/evaluation-of-azofert-a-software-tool-for-optimising-nitrogen-fertilisation-of-swiss-field-crops/>
- Link 36: <https://www.planet4farmers.co.uk/>
- Link 37: <https://adas.co.uk/services/planet-and-manner-npk/>
- Link 38: <https://farmpep.net/project/planet-manner-npk>
- Link 39: <https://www.fertilizer-assoc.ie/calculators-app/p-k-calculator-app/>
- Link 40: <https://www.vaad.gov.lv/en>
- Link 41: <https://www.laukutikls.lv/61-meslosanas-plans-metode-un-ievadisana-liz-parvaldibas-sistema-un-augsnu-analizes>
- Link 42: https://www.laukutikls.lv/sites/laukutikls.lv/files/raksti/prezentacija_vaad_liz_ps_17012023_0.pdf
- Link 43: <http://regeneralimia.org/activities-and-results/fertilizer-management-system/?lang=en>
- Link 44: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42106-019-00085-1>
- Link 45: <https://www.uco.es/fitotecnica/fertilicalc.html>
- Link 46: <https://fertilicalc.com/>
- Link 47: https://www.uco.es/fitotecnica/fertilicalc_4.html
- Link 48: <https://www.augmenta.ag/services/nitrogen-real-time-vra>
- Link 49: <https://agriculture.trimble.com/en>
- Link 50: https://grdc.com.au/search?form=wrapper&profile=_default&query=BFDC&userkeys=7&f.Tab%7CAIIDocumentsFill=All+results&collection=grdc-meta
- Link 51: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2014/03/bfdc-interrogator>
- Link 52: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/347470/BFDC-newsletter-1.pdf
- Link 53: <https://www.fao.org/3/ca8767en/ca8767en.pdf>
- Link 54: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-014-1639-4>
- Link 55: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717710005418>
- Link 56: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-012-9519-8>
- Link 57: <https://agrammon.ch/de/dokumentation-zum-modell/>
- Link 58: <https://www.geiser-agro.com/assets/files/Extranet/mingapflyer.pdf>
- Link 59: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/datenmanagement/agate.html>

Link 60: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_ws_digital-tools-nutrient-management_final-report_2022_en.pdf_0.pdf

Link 61: https://www.super-g.eu/wp-content/uploads/2021/11/SUPER-G_Task_5.1_DST_Report_FINAL.pdf

10.3 E-Mail an die Softwareanbieter

In kursiv blau sind Kommentare.

Deutsche Version

Sehr geehrte Damen und Herren,

Wir von Agroscope, dem Schweizer Forschungszentrum für Landwirtschaft, beschäftigen uns derzeit intensiv mit der Digitalisierung in der Landwirtschaft.

In diesem Zusammenhang erstellen wir eine Übersicht über verschiedene Softwaresysteme (Farm Management Information Systems (FMIS) und Decision Support Systems).

In einem ersten Schritt gehen wir auf die verschiedenen Arten von Softwaresystemen ein. In einem zweiten Schritt beschäftigen wir uns mit Systemen, die eine digitale Düngeplanung ermöglichen, um den Ertrag zu maximieren und gleichzeitig die Umwelt zu schonen.

Der folgende Abschnitt wurde jeweils personalisiert auf die entsprechenden Empfänger. Dabei wurde der Produktname eingefügt und teilweise weiter ausgeführt, wie wir auf das Produkt aufmerksam wurden.

Bei unserer Recherche sind wir auf die Webseite ihrer Organisation gestossen. Wir interessieren uns für ihr Produkt [PRODUKTNAME].

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie uns Informationen zu den folgenden Punkten zu dem Produkt bereitstellen könnten:

1. Welche der folgenden Funktionalitäten hat ihr Produkt? (mehrere möglich)
 - a. Dokumentation - Festhalten vergangener Arbeiten
 - b. Planung - zukünftiger Arbeitsschritte
 - c. Vollzug - automatisierte Weiterleitung von Informationen an Behörden für Direktzahlungen oder Kontrollen
 - d. Effizienzindikatoren - Einordnung der Betriebsaktivitäten in Konkurrenz oder Umweltziele
2. In welche der vier folgenden Preiskategorien würden Sie Ihr Produkt einordnen?
 - a. Kostenlos
 - b. Freemium - Basis kostenlos, weitere Funktionen kostenpflichtig
 - c. Kostenpflichtig
 - d. Nicht verfügbar - für Landwirte / Zielgruppe
3. Für welche Zielgruppe ist das Produkt gedacht? (mehrere Antworten möglich)
 - a. Landwirte
 - b. Landwirtschaftsberatung
 - c. Behörden
 - d. Wissenschaft
 - e. Andere. Bitte spezifizieren.
4. Für die Anwendung und Verbreitung in welchen Regionen und Ländern wurde das Produkt entworfen?
5. Welchen Hintergrund haben Sie als Anbieter?
 - a. Grosses Unternehmen
 - b. Kleines Unternehmen

- c. Öffentliche Institution - Universität, Behörde
 - d. Andere. Bitte spezifizieren.
6. Wann wurde das Produkt entwickelt?
 7. Wird das Produkt noch gepflegt? Wann war das letzte Update?
 8. Was ist Ihre Empfehlung, wo man das Produkt beziehen sollte (Link)? Auf welcher Webseite kann man mehr über das Produkt erfahren?
 9. Haben Sie weitere Bemerkungen oder Kommentare?

Der folgende Abschnitt wurde nur an wenige ausgewählte Empfänger versendet.

Weiter besteht das Interesse, einen noch detaillierteren Blick auf ihr Produkt zu werfen. Wäre es daher möglich, einen kostenlosen, zeitlich begrenzten Testzugang zu erhalten?

Wir wären Ihnen sehr dankbar, wenn Sie uns so viele Informationen wie möglich zur Verfügung stellen würden, um unsere Arbeit zu unterstützen. Auch wenn nicht alle Informationen verfügbar sind, sind wir Ihnen sehr dankbar.

Wir würden eine rasche Rückmeldung (bis 24. Februar 2024) sehr schätzen. Vielen Dank im Voraus für Ihre Zeit und Mühe. Bei Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Yannic Meyer

Agroscope
Department Agroecology and Environment
Group Water Protection and Substance Flows
Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich
Tel.: +41 58 463 04 57
yannic.meyer@agroscope.admin.ch | yanniclaurent.meyer@uzh.ch
www.agroscope.ch | good food, healthy environment

Englische Version

Dear Sir or Madam

We at Agroscope, the Swiss Research Centre for Agriculture, are currently working intensively on digitalisation in agriculture.

In this context, we are compiling an overview of various software systems (Farm Management Information Systems (FMIS) and Decision Support Systems).

In a first step, we will look at the different types of software systems. In a second step, we look at systems that enable digital fertiliser planning in order to maximise yields while protecting the environment.

Der folgende Abschnitt wurde jeweils personalisiert auf die entsprechenden Empfänger. Dabei wurde der Produktname eingefügt und teilweise weiter ausgeführt, wie wir auf das Produkt aufmerksam wurden.

During our research we came across the website of your organisation. We are interested in your product .

We would be very pleased if you could provide us with information on the following points about the product in question:

1. Which of the following functionalities does your product have? (several possible)
 - a. Documentation - recording past work
 - b. Planning - future work steps
 - c. Execution - automated forwarding of information to authorities for direct payments or inspections

- d. Efficiency indicators - categorisation of farm activities in competition or environmental targets
2. In which of the following four price categories would you categorise your product?
 - a. Free of charge
 - b. Freemium - basic free of charge, additional functions for a fee
 - c. Chargeable
 - d. Not available - for farmers / target group
3. For which target group is the product intended? (multiple answers possible)
 - a. Farmers
 - b. Agricultural counselling
 - c. Authorities
 - d. Science
 - e. Other. Please specify.
4. In which regions and countries was the product designed for use and distribution?
5. What is your background as a supplier?
 - a. Large company
 - b. Small company
 - c. Public institution - university, public authority
 - d. Other. Please specify.
6. When was the product developed?
7. Is the product still being maintained? When was the last update?
8. What is your recommendation on where to obtain the product (link)? On which website can you find out more about the product?
9. Do you have any further remarks or comments?

We would be very grateful if you could provide us with as much information as possible to support our work. Even if not all information is available, we would be very grateful.

We would greatly appreciate a prompt response (by 24 February 2024). Thank you in advance for your time and effort. Please do not hesitate to contact us if you have any questions.

With kind regards

Yannic Meyer

Agroscope

Department Agroecology and Environment

Group Water Protection and Substance Flows

Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zurich

Phone: +41 58 463 04 57

yannic.meyer@agroscope.admin.ch | yanniclaurent.meyer@uzh.ch

www.agroscope.ch | good food, healthy environment

Weitere Versionen

Es wurden mit DeepL weitere Versionen in spanischer, französischer und lettischer Sprache erstellt, um den jeweiligen Empfängern das Verständnis des Anliegens zu erleichtern.