


„CognitiveWeeding“: Entwicklung von Entscheidungsregeln für ein kontextbezogenes KI-Expertensystem auf Einzelpflanzenbasis – pflanzenbauliche Aspekte

David Hagemann ¹, Tim Zurheide¹ und Dieter Trautz¹

Abstract: Beikräuter stehen in Konkurrenz zur Ertragsbildung der Kulturpflanze. Die Konkurrenz-kraft einzelner Arten und das heterogene Auftreten ermöglichen das gezielte Regulieren einzelner Teilflächen. Kriterien zur Ableitung der kontextbezogenen Regulierungswürdigkeit werden aus Feldversuchen und Literaturrecherchen abgeleitet. Als Basis dient ein Schadschwellenkonzept, welches anhand der Häufigkeit ein akzeptables Maß an Beikrautbesatz bemisst. Aufbauend darauf sollen die Parameter Lichtkonkurrenz, Standraum, Biodiversität, Erosion, Wirteignung für Schaderreger und Samenpotential einbezogen werden. Ziel ist es, für jede Einzelpflanze im Expertensystem eine Regulierungsentscheidung abzuleiten, die es ermöglicht, nur wirklich schädliche Pflanzen der Ackerbegleitflora zu regulieren und damit eine höhere Biodiversität auf der Ackerfläche zu erhalten.

Keywords: Beikrautregulierung, Schadschwelle, selektiv, teilflächenspezifisch, Entscheidungsunterstützung

1 Einleitung

Biotische Schadorganismen verursachen weltweit zwischen 50 % und 80 % Ertragsverluste. Beikräuter sind mit 34 % der größte Verursacher [Oe06]. Jedoch sind nicht alle Arten der Ackerbegleitflora dabei gleichermaßen ertragsmindernd. Zudem bieten sie durch Blüten und Samen Lebensgrundlage für zahlreiche Organismen. Durch ihr räumlich aggregiertes Auftreten ist eine ganzflächige Regulierung nicht immer nötig. Nachteile wie die Störung des Bodenlebens, erhöhte Erosionsgefahr, eine erhöhte Verdunstung sowie Einträge von Pflanzenschutzmitteln in die Umwelt und Lebensmittelkette können so vermindert werden [BC90]. Ziel des Projektes „CognitiveWeeding“ ist es daher, standortspezifisch für jede sensorisch erkannte Pflanze eine kontextbezogene Entscheidung über die Regulierungswürdigkeit abzuleiten, um dann kleinräumig selektiv mit Hack- oder Spritztechnik zu agieren.

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Am Krümpel 31, 49090

Osnabrück, david.hagemann@hs-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0003-3896-2064>; t.zurheide@hs-osnabrueck.de; d.trautz@hs-osnabrueck.de

2 Material und Methoden

Zur Ableitung einzelnpflanzenspezifischer Regulierungswürdigkeiten wird im Projekt ein Expertensystem verwendet. Dieses benötigt im Vergleich zu Neuronalen Netzwerken keine Trainingsdaten, die in Bezug auf solche komplexen Entscheidungsfindungen nur schwer zu generieren sind. Wissensbasierte Systeme wie ein Expertensystem können hier vorhandenes Fachwissen in Form von Wenn-Dann Regeln abbilden. Das Expertensystem stuft anhand zugrundeliegender Kriterien die Regulierungswürdigkeit jeder einzelnen Ackerbegleitpflanze ein [Al22]. Diese Kriterien sind damit, neben technischen Limitierungen, entscheidend dafür, wie viele Beikräuter nach der Regulierung auf der Fläche verbleiben und einen Beitrag zur Steigerung der Biodiversität leisten können. Aufgrund der automatisierten Anwendung der Regeln kann von Gesamt- oder größeren Teilflächen auf die Einzelpflanze herunterskaliert werden. Eine solch kleinräumige Differenzierung wäre von einem Landwirt in der Praxis nicht möglich. Es besteht das Potential, Beikräuter sehr kleinräumig mit erheblicher Verringerung der zu behandelnden Fläche zu regulieren. Infolgedessen ist eine große Einsparung von Pflanzenschutzmitteln im Bereich der Herbizide zu erwarten.

Grundlage bildet das bekannte Schadschwellenprinzip [BH81]. Jedoch sind für die im Projekt betrachteten Kulturen Mais (*Zea mays* L.) und Rüben (*Beta vulgaris subsp.* L.) keine Schwellenwerte für einzelne Beikrautarten vorhanden. Zudem darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Beikräuter nicht nur in Konkurrenz zu der Kulturpflanze stehen, sondern auch unterschiedliche Arten der Ackerbegleitflora untereinander interagieren. Ergebnis ist eine geringere Ertragsauswirkung von Mischverunkrautungen gegenüber einer durch eine dominante Art bestimmte Begleitflora [Ad19; PMM09]. Dies wird durch die vorhandenen Schadschwellensysteme nicht berücksichtigt.

Nach eingehender Literaturrecherche wurden einige potentielle Parameter mit dazugehörigen Indikatoren für ein KI-Expertensystem ausgewählt. Diese Parameter sollen sensorisch oder von externen Quellen akquiriert werden und dann zur Fällung der Regulierungsentscheidung jeder einzelnen Begleitpflanze herangezogen werden.

3 Zwischenergebnisse und Diskussion

Ergebnisse der Literaturrecherche zu möglichen Entscheidungsregeln sind in untenstehender Tabelle nach Entscheidungsparameter und zugehörigem Indikator aufgelistet und werden im Folgenden im Detail erläutert (Tab. 1). Wie bei dem zugrundeliegenden Schadschwellenprinzip wird zunächst die Pflanzenanzahl mit entsprechendem Schwellenwert in die Entscheidungsfindung einbezogen. Um das zeitlich versetzte Auflaufen und die dadurch verminderte Konkurrenzwirkung mit verspäteter Keimung eines Beikrauts zu berücksichtigen [KS91], sollen die Parameter Wuchshöhe und Deckungsgrad der Pflanze in Zukunft implementiert werden. Insbesondere der relative Deckungsgrad der Begleitpflanze im Verhältnis zur Kulturpflanze kann hier das zeitlich versetzte Auftreten der Konkurrenz adäquat abbilden [NLL99; LVV03].

Hinzu kommt der Konkurrenzfaktor Standraum, bei welchem die Entfernung der Begleitpflanze zur Kulturpflanze als Indikator verwendet werden soll. Mit zunehmender Entfernung wird die Konkurrenz in Bezug auf Wasser, Nährstoffe und Licht abnehmen und der Schwellenwert zur Regulierung kann höher gewählt werden [KNM19, MSW79 nach Al87]. Damit sind die beiden Parameter der Licht- und Nährstoffkonkurrenz weitestgehend abgedeckt.

Weitere Parameter, die abseits der Konkurrenzbeziehung zur Wahrung der Biodiversität und zum Schutz von Boden und für ein langfristiges Ertragspotential mit eingehen können, sind zum einen die Besuchshäufigkeit durch Arthropoden in Abhängigkeit der Attraktivität der Blüte, der Zugänglichkeit und der Nektar- und Pollenqualität und -quantität [BG15; Ga17]. Entscheidende Faktoren für die Attraktivität sind der Geruch, die Farbe und Reflexionen im UV-Spektrum. Die Zugänglichkeit ergibt sich aus der Morphologie der Blüte in Zusammenspiel mit dem jeweiligen Blütenbesucher. Außerdem bestimmen Blühdauer und -beginn über die Eignung für Blütenbesucher in Abhängigkeit der Synchronität mit deren Aktivität.

Zum anderen können durch Einbringung einer Regel zu seltenen Arten diese gezielt geschützt werden. Durch den breitflächigen Einsatz von Herbiziden und Stickstoffdüngern ist die Vielfalt der Ackerwildkräuter zurückgegangen [Mo04; An20]. Um diese Artenvielfalt nicht weiter zu gefährden, müssen Ackerstandorte, auf denen sie vorkommen, in ihrer Bewirtschaftungsform bewahrt werden. Der pflanzenspezifische Verzicht auf Herbizide ermöglicht den Schutz dieser Arten [Ge22; Al22].

In Bezug auf Erosion kann die Hangneigung und Wettervorhersage verwendet werden, um auf gefährdeten Teilflächen gezielt die flächige Durchwurzelung auch durch Beikräuter zu tolerieren [B118; Ga17; Ja22; Mo20]. Für folgende Jahre ist des Weiteren wichtig, ob die potentiell auf der Fläche tolerierbaren Beikräuter Wirtspflanzen für relevante Schaderreger in der Fruchtfolge vorkommender Kulturen sind [NK00; Bu02; Ga17]. Die Beikräuter können dem Schaderreger als Zwischenwirt, zur Vermehrung oder auch als Nahrungsquelle dienen. Andererseits können Beikräuter auch von der Kulturpflanze ablenken oder natürlichen Antagonisten Lebensraum bieten.

| Parameter | Indikator |
|-----------------|--|
| Lichtkonkurrenz | Wuchshöhe |
| Standraum | Entfernung des Beikrauts zur Kulturpflanze |
| Nährstoffe | Anzahl, Deckungsgrad |
| Biodiversität | Insektenbeflug, seltene Arten, Bodenbrüter |
| Erosion | Hangneigung |
| Wirteignung | Wirt für relevante Schaderreger, Wirt für Antagonisten |
| Samenpotential | Samenanzahl je Pflanze * Pflanzenanzahl * Persistenz * Reifezeit |

Tab. 1: Mögliche Parameter und dazugehörige Indikatoren für das KI-Expertensystem zur Fällung der Regulierungsentscheidung

Weitere Parameter, die in Zukunft auf ihre Eignung zur Entscheidungsfindung geprüft werden, sind z. B. die Vermehrungseigenschaften sowie die Ernteausschüttungen der Beikräuter. Das Samenpotential besonders kritischer Pflanzen sowie die Etablierung schwer zu regulierender Wurzelunkräuter dürfen nicht außer Acht gelassen werden [Ma21]. Dies kann über eine Herabsetzung der Schadschwelle oder auch durch die Berücksichtigung von Parametern wie Samenanzahl je Pflanze [Si09], die Persistenz der Samen im Boden [Ge22] sowie den Zeitpunkt der Abreife der Samen erfolgen [RO13]. Reifen die Beikrautsamen erst nach der Ernte der Kulturpflanzen ab, ist das Beikraut bezüglich des Samenpotentials als unkritisch einzustufen. In Bezug auf die Beerntung können Faktoren wie erhöhte Feuchtigkeit durch Beikräuter, erhöhter Besatz und Ernteerschwernis durch zum Beispiel rankende Pflanzen Berücksichtigung finden.

Neben dem Schutz seltener Pflanzenarten und der Habitatförderung für Arthropoden könnten auch Gelege bodenbrütender Vögel erkannt und gezielt geschützt werden [St15].

4 Schlussfolgerung

Das bekannte Schadschwellenprinzip bietet eine gute Grundlage, um weitere Parameter, die aufgrund veränderter Anforderungen an den Pflanzenschutz auftreten, einzubinden und kontextbezogenen Regulierungsentscheidungen für einzelne Pflanzenarten der Ackerbegleitflora zu treffen. Die Verwendung eines Expertensystems ist für die Ableitung dieser Entscheidungen aus Regeln das System der Wahl. Genannte Regeln werden in dem Projekt durch das DFKI in ein Expertensystem implementiert. In Feldversuchen werden in den folgenden Jahren die Umsetzbarkeit und Ertragswirkung in der Anwendung der Regeln überprüft. Die Regeln können dann bei Erkenntnisgewinn verändert oder ergänzt werden. Weitere Parameter, die in Zukunft interessant werden können, sind Regulierungserfolg, Wasserhaushaltsdaten, Ernteerschwernis und Qualitätsminderung.

Es wäre also sinnvoll, das System modular aufzubauen, um die Erweiterung des Expertensystems um weitere Regeln angepasst an standortspezifische Begebenheiten einfach zu ermöglichen. Weiterhin sollte auch die Nutzung eines standardisierten Inputs von Sensordaten und Outputs in Form von Applikationskarten eine Implementierung in die Prozesskette der Beikrautregulierung herstellerübergreifend ermöglichen. [A122].

Förderhinweis: Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (FKZ 67KI21001C).

Literaturverzeichnis

- [Ad19] Adeux, G. et al.: Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability* 11/2, S. 1018-1026, 2019.
- [Al22] Allmendinger, A. et al.: Precision Chemical Weed Management Strategies: A Review and a Design of a New CNN-Based Modular Spot Sprayer. *Agronomy* 7/12, S. 1620, 2022.
- [Al87] Aldrich, R. J.: Predicting Crop Yield Reductions from Weeds. *Weed Technology* 3/1, S. 199-206, 1987.
- [An20] Anton, C. et al.: Biodiversität und Management von Agrarlandschaften. Umfassendes Handeln ist jetzt wichtig. Stellungnahme. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. - Nationale Akademie der Wissenschaften; acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.; Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V, Halle (Saale), 2020.
- [BC90] Brain, P.; Cousens, R.: The Effect of Weed Distribution on Predictions of Yield Loss. *The Journal of Applied Ecology* 2/27, S. 735, 1990.
- [BG15] Bretagnolle, V.; Gaba, S.: Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development* 3/35, S. 891-909, 2015.
- [BH81] Beer, E.; Heitefuss, R.: Ermittlung von Bekämpfungsschwellen und wirtschaftlichen Schadensschwellen für monokotyle und dikotyle Unkräuter in Winterweizen und -gerste II. Bekämpfungsschwellen und wirtschaftliche Schadensschwellen in Abhängigkeit von verschiedenen Bekämpfungskosten, Produktpreisen und Ertragsniveau. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz / Journal of Plant Diseases and Protection* 6/88, S. 321-336, 1981.
- [Bl18] Blaix, C. et al.: Quantification of regulating ecosystem services provided by weeds in annual cropping systems using a systematic map approach. *Weed Research* 3/58, S. 151-164, 2018.
- [Bu02] Buhler, D. D.: 50th Anniversary – Invited Article: Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* 3/50, S. 273-280, 2002.
- [Ga17] Gaba, S. et al.: Response and effect traits of arable weeds in agro-ecosystems: a review of current knowledge. *Weed Research* 3/57, S. 123-147, 2017.
- [Ge22] Gerhards, R. et al.: Advances in site-specific weed management in agriculture – A review. *Weed Research*, 2022.
- [Ja22] Jafari, M. et al.: Slope Stabilization Methods Using Biological and Biomechanical Measures. In (Jafari, M. et al. Hrsg.): *Soil Erosion Control in Drylands*. Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, S. 445-647, 2022.
- [KNM19] Korres, N. E.; Norsworthy, J. K.; Mauromoustakos, A.: Effects of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Establishment Time and Distance from the Crop Row on Biological and Phenological Characteristics of the Weed: Implications on Soybean Yield. *Weed Science* 1/67, S. 126-135, 2019.

- [KS91] Kropff, M. J.; Spitters, C. J. T.: A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. *Weed Research* 2/31, S. 97-105, 1991.
- [LVV03] Lemieux, C.; Vallée, L.; Vanasse, A.: Predicting yield loss in maize fields and developing decision support for post-emergence herbicide applications. *Weed Research* 5/43, S. 323-332, 2003.
- [Ma21] Masson, S. et al.: Neue Entscheidungshilfen für eine nachhaltige Unkrautbekämpfung. *Agrarforschung Schweiz* 12, S. 79-89, 2021.
- [Mo04] Moss, S. R. et al.: The Broadbalk long-term experiment at Rothamsted: what has it told us about weeds? *Weed Science* 5/52, S. 864-873, 2004.
- [Mo20] Moreau, D. et al.: In which cropping systems can residual weeds reduce nitrate leaching and soil erosion? *European Journal of Agronomy* 119, S. 126015, 2020.
- [MSW79] Miller, P. C.; Stoner, W. A.: Canopy structure and environmental interactions. In (Johnson, G. B. et al. Hrsg.): *Topics in Plant Population Biology*. Columbia University Press, New York, S. 428-460, 1979.
- [NK00] Norris, R. F.; Kogan, M.: Interactions between weeds, arthropod pests, and their natural enemies in managed ecosystems. *Weed Science* 1/48, S. 94-158, 2000.
- [NLL99] Ngouajio, M.; Lemieux, C.; Leroux, G. D.: Prediction of corn (*Zea mays*) yield loss from early observations of the relative leaf area and the relative leaf cover of weeds. *Weed Science* 3/47, S. 297-304, 1999.
- [Oe06] Oerke, E.-C.: Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 1/144, S. 31-43, 2006.
- [PMM09] Pollnac, F. W.; Maxwell, B. D.; Menalled, F. D.: Weed community characteristics and crop performance: a neighbourhood approach. *Weed Research* 3/49, S. 242-250, 2009.
- [Ro13] Gerhards, R.: Precision weed management. In (Oliver, M.; Bishop, T.; Marchant, B. Eds.): *Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection*. Routledge, 2013.
- [Si09] Simard, M.-J. et al.: Validation of a Management Program Based on A Weed Cover Threshold Model: Effects on Herbicide Use and Weed Populations. *Weed Science* 2/57, S. 187-193, 2009.
- [St15] Steen, K. A. et al.: Detection of bird nests during mechanical weeding by incremental background modeling and visual saliency. *Sensors (Basel, Switzerland)* 3/15, S. 5096-5111, 2015.