

Reifen / Reifen-Boden-Interaktion

Stefan Böttinger

Kurzfassung

Unterschiedliche Reifentypen wurden in mehreren Tests miteinander verglichen. Der Einsatz von Raupenlaufwerken wird weiterhin stark diskutiert. Die Bedeutung von Reifendruckregelanlagen wird vielfach betont. Bodendruck und Befahrbarkeit werden in der Forschung verstärkt mit Hilfe von Simulationsmodellen bearbeitet. Mehrere Praxis-Lösungen für die Vorhersage der Befahrbarkeit wurden vorgestellt.

Schlüsselwörter

Traktorreifen, Raupenlaufwerk, Reifendruckregelanlagen, Traktion, Reifenmodell, Bodenmodell

Tyre / Tyre-Soil-Interaction

Stefan Böttinger

Abstract

Different types of tyres have been compared in several tests. The use of crawler tracks continues to be strongly discussed. The importance of tyre pressure control systems is often emphasised. Ground pressure and trafficability are increasingly dealt with in research with the help of simulation models. Several practical solutions for predicting trafficability were presented.

Keywords

Tractor tyres, rubber tracks, pressure control systems, traction, tyre modelling, soil modelling

Markt

Die auf das Frühjahr 2022 verschobene Agritechnica musste aus Pandemiegründen abgesagt werden. Dennoch wurden die Innovationen mit einer Gold- und 16 Silbermedaillen ausgezeichnet. Im Bereich Reifen erhielt Continental für ihr Agro ContiSeal eine Silbermedaille. Auf der Innenseite der Lauffläche von landwirtschaftlichen Reifen ist ein viskoses Polymer aufgetragen. Durchdringt ein spitzer Gegenstand wie ein Nagel oder ähnliches die Lauffläche, dann dichtet das Polymer das Luftleck ab. Es kann weitergefahren werden. Ein Reifenwechsel im Gelände oder auf der Straße ist nicht nötig, er kann später in der Werkstatt erfolgen [1], **Bild 1**.



Bild 1: Durchstichtest an einem Ackerschlepper-Reifen mit Agro ContiSeal [2]

Figure 1: Puncture test on an agricultural tyre with Agro ContiSeal [2]

Drei weitere Silbermedaillen wurden vergeben für Systeme zur Vorhersage der Bodenbefahrbarkeit und der Warnung bei Überschreitung von Schwellwerten. Agtech 2030, eine Ausgründung der Universität Linköping, Schweden, stellte das Compaction Prevention System CPS vor. Dieser Service ermittelt das aktuelle Verdichtungsrisiko eines Feldes und somit die Befahrbarkeit im Voraus. Basis der Berechnungen sind Bodeninformationen (Bodenart, Bodenfeuchte, Bewuchs), das Gewicht und/oder der Kontaktflächendruck des Fahrzeugs [1].

Claas nutzt für die Anzeige des aktuellen Risikos zur Bodenschadverdichtung das Simulationsmodell Terranimo. Auf dem Traktor-Assistenzsystem Cemos wird das Simulationsergebnis aus Bodendaten, aktuellen Achslasten und Reifendrücken angezeigt. Der Fahrer kann Gegenmaßnahmen, wie eine Änderung der Ballastierung oder der Reifendrücke, ergreifen [1].

Rauch und AgriCircle, ein auf Modellierungen mit Fernerkundungsdaten spezialisiertes Unternehmen, berechnen für ihren Terraservice im Voraus die Befahrbarkeit. Genutzt werden eingegebene oder bereits gespeicherte Maschinendaten, die auf Basis von Radarmessungen der

Sentinel-1-Satelliten und von Wetterdaten geschätzte Bodenfeuchte sowie die Bodenstruktur. Daraus wird teilflächenspezifisch die Befahrbarkeit ermittelt und als Karte angezeigt [1].

Die Alliance Tire Group ATG mit den Marken Alliance, Galaxy und Primex wurde von der Yokohama Rubber Company übernommen. Diese bündelt nun in der neuen Unternehmenseinheit Yokohama Off-Highway Tires (YOHT) das Programm der land- und forstwirtschaftlichen Reifen. Die Marken sollen erhalten bleiben, der Firmenname ATG wird aber nicht mehr weitergeführt werden [3].

Rad, Raupe, Bodendruck

Wegen der Düngeverordnung wird ein großer Teil der Gülleausbringung auf das Frühjahr auf verdichtungsanfälligeren Böden verschoben werden. Zur Unterstützung der Landwirte wurde vom Thünen-Institut eine Entscheidungsmatrix entwickelt. Sie verknüpft die standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit mit der mechanischen Belastung der Böden durch Landmaschinen. Dadurch wird die Planbarkeit von Maschineneinsatzzeiten verbessert. Eine Online-Anwendung ist in Arbeit [4].

Bei der Konstruktion der Profile für Traktorreifen muss ein Kompromiss zwischen der Triebkraftübertragung auf dem Feld und dem Komfort bei der Fahrt auf der Straße eingegangen werden [5]. Der Reifen Tractor King von Nokian ist ein Forstreifen, der die große Aufstandsfläche eines Blockprofils mit der guten Traktion eines Ackerstollen-Reifens verbindet. In einem Praxisbericht wird über die Eigenschaften dieses Reifens berichtet. Er besitzt Zwischenstollen, die auch das Risiko zur Beschädigung der Karkasse reduzieren. Er ist kein Reifen für die Straßentransport. Längere Straßenfahrten führen zu einer entsprechenden Wärmeentwicklung. Der für Transport und Ackerarbeit geeignetere Reifen dieses Herstellers ist der Ground King von Nokian [6], **Bild 2**.



Bild 2: Profile des Nokian Tractor King (links) und des Nokian Ground King (rechts), Firmenbilder
Figure 2: Profiles of the Nokian Tractor King (left) and the Nokian Ground King (right), Company pictures

Drei verschiedene Traktorreifen von Michelin wurden im Einsatz untersucht. Alle drei Reifen mit ihren unterschiedlichen Profilen sind für ihren jeweiligen Einsatz sehr gut geeignet, **Bild 3**. Gegenüber dem MachXBib, dem Reifen mit Traktionsprofil, ist der EvoBib um ca. 60 % teurer. Um dessen Vorteile bei der Straßenfahrt und bei dem Feldeinsatz nutzen zu können, ist eine Reifendruckregelanlage notwendig. Es wird betont, dass für alle Reifenmodelle der Einsatz einer Reifendruckregelanlage vorteilhaft ist [7].



Bild 3: Profile des Michelin MachXBib (links), des Michelin RoadBib (mittig) und des Michelin EvoBib (rechts), Firmenbilder

Figure 3: Profiles of the Michelin MachXBib (left), the Michelin RoadBib (center) and the Michelin EvoBib (right), Company pictures

In verschiedenen Beiträgen in Fachzeitschriften werden in praxisnahen Beschreibungen die wichtigsten Grundlagen und neueren Entwicklungen zu Reifen beschrieben. Auf die Notwendigkeit zur Anpassung des Reifendrucks und die Vorteile von Reifendruckregelanlagen wird mehrmals eingegangen [8 - 10].

Bei einem Praxisversuch wurden zwei verschieden breite Reifen mit unterschiedlichen Luftdrücken, Ballastierungen und Traktionsverstärker am zu ziehenden Grubber untersucht. Es zeigte sich, dass der breitere Reifen nur mit reduziertem Luftdruck seinen Vorteil gegenüber dem schmaleren Reifen geltend machen kann. Bei angepasster Ballastierung und niedrigem Luftdruck kann in der besten der untersuchten Varianten eine bis zu 14 % größere Flächenleistung bei reduziertem Schlupf erreicht werden [11].

An dem Beispiel zweier landwirtschaftlicher Großbetriebe werden die Vor- und Nachteile von Zwillings- oder Drillingsbereifung gegenüber Raupenfahrwerken aufgezeigt. Die Mehrfachbereifungen sind kostengünstiger als ein Halbraupenfahrwerk, aber nur für arrondierte Betriebe geeignet. Die Fahreigenschaften des Traktors mit Halbraupe werden als fast vergleichbar mit Radtraktoren bezeichnet. Raupenfahrwerke sind aber nicht nur in der Anschaffung, sondern auch im Unterhalt teurer als Reifen [12].

Auf den Vorteil einer angepassten Ballastierung bei Traktoren wurde schon hingewiesen. Um das An- und Abbauen von Ballastgewichten zu erleichtern und damit das Fahren mit unnötigem Ballast zu vermeiden, wurde das John Deere EZ-Ballast erprobt. Mit diesem System wird innerhalb einer Minute ein Gewicht von 1,7 t unter den Traktor hochgezogen. Die Mehrkosten

gegenüber mitrotierenden Radgewichten lohnen sich durch den geringeren Verbrauch und die reduzierten Rüstzeiten [13].

Forschung und Entwicklung

Experimentelle F & E

Die Einflüsse von Triebkraft und wiederholter Überfahrt auf die Bodenverdichtung sind noch nicht völlig verstanden. Deshalb wurde in einer Untersuchung die Quantifizierung dieser beiden Beanspruchungsarten unabhängig voneinander auf die Bodenstruktur (Dichte, Porosität, Luftdurchlässigkeit) ermittelt. Bei dem reinen Überrollen des Bodens konnte ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Überrollungen und den sich ändernden Bodeneigenschaften festgestellt werden. Nach sechs Überrollungen waren die Bodeneigenschaften ähnlich wie bei der einmaligen Überfahrt eines Traktorrades mit hoher Zugkraft. Die Mechanismen, die zu diesem Verhalten führen, sind nicht klar, da die Ausbreitung horizontaler Spannungen im Boden noch nicht genug verstanden ist. Allerdings wurden die Untersuchungen nur auf einem Feld mit unterschiedlichen Reifen und Lasten für die angetriebenen und für die gezogenen Räder durchgeführt [14].

Michelin hat ein Sensorsystem entwickelt, mit dem im Reifen dessen Deformation ermittelt werden kann. Auf der VDI-MEG Online-Tagung Land.Technik AgEng 2022 wurde präsentiert, wie aus der Echtzeitmessung der inneren Verformung des Reifens beim Eintritt und Austritt aus dem Bodenkontakt relevante Eigenschaften des Oberbodens, wie Wasserhaushalt, mechanische Festigkeit und überrollungsbedingte Verdichtung, geschätzt und kartiert werden können [15], **Bild 4**.

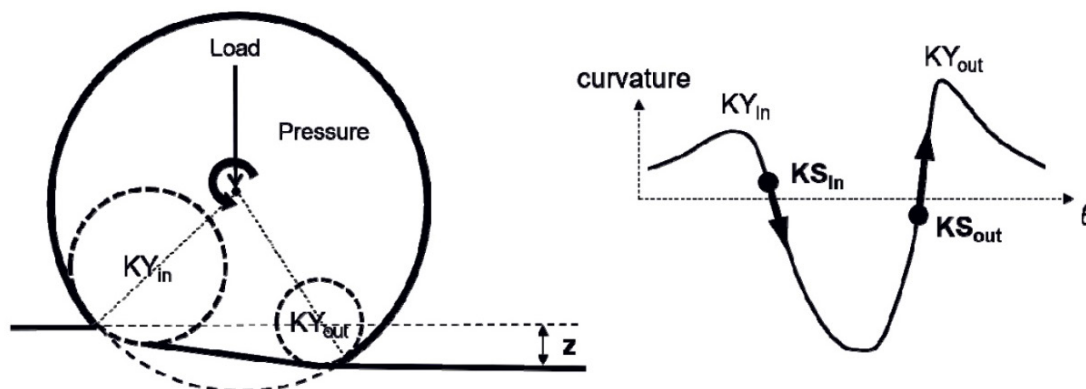


Bild 4: Reifenkrümmung KY und Geschwindigkeit der Krümmungsänderung KS am Ein- und Auslauf der Aufstandsfläche [15]

Figure 4: Tyre curvature KY and speed of curvature change KS at the entry and exit of the contact patch [15]

An der Iowa State University wurde eine neue Labortesteinrichtung zur Untersuchung von Reifen- und Bandlaufwerken auf weichen Böden in Betrieb genommen. Mit ihr kann neben der Triebkraftübertragung auch die Reifen-Boden-Interaktion untersucht werden. Die Einrichtung

ist geeignet für Reifendurchmesser von bis zu 1,2 m und 700 mm Breite. Die Versuchsergebnisse sind auch wichtig zur Parametrierung und Validierung von Modellierungen und Simulationen [16].

Für die meisten Kräfte, die auf ein Fahrzeug wirken, ist der Reifen-Boden-Kontakt verantwortlich. Die direkte Messung der an dieser Schnittstelle auftretenden Kräfte ist schwer möglich. Deshalb wurden an der Universität in Pretoria, Südafrika, mit Hilfe von Dehnmessstreifen punktuell in einem Reifen die Dehnungen im Einsatz gemessen. Ergänzt um eine Stereokamera in dem Reifen konnten die Dehnungen und Verformungen bei dem Einsatz auf einem Rollenprüfstand ermittelt werden. Es wurde ein linearer Zusammenhang zwischen den aufgebrachten Radkräften in vertikaler und in seitlicher Richtung mit den Dehnungen des Reifens ermittelt [17].

Rollwiderstandsmessungen bei Pkw und Lkw werden häufig mit Ausrollversuchen durchgeführt. Die Übertragung dieser Versuchsart auf Traktoren wurde durchgeführt und dessen Praxistauglichkeit nachgewiesen. Versuche mit unterschiedlichen Reifensätzen, Reifenluftdrücken und Ballastierungen wurden durchgeführt. Die ermittelten Rollwiderstände steigen leicht mit der Fahrgeschwindigkeit an. Insbesondere bei geringem Luftdruck ist dieser Effekt zu beobachten. Der Reifenluftdruck zeigte einen nichtlinearen Einfluss auf den Rollwiderstand. Es konnten kaum Unterschiede im Rollwiderstand bei höheren Luftdrücken von 1,6 bis 2,4 bar gemessen werden. Bei diesen Luftdrücken ergaben sich nur minimale Unterschiede durch die Ballastierung [18].

Bei Feldversuchen wurden Einfach-, Doppelt- und Dreifachbereifungen an einem Steiger 580 Traktor sowie an einem Case IH Quadtrac mit 915 mm breiten Raupenlaufwerken miteinander verglichen. Die Einfachbereifung war 1100 mm breit, die Doppelbereifung bestand aus zwei 800 mm und die Dreifachbereifung aus drei 480 mm breiten Reifen, die in den Versuchen mit unterschiedlichen Luftdrücken gefahren wurden. Es wurden der Kraftstoffverbrauch und die Flächenleistung beim Einsatz mit einer 6,7 m breiten Scheibenegge bei verschiedenen Arbeitstiefen ermittelt. Gegenüber dem Mittelwert aller Varianten war der Traktor mit Raupenfahrwerk immer besser. Die verschiedenen Reifenvarianten waren manchmal im Verbrauch, manchmal in der Flächenleistung besser als der Mittelwert [19].

Simulation

Zur Vorhersage der Mobilität von Fahrzeugen auf den weltweit möglichen weichen Böden wird das NATO Reference Mobility Model verwendet. Für genauere Ergebnisse muss dieses Modell neu entwickelt werden. Zuerst wurden die Anforderungen an die Software beschrieben und beispielhafte Simulationen mit einem Software-Prototyp durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass damit die Anforderungen erfüllt werden [20]. Anschließend wurden das NATO Reference Mobility Model und die Software neu entwickelt. In ihr arbeiten einfache und komplexe Terramechanik-Modelle mit Mehrkörpermodellen für unterschiedliche Fahrzeuge zusammen [21].

Das Power-Hop-Phänomen verschlechtert drastisch die Flächenleistung und die Fahrqualität des Traktors. Es kann zu Schäden am Fahrzeug, zur Verletzung des Fahrers und zu Bodenverdichtungen führen. Die Dynamik von Power-Hop ist durch drei typische Elemente gekennzeichnet: ein vertikales Springen oder Hüpfen, die Stick-Slip-Dynamik in Längsrichtung und ein freies Spiel im Gelenk zwischen Traktor und zu ziehendem Gerät. Es wurde ein neuartiges Power-Hop-Modell erstellt, in dem diese nichtlinearen Elemente miteinander verknüpft sind. In der Simulation wurden Parametervariationen durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass Power-Hop eher bei hohen Zugkräften, trockeneren Böden, eher steifen Vorderreifen und eher weicheren Hinterreifen auftritt. Diese Ergebnisse stimmen mit Praxiserfahrungen überein [22].

Zusammenfassung

Weiterentwicklungen der Reifenprofile und Reifenkonstruktionen führen zu spezialisierten Traktorreifen. Das Potential der Reifen kann mit Reifendruckregelanlagen leichter ausgenutzt werden. Raupenlaufwerke zeigen in mehreren Versuchen ihre Vorteile auf. Für die Beurteilung der Befahrbarkeit von Böden sind mehrere beratende Systeme für die Praxis verfügbar.

Literatur

- [1] N.N.: 16 Silbermedaillen für den Fortschritt – Agritechnica 2022. Profi 32 (2022) H. 2, S. 84-88.
- [2] N.N.: Agro ContiSeal -New patented polymer technology against tire punctures. URL: <https://www.continental-tires.com/specialty/agriculture/agricultural-tires-and-technology/agro-contiseal>, Zugriff am: 23.04.2022.
- [3] N.N.: Alliance Tire Group verschwindet. top agrar 50 (2021) H. 2, S. 87.
- [4] Brunotte, J.; Lorenz, M.; Weise, M.: Bodenschonend Fahren - aber wann? Eilbote 69 (2021) H. 14, S. 10-13.
- [5] N.N.: Die Anwendung bestimmt das Profil – Reifenkonstruktionen. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 10–11.
- [6] N.N.: Stabil und durchstichsicher – Nokian Tractor King. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 12-13.
- [7] N.N.: Mit Straßenprofil auf den Acker – System-Vergleich. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 14–17.
- [8] N.N.: Alles rund um Reifen – 9 Antworten auf wichtige Reifen-Fragen. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 4-8.
- [9] N.N.: Die Luft ist raus – Reifendruck-Anpassung. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 22–23.
- [10] N.N.: Breite Puschen für wenig Druck – Neue Bereifung und Reifendruckregelanlage. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 32-35.

- [11] N.N.: Mehr Grip, mehr Fläche, gleicher Verbrauch – Die Zugkraft verbessern. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 18–21.
- [12] N.N.: Kurz und breit oder land und schmal? – Mehrfachbereifung oder Raupenlaufwerk. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 24–27.
- [13] N.N.: Hydraulisch mehr Ballast - schnell und wirksam? – EZ-Ballast Unterflurgewicht. profi Spezial 31 (2021) H. 5, S. 28–31.
- [14] Damme, L. ten; Schjønning, P.; J. Munkholm, L.; Green, O.; K. Nielsen, S.; Lamandé, M.: Soil structure response to field traffic: Effects of traction and repeated wheeling. Soil and Tillage Research 213 (2021), Aufsatz 105128.
- [15] Paturle, A.; Pinet, F.; Duparque, A.; Martin, D.; Tomis, V.; Scheurer, O.; Ugarte, C.; Lefebvre, M.: A tyre integrated sensor to monitor real time soil physical properties. DOI: 10.51202/9783181023952-327. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, S. 327-334.
- [16] N.N.: New soil testing equipment at Iowa state University. Resource 28 (2021) H. 3, S. 14-16.
- [17] Pegram, M. S.; Botha, T. R.; Els, P. S.: Full-field and point strain measurement via the inner surface of a rolling large lug tyre. Journal of Terramechanics 96 (2021), S. 11-22.
- [18] Schwehn, J.; Ernst, V.; Böttinger, S.: Eine praxisoptimierte Methodik zur Messung des Rollwiderstands von Traktorreifen. Landtechnik 76 (2021) H. 4, S. 142-155.
- [19] Klopfenstein, A. A.; Dean, C. R.; Venkatesh, R.; Shearer, S. A.: New Tire Technologies vs. Tracks. VDI-MEG Tagung LAND.TECHNIK AgEng 2022, 25.02.2022. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK 2022, Düsseldorf: VDI Verlag 2022, DOI: 10.51202/9783181023952, S. 335-341.
- [20] Wasfy, T.; Jayakumar, P.: Next-generation NATO reference mobility model complex terramechanics - Part 2: Requirements and prototypeliterature review. Journal of Terramechanics 96 (2021), S. 59-79.
- [21] Wasfy, T.; Jayakumar, P.: Next-generation NATO reference mobility model complex terramechanics - Part 1: Definition and literature review. Journal of Terramechanics 96 (2021), S. 45-57.
- [22] Watanabe, M.; Sakai, K.: Novel power hop model for an agricultural tractor with coupling bouncing, stick-slip, and free-play dynamics. Biosystems Engineering 204 (2021), S. 156-169.

Autorendaten

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger ist Leiter des Fachgebiets Grundlagen der Agrartechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in Stuttgart.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Böttinger, Stefan: Reifen / Reifen-Boden-Interaktion. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022 S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030945-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/reifen-boden.html>

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