

Auf dem Weg zu einem Entscheidungsunterstützungssystem zur Pflege und Ernte von Grünlandflächen

Christoph Tieben¹, Tobias Reuter², Konstantin Nahrstedt³, Franz Kraatz⁴, Kai Linge-
mann¹, Dieter Trautz², Thomas Jarmer³ und Joachim Hertzberg^{1,3}

Abstract: Zur Bewirtschaftung von Grünlandflächen müssen eine Vielzahl an Parametern und Regularien berücksichtigt werden, um Entscheidungen für geeignete Pflegemaßnahmen oder Erntetermine zu treffen. Um diese Entscheidungsfindung zu unterstützen, schlagen wir ein regelbasiertes Inferenzsystem vor. Dieses bildet automatisch Schlussfolgerungen auf Basis von modelliertem Expertenwissen und rechtlichen Regeln sowie Daten aus Bonituren, drohnengestützten Bildaufnahmen und externen Quellen, wie Wetterprognosen, ab. Die geschlussfolgerten Empfehlungen umfassen Maßnahmen wie Düngung und Erntetermin, abhängig vom Nutzungsziel, betrieblichen Gegebenheiten und weiteren Parametern. Das so entstandene Entscheidungsunterstützungssystem wurde exemplarisch mit Handlungsempfehlungen von Experten unter realen Bedingungen getestet.

Keywords: Expertensystem, Grünland, Entscheidungsunterstützung, Wissensrepräsentation

1 Einleitung

Ein Entscheidungsunterstützungssystem (engl. Decision Support System, DSS) ermöglicht es, eine Vielzahl an dynamischen Daten regelbasiert auf Basis von Expertenwissen zu verarbeiten und hieraus Handlungsempfehlungen herzuleiten.

Die Landwirtschaft ist durch eine Vielzahl an Richtlinien sowie Gesetzen und dynamischen Einflüssen bzw. Daten geprägt. Die Anzahl an Parametern, die für eine Entscheidung berücksichtigt werden müssen, sind vielfältig: von den standörtlichen Gegebenheiten, der Faktorausstattung über die betrieblichen sowie überbetrieblichen Ziele bis hin zu Klima- und Wetterdaten.

Die Vielzahl an Parametern mit den aktuellen Verordnungen für eine Entscheidung zu berücksichtigen ist eine sehr komplexe Aufgabe, für die wir den Betrieben Unterstützung

¹ Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Berghoffstr. 11, 49090 Osnabrück, <vorname.nachname>@dfki.de

² Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, <vorname.nachname>@hs-osnabrueck.de

³ Universität Osnabrück, Institut für Informatik, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, <vorname.nachname>@uni-osnabrueck.de

⁴ Bernard Krone Holding SE & Co. KG, Produktinformatik, Heinrich-Krone-Straße 10, 48480 Spelle, <vorname.nachname>@krone.de

für den Anwendungsfall der Bewirtschaftung von Grünland bieten wollen. Dabei sind neben der Entscheidungsempfehlung auch deren Herleitung und ihre Datengrundlage entscheidend. Mögliche Daten können z. B. aus Wetterdaten, Ackerschlagkarteien, Begehungen/Stichproben vom Feld, Bonituren, manuellen Eingaben oder ausgewerteten drohnen-gestützten Bildaufnahmen stammen.

2 Stand der Technik

Das entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem basiert auf einem semantischen Umgebungsmodell namens SEMPR [Ni21]. Dieses ermöglicht die intrinsische Modellierung und automatische Auswertung von geometrischen, räumlichen Relationen innerhalb eines Inferenzsystems. Ähnliche Ansätze werden in SEMAP [DWH18] oder dem SOMA-Framework [Ku18] verwendet.

Ein Inferenzsystem ist die Basis eines jeden Expertensystems (ES), welche seit langem in der landwirtschaftlichen Anwendung diskutiert werden [ML85]. In China wird beispielsweise die Verwendung eines Expertensystems für das Management von Weideflächen auf Basis eines Geo-Information-Systems (GIS) untersucht [Ti04]. Entgegen dem klassischen Konzept eines Entscheidungsunterstützungssystems [LDW01] 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 Methodik

Im Rahmen von Expertengesprächen sowie Recherchen wurde das Wissen über den Prozess des Managements von Grünlandflächen, insbesondere für Klee gras, zunächst tabellarisch zusammengetragen. Die Arbeiten erfolgten auf zwei Klee grasflächen in Belm, östlich von Osnabrück. Die tabellarische Aufarbeitung dient als Diskussionsgrundlage und umfasst die verschiedenen möglichen Handlungen/Maßnahmen zur Düngung, Bestands-pflege und Mahd sowie die dazu relevanten Entscheidungsparameter und Regeln. Ein beispielhafter Auszug der Regeln ist in Tabelle 1 dargestellt.

Das in dieser Form aufbereitete Wissen wurde iterativ in formelle Regeln übersetzt, welche konform mit dem RETE-basierten Reasoner [Fo82] des SEMPR-Frameworks [Ni21] sind. Durch die Erweiterung des Frameworks um Zeit- und Wetterinformationen wurde es ermöglicht, diese Informationen innerhalb der formalen Regeln abzufragen und für das Inferieren zu verwenden. In Kombination mit den geometrischen Operationen kann z. B. eine Handlungsempfehlung zur Düngung unter Berücksichtigung der Düngeverordnung (DüV) geschlussfolgert werden. Dabei wird neben der Zeit (Sperrfrist) auch die lokale

Wetterlage (Regenaufnahmefähigkeit des Bodens) sowie die Nähe zu Gewässern einbezogen. Im Falle einer Empfehlung wird zusätzlich die Geometrie der Fläche ermittelt, auf der die Ausbringung unter Berücksichtigung der Abstandsregelung je nach Ausbringungsart erlaubt ist. Die Differenz dieser Fläche wird als Sperrgebiet in Abbildung 1 dargestellt.

Entscheidung	Parameter	Regel	Priorität
Schnitthöhe	Ertragsanteile	Schnitthöhe zwischen 6 cm und 10 cm. Bei Klee im Lager 6 cm.	mittel
Zeitpunkt	Bodenfeuchte	Nur Befahrung bei nFK ⁵ von <85%	hoch
	Wuchshöhe	Milchviehfütter: ≥ 25 cm bis 40cm	hoch
		Mutterkuhhaltung: ≥ 30 cm bis 49cm Heu-Ernte: ≥ 50 cm	

Tab. 1: Beispielhafte Entscheidungsparameter und Regeln zur Maßnahme der Mahd

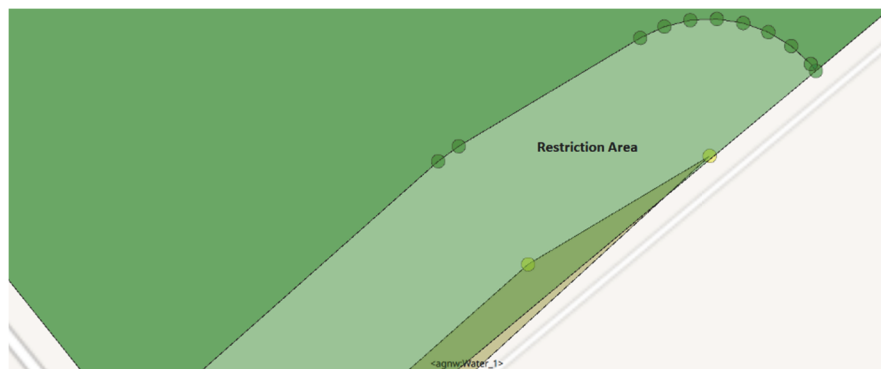


Abb. 1: Automatisch generiertes Sperrgebiet (hellgrün) zur Ausbringung von Dünger nach der DüV nahe einem fiktiven Gewässer beim Versuchsfeld in Belm

Ein weiteres Beispiel stellt die Herleitung einer Empfehlung für einen geeigneten Termin zur Mahd dar. Hierfür muss eine Vielzahl an Entscheidungsparametern berücksichtigt werden, ausgehend vom Zeitpunkt der letzten Mahd bzw. des Vegetationsbeginns, dem Entwicklungsstadium des Grases, Aufkommen spezifischer Beikräuter, der Prognose des Rohfasergehalts bis hin zu den Wetterbedingungen. Die Regeln unterscheiden sich dabei zum Teil abhängig von der Betriebsform sowie dem Zielprodukt. Für eine Milchviehsilage wird beispielsweise ein Rohfasergehalt von 20-22 % [Vo68] angestrebt. Der Rohfasergehalt kann für Heu als Zielprodukt vernachlässigt werden. Allerdings ist für die Heuernte eine längere Trockenzeit vor und nach der Mahd entscheidend.

⁵ Nutzbare Feldkapazität

4 Exemplarische Anwendung

Als erste exemplarische Anwendung des Entscheidungsunterstützungssystems (DSS) wurde 2021 anhand von zwei Versuchsflächen nahe Osnabrück die Empfehlung der Mahdtermine ermittelt und den Einschätzungen der Experten gegenübergestellt. Die Flächen liegen ca. 7 km auseinander und unterschieden sich im Bestandsalter sowie der vorgesehenen Verwendung der Mahd und weiteren Parametern (siehe Tabelle 2).

Fläche	Boden	Saat	Ziel
Rulle	Mittlere Braunerde Bodenzahl 60	01.08.2019 Klee-Gras	Silage (ökologisch)
Kiesschacht	Mittlere Braunerde Bodenzahl 30 bis 40	20.08.2020 Klee-Gras	Heu (ökologisch)

Tab. 2: Versuchsflächen im Jahr 2021

Anhand dieser Flächen wurden geeignete Zeitpunkte als Empfehlung zur Mahd ermittelt. Der erste Termin zur Mahd erfolgte durch die Einschätzung der Experten und wurde nachträglich durch das DSS nahezu identisch bestätigt. Zum zweiten Termin wurde die Empfehlung des Systems als Basis genommen und die Maßnahme entsprechend umgesetzt und als zutreffend beurteilt. Zum dritten vorgeschlagenen Mahdtermin entschieden sich beide Versuchsbetriebe aufgrund einer ausreichenden Futtermittellieferung dazu, den letzten Aufwuchs als Gründünger zu nutzen. Eine genaue Auflistung der empfohlenen Zeitpunkte sowie der real vorgenommenen Mahd ist in Tabelle 3 zu finden. Als Eingangsgrößen gelten jeweils die zu dem Zeitpunkt aktuellen Bonitur- und Wetterdaten.

Mahd	Fläche	Durchgeführt	Empfehlung	Datenlage
1.	Rulle	01.06.2021	31.05.2021 – 01.06.2021	31.05.2021
	Kiesschacht	29.05.2021	05.06.2021 – 10.06.2021	14.05.2021
2.	Rulle	20.07.2021	17.07.2021 – 21.07.2021	07.07.2021
	Kiesschacht	16.07.2021	17.07.2021 – 19.07.2021	08.07.2021
3.	Rulle	22.09.2021	19.09.2021 – 23.09.2021	07.09.2021
	Kiesschacht	10.09.2021	07.09.2021 – 08.09.2021	07.09.2021

Tab. 3: Gegenüberstellung der vom Entscheidungsunterstützungssystem vorgeschlagenen Termine zur Mahd mit dem Zeitpunkt der tatsächlichen Durchführung

5 Diskussion

Die exemplarische Anwendung zeigt, dass es voraussichtlich möglich ist, ein Entscheidungsunterstützungssystem für den Erntetermin von Grünland zu verwenden. Das System könnte den Landwirt bei der Findung von Entscheidungen unterstützen; die letzte Instanz und die ausführende Kraft bleibt aber weiterhin der Landwirt selbst.

Bei den Fallbeispielen gab es nur geringe Abweichungen zwischen tatsächlicher Durchführung und Empfehlung. Die Abweichungen hatten betriebliche Gründe, insbesondere hinsichtlich der Verfügbarkeit der Ressourcen Zeit und Maschinen. Zu erwähnen ist, dass beide Betriebe die Erntearbeiten an Lohnunternehmen ausgegliedert haben, wodurch die Terminfindung unflexibler war. Das Jahr 2021 war von nur kurzen Trockenphasen geprägt, daher gab es eine große Nachfrage zu diesen Zeitpunkten, wodurch Kompromisse eingegangen werden mussten. Eine Ausnahme stellt hier die erste Mahd der Kiesschacht-Fläche dar, welche zu nicht idealen Wetterbedingungen vorab durchgeführt wurde. Außerdem wurde hier erst nachträglich die Empfehlung durch das System ermittelt.

Die Versuche sollen im kommenden Jahr erweitert werden. Es werden neue Betriebe und Flächen gesucht, in denen nicht nur die Ernte von Klee gras, sondern auch von Grünland allgemein berücksichtigt wird. Außerdem ist es perspektivisch möglich, weitere Kulturen zu integrieren.

Eine weitere Herausforderung ist insbesondere die Zugänglichkeit des Systems und die Begründung der Empfehlung. Die Begründung für positive Empfehlungen wird durch das SEMPR Framework mitgeteilt, ist aber im aktuellen Entwicklungsstand für Dritte noch schwer nachzuvollziehen. Außerdem wird aktuell nur eine positive Empfehlung begründet und nicht, wieso z. B. eine Empfehlung nicht ermittelt wurde, was ebenfalls eine relevante Aussage darstellt.

Des Weiteren ist es angestrebt, die Datenquellen zu erweitern und die Abfragen zu automatisieren. Ein Beispiel ist das Einbeziehen von ausgewerteten Drohnendaten, um auf Basis dieser Applikationskarten und Empfehlungen zu generieren welche angeben, wann, wo und wie viel gedüngt werden sollte (teilflächenspezifische Bewirtschaftung bzw. Spot-Farming [We19]).

Abschließend sei erwähnt, dass das Entscheidungsunterstützungssystem das Potenzial aufzeigt, den Landwirt beim Treffen von Entscheidungen zu unterstützen. Dies wurde mit den ersten Versuchen zur Ernte von Grünlandflächen aufgezeigt.

Danksagung

Das DFKI Labor Niedersachsen (DFKI NI) wird gefördert im Niedersächsischen Vorab durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und die VolkswagenStiftung. Die Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des Projektes Experimentierfeld: Agro-Nordwest (FKZ: 28DE103E18).

Ein besonderer Dank gilt außerdem Juan Carlos Saborio Morales (DFKI) sowie Lucas Wittstruck (Universität Osnabrück) für ihre Unterstützung.

Literaturverzeichnis

- [Ni21] Niemann, N. et al.: Wissensverarbeitung in der Landwirtschaft mit regelbasierten Inferenzsystemen und Begründungsverwaltung. In *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*, 2021; S. 229-234.
- [DWH18] Deeken, H.; Wiemann, T.; Hertzberg, J.: Grounding semantic maps in spatial databases. *J. Robotics and Autonomous Systems* 105 (2018); S. 146-165.
- [Ku18] Kunze, L. et al.: Soma: A framework for understanding change in everyday environments using semantic object maps. In *AAAI Fall Symposium on Reasoning and Learning in Real-World Systems on Long-Term Autonomy*, 2018; S. 47-54.
- [ML85] McKinion, J. M.; Lemmon, H. E.: Expert systems for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 1 (1985); S. 31-40.
- [Ti04] Tiangang L. et al.: A GIS-based expert system for pastoral agricultural development in Gansu Province, PR China. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2004; S. 313-325
- [LDW01] Lukashch AF, Droste RL, Warith MA.: Review of Expert System (ES), Geographic Information System (GIS), Decision Support System (DSS), and their applications in landfill design and management. *Waste Management & Research*. 2001; S. 177-185.
- [Fo82] Forgy, C. L.: Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem. *J. Artificial Intelligence* 19 (1982); S. 17-37.
- [Vo68] Voigtländer, G.: Aufnahme an Nähr- und Wirkstoffen bei Weidegang. *DLG-Mitteilung* 13, 1968; S. 434-436.
- [We19] Wegener, J. et al.: Spot farming – an alternative for future plant productions. *Journal für Kulturpflanzen*, 2019; S. 70-89.