

## **Fahrndynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz**

Conrad Klose, Daniel Christian Wiest, Henning Jürgen Meyer

### **Kurzfassung**

Optimierungsbestrebungen im Bereich landwirtschaftlicher Traktoren sind gekennzeichnet durch vielfältige Konfliktfelder. Diese umfassen unter anderem die Abstimmung von Traktion, Energie- und Kosteneffizienz sowie Bodenschonung, das geeignete Abwägen von Fahrsicherheit und Fahrkomfort sowie die Handhabung komplexer Parametereinstellungen und -überwachungen in Bezug auf ökologische und ökonomische Zielsetzungen, ohne Überlastungs- oder Gefährdungssituationen von beschäftigten Personen hervorzurufen. Aktuelle Anstrengungen zielen auf ein vertieftes Systemverständnis und das Ausschöpfen bislang ungenutzter Potentiale ab. Zum Einsatz kommen moderne Ansätze der Datenerhebung, -analyse und Parameteridentifikation, in den Produktentstehungszyklus integrierte Simulationen sowie alternative Überwachungs-, Antriebs- und Regelungskonzepte.

### **Schlüsselwörter**

Fahrndynamik, Fahrsicherheit, Fahrkomfort, Fahrerassistenzsysteme

## **Ride Dynamics – Ride Safety – Driver's Place**

Conrad Klose, Daniel Christian Wiest, Henning Jürgen Meyer

### **Abstract**

Efforts for optimization in the field of agricultural tractors are characterized by various conflicting areas. These include the adjustment of traction, energy as well as cost efficiency and soil protection, the suitable trade-off between driving safety and driving comfort as well as the handling of complex parameter settings and monitoring regarding ecological and economic objectives without overloading or endangering the persons employed. Current efforts aim at a deeper system understanding and the exploitation of previously unused potentials. Modern approaches for data collection, analysis and parameter identification are used, as well as integrated simulations within the product development process and alternative monitoring, drive and control concepts.

### **Keywords**

ride dynamics, ride safety, ride comfort, driver assistance systems

## **Fahrdynamik**

Steigerungen der Systemeffizienz und Robustheit von Traktoren sind weiterhin Treiber für aktuelle fahrdynamische Untersuchungen. Ein tiefergehendes Systemverständnis soll durch zielgerichtete Tests und Messungen sowie angepasste Datenauswertungen und Simulationen erreicht werden. Im Fokus stehen die klassischen Themenfelder Traktion, Reifenschlupf und Material- sowie Bodenschonung. Diese werden ergänzt durch fortschreitende Einsatzspezialisierungen, Automatisierungsbestrebungen sowie Klima- und Umweltschutzaspekte. Ein in diesem Zusammenhang bereits auf der LAND. TECHNIK Konferenz 2022 vorgestelltes Thema von Mattetti et al. [1] umfasst Untersuchungen zum möglichen Einsatz einer Start-Stopp-Automatik in Traktoren zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Sie geben für den untersuchten Traktor als minimal erforderliche Standzeit zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs 4 Sekunden und zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen 134 Sekunden an [2].

Zur effizienten Kraftstoffnutzung sowie zur Einstellung des Laufwerkswirkungsgrades ist insbesondere der Reifenschlupf eine wichtige Größe. Zhu et al. beschäftigen sich mit einer alternativen Ermittlung desselben auf der Basis computergestützter Bildverarbeitung. Mithilfe einer am Traktor montierten, auf den Boden gerichteten monokularen Kamera wird die tatsächliche Traktorgeschwindigkeit ermittelt. Zur Approximation der Schlupfwerte wird weiterhin ein fiktiver Reifendurchmesser auf Basis des Reifenfülldrucks geschätzt [3].

Zur Charakterisierung des Umfangskraft-Schlupf-Verhaltens auf Lehmböden entwickeln Mason et al. einen Zusammenhang, der den gesamten Bereich angetriebener, gezogener und gebremster Räder abdeckt. Die asymmetrische Entwicklung der Summe (gross traction) aus Triebkraftbeiwert (net traction) und Rollwiderstandsbeiwert (rolling resistance) ist als Funktion des Schlupfes durch fünf charakteristische Wendepunkte definiert. Mit Daten aus DROVE, einer Datenbank mit Labor- und Feldversuchsmesswerten, wurde der Ansatz verifiziert und weiterhin mit konventionellen Zusammenhängen verglichen. Die Parametrierung erfolgt im Rahmen der Veröffentlichung mittels Empirie, kann nach Aussage von Mason et al. jedoch zukünftig durch physikalische Modelle ersetzt und um Beziehungen für eine Änderung der Geschwindigkeit sowie des Lenkwinkels ergänzt werden. Auf dieser Basis sollen tiefergehende Analysen von Fahrzeugen im Gelände möglich sein [4]. Eine weitere empirische Relation zur theoretischen Vorhersage des Reifenschlupfs auf Basis der Reifendrucke im Bereich von 0,7 bar bis 1,95 bar stellen Janulevičius und Damanauskas vor. Grundlage des vorgestellten Ansatzes bilden Feldversuche eines Case Farmall 115U in 2WD- und 4WD-Konfiguration auf Weizenstopplern und lehmigem Boden [5].

Der Schlupf stellt jedoch nur einen von einer Bandbreite an variablen Parametern dar, die einen Einfluss auf den Laufwerks- sowie Systemwirkungsgrad besitzen. Askari et al. führen hierzu Untersuchungen an einem Traktor bei der tiefen Bodenbearbeitung durch. Mithilfe der Response-Surface Methode (RSM) wird versucht, den Betriebspunkt größter Energieeffizienz zu ermitteln. Untersuchte Einflussgrößen sind die Art des Werkzeuges, die Arbeitsgeschwindigkeit, die Bearbeitungstiefe sowie die Ballastierung. Der Methode werden vergleichend ver-

einfachte Regressionsmodelle gegenübergestellt. Den Untersuchungen nach kann das Optimum bezüglich der Energieeffizienz gegenüber den Regressionsansätzen mit der RSM feiner aufgelöst und anschaulicher dargestellt werden [6]. Cheng und Lu wählen ebenfalls eine gezielte Datenauswertung und Modellierung zur Untersuchung und Beschreibung mehrerer Einflüsse auf die dynamische Belastung nasslaufender Kupplungen im Antriebsstrang von Landmaschinen. Mit Hilfe von Partial Least Squares (PLS) Ansätzen und eines erweiterten Optimierungsverfahrens (improved simulated annealing, I-SA) zur Parameteridentifikation werden Modelle auf der Basis von Prüfstandsversuchen generiert, um den Einfluss verschiedener Parameter, wie z. B. Lastmoment, Öldruck, Antriebsdrehzahl und Ölflussrate, auf die Kupplungsbelastung vorherzusagen [7].

Ein Dynamiksimulationsmodell zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Traktoren beim Arbeitseinsatz auf unverdichteten Untergründen wird von Polastri et al. vorgeschlagen. Hierbei werden numerische Modelle zur Beschreibung der Traktorhauptkomponenten und -phänomene, u. a. Instanzen zur Beschreibung des Dieselmotors, des hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigten Getriebes, des Fahrzeugrahmens sowie der Reifenmechanik, implementiert. Ziel ist es, das Zugkraftangebot, den Kraftstoffverbrauch und das fahrdynamische Verhalten unter Berücksichtigung der Anregung des Anbaugeräts auf weichen Untergründen abzubilden [8]. Ebenfalls mit der Antriebsstrangsimulation am Beispiel eines Traktors mit Kettenlaufwerk beschäftigen sich Zlenko und Kireev. Hauptaugenmerk liegt auf der Rückwirkung der Rumpfschwingungen auf den Antriebsstrang unter Berücksichtigung der Aufhängung. Das Autorenteam findet heraus, dass eine Vernachlässigung der Rumpfschwingungen im Rahmen einer Modellierung des betrachteten Systems beim Anfahren unter Last zur Überschätzung der Spitzenlasten führt [9]. Eine integrierte Modellierung und Simulation im Auslegungs- und Produktentstehungsprozess von Maschinen im Schwerlastbereich beschreiben Has und Flock. Insbesondere die Vorteile einer flexiblen und dezentralen Erfassung von Belastungs- und Anwendungsspektren und deren Verknüpfung mit CAD/CAE-Daten werden dargestellt. So sollen beschleunigte Tests und Simulationen möglich sein und unterschiedlichen Markt- und Kundenanforderungen Rechnung getragen werden [10].

Neben einer einsatz- sowie maschinenbezogenen Abstimmung der Traktionsleistung zur Effizienzsteigerung ist jedoch stets auch die Rückwirkung des Maschineneinsatzes auf die Umwelt zu berücksichtigen. Insbesondere stehen die Maximierung von Zugkraft und Flächenleistung im Konflikt zur Bodenschonung und -verdichtung. In diesem Zusammenhang führen Liu et al. Feldversuche unter verschiedenen Zugwiderstandsbedingungen und mehrfachen Überfahrten auf derselben Fahrspur durch, um die Traktorleistung sowie die Bodenparameter bei unverdichteten und verdichteten Böden sowie auch in permanenten Fahrspuren zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bodenbelastung mit zunehmender Zugkraft und der Anzahl der Überfahrten steigt. Das gilt ebenfalls für die Schüttdichte, den Cone-Index und die Störung der Oberfläche des Bodens. Kein signifikanter Unterschied wurde jedoch zwischen den verschiedenen Zugwiderstandsbedingungen und der Anzahl der Überfahrten festgestellt. Der Schlupf hingegen steigt mit der Zugkraft bei unverdichtetem Boden, verdichtetem Boden und auf permanenten Fahrspuren an. Es zeigt sich darüber hinaus, dass die permanente Fahrspur unter verschiedenen Zugwiderstandsbedingungen einen geringeren Schlupf aufweist als der

unverdichtete und verdichtete Boden. Durch die Nutzung permanenter Fahrspuren für unterschiedliche Arbeiten und Fahrzeuge lässt sich somit die Flächenleistung erhöhen, beziehungsweise der Kraftstoffverbrauch senken. Zudem verringert sich dadurch der Anteil verdichteter Bodenbereiche, die durch unterschiedliche Spur- und Arbeitsbreiten entstehen. Weiterhin zeigt sich der Einfluss dynamischer Faktoren wie die Zugkraft und der Rollwiderstand auf die Bodenverdichtung [11]. Ein Ansatz zur Verringerung der Bodenverdichtung ist der Einsatz von Raupenfahrwerken, die durch ihre größere Aufstandsfläche den Bodendruck im Vergleich zu äquivalenten Radfahrwerken verringern. Die bei Kurvenfahrt wirkenden Scherkräfte können den Oberboden beziehungsweise den Bestand jedoch abscheren und zusätzlich einen hohen Verschleiß der Bänder auf Asphalt hervorrufen. Groß-Hardt und Korte entwickelten das Smart Traction Fahrwerk, ein Raupenfahrwerk für Anbaugeräte mit einer elektrohydraulischen Achsenkellenkung, das über einen maximalen Lenkwinkel von 19 Grad verfügt. Mit diesem Fahrwerk können die Fahrstrategien spurtreu, spurversetzt und starr ausgeführt und verglichen werden. Zudem besitzt das Smart Traction Fahrwerk einen fünfstufigen hydraulischen Antrieb zur Traktionssteigerung des Gespanns. In drei Versuchsreihen soll das Smart Traction Fahrwerk mit einem aufgebauten Güllebehälter (vgl. **Bild 1**) untersucht und einem vergleichbaren Güllebehälter mit Tandemradfahrwerk gegenübergestellt werden [12].

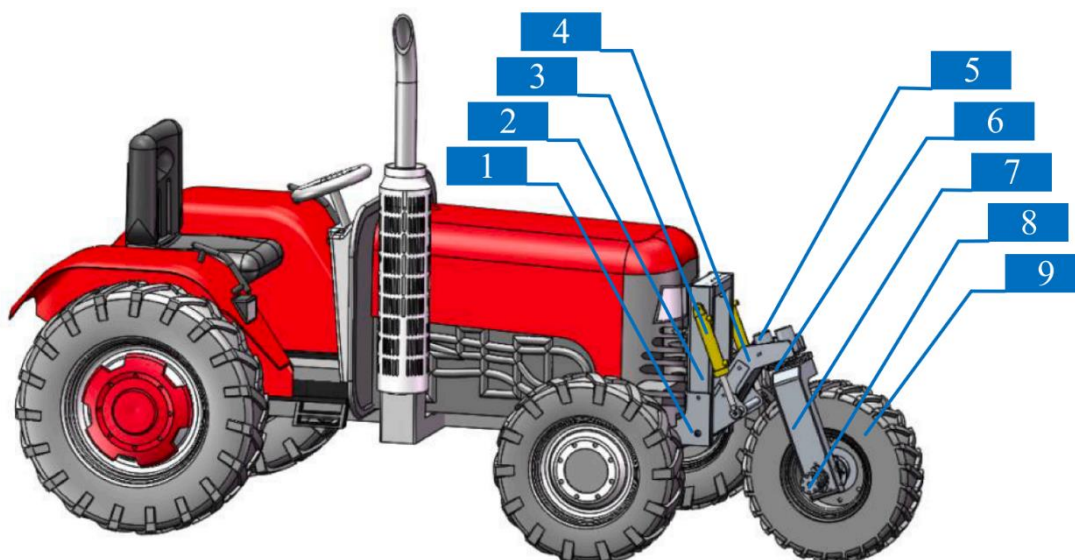


**Bild 1:** Smart Traction Fahrwerk mit aufgebautem Güllebehälter. [12]

**Figure 1:** smart traction chassis and slurry tank. [12]

Themen die in den vergangenen Jahren immer stärker an Relevanz gewonnen haben, sind der Einsatz alternativer Antriebe insbesondere die Elektrifizierung von Teil- und Gesamtsystemen, sowie die Umsetzung und Ausweitung automatisierter Lösungen, vor allem mit dem Be-

streben autonome Systeme zu implementieren. Kleintraktoren sind als Entwicklungsplattformen für Entwicklungen und Erprobungen in diesen Feldern zumeist einfacher zu handhaben. Murillo et al. entwerfen in diesem Kontext ein mathematisches Modell zur Umsetzung der Bahnfolgeregelung eines Traktor-Anhänger-Systems mit Knicklenkung. Im Zusammenspiel mit einer implementierten nichtlinearen, modellprädiktiven Regelung kann vor allem auch die Position des Anhängers geregelt werden und Bahnkurvenabweichungen sowohl im Feldeinsatz als auch im Vorgewende minimiert werden. Untersucht wird der Algorithmus mittels ROS-Framework in Kombination mit der Simulationsumgebung Gazebo. Murillo et al. sehen derartige Traktor-Anhänger-Systeme vorteilhaft für die Präzisionslandwirtschaft auf kleinen Feldern [13]. Ein Lenkunterstützungssystem zur Verringerung von Wenderadien und Fahrwegen im Vorgewende stellen Yang et al. vor. Das 360° drehbare, hydraulisch angetriebene System (s. **Bild 2**) ist ein am Traktor angebrachtes zusätzliches Rad, das über ein Gelenk im Vorgewende abgesenkt werden kann, dadurch die Vorderräder des Traktors anhebt und mit individuellem Lenkwinkel ein Wendemanöver mit geringem Radius umsetzen kann.



**Bild 2:** Schematische Darstellung der hydraulischen Hilfslenkung, 1 - L-förmiger Verbinder, 2 - vertikaler Tragarm, 3 - hydraulischer Hubzylinder, 4 - Hubtragarm, 5 - Hydraulikmotor des Lenksystems, 6 - Lenkuntersetzungsgetriebe, 7 - Vorderradgabel, 8 - hydraulischer Radantrieb, 9 - Hilfsrad, [14]

**Figure 2:** schematic of hydraulic lifting auxiliary steering system, 1 - L-shaped connector, 2 - Vertical support arm, 3 - Lifting hydraulic cylinder, 4 - Lifting support arm, 5 - Hydraulic motor for the steering system, 6 - Steering reduction gear, 7 - Front fork, 8 - Hydraulic motor for the driving system, 9 - Auxiliary wheel, [14]

Yang et al. stellen Simulationsrechnungen sowie Feldversuche vor und zeigen, dass die ungenutzte Feldfläche im Vorgewende, wie auch die Wendezeit und die Fahrstrecke gegenüber konventionellen Wendestrategien signifikant reduziert werden kann. Zudem wird ein Nutzen des Systems für eine effizientere Bewirtschaftung auf kleinen Feldern im Kontext automatisierter Systeme gesehen [14].

Durch eine gezielte Ballastierung von Traktoren kann die Traktion an den Zugkraftbedarf angepasst werden. Bei zeitlich variablen Widerstandskräften stellt eine feste Ballastierung jedoch nur eine suboptimale Lösung dar. Um diesen Umstand aufzulösen, stellen Zhang et al. einen Ballastregelungssystem vor, mit dem die Batterieposition eines elektrifizierten Traktors variabel angepasst und so die Ballastierung dynamisch abgestimmt werden kann. Im Rahmen von Simulationsstudien und Hardware-In-The-Loop Tests zeigen Zhang et al., dass der Laufwerkswirkungsgrad gegenüber dem unballastierten System durch die aktive Positionsanpassung der Batterieposition um 6,6 % gesteigert und der mittlere Schlupf um 10,3 % reduziert werden kann. Bei fester Ballastierung konnte eine Steigerung des Laufwerkswirkungsgrads um 4,7 % und eine Reduzierung des mittleren Schlupfs um 4,9 % erreicht werden. Weiterer Vorteil der aktiven Ballastierung ist das Sicherstellen ausreichender Radaufstandskräfte sowie die Gewährleistung der Fahrsicherheit des Systems [15].

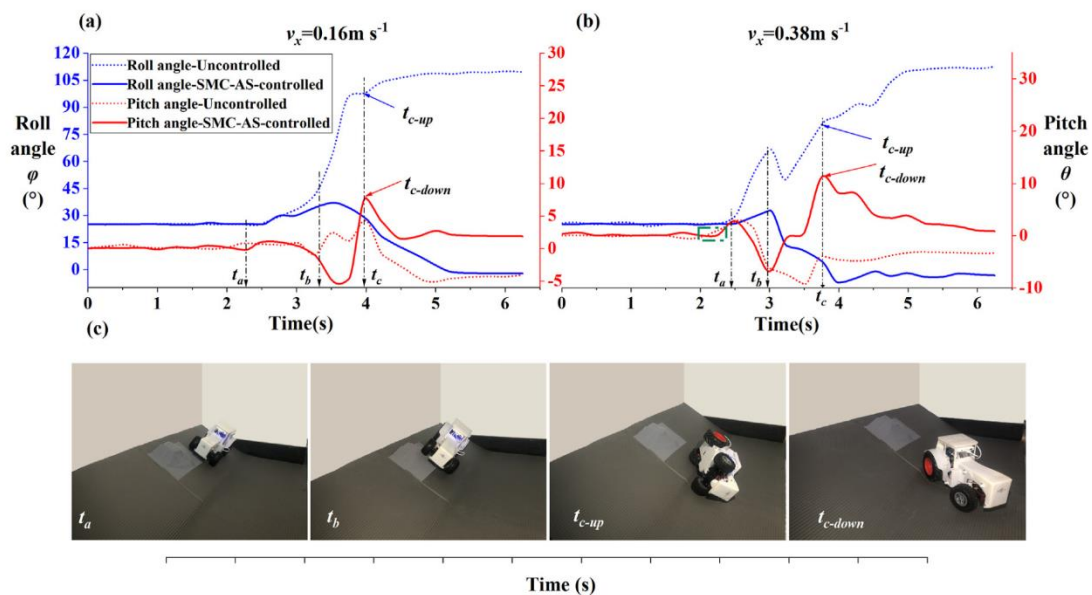
### **Fahrsicherheit**

Untersuchungsgegenstand von Kim et al. sind Unfälle im Zusammenhang mit Landmaschinen und insbesondere Traktoren. Anhand von Versicherungsdaten in Südkorea werden Unfallrisiken und -häufungen ermittelt und ein weitergehender Bedarf an Präventionsmaßnahmen dargestellt, der in besonderem Maße auch für ältere in der Landwirtschaft tätige Personen gegeben ist [16]. Die im Folgenden beschriebenen Fahrsicherheitsuntersuchungen zielen in diesem Kontext darauf ab, Personen- und Materialschäden im Umgang mit Traktoren zu vermeiden. Untersuchungsaspekte umfassen die geeignete Beschreibung von hör- und spürbaren Schwingungen (noise, vibration, harshness - NVH) sowie Maßnahmen, um diese in einem arbeitsschutztechnisch unkritischen Bereich zu halten. Darüber hinaus werden auch Gefährdungen untersucht, die sich im Einsatz durch das Traktorumfeld sowie auch durch fahrdynamische Aspekte ergeben. Insbesondere Kipp- und Überschlagsszenarien sind nach wie vor Gegenstand der aktuellen Forschung.

Aoyagi und Matsui stellen hierzu ein Simulationsmodell vor, mit dem die Nickbewegung von Traktoren evaluiert und im Rahmen einer Regelung der Triebkraft kontrolliert werden kann, um das Kippen von Traktoren zu vermeiden. Die Untersuchungen werden vor dem Hintergrund gehäufeter Traktorunfälle in Japan durchgeführt und ergänzen frühere Veröffentlichungen (z. B. von Watanabe und Sakai [17; 18]) dadurch, dass das Kippen von Traktoren auf Untergründen mit ausreichender Übertragungsfähigkeit von Triebkräften untersucht werden. Das vorgeschlagene Simulationsmodell mit 4 Freiheitsgraden (Vertikal- und Quer- sowie Nick- und Wankbewegungen) wird auf Basis der Topografie eines Unfallorts untersucht. Die Studie zeigt, dass das Nickverhalten durch den Einsatz eines Reglers zur Nickkontrolle auf Basis der Triebkräfte für die untersuchten Rahmenbedingungen verbessert werden kann. Notwendige Ergänzungen sind jedoch Interventionen auf rutschigen Untergründen sowie Maßnahmen zur Erhöhung der lateralen Kippstabilität [19]. Eine Untersuchung der seitlichen sowie rückwärtsgerichteten Überschlagsneigung des Traktors DaeHo RT135 auf festem Untergrund untersuchen Jang et al. In Simulationsstudien wird die Kippneigung anhand von verschiedenen Untergrundneigungswinkeln und Hindernisformen sowie -höhen evaluiert. Das in der Simulationssoftware

RecurDyn erstellte Traktormodell wurde anhand von realen Zertifizierungstests parametrisiert [20]. Kang et al. beschäftigen sich ebenfalls mit der Kippstabilität und den Fahrzeuginsetzungsgrenzen am Beispiel einer Paprika-Erntemaschine mit Raupenlaufwerk im Ernte- und Transporteinsatz [21].

Um ein drohendes seitliches Kippen von Traktoren zu vermeiden, schlagen Song et al. eine gezielte Lenkintervention (active steering - AS) Hangabwärts bzw. dem Hindernis abgewandt vor. Zur Anwendung kommt eine Gleitregimeregulung (sliding-mode control - SMC) die beim Übersteigen eines kritischen Rollwinkels ein Lenkmanöver zur Verringerung desselben ausführt. Song et al. führen Untersuchungen mit verschiedenen Ebenenwinkeln ( $5^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) und Fahrgeschwindigkeiten ( $0,08 \text{ m s}^{-1}$ ;  $0,16 \text{ m s}^{-1}$ ;  $0,38 \text{ m s}^{-1}$ ) in Simulationen und mit einem 1:16 skalierten Testtraktor durch. **Bild 3** zeigt die zeitlichen Verläufe von Roll- und Nickwinkel des Traktormodells bei der Hindernisüberfahrt auf der Ebene mit und ohne aktiver Regelung. Zu erkennen sind die charakteristischen Zeitpunkte ( $t_a$  - Beginn der Hindernisüberfahrt,  $t_b$  - kritische Zunahme des Rollwinkels,  $t_c$  - Ergebnis bedingt durch Aus- bzw. Einschalten der Regelung) zur Evaluation der vorgeschlagenen Lenkintervention.



**Bild 3:** Diagramme der Lageänderung des Modelltraktors ohne sowie unter Anwendung der Regelstrategie; a -  $v_x = 0,16 \text{ m s}^{-1}$ , b -  $v_x = 0,38 \text{ m s}^{-1}$ , c - Fahrzustand des Traktors zu verschiedenen Zeitpunkten. [22]

**Figure 3:** Diagram of the attitude change for the model tractor under different driving conditions under controlled and uncontrolled conditions; a -  $v_x = 0,16 \text{ m s}^{-1}$ , b -  $v_x = 0,38 \text{ m s}^{-1}$ , c - tractor driving state at different time nodes. [22]

Song et al. konnten zeigen, dass Überschlagsszenarien durch den vorgeschlagenen Algorithmus effektiv vermieden werden konnten. Darüber hinaus konnte, sofern eine Überschlagssituation durch die Traktorgeschwindigkeit und den Hangneigungswinkel unvermeidbar war, die

Zeitspanne bis zum endgültigen Kippen durch die Regelung um durchschnittlich 0,44 Sekunden verzögert werden. Dies könnte fahrzeugführenden Personen im Feldeinsatz möglicherweise weitere Handlungsspielräume eröffnen [22]. Zur Vermeidung tödlicher Unfallfolgen im Falle eines Überschlages dienen Bedienerschutzeinrichtungen wie zum Beispiel Überrollschutzsysteme (roll over protective structures - ROPS). In einigen Anwendungsfällen ist auch der Einsatz von zurückklappbaren ROPS erforderlich, zum Beispiel, um geringen Durchfahrts Höhen auf Obstplantagen oder Weinbergen gerecht zu werden. Da das Aktivieren von Überrollschutzsystemen durch bedienende Personen als zeitaufwändig, unangenehm und anstrengend empfunden wird, besteht jedoch die Gefahr, dass diese nicht zum Einsatz kommen, mit zum Teil tödlichen Unfallfolgen. Vigoroso et al. untersuchen einen prototypischen ROPS-Bedienmechanismus mit Gasdruckfeder, der einer rein manuellen Betätigung in Probandenversuchen gegenübergestellt wird. Die Untersuchungen zeigen, dass durch den Bedienmechanismus ungünstige Körperpositionen sowie gefährliche Positionierungen, z. B. auf Heckkraftheber und Zapfwellenabdeckung vermieden werden konnten und so für die bedienenden Personen eine angenehmere Nutzung der Schutzvorrichtung ermöglicht wird [23].

Weitere Gefährdungen gehen von NVH-Phänomenen aus. Choi et al. setzen in diesem Kontext ihre Arbeit aus dem Jahr 2021 fort [24], im Rahmen derer die Geräuschemissionen und das dynamische Verhalten eines Zapfwellenantriebsstrangs aufgrund der Verzahnungstoleranzen von Zahnwellenverbindungen analysiert wird. In Laborversuchen und mittels einer 1D-Dynamiksimulation werden die Auswirkungen einer Variation der Toleranzen in einem Drehzahlbereich von 700-1000 min<sup>-1</sup> untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass das nichtlineare Verhalten der letzten Untersuchung, das Auftreten eines Sprungphänomens der Geräuschemission durch eine veränderte Anregung der Eigenfrequenzen, bestätigt und ferner gezeigt werden konnte, dass die Sprungdrehzahl mit abnehmender Verzahnungstoleranz zunimmt und bei einem Verzahnungsspiel von 0,1 Millimeter verschwindet. Das Phänomen konnte auf die Periodizität der Zahnkollisionen zurückgeführt werden, die sich aufgrund einer 2-Wege-Kollision und resultierender Verstärkung ergibt und oberhalb der Sprungdrehzahl verschwindet [25]. Eine Simulationsstudie zur Analyse der Schwingungen eines Traktors mit Anbaugerät und zur Optimierung der Parameter einer hydropneumatisch gefederten Vorderachse führen Zhang et al. durch. Die Untersuchungen basieren auf einem in Feldversuchen verifizierten Simulationsmodell, mit dem die Vertikaldynamik des Traktors anhand von simulierten Straßenfahrten, Feldwegfahrten und Einsatzfahrten bei der tiefen Bodenbearbeitung beschrieben wird. Zur Beschreibung der auftretenden Kräfte beim Pflügen kommt darüber hinaus die Diskrete-Elemente-Methode (DEM) zum Einsatz. Vorteilhaft äußert sich die hydropneumatische Feder-Dämpfer-Einheit in Bezug auf die Fahrsicherheit bzw. Fahrstabilität während diese für den Fahrkomfort eher negative Auswirkungen besitzt. Weiterhin zeichnet sich eine stärkere Änderung der Kabinen-, Vorderachs- und Arbeitsgerätenregung bei Erhöhung der Bodenbearbeitungsgeschwindigkeit ab, während die Schwingungsantworten von Fahrersitz, Vorderachse und Arbeitsgerät sensibler auf die Bearbeitungstiefe reagieren [26]. Eine prototypische Traktorkabine mit einem hydraulischen System zur Kabinennivellierung und deren Einfluss auf die Übertragung von Körperschallschwingungen bei der tiefen Bodenbearbeitung untersuchen



Pochi et al. in Feldversuchen [27]. Eine weitere Studie von Kat et al. beschäftigt sich mit Wahrnehmungsschwellwerten in Bezug auf die Schwingungsexposition fahrzeugführender Personen im Off-Road Bereich. Untersucht werden die Sitzschwingungen und korrespondierende Schwellwerte in Laborversuchen und in Feldversuchen unter verschiedenen Aufhängungsmodi und Fahrbahnbedingungen [28].

Insbesondere für Fahrsicherheit und Fahrkomfort essentiell ist die Reifen-Bodeninteraktion sowie deren sich ändernde Charakteristik aufgrund verschiedener Abnutzungszustände. Vor diesem Hintergrund untersuchen Becker und Els die Eigenschaften des Radialreifens Trelleborg TM700-280/70R16 in drei unterschiedlichen Stadien der Profilabnutzung (volles Profil, halbabgenutztes Profil, vollständig verschlissenes Profil) und bei unterschiedlichen Reifenfülldrücken zwischen 0,8 bar und 2 bar; um die Federungseigenschaften sowie Fahrsicherheits-, Fahrkomfort- und Leistungsaspekte wie auch die Bodenverdichtung zu analysieren. Auf Basis der Ergebnisse regen Becker und Els eine Berücksichtigung der Nichtlinearität zur Beschreibung der Reifensteifigkeit in Simulationsrechnungen an. Darüber hinaus empfehlen sie Reifenmantelmodelle mit Hilfe verschlissener Reifen zu parametrieren und eine Modellerweiterung anhand neuer Reifen vorzunehmen [29].

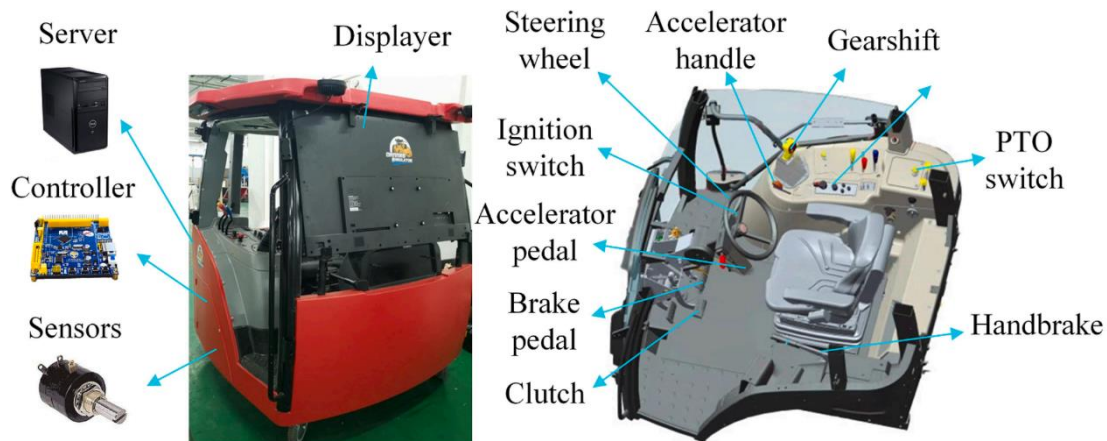
Neben der Auswirkung fahrdynamischer Aspekte können auch Umgebungsbedingungen und Rückwirkungen der landwirtschaftlichen Tätigkeit zu einer Personengefährdung führen. Insbesondere Stäube können eine gesundheitliche Beeinträchtigung von in der Landwirtschaft tätigen sowie unbeteiligten Personen darstellen und darüber hinaus zur Gefährdung durch Verschmutzungen und Sichtbeeinträchtigungen führen. Die Veröffentlichung von Liu et al. beleuchtet die Entstehung und Zusammensetzung von landwirtschaftlichen Stäuben, ordnet deren Gefährdung für fahrzeugführende und arbeitende Personen ein und stellt darüber hinaus Vermeidungsstrategien und Aggregate zur Staubunterdrückung sowie Staubmessung dar [30]. Vor dem Hintergrund der Schutzwirkung und Eignung verschiedener Fahrerinnen nach EN 15695-1/2017 für das Ausbringen von Pflanzenschutzmittel untersuchen Wegener et al. deren Verbreitung und Verwendung in Deutschland im Rahmen einer Umfrage [31].

## **Fahrerplatz**

Im Umfeld des Fahrerplatzes und der Fahrerplatzgestaltung wird die Implementierung hochautomatisierter Systeme sowie autonomer Ansätze weiter vorbereitet und fortgeführt. Für die fahrzeugführenden Personen ergeben sich dadurch neue Herausforderungen und Anforderungen in der Maschinenhandhabung der Aufgabenspektren und der Erfüllung klassischer Tätigkeitsfelder. Um die Komplexität beherrschbar zu machen, sind innovative, intuitive Ansätze und fortschrittliche Assistenzsysteme unerlässlich. Forschungsfragen bewegen sich in diesem Zusammenhang im Spannungsfeld zwischen der Fahrerplatzgestaltung, der Prozessoptimierung und der Arbeitssicherheit.

Zur Evaluierung der Fahrerplatzgestaltung, der Umsetzung von Fahrsicherheitsfeatures und der Untersuchung von Benutzereingaben wird in vielen Fällen auf Simulationsumgebungen und -plattformen zurückgegriffen. Hierdurch lassen sich gewünschte Testszenarien beschleunigen.

nigt untersuchen. Zudem lässt sich durch entsprechende Testumgebungen eine höhere Reproduzierbarkeit von Situationen und Analysedaten gegenüber Feldversuchen erreichen. Zhao et al. stellen eine Versuchs- und Simulationsplattform zur Evaluation von Mensch-Maschine-Interaktionen bei Traktorfahrten vor. Zu diesem Zweck wird eine Traktorkabine als Simulationskabine umgestaltet (s. **Bild 4**). Vorhandene Eingabe- und Bedienelemente werden mit Hilfe eines Mikrocontrollers ausgelesen und mit einer Dynamiksimulation mit 8 Freiheitsgraden in MATLAB/Simulink sowie einem Antriebsstrangmodell in C# und Unity gekoppelt.



**Bild 4:** Landwirtschaftlicher Traktorfahrsimulator: links - Außenansicht, rechts - Innenansicht. [32]

**Figure 4:** Agricultural tractor driving simulator: left - outside, right - inside. [32]

Das zugrundeliegende Simulationsmodell wird mit Hilfe der Simulationsumgebung CarSim validiert. Verwendet wurden ein Kurvenfahrttest mit mehreren, einer Straßenfahrt nachempfundenen Kurven bei 15 km/h, ein Test auf welliger Straße mit einer Amplitude von 0,15 m bei 20 km/h und eine Straßenfahrt mit variierender Querneigung bei 25 km/h Fahrgeschwindigkeit [32]. Bouzard stellt die Möglichkeiten der Abbildung und Evaluierung eines digitalen Zwillings in der Siemens-Simulationsumgebung Simcenter vor. Die Simulation der Umgebungsbedingungen mit möglichen Interaktionen werden neben einer Sensorsimulation und Datenerfassung vorgestellt. Insbesondere die Analyse automatisierter und autonomer Fahr- und Arbeitsprozesse soll so zeiteffizient möglich sein und den Entwicklungsprozess, wie auch die Prüfung mittels realen Prototypen ergänzen [33].

Um reale Testszenarien zu generieren, sind im Bereich automatisierter und autonomer Fahraufgaben geeignete, zertifizierte Prüfobjekte notwendig. Meltebrink et al. schlagen in diesem Zusammenhang einen humanoiden Testdummy vor, um Sensorsysteme autonomer Landmaschinen zu validieren [34]. Zur Umsetzung von automatisierten sowie autonomen Fahraufgaben ist neben der bloßen Objekterkennung und Identifikation darüber hinaus auch die Entscheidung wichtig, ob erkannte Objekte ein Risiko darstellen und es muss ebenso prädiziert werden, ob sich zukünftig Risiken ergeben können. Einen Ansatz stellen Ji et. al mit der Verfolgung mehrerer Objekte (multi object tracking - MOT) im Maschinen- und Arbeitsbereich vor. Die simultane Verfolgung der Objekte erfolgt mit Lidar-, IMU- und RTK-Systemen – mit Hilfe

eines Zustandsautomaten und zwei Schwellwertmechanismen werden Probleme der kombinatorischen Explosion beim MOT umgangen. Anhand des Global Nearest Neighbour Verfahrens und der Annahme, dass sich die verfolgten Objekte mit konstanter Geschwindigkeit bewegen wird ein MOT effektiv ermöglicht [35].

Potenziale zur Entlastung fahrzeugführender Personen ergeben sich durch die Überwachung der Umgebung einerseits sowie auch durch eine Unterstützung oder Teilautomatisierung der Fahrzeug- und Prozessführung andererseits. Mit der Umsetzung von Lenkstrategien befassen sich Miao et al. am Beispiel einer elektrohydraulischen Lenkeinheit. Vorgeschlagen wird für dieses System ein kombiniertes Regelungsverfahren aus Gleitregimeregulation und modellprädiktiver Regelung, um automatisierte und autonome Fahraufgaben zu ermöglichen. Die Performanz des Ansatzes wird in Simulationen und Hardware-In-The-Loop Tests untersucht [36]. Ein auf dem Markt verfügbares, kamerabasiertes automatisches Lenksystem untersuchen Burgers und Vanderwerff in Bezug auf das Stressniveau fahrzeugführender Personen. Das Lenksystem kommt für die Untersuchungen mit einer Feldspritze zum Einsatz und kann gegenüber dem rein manuellen Lenken das Stresslevel der Probanden um durchschnittlich 48 Prozent senken [37].

Ein Tiefenregelungssystem einer Bodenfräse bei der Bearbeitung von Reisstopfeln wird von Zhou et al. entworfen. Auf der Basis eines RTK-Systems, eines Neigungssensors und eines Mikrocontrollerboards kommt ein variabler PID-Regler mit künstlichem neuronalen Netz und Einzelneuron zur Anwendung. Ziel ist die Höhenanpassung des Heckkrafthebers, um Traktorbewegungen auszugleichen und Bodenunebenheiten nachzuführen. Das System soll einen vollautomatisierten Bearbeitungseinsatz ohne fahrzeugführende Person ermöglichen [38]. Weitere Systeme und Untersuchungen zur Nutzerunterstützung werden durch Hecheltjen und Peters [39] sowie auch durch Regler et al. [40] vorgestellt. Einerseits soll die Smartphone-App iQblue auf Basis des MQTT Protokolls dazu dienen, ortsunabhängig Parametrierungen und Einstellungen an Arbeitsgeräten vorzunehmen. Durch die App und die Möglichkeiten der Online- und Ad-hoc Konnektivität werden Einstellungen und Eingabemöglichkeiten von ISOBUS Terminals gespiegelt und somit auch ortsunabhängig möglich [39]. Regler et al. schlagen ein System zur Nutzerunterstützung bei der Terminierung und Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen (digital maintenance assistant - DMA) vor, mit speziellem Bezug zu Zapfwellen. Der Vorschlag basiert auf einer durchgeführten Umfrage zu Nutzeransatz, -verhalten und der Aufgeschlossenheit gegenüber eines DMA. Weiterhin wird die Anwendung vorgestellt und deren Nutzen im Feldeinsatz untersucht. Durch das Assistenzsystem soll die Wartungskomplexität im Rahmen eines breiten Maschinenportfolios handhabbar gestaltet werden [40].

Den Ansatz einer Einsatzdokumentation und schließlich auch der Unterstützung zur ökonomisch optimierten Entscheidungsfindung beleuchten Mattetti et al. Vorgeschlagen und erprobt wird ein Datenlogging und eine damit in Verbindung stehende anwendungsbezogene bzw. aktivitätenbasierte Kostenerfassung (activity-based costing - ABC) von Feldbearbeitungsmethoden. Hierzu werden die CANBUS-Daten sowie Bluetooth-Beacons von Anbaugeräten ver-

wendet, um eine arbeitstechnik- sowie anbaugerätebezogene Kostenermittlung zu ermöglichen. Die beispielhaften Untersuchungen zeigen, dass der Kraftstoffverbrauch sowie der Arbeitskräfteeinsatz 63 %-71 % der Gesamtkosten ausmachen können und dass die Kosten pro Hektar zum Teil sehr variabel sein können. Weiterhin stellen Mattetti et al. heraus, dass in den durchgeführten Versuchen 59 % der Zeit Feldaufgaben erledigt wurden, während Leerlaufzeiten 25 % der verstrichenen Zeit ausmachten. Durch eine genauere Kenntnis und Aufbereitung von Einsatzzeiten und daraufhin anfallender Kosten sollen zielgerichtete Entscheidungen landwirtschaftlicher Unternehmen unterstützt werden [41].

## **Zusammenfassung**

Fortschritte in den Bereichen Fahrndynamik und Fahrsicherheit ergeben sich insbesondere durch zielgerichtete Feldversuche und Datenerhebungen in Kombination mit Aspekt reichen Simulationsmodellen zur geeigneten Beschreibung realer Phänomene. Auf dieser Grundlage werden Optimierungsprobleme formuliert und Regelungsansätze implementiert, mit denen Konfliktfelder geeignet aufgelöst bzw. Kompromisslösungen gefunden werden. In diesem Zusammenhang werden ebenfalls Nischenbereiche eruiert und ressourcen- sowie klimaschonende Ansätze und Technologien fokussiert.

Im Mittelpunkt stehen weiterhin Methoden zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion. Fahrzeugführende Personen werden bei der Bearbeitung komplexer Aufgabenfelder durch Assistenzsysteme unterstützt, die das Traktorumfeld überwachen, Fahraufgaben und Prozessführungen übernehmen, darüber hinaus Dokumentationsaufgaben unterstützen und Entscheidungsfindungen erleichtern. Auf dem Weg hin zu autonomen Systemen werden weitere Teillösungen vorgestellt und Zwischenschritte vollzogen. Personen lassen sich jedoch durch ihre Erfahrungen und Problemlösungskompetenzen bislang weiterhin nicht ersetzen.

## **Literatur**

- [1] Mattetti, M.; Varani, M.; Molari, G.; Fiorati, S.; Lenzini, N.: Feasibility study of an idling-stop device on agricultural tractors – LAND.TECHNIK 2022, 25.02.2022, Online Conference. In: VDI-Berichte 2395, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 529-534.
- [2] Mattetti, M.; Beltramin, A.; Perez Estevez, M. A.; Varani, M.; Renzi, M.; Alberti, L.: Start and stop systems on agricultural tractors as solution for saving fuel and emissions. *Biosystems Engineering* 216 (2022), S. 108-120.
- [3] Zhu, S.; Wang, L.; Zhu, Z.; Mao, E.; Chen, Y.; Liu, Y.; Du, X.: Measuring Method of Slip Ratio for Tractor Driving Wheels Based on Machine Vision. *Agriculture* 12 (2022) H. 292, S. 1-16.
- [4] Mason, G. L.; Vahedifard, F.; Caster, T. J.; Priddy, J. D.: A unified equation for predicting gross traction for wheels on clay over a range of braked, towed, and powered operations. *Journal of Terramechanics* 104 (2022), S. 1-13.
- [5] Janulevičius, A.; Damanauskas, V.: Prediction of tractor drive tire slippage under different inflation pressures. *Journal of Terramechanics* 101 (2022), S. 23-31.

- [6] Askari, M.; Abbaspour-Gilandeh, Y.; Taghinezhad, E.; Hegazy, R.; Okasha, M.: Prediction and optimizing the multiple responses of the overall energy efficiency (OEE) of a tractor-implement system using response surface methodology. *Journal of Terramechanics* 103 (2022), S. 11-17.
- [7] Cheng, Z.; Lu, Z.: Research on Dynamic Load Characteristics of Advanced Variable Speed Drive System for Agricultural Machinery during Engagement. *Agriculture* 12 (2022) H. 161, S. 1-13.
- [8] Polastri, M.; Chiarabelli, D.; Gessi, S.; Martelli, M.; Mucchi, E.; Marani, P.: A Comprehensive Lumped Parameter Approach for the Dynamic Simulation of Agricultural Tractors in Real Operating Conditions. 11th Asia-Pacific Regional Conference of the ISTVS, September 26-28, 2022. In: Proceedings of the 11th Asia-Pacific Regional Conference of the ISTVS, International Society for Terrain-Vehicle Systems.
- [9] Zlenko, S.; Kireev, S.: Influence of hull oscillations on loads in the power train of a crawler vehicle. *Transportation Research Procedia* 63 (2022), S. 911-918.
- [10] Has, Ş.; Flock, S.: Robustere Maschinen durch Test und Simulation. *ATZ Heavy Duty* 15 (2022), S. 32-37.
- [11] Liu, K.; Benetti, M.; Sozzi, M.; Gasparini, F.; Sartori, L.: Soil Compaction under Different Traction Resistance Conditions—A Case Study in North Italy. *Agriculture* 12 (2022) H. 1954, S. 1-23.
- [12] Groß-Hardt, S.; Korte, H.: Smart-Traction - Design and Experimental Set up of a Track and Traction-Regulated Caterpillar-Track Chassis for Agricultural Tractor-Trailer Combinations – AgEng-LAND.TECHNIK 2022. In: VDI-Berichte 2406, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 589-594.
- [13] Murillo, M.; Sánchez, G.; Deniz, N.; Genzelis, L.; Giovanini, L.: Improving path-tracking performance of an articulated tractor-trailer system using a non-linear kinematic model. *Computers and Electronics in Agriculture* 196 (2022), S. 1-10.
- [14] Yang, Y.; Zhang, G.; Chen, Z.; Wen, X.; Cheng, S.; Ma, Q.; Qi, J.; Zhou, Y.; Chen, L.: An independent steering driving system to realize headland turning of unmanned tractors. *Computers and Electronics in Agriculture* 201 (2022), S. 1-11.
- [15] Zhang, S.; Xie, B.; Wen, C.; Zhao, Y.; Du, Y.; Zhu, Z.; Song, Z.; Li, L.: Intelligent ballast control system with active load-transfer for electric tractors. *Biosystems Engineering* 215 (2022), S. 143-155.
- [16] Kim, K.; Kim, H.; Lee, M.; Jung, W.; Choi, D.: Incidence Rates of Agricultural Machine-Related Injuries in South Korea. *International journal of environmental research and public health* 19 (2022), S. 1-11.
- [17] Watanabe, M.; Sakai, K.: Impact dynamics model for a nonlinear bouncing tractor during inclined passage. *Biosystems Engineering* 182 (2019) H. 1, S. 84-94.

- [18] Watanabe, M.; Sakai, K.: Numerical analysis of steering instability in an agricultural tractor induced by bouncing and sliding. *Biosystems Engineering* 192 (2020) H. 5, S. 108-116.
- [19] Aoyagi, Y.; Matsui, M.: Theoretical Verification of Driving Force Control System for the Suppression of the Dynamic Pitching Angle of Tractors. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 15 (2022) H. 1, S. 13-23.
- [20] Jang, M.-K.; Hwang, S.-J.; Kim, J.-H.; Nam, J.-S.: Overturning and rollover characteristics of a tractor through dynamic simulations: Effect of slope angle and obstacles on a hard surface. *Biosystems Engineering* 219 (2022), S. 11-24.
- [21] Kang, S.; Kim, Y.; Park, H.; Woo, S.; Uyeh, D. D.; Ha, Y.: Rollover Safety and Workable Boundary Suggestion of an Agricultural Platform with Different Attachments. *Agriculture* 12 (2022), S. 1-14.
- [22] Song, Z.; Wang, L.; Liu, Y.; Wang, K.; He, Z.; Zhu, Z.; Qin, J.; Li, Z.: Actively steering a wheeled tractor against potential rollover using a sliding-mode control algorithm: Scaled physical test. *Biosystems Engineering* 213 (2022), S. 13-29.
- [23] Vigoroso, L.; Caffaro, F.; Micheletti Cremasco, M.; Cavallo, E.: Improving Tractor Safety: A Comparison between the Usability of a Conventional and Enhanced Rear-Mounted Foldable ROPS (FROPS). *International journal of environmental research and public health* 19 (2022), S. 1-14.
- [24] Choi, C.; Ahn, H.; Park, Y.-J.; Kim, S.-C.; Yu, J.: Dynamic behavior of an agricultural power take-off driveline for rattle noise reduction: Part 1. Effect of spline tolerance on the power take-off rattle noise. *Journal of Terramechanics* 98 (2021) H. 6, S. 7-14.
- [25] Choi, C.; Ahn, H.; Yu, J.; Park, Y.-J.; Lee, J.; Park, J.; Kim, S.-C.: Dynamic behavior of an agricultural power take-off driveline for rattle noise reduction: Part 2. Experimental analysis of rattle noise effect according to spline tolerance level. *Journal of Terramechanics* 101 (2022), S. 33-42.
- [26] Zhang, J.; Yao, H.; Chen, L.; Zheng, E.; Zhu, Y.; Xue, J.: Vibration characteristics analysis and suspension parameter optimization of tractor/implement system with front axle suspension under ploughing operation condition. *Journal of Terramechanics* 102 (2022), S. 49-64.
- [27] Pochi, D.; Fornaciari, L.; Vassalini, G.; Grilli, R.; Fanigliulo, R.: Levels of Whole-Body Vibrations Transmitted to the Driver of a Tractor Equipped with Self-Levelling Cab during Soil Primary Tillage. *AgriEngineering* 4 (2022), S. 695-706.
- [28] Kat, C.-J.; Praet, K.; Dhaens, M.; Els, S.: Ride Comfort Comparison Between Suspension Modes: Input Towards Designing Difference Threshold Experiments During Driving. 11th Asia-Pacific Regional Conference of the ISTVS, September 26-28, 2022. In: *Proceedings of the 11th Asia-Pacific Regional Conference of the ISTVS, International Society for Terrain-Vehicle Systems.*
- [29] Becker, C.; Els, S.: Agricultural tyre stiffness change as a function of tyre wear. *Journal of Terramechanics* 102 (2022), S. 1-15.

- [30] Liu, Y.; Shao, L.; Wang, W.; Chen, J.; Zhang, H.; Yang, Y.; Hu, B.: Study on Fugitive Dust Control Technologies of Agricultural Harvesting Machinery. *Agriculture* 12 (2022), S. 1-22.
- [31] Wegener, J. K.; Ahrens, K.; Molnar, G.; Martin, S.; Röver, M.; Dittmar, S.: Survey about the dissemination of different cabin categories in plant protection of German practice. *Journal of Cultivated Plants* 74 (2022) 9-10, S. 197-204.
- [32] Zhao, X.; Du, Y.; Mao, E.; Zhu, Z.; Song, Z.: Agricultural tractor dynamics simulation research based on a driving simulator with real-time human-machine interaction. *Computers and Electronics in Agriculture* 203 (2022), S. 1-14.
- [33] Bouzard, G.: Effizienzsteigerung von Schwermaschinen durch Simulation. *ATZ Heavy Duty* 15 (2022) H. 3, S. 34-37.
- [34] Meltebrink, C.; Strottdresch, M.; Wegmann, B.; Weltzien, C.; Ruckelshausen, A.: Humanoid test target for the validation of sensor systems on autonomous agricultural machines. *Landtechnik* 77 (2022) H. 3, S. 103-120.
- [35] Ji, Y.; Peng, C.; Li, S.; Chen, B.; Miao, Y.; Zhang, M.; Li, H.: Multiple object tracking in farmland based on fusion point cloud data. *Computers and Electronics in Agriculture* 200 (2022), S. 1-10.
- [36] Miao, H.; Diao, P.; Yao, W.; Li, S.; Wang, W.: Stability Study of Time Lag Disturbance in an Automatic Tractor Steering System Based on Sliding Mode Predictive Control. *Agriculture* 12 (2022), S. 1-22.
- [37] Burgers, T. A.; Vanderwerff, K. J.: Vision and Radar Steering Reduces Agricultural Sprayer Operator Stress without Compromising Steering Performance. *Journal of Agricultural Safety and Health* 28 (2022) H. 3, S. 163-179.
- [38] Zhou, M.; Xia, J.; Zhang, S.; Hu, M.; Liu, Z.; Liu, G.; Luo, C.: Development of a Depth Control System Based on Variable-Gain Single-Neuron PID for Rotary Burying of Stubbles. *Agriculture* 12 (2022), S. 1-16.
- [39] Hecheltjen, H.; Peters, C.: iQblue Go application - Convenient and simple operation of machine functions and machine monitoring via smarphone app – AgEng-LAND.TECHNIK 2022. In: *VDI-Berichte 2406*, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 397-402.
- [40] Regler, F.; Hausmann, F.; Bernhardt, H.; Krueger, M.: Potential and improvement of maintenance efficiency of agricultural machines by a new digital maintenance assistant – AgEng-LAND.TECHNIK 2022. In: *VDI-Berichte 2406*, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 419-428.
- [41] Mattetti, M.; Medici, M.; Canavari, M.; Varani, M.: CANBUS-enabled activity-based costing for leveraging farm management. *Computers and Electronics in Agriculture* 194 (2022), S. 1-9.

### **Autorendaten**

M. Sc. Conrad Klose ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

M. Sc. Daniel Christian Wiest ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer ist Leiter des Fachgebietes Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

#### **Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 27.03.2023

#### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Klose, Conrad; Wiest, Daniel Christian; Meyer, Henning J.: Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2022. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2023. S. 1-16

#### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202301130825-0>

#### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2022/chapter/fahrsicherheit.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.