Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
German Research Center for Artificial Intelligence

EXPERIMENTIERFELD AGRO-NORDWEST

Vorhaben	**Agro-Nordwest** **Experimentierfeld zur digitalen Transformation im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Agro-Nordwest) - Teilprojekt 5**
Titel	**Abschlussbericht**
Förderkennzeichen	28DE103E22
Zuwendungsempfänger	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH Trippstadter Straße 122, D-67663 Kaiserslautern
Ausführende Stelle	Plan-Basierte Robotersteuerung, DFKI Niedersachsen
Projektleiter	Dr. Kai Lingemann, Dr. Juan Carlos Saborío
Bewilligungszeitraum	10.10.2019 – 09.10.2024
Autoren	Juan Carlos Saborío, Kai Lingemann
Erstellungsdatum	30. Oktober 2024

Gefördert durch
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger
Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Das Projekt Agro-Nordwest wurde gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Innovationsförderprogramms.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 4
Tabellenverzeichnis 5
Abkürzungsverzeichnis 6
Einleitung 7
1. Projektübersicht 8
   a. Ziele des DSS 8
   b. Ein Blick auf die Langfristige Autonomie 9
   c. Zusammenfassung der Projektergebnisse 9
   d. Herausforderungen und Überlegungen 10
2. Kurzer Stand der Technik 11
3. DSS-Beschreibung 12
   a. SEMPR Inferenzmaschine 13
   b. Wissensdarstellung und Regeln 13
   c. Systembewertung und Ergebnisvalidierung 13
   d. DSS-Ergebnisse 14
4. Grafische Benutzeroberfläche 15
   a. Entwurf und Implementierung 15
   b. GUI-Elemente 15
   c. Erweiterungen 16
   d. Einschränkungen 17
5. Liste der Ressourcen 17
6. Fazit und Ausblick 18
Literaturverzeichnis 20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: DSS-Übersicht 12
Abbildung 2: Hauptempfehlungen des DSS 16
Abbildung 3: Kartenanzeige (oben) und Erklärungsdiagramm (unten) 17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Ressourcen..... 18

Abkürzungsverzeichnis

AgroNW	Agro-Nordwest
API	Application Programming Interface
AVF	Agrotech Valley Forum
DSS	Decision-Support System
DWD	Deutscher Wetterdienst
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HSOS	Hochschule Osnabrück
PBR	Planbasierte Robotersteuerung
RDF	Resource Description Framework
RTK-GPS	GPS mit Real-Time Kinematics
SEMPR	Semantic Environment Mapping, Processing and Reasoning
UOS	Universität Osnabrück

Einleitung

Im Rahmen des Agro-Nordwest-Projekts haben wir ein Entscheidungsunterstützungssystem für Düngung und Ernte konzipiert und entwickelt, das auch nicht-technischen Nutzern hilfreiche und praxisrelevante Empfehlungen geben kann; diese Empfehlungen werden zudem nachvollziehbar erklärt und grafisch präsentiert. Dies unterstützt auf der einen Seite die Überprüfbarkeit durch den Nutzer, erhöht auf der anderen Seite die Akzeptanz des Systems. Die Ergebnisse wurden durch statistische Analysen validiert. Das allgemeine Feedback war sehr positiv. Die Methodik und die Art der Ergebnisse, die in diesem Projekt erzielt wurden, verdeutlichen die Notwendigkeit einer multidisziplinären Zusammenarbeit bei Innovationen im Bereich der landwirtschaftlichen Technologie.

1. Projektübersicht

Der Beitrag des DFKI zum Projekt Agro-Nordwest bestand in der Entwicklung und Implementierung eines Entscheidungsunterstützungssystems (Decision-Support System, DSS), das Empfehlungen zur Pflege und Ernte von Grünlandflächen für eine nicht-technische Zielgruppe, wie Landwirte, generiert.

Zu Beginn näherten wir uns dieser Aufgabe durch regelmäßigen Austausch mit unseren Kollegen von der Universität Osnabrück (UOS) und der Hochschule Osnabrück (HSOS), die uns verschiedene Arten und Niveaus landwirtschaftlichen Wissens in Excel-Dateien zur Verfügung stellten. Intern nutzten wir diese Dateien, um relevante Informationen zu extrahieren, die in logische Inferenzregeln formalisiert und in unserem System implementiert wurden. Diese Treffen halfen uns auch dabei, die Regeln sowie die vorläufigen Projektergebnisse zu validieren. Die Entwicklung der zugrundeliegenden Inferenzmaschine und des darauf basierenden AgroNW-spezifischen DSS gehörte ebenfalls zu unseren Aufgaben.

Während der ersten Phase des Projekts wurde das Konsortium in mehrere Projekt-Schwerpunkte (PSP) unterteilt. Einen Großteil unserer Arbeit haben wir im Kontext von PSP4 durchgeführt, waren aber auch am PSP5 beteiligt. Nach einer kostenintensiven Verlängerung wurde das Konsortium wieder zu einer einzelnen Einheit zusammengeführt, und unsere Arbeit konzentrierte sich darauf, die neuen Arbeitspakete zu erfüllen:

AP 2.3 - Standortspezifische Empfehlungen

AP 2.5 - Erklärungskomponente

AP 2.7 - Ergebnisse Anpassung und Präsentation

Das resultierende System verwendet SEMPR, eine Inferenzmaschine, die vorwärtsgerichtetes logisches Schließen unterstützt und auf Regeln basiert, die das von den Kollegen der Universität Osnabrück (UOS) und der Hochschule Osnabrück (HSOS) bereitgestellte Fachwissen abbilden. Die Regeln werden auf Daten angewendet, die sowohl aus direkten Feldmessungen als auch aus automatisierten Informationsdiensten, wie dem Deutschen Wetterdienst (DWD), stammen.

Im weiteren Verlauf dieses Dokuments werden die verschiedenen technischen Aspekte des DSS sowie diverse projektbezogene Aktivitäten beschrieben, die von der Ergebnispräsentation und -kommunikation bis hin zur Verteilung unserer Software reichen.

a. Ziele des DSS

Das System erfüllt die folgenden Anforderungen:

- **Korrekt, kohärent, konsistent**: dank der zugrunde liegenden logischen Inferenzmaschine.

- **Leicht zu aktualisieren**: aktuelle Daten können über Eingabedateien bereitgestellt werden, und die zugrunde liegenden Regeln lassen sich einfach anpassen, ohne die Software zu ändern.
- **Benutzerfreundlich**: es wurde viel Zeit in die Ergebnisdarstellung investiert, einschließlich einer einfachen Möglichkeit, Ergebnisse durch grafische Darstellungen und Karten zu visualisieren.

b. Ein Blick auf die Langfristige Autonomie

PSP5 befasste sich mit der Frage, wie und inwieweit die derzeitige Technologie bereit ist, den Forschungsrahmen zu verlassen und in der Praxis, auf dem Feld und idealerweise im Dauerbetrieb über lange Zeiträume eingesetzt zu werden. Dabei wurden Vergleiche zwischen dem Einsatz auf Landmaschinen vs. Roboterlösungen angestellt und die Rolle von Datenerfassungstechniken wie Drohnenaufnahmen betrachtet, um zu entscheiden, ob ein Betrieb die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz autonomer Roboter bietet („Ready for Autonomy“).

Im Jahr 2021 wurde zunächst ein Container auf dem Testbetrieb des Projekts Langsenkamp aufgestellt und später mit einem Outdoor-fähigen AROX-Roboter ausgestattet. Der Container unterstützt den Roboter bei langfristigen Autonomietests, indem er als mobile Basisstation für automatisierte Tests auf Testfeldern fungiert und autonome Lademöglichkeiten, Wetterdaten, RTK-GPS und eine lokale Wi-Fi-Infrastruktur zur Gewährleistung der Konnektivität bereitstellt.

c. Zusammenfassung der Projektergebnisse

Wir arbeiteten in enger Zusammenarbeit mit mehreren Partnern, hauptsächlich aus dem Agrotech Valley Forum (AVF), der Hochschule Osnabrück (HSOS) und der Universität Osnabrück (UOS). Die HSOS und UOS stellten das landwirtschaftliche Wissen und die Expertise bereit, die wir als Inferenzregeln modellierten und sowohl die Regeln als auch deren Ergebnisse validierten. Das AVF organisierte mehrere Veranstaltungen, bei denen wir Zwischen- und Endergebnisse diskutierten und präsentierten.

Neben dem DSS-Tool selbst veröffentlichte unsere Gruppe auch die folgenden Paper:

- Niemann N. et al. Wissensverarbeitung in der Landwirtschaft mit regelbasierten Inferenzsystemen und Begründungsverwaltung (2021). In Meyer-Aurich et al., Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten, LNI, 2021, Vol. P-309, pp. 229–234.
- Tieben C. et al. Auf dem Weg zu einem Entscheidungsunterstützungssystem zur Pflege und Ernte von Grünlandflächen (2022). In Gandorferet al, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, LNI, 2022, Vol. P-317, pp. 289–294.
- Reuter, T., Saborio, J.C., et al. (2023). Evaluation of a decision support system for the recommendation of pasture harvest date and form. In Hoffmann, C., Stein, A., et al. 43.

GIL-Jahrestagung (GIL-2023), Resiliente Agri-Food-Systeme. Pp. 489-494, ISBN 978-3-88579-724-1, Gesellschaft für Informatik e.V. Bonn, 2/2023.

Der letzte Beitrag bezieht sich direkt auf die Ergebnisqualität des DSS.

Im Rahmen des PSP5 brachte das Projekt die folgenden Veröffentlichungen hervor:

- Kisliuk, B., Höllmann, M., Tieben, C., Krause, J.C., Mock, A., Pütz, S., Igelbrink, F., Wiemann, T., Martinez, S.F., Stiene, S., & Hertzberg, J. (2021). Erste Schritte zu einer kontextsensitiven Navigation in einem langzeitautonomen Field-Monitoring-System. In 41. GIL-Jahrestagung, Informations- und Kommunikationstechnologie in kritischen Zeiten. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. PISSN: 1617-5468. ISBN: 978-3-88579-703-6. pp. 169-174. GIL-Jahrestagung - Fokus: Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten. Potsdam, Online. 08.-09. März 2021. GIL Jahrestagung.
- Kisliuk, B., Tieben, C., Niemann, N., Bröcker, C., Lingemann, K., & Hertzberg, J. (2022). Online Inference of Robot Navigation Parameters from a Semantic Map. In *ICAART (1)* (pp. 156-163).

Ergebnisse aus AgroNW wurden zudem in einem Übersichtsartikel in einer Sonderausgabe des KI-Journals reflektiert:

- Kisliuk, B., Krause, J. C., Meemken, H., Saborío Morales, J. C., Müller, H., & Hertzberg, J. (2024). AI in current and future agriculture: an introductory overview. *KI-Künstliche Intelligenz*, 1-16.

Zusätzlich fanden mehrere DSS-bezogene Präsentationen statt, darunter eine Übersicht über unsere Erfahrungen im Bereich KI-basierter AgTech-Innovationen auf der „Ergebniskonferenz der digitalen Experimentierfelder“ in Berlin im September 2024. Das Thema wurde in Zusammenarbeit mit Professoren des Europäischen Instituts für Rechtswissenschaften der Universität Osnabrück vorbereitet.

d. Herausforderungen und Überlegungen

Das System ist von Natur aus durch sein Regelwerk und die verfügbaren Felddaten begrenzt. Die Regeln sollten als funktionierende (landwirtschaftliche) Modelle betrachtet werden, die entsprechend dem aktuellen besten Verständnis der verschiedenen Prozesse, z. B. der Ernte basierend auf dem Gehalt an Rohfaser und dessen Berechnung, angepasst werden können.

Automatisierte Dienste, wie z. B. die Wettervorhersage des DWD, stellten und stellen weiterhin ein Hindernis dar. Der DWD bietet keine offizielle Schnittstelle, um maschinenlesbare Daten einfach herunterzuladen, sodass wir auf die Open-Source-Wetterdienst-API angewiesen sind. Dieses Projekt ist jedoch instabil und wird kontinuierlich aktualisiert, was Änderungen an Kernfunktionen, Syntax und sogar Datenformaten umfasst. Zudem waren nicht alle vom DWD gesammelten Daten (zumindest während des Projekts) über die API verfügbar.

Ein weiteres Problem ist, dass das System auf einer intern entwickelten Inferenzmaschine basiert, die von einem Kollegen entwickelt wurde, der inzwischen unsere Gruppe verlassen hat und das System nicht mehr unterstützt. Wartungsarbeiten an dieser Software wären daher unverhältnismäßig kostspielig und waren im Rahmen des AgroNW-Projekts nicht vorgesehen. Darüber hinaus basiert diese Inferenzmaschine auf veralteten Systembibliotheken, von denen einige nicht mehr gewartet werden oder sogar in den Paketquellen gängiger Linux-Distributionen verfügbar sind. Das bedeutet, dass das DSS zwar voll funktionsfähig ist und die zugrundeliegende Wissensrepräsentation leicht aktualisiert werden kann, die Software selbst aber als eigenständiges Programm mit einiger Sorgfalt verpackt und verteilt werden muss. Viele der Fortschritte, die im Rahmen des Projekts identifiziert und durchgeführt wurden, sind jedoch unabhängig von der SEMPR-Software selbst und könnten möglicherweise auf eine andere Inferenzmaschine (einschließlich der grafischen Benutzeroberfläche) übertragen werden.

Während der Entwicklung und Testphase betrieben wir das DSS unter Ubuntu Linux 20.04 (Focal Fossa). Obwohl es möglich ist, das System auch auf neueren Distributionen auszuführen, empfehlen wir die weitere Nutzung dieser spezifischen Distribution, da das SEMPR-Toolkit auf bestimmte Versionen von Systembibliotheken angewiesen ist, von denen viele nicht mehr verfügbar sind. Zudem verwendet RETE eine benutzerdefinierte Parsing-Bibliothek namens Pegmatite, die, soweit uns bekannt, nicht öffentlich auf GitHub verfügbar ist.

2. Kurzer Stand der Technik

Die Überwachung von Grünland umfasst Herausforderungen wie weit verstreute Felder und die Unsicherheit von Wettervorhersagen, was die Entscheidung über den optimalen Erntetermin erschwert. Ein optimiertes Management von Grünland ist entscheidend für einen wirtschaftlichen Milchviehbetrieb (Insua et al., 2019). Derzeit ist jedoch auf vielen Höfen eine einzelne Person sowohl für die Tiere, die Ernte als auch für das Grünland verantwortlich, was einen weit verbreiteten Bedarf an Fachkompetenz schafft (Rotz et al., 2018). Eine Möglichkeit, dieses Problem anzugehen, ist die Anwendung von Prinzipien der künstlichen Intelligenz, beispielsweise durch ein Entscheidungsunterstützungssystem (DSS), das Expertenwissen zugänglicher machen kann, indem es große Mengen an Eingabedaten verarbeitet und Empfehlungen erstellt, die dem Landwirt helfen, komplexe Situationen zu vereinfachen.

Wir verwenden ein DSS, das Expertenwissen in Inferenzregeln kodiert und verschiedene Arten von Informationen verwendet, um geeignete Empfehlungen zu generieren, wobei Feldparameter, Wetterbedingungen, rechtliche Erwägungen und logische Prinzipien (wie Kohärenz und Konsistenz) berücksichtigt werden. Frühere Arbeiten deuten darauf hin, dass ein DSS das Potenzial hat, den Ertrag und die Qualität durch die Optimierung des Erntetermins zu steigern (Hanrahan et al., 2017), wobei die Beispiele von Anbaumodellen bis zu statistischen Ansätzen reichen (Rotz et al., 2012; Hanrahan et al., 2017). In Bezug auf die Wissensrepräsentation sind wetterabhängige Regeln besonders wichtig, um die Erntebedingungen zu bestimmen. Die Grashöhe ist ebenfalls ein wichtiger Parameter in den Regeln zur Bestimmung der optimalen

Erntequalität, da diese Messgröße stark mit Parametern wie Proteingehalt und Verdaulichkeit korreliert. (Skládanka et al., 2009).

Das entwickelte DSS basiert auf einem semantischen Umgebungsmodell namens SEMPR (Niemann et al., 2021). Dieses ermöglicht die intrinsische Modellierung und automatische Auswertung von geometrischen, räumlichen Relationen innerhalb eines Inferenzsystems. Ähnliche Ansätze werden in SEMAP (Deeken et al., 2018) oder dem SOMA-Framework (Kunze et al., 2018) verwendet. Ein Inferenzsystem ist die Basis eines jeden Expertensystems (ES), welche seit langem in der landwirtschaftlichen Anwendung diskutiert werden (McKinion und Lemmon, 1985). Entgegen dem klassischen Konzept eines DSS (Lukasheh et al., 2001) wird mit der Verwendung von SEMPR ein monolithischer Lösungsansatz verfolgt, der sich modular erweitern lässt und es ermöglicht, die verschiedenen Datenmodalitäten innerhalb eines Inferenzsystems direkt zu verwenden.

3. DSS-Beschreibung

Das DSS besteht aus vier Hauptkomponenten: der SEMPR-Inferenzmaschine, dem Regelsatz, den Felddaten und den automatisierten Datenquellen (siehe Abb. 1).

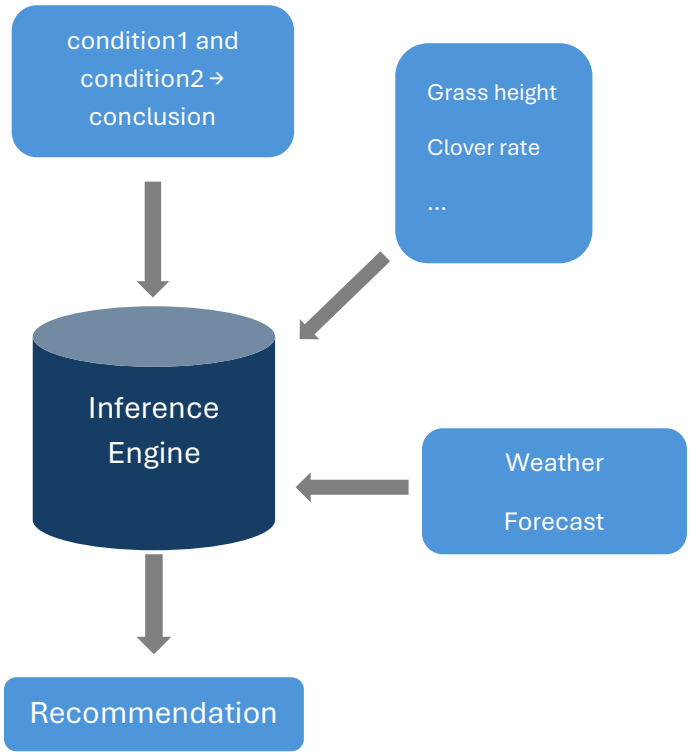

Abbildung 1: DSS-Übersicht

Diese Komponenten werden nun kurz beschrieben.

a. SEMPR Inferenzmaschine

SEMPR, oder „Semantic Environment Mapping, Processing and Reasoning“, wird von seinem Autor als ein Framework oder eine Bibliothek beschrieben, die in spezifische Anwendungen integriert werden kann. Es implementiert den RETE-Algorithmus für regelbasierte Systeme, der Mustererkennung in Graphen nutzt. Innerhalb von AgroNW stellt dies die Kernfunktionalität von SEMPR dar: die Auswertung einer Reihe von Ausdrücken und die Erweiterung der Ergebnisse einfacher Regeln, was zu vorwärtsverkettetem logischem Schließen führt. Das SEMPR-Projekt und die erforderlichen Bibliotheken sind unter einer Open-Source-Lizenz verfügbar unter: https://github.com/sempr-tk.

b. Wissensdarstellung und Regeln

Der Regelsatz ist im RDF-Triple-Format implementiert, was einige Funktionen des semantischen Webs hinzufügt, jedoch keine explizite Verbindung zu anderen bestehenden semantischen Systemen oder landwirtschaftlichen Ontologien hergestellt wird.

Intern verwaltet SEMPR eine Wissensdatenbank mit allen Tripeln, sowohl vorbestehenden (oder bereitgestellten) als auch solchen, die durch Inferenzregeln generiert werden (einschließlich zwischenzeitlicher und umsetzbarer Ergebnisse).

Alle Interaktionen mit den Tripeln (als Element der Wissensdarstellung), der Wissensdatenbank und der Inferenzmaschine erfolgen als Funktionsaufrufe von einem SEMPR-Client zu einem SEMPR-Server. Der Client muss keine grafische Benutzeroberfläche haben. Dieser Client-Server-Ansatz kann nützlich sein, wenn eine zentrale Wissensdatenbank mehrere Benutzer hat, jedoch ist das AgroNW DSS als Werkzeug zur lokalen Verwaltung von Landwirtschaftsressourcen konzipiert, sodass sowohl Client als auch Server auf demselben Gerät ausgeführt werden müssen.

c. Systembewertung und Ergebnisvalidierung

Während der beiden Projektphasen fanden regelmäßige Sitzungen statt, um sicherzustellen, dass das landwirtschaftliche Fachwissen richtig verstanden und als Schlussfolgerungsregeln dargestellt wurde. Diese Regeln enthalten auch verschiedene Berechnungen und Informationsverarbeitungsschritte und stellen in einigen Fällen eine Art „landwirtschaftliches Modell“ dar, das auf der Grundlage neuer Forschungsergebnisse verbessert oder sogar ersetzt werden kann.

Zwischen den beiden Phasen haben wir intensivere Sitzungen abgehalten, um die mit dem DSS erzielten Ergebnisse zu bewerten. Wie wir erläutert haben, kann das DSS alle Regeln in Bezug auf einige Eingabedaten bewerten und alle Empfehlungen generieren, die gültig und kohärent sind. Unser Interesse bestand jedoch darin, diese Ergebnisse mit den Maßnahmen zu vergleichen, die Landwirte in der Praxis auf ihren eigenen Feldern ergreifen.

Durch umfangreiche manuelle Datenerfassung haben wir einen Datensatz erstellt, der historische Informationen über echte Betriebe und Landwirte enthält. Dieser Datensatz wurde vom DSS im Batch-Modus verarbeitet, wobei in jedem Zeitschritt ein einzelnes Feld betrachtet und alle verfügbaren Optionen in eine Ausgabedatei geschrieben werden.

In Zusammenarbeit mit unseren HSOS- und UOS-Partnern wurde eine statistische Analyse dieser Daten durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass es eine signifikante Übereinstimmung zwischen den in der Realität durchgeführten Maßnahmen und den vom DSS empfohlenen gibt. Wenn es Diskrepanzen gibt, sind diese auf unvollständiges Wissen zurückzuführen (z. B. wenn der Landwirt weitere Präferenzen hat, die nicht in den Regeln enthalten sind) oder auf Bedingungen, die in unserem System nicht modelliert wurden (z. B. eine nahende Frist für gemietete Geräte). Es scheint auch, dass die Landwirte bei Dingen wie Terminen und Regenmengen etwas flexibler sind, während das System sehr streng ist. Diese Ergebnisse sind in unserem oben erwähnten Papier „Evaluation of a decision support system for the recommendation of pasture harvest date and form“ ausführlicher dargestellt.

Insgesamt kann das DSS qualitativ hochwertige Ergebnisse liefern, und seine Hauptanwendung wurde von potenziell interessierten Parteien in der Landwirtschaft sehr gut aufgenommen. Wir betonen, dass diese Ergebnisse das Ergebnis einer engen multidisziplinären Zusammenarbeit sind, bei der wir als DFKI die Möglichkeit hatten, uns schnell auf die Anwendung von KI-basierten Technologien in einer sehr spezifischen Nische zu konzentrieren, die vor allem von Agrarforschern und Landwirten genutzt wird.

d. DSS-Ergebnisse

Alle vom System generierten Ergebnisse bestehen aus zusätzlichen RDF-Tripeln, die von Inferenzregeln abgeleitet werden. Daher muss zur Präsentation der Ergebnisse ein Filter oder eine Abfrage angewendet werden, um nur relevante Informationen auszuwählen. Im Falle von AgroNW konzentrieren wir uns auf die Tripel, die neue Informationen über Ernteoptionen (z. B. Silage, Heu), Düngemöglichkeiten (z. B. nur organisch, maximal 30 kg/ha Stickstoff usw.) und Management-Optionen (z. B. Striegeln) enthalten.

In der zweiten Phase des Projekts lag der Fokus auf einer klareren und einfacheren Präsentation dieser Ergebnisse unter Verwendung von Prinzipien erklärbarer KI. Neben der Gestaltung einer geeigneten grafischen Benutzeroberfläche haben wir die Möglichkeit hinzugefügt, solche Ergebnisse „zu erklären“, indem wir Diagramme bereitstellen, die schrittweise die verschiedenen Schritte anzeigen, die die Inferenzmaschine unternommen hat, um zu unterstützen oder zu rechtfertigen, warum das System zu einer bestimmten Schlussfolgerung gelangt ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir uns während des gesamten Projekts bemüht haben, nicht nur die technischen Mittel zur Verfügung zu stellen, um verlässliche Ergebnisse zu erzielen, sondern auch, um sie unserer Zielgruppe in geeigneter Weise zu präsentieren. Wir haben einen kurzen Blick auf grafische Schnittstellen und „erklärbare KI“ geworfen und dies hat

unseren Ansatz beeinflusst, aber es kann noch viel mehr getan werden, um die Zugänglichkeit und Erklärbarkeit zu verbessern, was leider nicht in den Rahmen des AgroNW-Projekts fällt.

4. Grafische Benutzeroberfläche

Da SEMPR das Client-Server-Modell verfolgt, basiert unser DSS auf demselben Design, obwohl alle Inferenzvorgänge in AgroNW lokal implementiert und gelöst werden können (d. h. das gesamte Wissen und die Regeln befinden sich auf demselben Gerät wie der Client).

a. Entwurf und Implementierung

Der Server initialisiert zunächst einen SEMPR-Kern und schafft die allgemeine Umgebung zur Unterstützung der verschiedenen AgroNW-Anwendungen. Die Anwendung basiert auf mehreren externen Bibliotheken und benutzerdefinierten Modulen, wie zum Beispiel:

- **Flask**: Web-Framework zum Verarbeiten von HTTP-Anfragen.
- **semprpy**: Python-Bindings für die SEMPR-Inferenzmaschine.
- **json, re, os, glob**: Standardbibliotheken zur Datenverarbeitung.
- **datetime, timedelta, date**: Manipulation von Datum und Uhrzeit.
- **pandas**: Datenmanipulation und -analyse.
- Benutzerdefinierte Wetterdatenverarbeitung und die **Wetterdienst-API**.

Der zugehörige SEMPR-Client ist eine PyQt5-Anwendung, die um eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) herum aufgebaut ist und aus den folgenden Komponenten besteht:

- **Standardbibliotheken**: os, sys, re, json, io, threading, glob.
- **Netzwerk**: HTTP-Anfragen an den Backend-Server.
- **PyQt5-Module**: QtWidgets, QtGui, QtCore, QtWebEngineWidgets.
- **Folium**: folium, folium plugins.
- **Draw**: Für die Kartenerstellung und Zeichentools.
- Benutzerdefinierte Module:
    - **haxx**: Zur Erstellung von Sunburst-Diagrammen (zur Erstellung von Plots).
    - **create_field**: Zum Hinzufügen von Feldern zur Datenbank (zur Erstellung eines neuen Feldes).

b. GUI-Elemente

Die GUI bietet folgende Funktionen:

- **Abrufen und Anzeigen von Empfehlungen vom SEMPR-Server:** Sowohl die internen RDF-Triples als auch eine leserlichere, textbasierte Version werden angezeigt. Erstere stellt im Wesentlichen einen Blick auf die gesamte Wissensbasis dar, während letzterer

eine gefilterte Ansicht mit nur umsetzbaren Ergebnissen (d.h. solche, die sich auf Düngung und Ernteoptionen beziehen) bietet.

- **Anzeigen und Interagieren mit Karten landwirtschaftlicher Flächen:** Feld-Dateien, die in der lokalen Datenbank verfügbar sind, können visualisiert werden, sofern sie eine geeignete Geometrie enthalten.
- **Visualisierung von Erklärungen für Empfehlungen mithilfe von Sunburst-Diagrammen:** Die gefilterten, umsetzbaren Ergebnisse können erklärt werden, was das entsprechende Diagramm mit allen unterstützenden Inferenzschritten erzeugt.
- **Hinzufügen neuer Felder durch Zeichnen von Polygonen auf einer Karte.**
- **Verwalten von Feldattributen und -werten.**
- **Bearbeiten und Speichern von Konfigurationsdateien.**

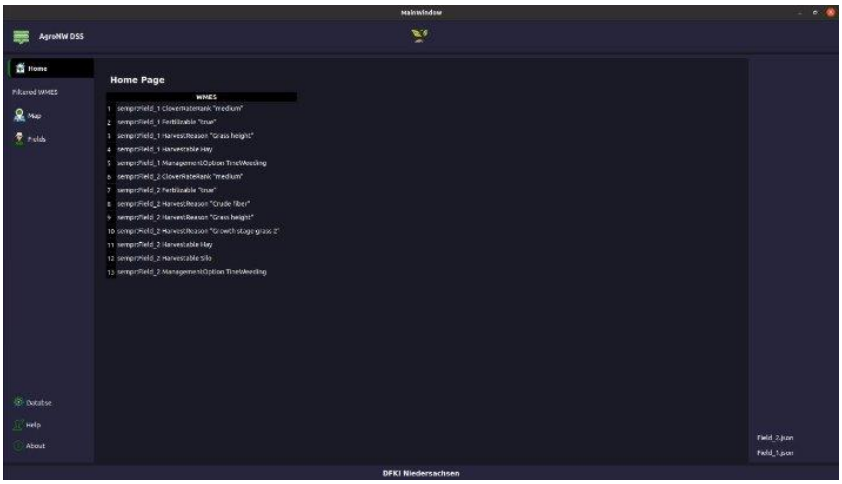

Abbildung 2: Hauptempfehlungen des DSS

c. Erweiterungen

Obwohl die GUI das Bearbeiten von Felddateien und Attributen ermöglicht, erfolgt dies auf eine sehr einfache und rudimentäre Weise. Diese Funktionalität könnte leicht verbessert werden, indem der entsprechende Abschnitt der GUI bearbeitet und beispielsweise Standard-Eingabetextfelder für jedes Feld in der Datenbank sowie für neue hinzugefügt werden. Eine weitere Alternative wäre der direkte Import strukturierter Dateien, wie z. B. CSV oder Ähnlichem.

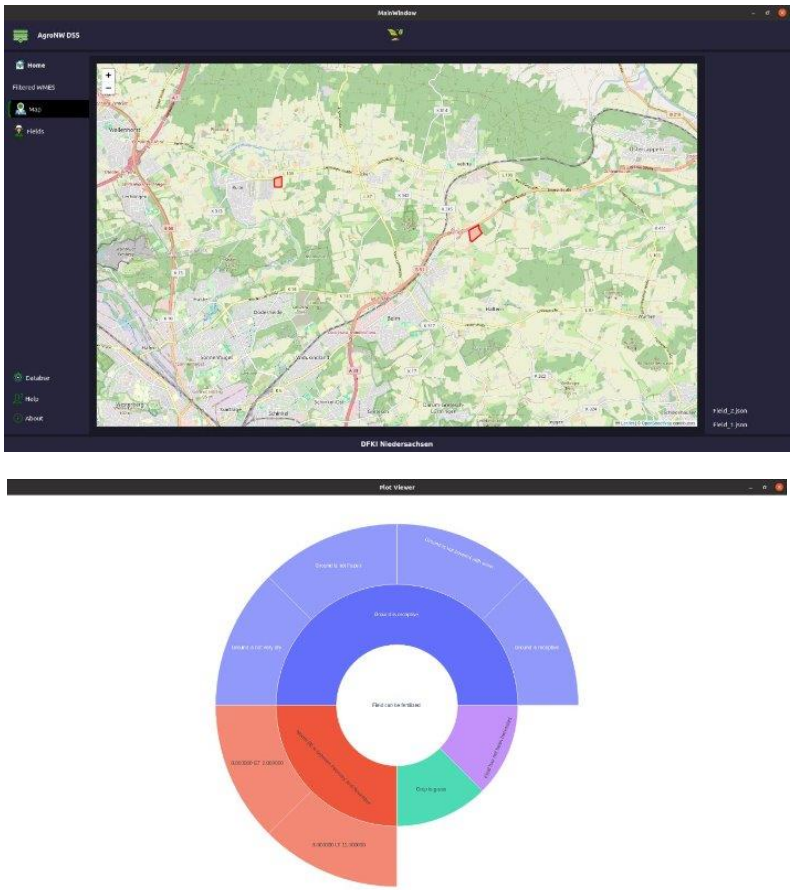

Abbildung 3: Kartenanzeige (oben) und Erklärungsdiagramm (unten)

d. Einschränkungen

Die GUI und das DSS insgesamt werden nur als Prototyp bereitgestellt, mit dem Vorbehalt, dass dies experimentelle Software ist, die im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelt wurde. Das bedeutet, dass die Software nicht gründlich auf Leistung oder Stabilität getestet werden konnte, und obwohl alle grundlegenden Funktionen vorhanden sind, gibt es mehrere offene Möglichkeiten zur Verbesserung.

5. Liste der Ressourcen

In Anbetracht der Vielfalt der für das DSS erforderlichen Softwaretools geben wir eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ressourcen, die Teil des kompletten AgroNW-DSS-Pakets sind. In Tabelle 1 sind ihre Namen und URLs aufgeführt. Weitere technische Informationen sind auf den entsprechenden Webseiten zu finden.

Name	**URL**

RETE	https://github.com/sempr-tk/rete
SEMPR	https://github.com/sempr-tk/sempr
SEMPR Tookit	https://github.com/sempr-tk
Pegmatite	Unbekannt - N/A
AgroNW GUI (Inkl. Regeln und Beispiele)	https://github.com/DFKI-NI/AgroNW-DSS

Tabelle 1: Liste der Ressourcen

6. Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Projekts haben wir in enger Zusammenarbeit mit den Gruppen UOS und HSOS ein landwirtschaftliches DSS entwickelt. Das System wurde evaluiert und in mehreren Beiträgen vorgestellt. Insgesamt erhielten wir sehr positive Rückmeldungen von interessierten Kreisen, insbesondere aus dem Bereich der Landwirtschaft.

Eine der wichtigsten Lehren aus diesem Projekt ist, dass Ag-Tech-Innovationen in der Landwirtschaft die aktive Zusammenarbeit mehrerer Beteiligter erfordern, darunter natürlich KI- und Agrarforscher, aber auch Vertreter von Rechtsabteilungen, Behörden und der Industrie. In unserer Präsentation zu den Ergebnissen der BMEL-Konferenz haben wir dieses Thema hervorgehoben und betont, dass wir zusammenkommen und uns auf realistische Bedürfnisse konzentrieren müssen, die mit KI angegangen werden können, was oft sehr gut verstandene und ausgereifte Themen umfasst (wie unser DSS) und nicht immer einen so weit in die Zukunft reichenden Blick auf die Technologie erfordern muss.

Die während des Projekts erlebten Einschränkungen umfassen einen Mangel an maschinenlesbaren Daten, die Abhängigkeit von Drittanbieter-APIs für Wettervorhersagedaten, die häufig Syntax und Inhalt ändern, sowie einen Mangel an bestehenden landwirtschaftlichen Wissensbasen, sodass nur sehr wenig bis kein nützliches Fachwissen in Formaten existiert, die für Technologien des semantischen Webs oder logische Inferenzmaschinen geeignet sind. Während einige Ontologien existieren, die verwandtes Wissen modellieren, sind diese nur am Rande mit Landwirtschaft und dem Management von Betriebsabläufen verbunden und konzentrieren sich stattdessen auf Themen wie Pflanzenbiologie.

Mögliche Verbesserungen für das DSS umfassen eine einfachere Möglichkeit zur Bearbeitung und Aktualisierung von Felddaten (z. B. „Erstellen“ und „Bearbeiten“ Funktionen) sowie der Wissensdatenbank und der Regeln. Die aktuelle GUI bietet einige grundlegende Funktionen, und natürlich können alle verwandten Dateien mit einem Drittanbieter-Texteditor bearbeitet werden, was jedoch grundlegende Kenntnisse der RDF-Syntax, der JSON-Dateistruktur usw. erfordert.

Wir haben nicht viel Zeit mit der Funktionalität zur Dateibearbeitung verbracht, da wir vermuten, dass eine bessere Alternative zur Pflege und Abfrage der vom DSS generierten Informationen über natürliche Sprachschnittstellen, wie sie von LLMs bereitgestellt werden,

entwickelt werden könnte. Dies hängt auch mit einer weiteren Einschränkung des Projekts zusammen: einem Mangel an einem klaren Benutzerprofil. Wir haben hauptsächlich mit landwirtschaftlichen Forschern gearbeitet, die umfangreichere Daten benötigen, einschließlich Termine und Erntemotive, aber ein wahrscheinlicherer Nutznießer könnten personell unterbesetzte Landwirte sein. Dies sind zwei verschiedene Arten von Benutzern mit (potenziell) unterschiedlichen technischen Hintergründen und Informationsbedürfnissen.

Die Software kann in ihrem aktuellen Zustand als funktionaler Prototyp angesehen werden, der alle erforderlichen Funktionen erfüllt, aber möglicherweise nicht bereit für die Verteilung ist. Die Inferenzmaschine SEMPR ist bereits zum Download verfügbar, ebenso einige ihrer unterstützenden Bibliotheken, und wir werden auch unsere AgroNW DSS GUI der Gemeinschaft zur Verfügung stellen. Wir erwarten, dass unsere Arbeit und technischen Lösungen zur Gestaltung zukünftiger Entscheidungsunterstützungssysteme beitragen werden, die auf unserer Erfahrung, unserer GUI, unserer Entwurfsmethodik und möglicherweise sogar unserem landwirtschaftlichen Regelwerk aufbauen können.

Literaturverzeichnis

Deeken, H., Wiemann, T., & Hertzberg, J. (2018). Grounding semantic maps in spatial databases. *Robotics and Autonomous Systems*, *105*, 146-165.

Hanrahan, L., Geoghegan, A., O'Donovan, M., Griffith, V., Ruelle, E., Wallace, M., & Shalloo, L. (2017). PastureBase Ireland: A grassland decision support system and national database. *Computers and Electronics in Agriculture*, *136*, 193-201.

Insua, J. R., Utsumi, S. A., & Basso, B. (2019). Estimation of spatial and temporal variability of pasture growth and digestibility in grazing rotations coupling unmanned aerial vehicle (UAV) with crop simulation models. *PLoS One*, *14*(3), e0212773.

Kunze, L., Karaoguz, H., Young, J., Jovan, F., Folkesson, J., Jensfelt, P., & Hawes, N. (2018). SOMA: A framework for understanding change in everyday environments using semantic object maps.

Lukasheh, A. F., Droste, R. L., & Warith, M. A. (2001). Review of expert system (ES), geographic information system (GIS), decision support system (DSS), and their applications in landfill design and management. *Waste Management & Research*, *19*(2), 177-185.

McKinion, J. M., & Lemmon, H. E. (1985). Expert systems for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, *1*(1), 31-40.

Niemann, N., Tieben, C., Lingemann, K., & Hertzberg, J. (2021). Wissensverarbeitung in der Landwirtschaft mit regelbasierten Inferenzsystemen und Begründungsverwaltung.

Rotz, C. A., Corson, M. S., Chianese, D. S., Montes, F., Hafner, S. D., & Coiner, C. U. (2012). *The Integrated Farm System Model:*. Washington, DC: USDA ARS.

Skládanka, J., Nedělník, J., Doležal, P., & Moravcová, H. (2009). Influence of preparatory cut and harvest date on the yields and quality of perennial grasses.

Agro-Nordwest

kurzer inhaltlicher Bericht

Im Rahmen des Agro-Nordwest-Projekts haben wir ein Entscheidungsunterstützungssystem für Düngung und Ernte konzipiert und entwickelt, das auch nicht-technischen Nutzern hilfreiche und praxisrelevante Empfehlungen geben kann; diese Empfehlungen werden zudem nachvollziehbar erklärt und grafisch präsentiert. Dies unterstützt auf der einen Seite die Überprüfbarkeit durch den Nutzer, erhöht auf der anderen Seite die Akzeptanz des Systems. Die Ergebnisse wurden durch statistische Analysen validiert. Das allgemeine Feedback war sehr positiv. Die Methodik und die Art der Ergebnisse, die in diesem Projekt erzielt wurden, verdeutlichen die Notwendigkeit einer multidisziplinären Zusammenarbeit bei Innovationen im Bereich der landwirtschaftlichen Technologie.

1. Projekt Übersicht

Das Projekt war zunächst in mehrere Schwerpunkte unterteilt, wobei das DFKI hauptsächlich an PSP4 arbeitete und auch zu PSP5 beitrug. Nach einer Verlängerung wurde das Projekt zu einer einheitlichen Struktur zusammengeführt, und wir konzentrierten uns auf neue Arbeitspakete für standortspezifische Empfehlungen, eine Erklärungskomponente und die Präsentation der Ergebnisse.

In PSP4 entwickelten wir ein Entscheidungsunterstützungssystem (DSS), um nicht-technische Empfehlungen zur Pflege und Ernte von Grünlandflächen für Landwirte bereitzustellen. Wir arbeiteten eng mit der Universität Osnabrück (UOS) und der Hochschule Osnabrück (HSOS) zusammen, die landwirtschaftliches Wissen bereitstellten. Das DFKI-Team formalisierte dieses Wissen in logische Inferenzregeln, implementierte sie im System und validierte die Ergebnisse in regelmäßigen Meetings, zusätzlich zu der Übernahme aller notwendigen Programmieraufgaben. Das DSS verwendet SEMPR, eine Inferenzmaschine, die Regeln basierend auf Expertenwissen auf Daten aus Feldmessungen und Diensten wie dem Deutschen Wetterdienst anwendet. Die Entwicklung des Systems und verschiedene Aktivitäten, wie die Ergebnispräsentation und die Verteilung der Software, werden in der Projektdokumentation beschrieben.

PSP5 befasste sich mit der Frage, wie und inwieweit die derzeitige Technologie bereit ist, den Forschungsrahmen zu verlassen und in der Praxis, auf dem Feld und idealerweise im Dauerbetrieb über lange Zeiträume eingesetzt zu werden. Dabei wurden Vergleiche zwischen dem Einsatz auf Landmaschinen vs. Roboterlösungen angestellt und die Rolle von Datenerfassungstechniken wie Drohnenaufnahmen betrachtet, um zu entscheiden, ob ein Betrieb die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz autonomer Roboter bietet („Ready for Autonomy“). Ein Großteil dieser Arbeit wurde durchgeführt, indem das autonome Laden, RTK-GPS und die Konnektivitätsinfrastruktur auf einem outdoor-fähigen AROX-Roboter in Kombination mit einem erweiterten Container getestet wurden.

2. Projekt Ergebnisse

Zusätzlich zu den technischen Beiträgen der DSS-Software brachte das Projekt eine Reihe von Veröffentlichungen im Ag-Tech-Bereich hervor (siehe vollständigen Bericht). Wir beteiligten uns auch an erfolgreichen multidisziplinären Austauschen und Präsentationen über die Zukunft der Ag-Tech und die Notwendigkeit kollaborativer Ansätze für KI-basierte Innovationen in der Landwirtschaft.

3. DSS-Beschreibung

Das DSS besteht aus mehreren Komponenten: der SEMPR-Inferenzmaschine, dem Regelsatz, den Felddaten und den automatisierten Datenquellen. Die Inferenzmaschine SEMPR folgt dem Client-Server-Modell und bietet die Möglichkeit, alle möglichen Schlussfolgerungen zu generieren, die auf einer Reihe von Inferenzregeln und Eingangsdaten basieren, die die verschiedenen Eigenschaften eines Feldes beschreiben. Die Ergebnisse werden intern in RDF-Tripeln gespeichert, die später gefiltert und dem Benutzer auf verständliche Weise präsentiert werden, unterstützt durch geografische Informationen, die auf einer Karte angezeigt werden, sowie der Möglichkeit, ein Diagramm zu erzeugen, das die verschiedenen Schritte erklärt, die zur Erreichung einer Schlussfolgerung unternommen wurden.

4. Ausblick

Im Rahmen dieses Projekts haben wir in enger Zusammenarbeit mit den Gruppen UOS und HSOS ein landwirtschaftliches DSS entwickelt. Das System wurde evaluiert und in mehreren Beiträgen vorgestellt. Insgesamt erhielten wir sehr positive Rückmeldungen von interessierten Kreisen, insbesondere aus dem Bereich der Landwirtschaft.

Eine der wichtigsten Lehren aus diesem Projekt ist, dass Ag-Tech-Innovationen in der Landwirtschaft die aktive Zusammenarbeit mehrerer Beteiligter erfordern, darunter natürlich KI- und Agrarforscher, aber auch Vertreter von Rechtsabteilungen, Behörden und der Industrie. In unserer Präsentation zu den Ergebnissen der BMEL-Konferenz haben wir dieses Thema hervorgehoben und betont, dass wir zusammenkommen und uns auf realistische Bedürfnisse konzentrieren müssen, die mit KI angegangen werden können, was oft sehr gut verstandene und ausgereifte Themen umfasst (wie unser DSS) und nicht immer einen so weit in die Zukunft reichenden Blick auf die Technologie erfordern muss.