

Beschreibung der Arbeitsaufgabe mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination als Basis für die Automatisierung in der Landtechnik

Martin Schmidt

Dieser Beitrag entwickelt ein 3-Ebenen-Modell zur Beschreibung der Arbeitsaufgabe für maschinenführende Personen bei der Feldarbeit mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination. Das Modell wird am Beispiel des Verfahrensschritts „Grubbern“ im Zuge einer ganzheitlichen Betrachtung der Arbeitsaufgabe erarbeitet. Darauf aufbauend wird dargelegt, wie das 3-Ebenen-Modell als Basis für die Entwicklung von Technologie zur Automatisierung einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination dienen kann.

Schlüsselwörter

3-Ebenen-Modell, Automatisierung, Traktor-Anbaugeräte-Kombination

Aktuelle Konzeptstudien zeigen einen deutlichen Trend hin zu hoch- und vollautomatisierten Landmaschinen. Grundsätzlich sind zwei Entwicklungstendenzen erkennbar:

- Es existieren bereits prototypische Studien, welche das existierende Grundkonzept des Traktors aufgreifen und mit entsprechender Sensorik ausgerüstet zu einer hoch- oder vollautomatisierten Lösung weiterentwickeln (STENTZ et al. 2002, FOSTER et al. 2017, TARASINSKI et al. 2018).
- Weiterhin arbeiten verschiedene Hersteller an Feldrobotern bzw. sogenannten „Schwarmlösungen“ für die autonome Feldarbeit (AGCO 2019, ALBERT 2014). Diese Systeme zeichnen sich in der Regel durch eine leichte und kompakte Bauart der einzelnen Schwarmmitglieder aus und dienen in der Regel zur Ausführung einer spezifischen Applikation.

Obwohl beide Ansätze unterschiedlichen Konzepten folgen, kann der Mensch in beiden Fällen bei der Arbeit mit einer landwirtschaftlichen Maschine durch Technologie unterstützt oder sogar substituiert werden. Daher müssen Lösungsansätze entwickelt werden, die das Wissen und die Fähigkeiten des Menschen in Automatisierungstechnik umsetzen.

Grundsätzlich besteht die Arbeitsaufgabe eines Menschen, der mit einer Landmaschine arbeitet, aus den Teilaufgaben „Fahren“ und „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ (STREITBERGER et al. 2018, BECKER und GEIMER 2018). Beide Teilaufgaben umfassen ein komplexes Aufgabespektrum, auf das weiter unten ausführlicher eingegangen wird.

Durch GPS-basierte Lenksysteme sind bereits verschiedene Aspekte der Teilaufgabe „Fahren“ marktreif in Produkte zur Unterstützung der maschinenführenden Person bei der Feldarbeit überführt worden (DEERE & COMPANY 2020). Im Kontext des Stufenmodells von STREITBERGER et al. (2018) sind diese aktuell am Markt verfügbaren Produkte auf die Automatisierungslevel 1 und 2 einzuordnen. Darüber hinaus behandeln die bereits erwähnten Konzeptstudien hauptsächlich das Problem der Umfeldperzeption im Rahmen der Teilaufgabe „Fahren“.

Beim Vergleich des Standes der Technik und Forschung zeigt sich, dass es für die Automatisierung der Teilaufgabe Fahren eine deutlich größere Vielfalt an Lösungen gibt als für die Prozessautomatisierung einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination. Zudem herrscht ein Mangel an Systematik bei der Beschreibung und Gliederung der gesamten Arbeitsaufgabe im Kontext der Feldarbeit. Dies wird exemplarisch am Verfahrensschritt „Grubbern“ verdeutlicht.

Stand der Technik

STREITBERGER et al. (2018) liefern einen systematischen Ansatz zur Definition der einzelnen Stufen der Automatisierung im Kontext der Landtechnik in Anlehnung an den aus der Automobilindustrie bekannten Standard „SAE J3016“. Case IH (2018) entwickelte speziell für die Landtechnik einen Ansatz zur Unterteilung in Kategorien der Automatisierung und Autonomie für die Feldarbeit.

Bisher wurden nur wenige Studien zur Automatisierung der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ veröffentlicht. Diese Beiträge befassen sich hauptsächlich mit der Optimierung einzelner Verfahren:

- In der Arbeit von RIEGLER-NURSCHER et al. (2017) wird das Arbeitsergebnis einer Kreiselegge mit einer Stereokamera beobachtet und basierend auf einer geschätzten Rauigkeit entsprechende Parameter der Traktor-Anbau-Kombination optimiert.
- Der Beitrag von BECKER und GEIMER (2018) beschreibt Untersuchungen mit verschiedenen Sensoren, darunter ein LiDAR und eine Stereokamera zur Tiefenmessung einer Pflugfurche.
- Im Beitrag von STEINHAUS et al. (2018) wird eine Methodik vorgestellt, die basierend auf Kraftstoffverbrauch und Arbeitsqualität eine Effizienzbewertung einzelner landwirtschaftlicher Verfahrensschritte ermöglicht. Es wird verdeutlicht, dass eine Effizienzsteigerung sowohl bei der Betrachtung auf der Ebene der landwirtschaftlichen Verfahrenskette als auch bei der Ausführung der jeweiligen Verfahren erfolgen kann. Zusätzlich werden qualitätsbestimmende Parameter bei der Stoppelbearbeitung im Feldversuch ermittelt. Es werden jedoch keine Ansätze einer Echtzeitoptimierung des Arbeitsergebnisses präsentiert.

Basis für die Entwicklung hoch- und vollautomatisierter Landmaschinen ist dabei stets die Betrachtung der Art und Weise, wie der Mensch die jeweilige Arbeitsaufgabe löst. In der Literatur finden sich einige Beiträge, die dies schon in begrenztem Maße untersucht haben:

- BOTTOMS (1982) beschreibt die allgemeinen Aufgaben eines Menschen, der mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination arbeitet. Demnach wird unter normalen Bedingungen die Fahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Arbeitsqualität angepasst. Dabei stellt die Arbeitsqualität das dominierende Kriterium gegenüber dem Arbeitstempo dar. Dies wird durch Regelkreise anschaulich dargestellt. Weiterhin wird angemerkt, dass für eine volle Repräsentation der Fahraufgabe des Traktors weitere Regelkreise bedacht werden müssen.
- Von RENIUS (2019) wird eine automatisierte Arbeitsaufgabe allgemein als geschlossener Regelkreis mit diversen unterlagerten Regelkreisen beschrieben.
- Nach WEGKAMP (2009) macht die Fahraufgabe nur einen Teil der gesamten Arbeitsaufgabe aus. Zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe sind verschiedene Fertigkeiten notwendig:
 - Fahrfertigkeit
 - Bedienfertigkeit
 - Anwendungsfertigkeit

Der Ausbildungsaufwand zur Erlangung dieser Fertigkeiten steigt in der dargestellten Reihenfolge.

Bei der Automatisierung des Automobils lässt sich feststellen, dass für die Beschreibung der „Fahr-aufgabe“ schon sehr früh systematische Ansätze untersucht und weiter verfeinert wurden:

- DONGES (1982) entwickelte ein 3-Ebenen-Modell, welches die Fahraufgabe beim PKW beschreibt. Es gliedert sich in die „Navigations-“, die „Führungs-“ und die „Stabilisierungsebene“.
- Dieses Modell wurde von WERLING (2017) aufgegriffen und für kritische Fahrsituationen modifiziert. Zudem wurde die Fahraufgabe analog zu einem Kaskadenregler als überlagertes Optimierungsproblem aufgefasst.

Mithilfe des 3-Ebenen-Modells für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen kann zwischen „wissensbasiertem Verhalten“, „regelbasiertem Verhalten“ und „fertigkeitsbasiertem Verhalten“ unterschieden werden (RASMUSSEN 1983). Zusammenfassend lassen sich diese drei Ebenen wie folgt beschreiben (DONGES und NAAB 1996, DONGES 2015):

- „Wissensbasiertes Verhalten“: Werden dem Menschen untrainierte Handlungsweisen in komplexen Anforderungssituationen abverlangt und ist dieser nicht darauf vorbereitet, ist das menschliche Verhalten der Kategorie des „wissensbasierten Verhaltens“ zuzuordnen. Des Weiteren ist „wissensbasiertes Verhalten“ vor allem dadurch gekennzeichnet, dass auf Basis des bereits erworbenen oder noch zu erwerbendem Wissens verschiedene Handlungsalternativen durchgespielt werden. Vor dem Hintergrund des eigentlichen Ziels der Tätigkeit wird die Alternative ausgewählt, die als am besten geeignet befunden wird. Ebenfalls kann die ausgewählte Alternative als Regel für die Zukunft abgespeichert werden (RASMUSSEN 1983, DONGES und NAAB 1996, DONGES 2015).
- „Regelbasiertes Verhalten“: Oftmals handelt der Mensch auf Basis von bereits in der Vergangenheit eingespeicherten Verhaltensmustern und wählt dabei aus dem Repertoire an Verhaltensmustern das nach subjektiver Einschätzung passende aus (RASMUSSEN 1983, DONGES und NAAB 1996, DONGES 2015).
- „Fertigkeitsbasiertes Verhalten“: Dies wird durch reflexartige Reiz-Reaktions-Mechanismen gekennzeichnet, die in einem stetigen Fluss ablaufen und nicht durch bewusste Kontrolle erfolgen. Diese Mechanismen werden in einem Lernprozess eintrainiert (RASMUSSEN 1983, DONGES und NAAB 1996, DONGES 2015).

Donges hat diese menschlichen Verhaltensmuster bereits auf verschiedene Tätigkeiten bei der Ausübung der Fahraufgabe beim PKW übertragen (DONGES und NAAB 1996, DONGES 2015). Daraus folgt: Durch eine gesamtheitliche Übersetzung der Arbeitsaufgabe einer maschinenführenden Person in ein übergeordnetes Modell kann ein wesentlicher Beitrag für Forschung und Entwicklung geleistet werden.

Für eine umfassende Beschreibung der Arbeitsaufgabe ist es wichtig zu wissen, dass die maschinenführende Person heutzutage bereits vielfach durch Automatisierungstechnik unterstützt wird. Daher muss auch die ursprüngliche Ausführung der Arbeitsaufgabe ohne Hilffsysteme miteinbezogen werden.

Beschreibung der Arbeitsaufgabe für maschinenführende Personen bei der Feldarbeit mit landwirtschaftlichen Maschinen

Grundlegend für die folgende Betrachtung ist es, die Arbeitsaufgabe einer maschinenführenden Person bei der Feldarbeit mit einer landwirtschaftlichen Maschine in den Gesamtkontext einzuordnen. Ausgehend von dem im Beitrag von STEINHAUS et al. (2018) beschriebenen Zusammenspiel zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten und deren Verankerung in der gesamten landwirtschaftlichen Verfahrenskette wird angenommen, dass der Landwirt im Allgemeinen auf beiden Ebenen denkt und handelt.

Die Entscheidung zur Durchführung eines spezifischen Verfahrens und zum genauen Durchführungszeitpunkt wird auf der Prozesskettenebene gefällt. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass es bei der eigentlichen Feldarbeit hauptsächlich darum geht, das bereits ausgewählte Verfahren mit dem Ziel einer möglichst optimalen agronomischen Arbeitsqualität bei gleichzeitig optimaler Effizienz, Flächenleistung und maximaler Sicherheit durchzuführen. Nur in Ausnahmefällen wird z. B. ein angehängtes Anbaugerät gewechselt, ohne dass ein Schaden vorliegt. Ebenfalls auf Prozesskettenebene wird das Anbaugerät auf Basis verschiedener Kriterien ausgewählt und es werden übergeordnete Ziele hinsichtlich der Arbeitsqualität definiert.

Beschreibung der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“

Eine Herausforderung bei der Automatisierung von Landmaschinen besteht darin, Lösungen für jene Situationen bei der Feldarbeit zu entwickeln, die der Mensch heute auf der Basis von erworbenem Wissen und Erfahrung löst. Im Folgenden werden nun die Aufgaben und Abläufe bei der Ausführung der Arbeitsprozesse untersucht. Im Hinblick auf den Ablauf der Entscheidungen bei der Ausführung des Arbeitsprozesses stellt sich für die aufmerksame und erfahrene maschinenführende Person folgendes Szenario dar (Abbildung 1):

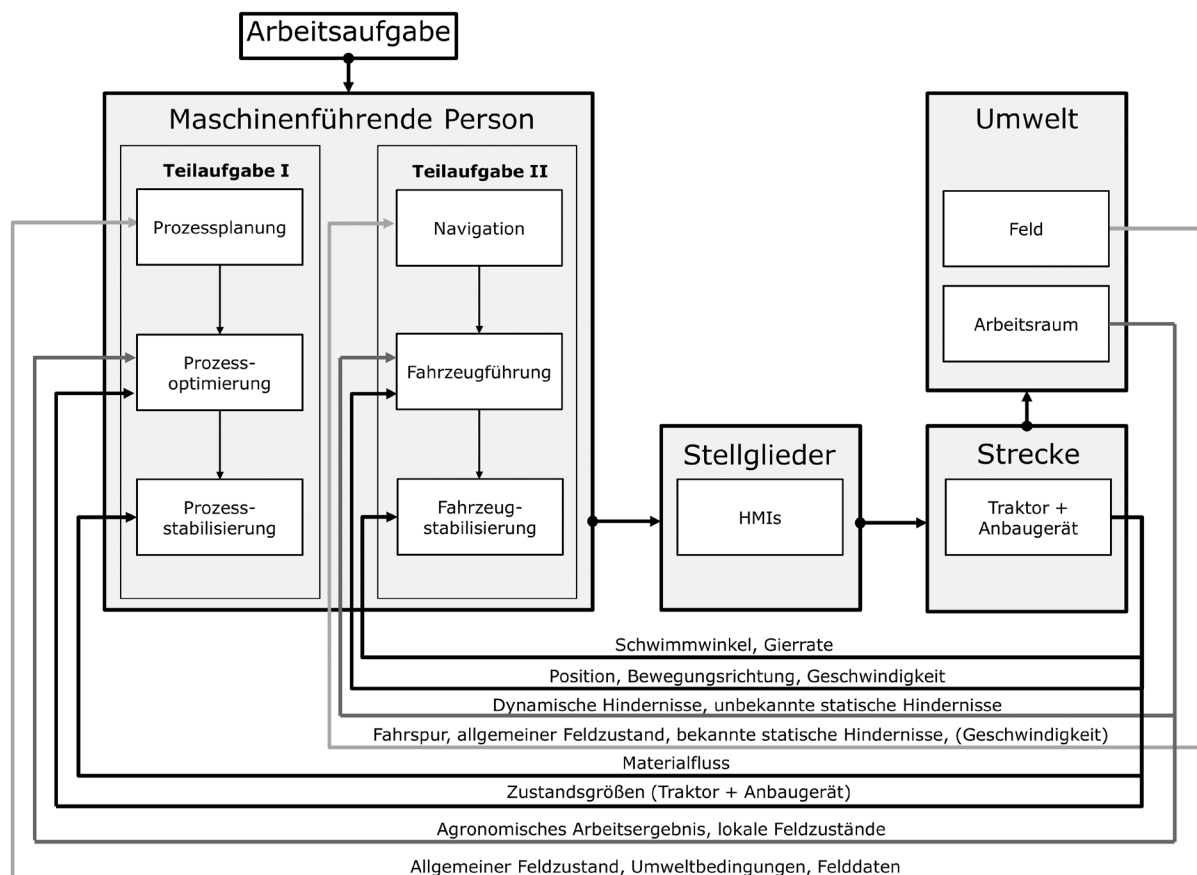


Abbildung 1: 3-Ebenen-Modell zur Beschreibung der Arbeitsaufgabe für eine maschinenführende Person bei der Feldarbeit mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination (Teilaufgabe I = „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“, Teilaufgabe II = „Fahren“)

Prozessplanungsebene

Zuerst werden analog zu dem von RASMUSSEN (1983) dargestellten Verhalten Ziele definiert und Entscheidungen getroffen, die in eine Planung übergehen. Im Kontext der Landtechnik ist dies hauptsächlich die Planung der Arbeitsaufgabe inklusive einer Zielgrößendefinition. Analog zu der Betrachtungsweise von WERLING (2017) kann in diesem Zusammenhang auch von Optimierungskriterien gesprochen werden.

Grundsätzlich gibt es laut RENIUS (2019) diverse Zielgrößen bzw. Optimierungskriterien bei der Automatisierung einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination. Diese werden im Folgenden auch allgemeingültig als Optimierungskriterien bei der Feldarbeit betrachtet:

- Arbeitsqualität
- Flächenleistung
- Energieverbrauch
- Umweltschutz
- Komfort
- Sicherheit
- Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit steht mit dem Energieverbrauch, der Flächenleistung und der Arbeitsqualität in direkter Wechselwirkung bzw. resultiert aus den drei genannten Kriterien. Außerdem korreliert speziell bei der Bodenbearbeitung der Umweltschutz mit dem Arbeitsergebnis. In der Folge werden daher die Kriterien Energieverbrauch, Flächenleistung und Arbeitsqualität im Sinn einer agronomischen Güte genauer betrachtet.

- Die agronomische Güte entspricht den verfahrensschrittabhängigen Zielgrößen des Arbeitsergebnisses. Diese Zielgröße kann aufgrund des Wissens und der Fähigkeiten des Landwirts sowie der regionalen oder auch feldspezifischen Eigenheiten und der damit verknüpften Anforderungen stark variieren.
- Die Flächenleistung wird mathematisch durch die zu bearbeitende Fläche pro Stunde (ha/h) ausgedrückt.
- Der Energieverbrauch entspricht nach heutigem Stand der Technik in aller Regel dem Kraftstoffverbrauch in Liter pro Stunde (l/h).

Im Gegensatz zu den beiden letztgenannten Größen gibt es für die agronomische Arbeitsqualität keine allgemeingültige Definition. Eine Trennung von Flächenleistung und Energieeffizienz ist insofern sinnvoll, da ein energieoptimierter Verfahrensschritt unter Berücksichtigung des Einsatzes von Mensch und Maschine nicht zwangsläufig zu einem betriebswirtschaftlich optimalen Ergebnis führt. Weiterhin können die drei Zielgrößen sowie deren Gewichtung zueinander durch weitere übergeordnete Zielgrößen aus der landwirtschaftlichen Verfahrenskette beeinflusst werden.

In der Regel werden die Arbeitsziele schon vor Umsetzung der eigentlichen Arbeitsaufgabe definiert ebenso wie die damit verbundene Planung. Es kann daher eine zeitliche und räumliche Trennung zwischen Planung und Ausführung der Arbeitsaufgabe vorliegen. Ist dies der Fall, wird kurz vor Beginn der Arbeitsaufgabe der Feldzustand mit den Erwartungen der maschinenführenden Person abgeglichen und bei Bedarf die Planung angepasst. Grundsätzlich ist es auch denkbar, dass die Planung und die Ausführung der eigentlichen Arbeitsaufgabe von verschiedenen Personen durchgeführt werden. Daher kann in diesem Zusammenhang von verschiedenen Rollen die Rede sein: So kann die Rolle der maschinenführenden Person und die Rolle der arbeitsplanenden Person durch zwei Personen oder durch eine Person alleine übernommen werden.

Die maschinenführende Person agiert bei der Umsetzung der Arbeitsaufgabe jedoch auch im Falle einer Trennung der Rollen von arbeitsplanender und maschinenführender Person von Zeit zu Zeit auf der Ebene der „Prozessplanung“ (Abbildung 1). So wird im Fall sich ändernder Randbedingungen, wie beispielsweise dem Wetter, die bisherige Planung inklusive Zielwertedefinition überprüft und bei Bedarf an die neuen Randbedingungen angepasst. Ein typisches Beispiel hierfür wäre die Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit, da die Arbeitsaufgabe aufgrund sich ändernder Randbedingungen eher als ursprünglich geplant abgeschlossen werden muss.

In der modernen Präzisionslandwirtschaft findet oftmals eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung statt. Dies stellt je nach Ausführung einen weiteren Aspekt der Prozessplanungsebene oder Optimierungsebene dar. Eine teilflächenspezifische nichtwendende Bodenbearbeitung hat in der Regel zum Ziel definierte Teilbereiche auf dem Feld mit verschiedenen Arbeitstiefen zu bearbeiten (WALTHER 2009). Dabei gilt es jedoch zu unterscheiden, ob es sich um ein Offline- oder Onlineverfahren handelt. Ein Offlineverfahren basiert in der Regel auf einer Datenbasis mit kartierten Felddaten, wie z. B. Bodendaten (HERBST 2004, WALTHER 2009). Aus dieser Datenbasis wird eine Applikationskarte abgeleitet. Da hierbei aber nicht auf in Echtzeit gemessene Bodenmerkmale eingegangen wer-

den kann und somit eine zeitliche Trennung zwischen Messung und Ausführung des Verfahrensschritts vorliegt, gibt es sensorbasierte Online-Ansätze (HERBST 2004, WALTHER 2009). Die Arbeit auf Basis einer Applikationskarte eines Offlineverfahrens kann im Rahmen des Modells der Prozessplanungsebene (Abbildung 1) zugerechnet werden. Ebenso kann die maschinenführende Person auf Basis eigener Erfahrungswerte teilflächenspezifisch agronomische Zielwerte wie beispielsweise einen Strohhdeckungsgrad oder allgemein Arbeitstiefen festlegen. Dies wäre eine weitere typische Handlung auf Prozessplanungsebene. Ein Onlineverfahren ist jedoch in diesem Zusammenhang der Optimierungsebene zuzurechnen.

Auf Basis der definierten Zielgrößen werden im Allgemeinen vor Beginn der eigentlichen Feldarbeit dedizierte Voreinstellung vorgenommen bzw. angepasst. Beim Grubbern wird beispielsweise der Oberlenker in die vorgesehene Position gebracht. Diese Aktionen markieren den Beginn der eigentlichen Umsetzung der Arbeitsaufgabe.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die oberste Ebene der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ als Prozessplanungsebene abstrahiert werden kann. Die wesentlichen Einflussparameter hierfür sind der allgemeine Feldzustand, Umweltbedingungen und vorliegende Felddaten. Analog zu der Betrachtungsweise von DONGES (1982) und WERLING (2017) werden diese als Zustandsgrößen aufgefasst.

Prozessoptimierungsebene

Nach dem Beginn der Arbeit widmet die maschinenführende Person ihre Aufmerksamkeit verstärkt dem entstehenden Arbeitsergebnis. Dabei findet eine assoziative Zuordnung des hinter dem Anbaugerät entstehenden Arbeitsergebnisses mit den Erwartungen statt. Sind Ergebnis und Erwartung divergent, so wird nachgestellt. Bei der nichtwendenden Bodenbearbeitung sind diese Einstellparameter beispielsweise eine Anpassung der Arbeitstiefe am Anbaugerät. Eine solche Anpassung kann unter Umständen auch bei fortschreitendem Arbeitsstatus und als Reaktion auf nicht zu erwartende lokale Feldeigenschaften erfolgen.

Ein weiteres Beispiel für eine optimierte Bodenbearbeitung ist die Arbeit mit vor- oder nachgeschaltetem Online-Bodensensor. Des Weiteren sind auch Szenarien denkbar, in denen die maschinenführende Person beispielsweise aufgrund einer lokal stark variierenden Strohhansammlung oder anderer lokaler Feldzustände prädiktiv Einstellungen anpasst. Solche Optimierungen basieren auf der Wahrnehmung der maschinenführenden Person für den aktuellen Prozesszustand und im Gegensatz zu Handlungen auf der „Prozessplanungsebene“ nicht auf reinen Erfahrungswerten. Die beschriebenen situativen Kausalketten sind typisch für regelbasiertes Verhalten, bei denen der Bediener eine assoziative Zuordnung der Situation zu eigenen Erfahrungen vornimmt und aus seinem Repertoire an Verhaltensregeln die optimale Methode auswählt (RASMUSSEN 1983).

Grundsätzlich sind solche Optimierungen eher im Bereich der aktiven Anbaugeräte üblich, da die Arbeitsfenster passiver Geräte hinsichtlich einer Echtzeitoptimierung vergleichsweise beschränkt sind. Prinzipiell ließen sich aber auch in einer Kombination von aktiven und passiven Anbaugeräten Optimierungsmöglichkeiten finden.

Die zwei hier beschriebenen Aktivitäten der reaktiven und prädiktiven Prozessführung kennzeichnen die unmittelbare Optimierung der Geräteeinstellungen in Echtzeit während der Durchführung der Feldarbeit. Im übertragenen Sinn lässt sich hier auch von einer „Prozessoptimierungsebene“ der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ sprechen (Abbildung 1). Handlungen

auf dieser Ebene konzentrieren sich auf die Optimierung des Prozesses auf Basis der beschriebenen Zielgrößen aus der Prozessplanungsebene. Die für die Prozessoptimierungsebene relevanten Zustände ergeben sich allgemein aus der bewerteten Arbeitsqualität, den lokalen Feldeigenheiten im Arbeitsbereich und Zustandsgrößen der Traktor-Anbaugeräte-Kombination, wie beispielsweise dem Kraftstoffverbrauch. Bei der nichtwendenden Bodenbearbeitung sind die Führungsgrößen wie bereits erwähnt die Arbeitstiefe und die Bearbeitungsgeschwindigkeit. Diese werden im Folgenden auch als „Prozessführungsgrößen“ bezeichnet.

Prozessstabilisierungsebene

Die dritte Ebene der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ ist die „Prozessstabilisierung“ (Abbildung 1). Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Ebenen ist die Prozessstabilisierung keine Optimierungsaufgabe, die direkt auf die definierten Zielgrößen bezogen ist, sondern kann als Basisaufgabe für das Erreichen der Prozesszielgrößen aufgefasst werden. Diese Ebene bündelt alle Aktivitäten, die sicherstellen, dass die Betriebsmittel Traktor und Anbaugeräte die vorgegebene Aufgabe mit hinreichender Genauigkeit ausführen und keine Fehlfunktionen aufweisen, die zwangsläufig zu einer Prozessstörung oder einer Havarie des Arbeitsprozesses führen. Beim Stoppelgrubbern wäre dies beispielsweise

- das Einregeln der von der Prozessoptimierungsebene vorgegebenen Prozessführungsgrößen und
- das Anheben des Anbaugeräts im Fall einer Verstopfung durch Stroh.

Eine Kategorisierung der Prozessstabilisierungsebene in eines der von RASMUSSEN (1983) beschriebenen Verhaltensmuster ist analog der Betrachtungen von DONGES und NAAB (1996) nicht eindeutig durchführbar. Es wird daher angenommen, dass einzelne Aufgabenteile auf verschiedenen Ebenen stattfinden. Betrachtet man das Beispiel „Verstopfung“ beim Grubbern, so kann angenommen werden, dass die Erkennung und weitere Entscheidungsfindung bezüglich einer geeigneten Lösung des Problems auf der regelbasierten Ebene ablaufen. Das eigentliche Lösen durch geschicktes Auf- und Abbewegen des Grubbers lässt sich verstärkt der Ebene des fertigkeitsbasierten Verhaltens zuschreiben. Dies gilt insbesondere für ältere Traktormodelle mit rein manueller Steuerung der Anbaugeräte durch die maschinenführende Person.

Daher lässt sich festhalten, dass die relevante Zustandsgröße für die Stabilisierungsebene der Materialfluss ist. Dies gilt nicht nur beim Grubbern, sondern beispielsweise auch beim Drillen oder Düngestreuen. Beim Grubbern setzt sich der Materialfluss aus den Prozessführungsgrößen Arbeitstiefe und Bearbeitungsgeschwindigkeit multipliziert mit der Arbeitsbreite zusammen.

Optimierungshorizont

Im Vergleich zu den von WERLING (2017) beschriebenen Optimierungshorizonten lässt sich auf der Ebene der Prozessplanung und der Ebene der Prozessoptimierung ein ähnlicher Optimierungshorizont von einigen Stunden bis hin zu wenigen Sekunden feststellen. Gleiches gilt für die Prozessstabilisierungsebene, deren Optimierungshorizont oftmals nur ein Bruchteil einer Sekunde beträgt.

Beschreibung der Teilaufgabe „Fahren“

Die folgende Betrachtung basiert auf der Annahme, dass die Fahrt zum Feld nicht zum eigentlichen Kern der Arbeitsaufgabe zählt, sondern einer notwendigen Vorarbeit entspricht, um die Arbeitsaufgabe durchführen zu können. Zur Beschreibung der Fahraufgabe bei der Fahrt zum Feld kann prinzipiell das Modell von DONGES (1982) bzw. WERLING (2017) verwendet werden. Analog zu den Betrachtungen von DONGES (1982) bzw. WERLING (2017) lässt sich feststellen, dass bei der Feldarbeit die Fahraufgabe ebenfalls in drei Ebenen gegliedert werden kann:

- Navigation
- Führung
- Stabilisierung

Ein wesentlicher Unterschied zu den Modellen von DONGES (1982) bzw. WERLING (2017) besteht darin, dass die vorliegende Fahraufgabe nicht in einem Straßennetz ausgeübt wird, sondern im Feld. Zudem ist die Bezeichnung „Fahrraum“ im landwirtschaftlichen Kontext nicht korrekt, vielmehr handelt es sich um einen „Arbeitsraum“, bzw. „Workspace“ (Abbildung 1).

Daher besteht die oberste Ebene der Fahraufgabe darin, per Navigation eine Route durch das Feld zu planen, was hauptsächlich der Wahl der Fahrspur und deren Verbindung durch ein Wendemanöver entspricht. Die „Navigationsebene“ berücksichtigt auch bereits bekannte statische Hindernisse und andere Feldeigenheiten, wie z. B. die Form des Feldes (Abbildung 1). Ein Sonderfall bei der Navigation ist die Anpassung der Fahrtroute aufgrund unerwartet großer Fahrwiderstände, beispielsweise in Hanglage bei schwierigen Bodenbedingungen. Dies stellt im vorliegenden Kontext den Sonderfall eines dynamischen Hindernisses dar, das die gesamte Navigation beeinflussen kann.

Die Aufgaben, die auf der „Fahrzeugführungsebene“ ausgeführt werden, umfassen das Verfeinern der vorgegebenen Fahrtroute bei unbekanntem statischen oder dynamischen Hindernissen im Feld (Abbildung 1). Zudem umfassen die Aktivitäten der „Fahrzeugführungsebene“ alle Fahrmanöver, die zur Minimierung des Risikos einer Kollision oder anderer Unfälle durchgeführt werden. Auf dieser Ebene wird daher der Hauptteil der sicherheitsrelevanten Aspekte bei der Feldarbeit berücksichtigt. Wie bereits beschrieben, ist der Zustand des Bodens auch ein elementarer Einflussfaktor für die Traktion. Werden z. B. Ausweichmanöver zur Vermeidung des Festfahrens durchgeführt, ist dies ebenfalls Bestandteil der Aufgaben auf Fahrzeugführungsebene.

Wie von WERLING (2017) beschrieben, besteht die Aufgabe der „Fahrzeugstabilisierungsebene“ darin, die geplanten Fahrmanöver durch geeignete Eingriffe in Längs- und Querdynamik umzusetzen (Abbildung 1). Dies betrifft auch den Sicherheitsaspekt beim Fahren. Unangemessene Eingriffe in die Quer- und Längsdynamik können die agronomische Arbeitsqualität bei bestimmten landwirtschaftlichen Verfahrensschritten auch negativ beeinflussen. Die Eingriffe in die Quer- und Längsdynamik sind jedoch stets der Teilaufgabe „Fahren“ zuzurechnen.

Der von RENIUS (2019) angesprochene Komfortaspekt bei der Feldarbeit mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination ist ebenfalls hauptsächlich in der Teilaufgabe „Fahren“ zu verankern. Da die maschinenführende Person im Zuge der Teilaufgabe „Fahren“ Eingriffe hinsichtlich Längs- und Querdynamik vornimmt, steuert sie den Komfort in dem durch Traktor und Anbaugeräte vorgegebenen Rahmen. Dies findet auf der Führungs- und Stabilisierungsebene statt. Weitere Möglichkeiten zur Komforterrhöhung wie beispielsweise das Anpassen von Fahrwerksparametern wären theoretisch denkbar, sind jedoch nicht Teil der primären Fahr- bzw. Arbeitsaufgabe.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die Zustandsrückführung der Teilaufgabe „Fahren“ in Abbildung 1 auf Stabilisierungsebene fahrdynamische Größen wie der „Schwimmwinkel“ und die „Gierrate“ relevante Parameter sind. Im Kontext der Feldarbeit ist die Gierrate im Normalfall kaum von Relevanz, jedoch kann sie in Ausnahmesituationen auch nicht vernachlässigt werden. Die Führungsebene arbeitet mit den Zuständen „Bewegungsrichtung“, „Position“ und „Geschwindigkeit“ sowie unbekanntem statischen Hindernissen oder dynamischen Hindernissen wie beispielsweise einer Person im Feld. Die Navigation basiert vor allem auf dem allgemeinen Feldzustand, speziell kartierten statischen Hindernissen, der Form des Feldes und der aktuellen Fahrspur. Ebenfalls wurde auf die Traktion als Sonderfall eines dynamischen Hindernisses verwiesen, das auf der Navigationsebene zu einer Umplanung führen kann.

Zusammenspiel der Teilaufgaben und Unterschied zum PKW

Ein entscheidender Unterschied zu den Modellen aus dem PKW-Bereich ist jedoch, dass die Längsführung des Traktors im normalen Arbeitsbetrieb meist der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ zugerechnet werden muss. Beim Grubbern ist die Geschwindigkeit ein entscheidender Parameter, der in Abhängigkeit von den beschriebenen Optimierungskriterien gewählt werden muss. Wird ein Wendemanöver durchgeführt oder allgemein der Arbeitsprozess nicht ausgeführt, kann die Fahrzeuggeschwindigkeit weitestgehend unabhängig von den Optimierungskriterien aus der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ gewählt werden.

Ein Sonderfall bei der Einordnung der Geschwindigkeit in das Modell aus Abbildung 1 ist eine Bearbeitung des Feldes mit zwei Maschinen gleichzeitig. Hierbei bedingt die Fahrgeschwindigkeit des ersten Traktors oftmals den Arbeitsfortschritt des zweiten Traktors (OKSANEN et al. 2019). Auch gilt es hierbei überlappende Trajektorien bei der Planung zu berücksichtigen. Daher muss die Geschwindigkeit auch als Einflussgröße für die Navigationsebene berücksichtigt werden. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Querdynamik, so lässt sich feststellen, dass Assistenzsysteme wie das „ESP“ auf dem Feld eher eine untergeordnete Rolle spielen. Im Hinblick auf die Fahraufgabe bedeutet dies, dass die Querdynamik hauptsächlich darin besteht, die Spur zu halten. Ein Sonderfall ist das prädiktive Gegensteuern eines Lenkassistenten für Anbaugeräte in einer Hanglage zum Ausgleich der natürlichen Abrutschbewegung einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination (REINHARDS et al. 2015).

Der zweite signifikante Unterschied zu den PKW-Modellen liegt im Zusammenspiel der Teilaufgaben. Analog zu den Modellen von DONGES (1982) bzw. WERLING (2017) kann zwar ein kaskadenartiges Verhalten innerhalb der beiden Teilaufgaben festgestellt werden. Jedoch gilt es zu berücksichtigen, dass es zwischen den Teilaufgaben fließende Übergänge gibt, was bereits anhand der Wahl der Geschwindigkeit dargelegt wurde. Des Weiteren kann theoretisch auch eine Umplanung der Arbeitsaufgabe auf „Prozessplanungsebene“ zu einer geänderten Navigation führen. Zudem muss noch mit einbezogen werden, dass der Mensch die Teilaufgaben nur zu einem gewissen Grad gleichzeitig ausführen kann. Es liegt in der Natur des Menschen, dass während der Ausführung einzelne Teilaufgaben analog einem Multiplexverfahren gebündelt werden. Dies bedeutet, dass Teilaufgaben nacheinander und nicht gleichzeitig ausgeführt werden.

Automatisierung

Entscheidend für die vollständige Repräsentation der Arbeitsaufgabe bei einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination ist die Rückführung der jeweiligen Zustände, wie dies von DONGES (1982) bzw. WERLING (2017) für PKW dargelegt wurde. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Arbeitsaufgabe und verdeutlicht die hier vorliegende kaskadierte Struktur, die von WERLING (2017) für PKW beschrieben wurde (Abbildung 1).

Die am Markt verfügbaren Automatisierungslösungen, wie z.B. AutoTrac (DEERE & COMPANY 2020), befassen sich primär mit der Teilaufgabe „Fahren“. AutoTrac assistiert dabei auf der Navigationsebene, der Führungsebene und der Stabilisierungsebene bei der Querführung des Fahrzeugs. Wie bereits beschrieben, kann eine optimale Querführung, beispielsweise beim Pflügen, den Arbeitsprozess und das agronomische Arbeitsergebnis positiv beeinflussen. Dies ist jedoch als sekundäres Resultat der optimal ausgeführten Fahraufgabe zu betrachten.

Das „Traktor Implement Management System“ (TIM) (HORSTMANN 2013) wird in Zukunft auch weitergehend zu einer Automatisierung der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ beitragen. Es können prinzipiell verschiedene Ebenen der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ behandelt werden. HORSTMANN (2013) beschreibt die Automatisierung einer Ballenpresse oder eines Kartoffelrodgers mit TIM. Dabei werden hauptsächlich Funktionen der Prozessoptimierungsebene automatisiert.

Das in Abbildung 1 beschriebene Modell zur Beschreibung des Verhaltens einer maschinenführenden Person einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination bei der Feldarbeit setzt somit den Rahmen für die Automatisierung der Arbeitsaufgabe. Für eine ganzheitliche Umsetzung hin zu einer vollautomatisierten Traktor-Anbaugeräte-Kombination muss eine Technologie entwickelt werden, die stets zuverlässige Informationen über folgende Komponenten bereitstellt:

- Umfeld der Traktor-Anbaugeräte-Kombination
- Zustand der Traktor-Anbaugeräte-Kombination selbst

Bezüglich des Umfeldes gilt, dass für die Automatisierung beider Teilaufgaben die maschinengebundene Sensorik hauptsächlich den „Arbeitsraum“ beobachten muss. Auf der „Prozessoptimierungsebene“ muss der Zustand des Feldes vor und nach der Bearbeitung in Form des Arbeitsergebnisses erfasst werden (Abbildung 2).

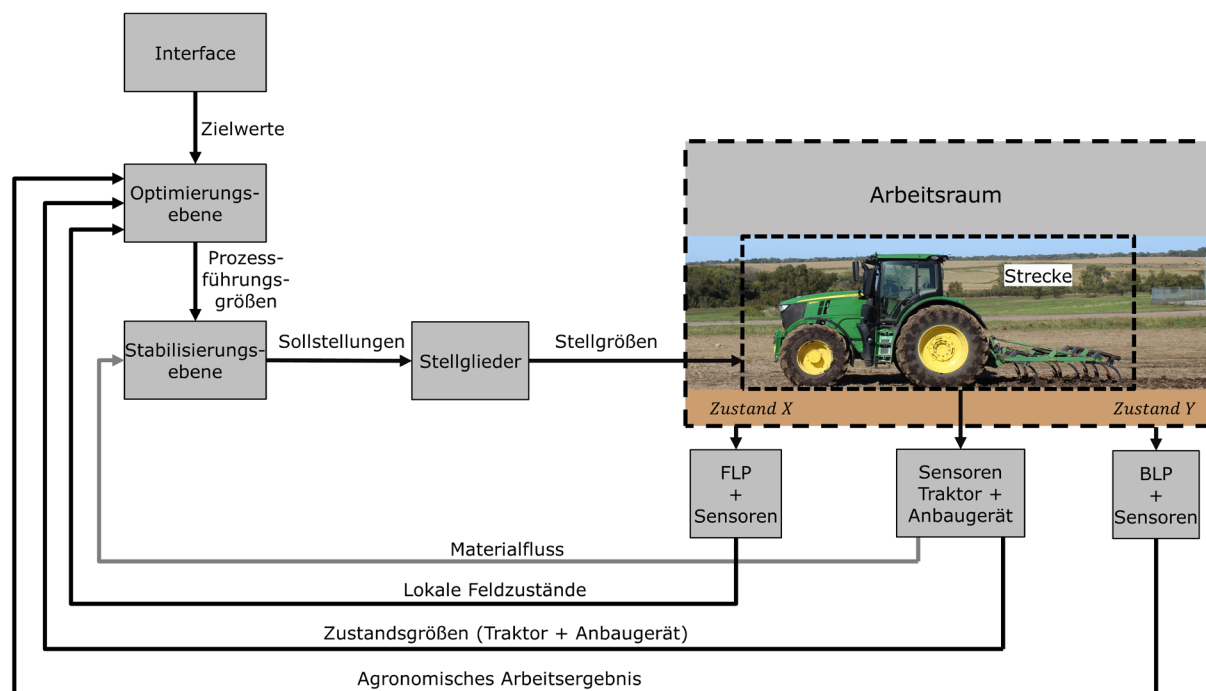


Abbildung 2: Visualisierung der in den technologischen Gesamtkontext übersetzten Zusammenhänge der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination

Bei genauer Betrachtung von Abbildung 2 ergeben sich zunächst 3 mögliche Regelkreise bzw. Steuerungen auf Prozessoptimierungsebene:

- Optimierung auf Basis der „Forward Looking Perception“ (FLP) und weiteren Sensoren vor dem Traktor (z. B. Sensoren zur Messung der Bodenverdichtung, erwarteter Strohmenge, Höhe/Länge der Stoppeln und des Häckselguts)
- Optimierung auf Basis der Zustandsgrößen der Maschine und des Anbaugeräts (z. B. Kraftstoffverbrauch)
- Optimierung auf Basis der „Backward Looking Perception“ (BLP) und weiteren Sensoren hinter dem Anbaugerät zur Messung der Arbeitsqualität (z. B. Stroheinarbeitung bzw. Strohbdeckung, Aggregatgrößenverteilung)

In Abbildung 2 wird zwischen „Forward Looking“ bzw. „Backward Looking Perception“ sowie weiteren Sensoren unterschieden. Prinzipiell umfasst der Begriff „Perception“ viele Arten von Sensoren. Jedoch wird der Begriff „Perception“ speziell im Fahrzeugbau hauptsächlich zur Beschreibung von Umfeldsensorik verwendet. Diese Umfeldsensorik besteht meistens aus Kameras, LiDAR und Radar und dient hauptsächlich der Hinderniserkennung. Diese Sensorik kann auch prinzipiell zur Erkennung lokaler Feldzustände sowie des agronomischen Arbeitsergebnisses eingesetzt werden. In der Landtechnik ist jedoch der Einsatz von verfahrensspezifischen Sensoren, z. B. Bodensensoren, denkbar bzw. Stand der Technik (GEOPROSPECTORS GMBH 2020, BUCHER 2020). Die jeweiligen Regel- bzw. Steuerkreise müssen bei einer Automatisierung jedoch stets mit den beschriebenen Funktionen der unterlagerten Prozessstabilisierung kombiniert werden.

Alle 3 Regel- bzw. Steuerkreise sind denkbare Ansätze zur Automatisierung der Feldarbeit und teilweise schon im Rahmen des technisch Machbaren. Teilaspekte wurden vereinzelt schon in Patenten festgehalten (DEERE & COMPANY 2015, DEERE & COMPANY 2016, CNH INDUSTRIAL 2017). Eine voll-

ständige Automatisierung der Feldarbeit mit dem Ziel einer optimalen Arbeitsqualität wird jedoch nur gelingen, wenn alle 3 Regelkreise fusioniert werden und dadurch das Verhalten des Maschinenführers aus Abbildung 1 nachbilden.

Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wird ein Modell zur Beschreibung der Arbeitsaufgabe für eine maschinenführende Person bei der Feldarbeit mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination entwickelt und exemplarisch am Verfahren „Grubbern“ erläutert. Die gesamte Arbeitsaufgabe wurde in die Teilaufgaben „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ und „Fahren“ unterteilt.

Die Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ wurde weiter in die Prozessplanungs-, Prozessoptimierungs- und Prozessstabilisierungsebene unterteilt. Dabei entspricht die Prozessplanungsebene einem mathematischen Mehrgrößentheorieproblem, das Sollwertvorgaben für die Optimierungskriterien „agronomische Güte“, „Flächenleistung“ und „Energieeffizienz“ liefert. Die Prozessoptimierungsebene übersetzt diese Vorgaben in spezifische Handlungen. Die unterlagerte Prozessstabilisierungsebene stellt sicher, dass die auf Prozessoptimierungsebene definierten Eingriffe mit hinreichender Genauigkeit umgesetzt und Störungen im Arbeitsprozess optimal gehandhabt werden.

Die Teilaufgabe „Fahren“ setzt sich aus der Fahrzeugnavigationsebene, Fahrzeugführungsebene und Fahrzeugstabilisierungsebene zusammen. Die Navigationsebene befasst sich hauptsächlich mit der Routenplanung auf dem Feld. Auf der Fahrzeugführungsebene werden spezifische Fahrmanöver geplant. Diese Aufgaben werden analog zu dem von WERLING (2017) beschriebenen Verhalten von der Fahrzeugstabilisierungsebene in hinreichender Genauigkeit umgesetzt. Dominierend ist hierbei die Querführung des Fahrzeugs, da die Längsführung des Fahrzeugs in der Regel zur Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ gehört. Nur in sicherheitskritischen Situationen wird ausgehend von der Fahrzeugführungsebene in die Längsführung während der Feldarbeit eingegriffen.

Für die Automatisierung einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination müssen sensorseitig Informationen über den Zustand des Umfeldes und den Zustand der Traktor-Anbaugeräte-Kombination geliefert werden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk der zu entwickelnden maschinenbasierten Umfeldsensorik der beiden Teilaufgaben auf der Überwachung des Arbeitsraums des Traktors. Für die Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ muss der Zustand des Feldes im Arbeitsraum vor und nach der Bearbeitung in Form des agronomischen Arbeitsergebnisses gemessen werden.

Literatur

- AGCO (2019): MARS: Robot system for planting and accurate documentation. https://msc.fendt.com/modules/create_pdf/pdf2/7249_web_en_2019-11-06_07-25-14.pdf, Zugriff am 31.01.2020
- Albert, A. (2014): Autonome Systeme in Haus und Hof / auf Feld und Straße. www.th-koeln.de/mam/downloads/deutsch/hochschule/fakultaeten/anlagen_energie_und_maschinensysteme/ltre/vortrag_autonome_systeme_2014_bosch_albert.pdf, Zugriff am 31.01.2020
- Becker, S.; Geimer, M. (2018): Neuartige Sensorik für die automatisierte Landtechnik. In: Conference Agricultural Engineering; Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Tagung Land.Technik, 20.-21.11.2018, Leinfelden-Echterdingen, VDI Verlag GmbH, S. 223-230
- Bottoms, D.J. (1982): The tractor driver's steering control task. *Ergonomics* 25(1), pp. 31-39, <https://doi.org/10.1080/00140138208924924>

- Bucher, M. (2020): Optische Verfahren zur effizienten und umweltgerechten Versorgung von Kulturpflanzen – das ISARIA-Sensorsystem. In: Konferenz Photonik in der Agrarwirtschaft 2020; PhotonicNet GmbH; Konferenz Photonik in der Agrarwirtschaft 2020, 20.02.2020, Hannover
- CASE IH (2018): Five categories of automation: a technology framework. <https://blog.caseih.com/five-categories-of-automation-a-technology-framework/>, Zugriff am 09.07.2020
- CNH Industrial America LLC (2017): US 2018/0220577 A1. Posselius, J.H.; Ferrari, L.; Bybee, T.C.; Turpin, B.T.
- Deere & Company (2015): EP 2 936 957 A1. Casper, R.T.; Schweitzer, J.M.; Theilen, R.B.
- Deere & Company (2016): EP 3 189 719 A1. Casper, R.T.; Schweitzer, J.M.; Theilen, R.B.
- Deere & Company (2020): John Deere Precision Ag Technology. <https://www.deere.com/assets/publications/index.html?id=004d03e7#1>, Zugriff am 31.01.2020
- Donges, E. (1982): Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie* 27(2), S. 183–190
- Donges, E. (2015): Fahrerhaltensmodelle. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Hg. Winner, H.; Hakuli, S. et al., Wiesbaden, Springer Vieweg, 3. Aufl., S. 17–26
- Donges, E.; Naab, K. (1996): Regelsysteme zur Fahrzeugführung und -Stabilisierung in der Automobiltechnik. *Automatisierungstechnik* 44(5), S. 226–236, <https://doi.org/10.1524/auto.1996.44.5.226>
- Foster, C.; Posselius, J.; Lukac, B. (2017): Autonomous Agricultural Machines – The Next Evolution in Farming. In: *Conference Agricultural Engineering, Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik, Landtechnik AgEng*, 10.–11.11.2017, Hannover, VDI Verlag, pp. 85–91
- Geoprospectors GmbH (2020): Top Soil Mapper. <https://www.topsoil-mapper.com/en/>, Zugriff am 08.07.2020
- Herbst, R. (2004): Erhebung von Boden- und Bestandesunterschieden in Online-Offline Verfahren. In: *Precision Farming. Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis*. Hg. Hufnagel, J., Darmstadt, KTBL, S. 13–14
- Horstmann, J. (2014): Moderne Kommunikationssysteme in der Landtechnik. In: *Jahrbuch Agrartechnik 2013*. Hg. Frerichs, L., Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 20–26
- Oksanen, T.; Soitinaho, R.; Huuskonen, J.; Väyrynen, V. (2019): Autonomous tractors harrowing and sowing simultaneously. In: *Conference Agricultural Engineering; Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Tagung Land. Technik*, 08.–09.11.2019, Hannover, VDI Verlag GmbH, pp. 159–164
- Rasmussen, J. (1983): Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-13(3), pp. 257–266, <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Reinhardt, M.; Kormann, G.; Scheff, U. (2015): Fahrerassistenzsysteme bei Traktoren. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Hg. Winner, H.; Hakuli, S. et al., Wiesbaden, Springer Vieweg, 3. Aufl., S. 1029–1046
- Renius, K.T. (2019): *Fundamentals of tractor design*. Baldham, Springer Nature, Switzerland AG
- Riegler-Nurscher, P.; Karner, J.; Huber, J.; Moitzi, G.; Wagentristsl, H.; Hofinger, M.; Prankl, H. (2017): A system for online control of a rotary harrow using soil. In: *Conference Agricultural Engineering; Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Landtechnik AgEng*, 10.–11.11.2017, Hannover, VDI Verlag, pp. 559–565
- Steinhaus, S.; Trösken, L.; Frerichs, L. (2018): Methodik zur Erfassung und Bewertung qualitätsbestimmender Parameter bei der Stoppelpbearbeitung. In: *Conference Agricultural Engineering; Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Tagung Land. Technik*, 20.–21.11.2018, Leinfelden-Echterdingen, VDI Verlag GmbH, S. 293–300
- Stentz, A.; Dima, C.; Wellington, C.; Herman, H.; Stager, D. (2002): A System for Semi-Autonomous Tractor Operations. *Autonomous Robots* 13(1), pp. 87–104, <https://doi.org/10.1023/A:1015634322857>
- Streitberger, N.; Balbach, F.; Nacke, E. (2018): From manually driving to full autonomy: An approach to systematically define levels of automation in agricultural engineering. In: *Conference Agricultural Engineering; Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Tagung Land. Technik*, 20.–21.11.2018, Leinfelden-Echterdingen, VDI Verlag GmbH, pp. 213–221

- Tarasinski, N.; Kegel, V.; Daubermann, J. (2018): GridCON – Development and Testing of a Cable-fed, Full Electric and Autonomous Agricultural Machine. In: Conference Agricultural Engineering; Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik; Tagung Land.Technik, 20.–21.11.2018, Leinfelden-Echterdingen, VDI Verlag GmbH, pp. 339–344
- Walther, S. (2009): Variable Bodenbearbeitungsintensität. Ein Beitrag zum nachhaltigen Bodenschutz. Verlag Dr. Kovač
- Wegkamp, H.-G. (2010): Entwicklung eines Bedienkonzeptes für Traktoren. Verlag Dr. Kovač
- Werling, M. (2017): Optimale aktive Fahreingriffe: für Sicherheits- und Komfortsysteme in Fahrzeugen. De Gruyter, Oldenbourg

Autor

M.Sc. Martin Schmidt arbeitet in der Position eines Product Engineer im Mid-Tractor Advanced Engineering innerhalb der globalen Traktorenplattform, John Deere GmbH & Co. KG, John-Deere-Straße 90, 68163 Mannheim. E-Mail: schmidtmartinb@johndeere.com