Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich: Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang: Agrarwirtschaft

Aus dem Fachgebiet Landtechnik

Prof. Dr. Sandra Rose

Bachelorarbeit

Autonome Traktoren

Technik, Umsetzung und Möglichkeiten für die Landwirtschaft

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science (BSc.)

Vorgelegt von:

Marco Wolmuth

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2019-0540-5

Gutachter 1: Prof. Dr. Sandra Rose

Gutachter 2: Dipl. Ing. Heiko Lehmann

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 2
1.1 Problematik 2
1.2 Zielstellung 3
2 Definition und Erläuterung 3
2.1 Automatisiert und autonom 3
2.2 Klassifizierung nach SAE International 4
2.3 Einordnung der in deutschen Betrieben eingesetzten Traktoren nach SAE Klassifizierung 6
2.4 Notwendige Sensor- und Kameratechnik 7
2.4.1 LiDAR Sensor 7
2.4.2 Radar Sensoren 8
2.4.3 RGB Kameras 8
2.4.4 Hinderniserkennung durch LiDAR und Radar 9
3 Voraussetzungen für den Einsatz autonomer Schlepper 10
3.1 Betriebliche Voraussetzungen 10
3.2 Rechtliche Voraussetzungen 12
3.2.1 Deutsches Recht 13
3.2.2 EU Recht 14
3.2.3 Zusammenfassung 15
4 Hersteller autonomer Traktoren 16
4.1 Case 16
4.1.1 Technische Daten 16
4.1.2 Konzept 19
4.2 New Holland 20
4.2.1 Technische Daten 20
4.2.2 Konzept 21
4.3 Fendt 22
4.3.1 Vorstellung 22
4.3.2 Konzept 23
4.4 John Deere 25
4.4.1 Technische Daten 25
4.4.2 Konzept 26
5 Kostenkalkulation 27
6 Diskussion 30
7 Fazit 33
8 Literaturverzeichnis 34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Technologieeinsatz im Ackerbau 6
Abbildung 2: Punktewolke eines LiDAR Sensors 7
Abbildung 3: An der Gewichtaufhängung montierte Sensoreinheit 8
Abbildung 4: Am Kabinendach montierte RGB Kameras 8
Abbildung 5: Hinderniserkennung durch LiDAR und Radar Sensoren 9
Abbildung 6: Netzabdeckung Deutschland - Vergleich zu anderen EU Staaten 10
Abbildung 7: Zeitplan für die Gesetzgebung autonomen Fahrens 15
Abbildung 8: Autonomer Konzepttraktor Case "Magnum" 16
Abbildung 9: Heckansicht des Schleppers 17
Abbildung 10: Sensoreinheit an der Front 17
Abbildung 11:Autonomer Case Quadtrac bei der Feldarbeit 18
Abbildung 12: Interaktive Benutzeroberfläche 19
Abbildung 13: NH Drive Concept Vehicle im Einsatz T8.410 20
Abbildung 14: Feldeinsatz Fendt Xaver 22
Abbildung 15: Xaver Logistikeinheit 23
Abbildung 16: Xaver ist 1/72-mal so groß wie ein konventioneller Traktor 23
Abbildung 17: Querschnitt der Xaver Maislegeeinheit 24
Abbildung 18: Projekt GridCON im Feldeinsatz 25
Abbildung 19: Neuster autonomer Traktor von John Deere 26
Abbildung 20: Berechnung zum autonomen Traktor 27
Abbildung 21:Berechnung zum hochautomatisierten Traktor 27
Abbildung 22: Tilgungsplan zu Abb. 21 „hochautomatisierter Traktor“ 27
Abbildung 23: Tilgungsplan zu Abb. 20 „autonomer Traktor“ 27
Abbildung 24: Gesamtkosten pro Jahr für hochautomatisierten Traktor 28
Abbildung 25: Gesamtkosten pro Jahr für autonomen Traktor 28
Abbildung 26: Vergleich jährlicher Kosten 29

Kurzfassung

Diese Arbeit behandelt das Thema „Autonome Traktoren“, deren Konzepte, Technik und die damit verbundenen gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen. Hierbei werden verschiedene Landmaschinenhersteller genauer betrachtet. Für ein besseres Verständnis werden dafür einige Begriffe und Kategorisierungen genauer erläutert. Darauf aufbauend wird der Entwicklungsstand der vollautomatisierten Traktoren tiefergehend untersucht. Ergänzend dazu werden auch die Kosten der Technologie mit in das Thema eingebunden. Anschließend folgt eine Diskussion über die Recherchen dieser Arbeit sowie ein Fazit des Themas.

1 Einleitung

1.1 Problematik

In den nächsten Jahren muss ein Landwirt immer mehr Menschen ernähren können. Waren es im Jahr 1990 noch ca. vier Menschen sind es heutzutage schon mehr als 150 (RLV, 2017). Dabei steigt die Erwartung nicht nur in der Quantität, sondern gleichermaßen in der Qualität der Produkte. Das Arbeitspensum der Landwirte steigt stetig. Neue Gesetzesauflagen, Vorschriften und verschärfte Kontrollen erfordern immer genaueres Arbeiten auf dem Feld, sowie bei der Nachbereitung und Dokumentation. Besonders mit Verabschiedung der neuen Düngeverordnung im Jahr 2017 kamen noch einmal einige Stunden Mehrarbeit für den Landwirt hinzu. (Deter, 2017) Um den Anforderungen der Gesellschaft und der Politik gerecht zu werden bedarf es neuer Hilfsmittel und Wege. Aktuell spricht man von der digitalen Landwirtschaft, denn der technische Fortschritt ist in allen Bereichen so präsent wie noch nie: GPS gestützte Lenksysteme, die einen gezielten Einsatz von Dünge- sowie Pflanzenschutzmitteln ermöglichen, Sensoren, die potenzielle Gefährdungen schon frühzeitig erkennen oder sekundenschnell den Bedarf von Düngemitteln berechnen, sowie regulieren und Drohnen zur Begutachtung von Schäden und zur Bestimmung der Ertragserwartungen. Dies ist nur ein Teil dessen, was heute bereits möglich ist. In den letzten Jahren nahm die Digitalisierung in der Landwirtschaft erst richtig Fahrt auf. Das sehr hohe wirtschaftliche Potenzial wirkt sich dabei positiv auf Ökonomie und Ökologie aus. In vielen Bereichen kann der Landwirt durch diese Technologien entlastet werden. Die Erledigung der Feldarbeit ist bislang nur durch gut geschultes Fachpersonal möglich, diese Fachkräfte sind aber aufgrund des sinkenden Interesses an dem Beruf „Landwirt“ schwer zu finden. Laut einer Studie vom „Söstra Institut für sozialökonomische Strukturanalyse“ zum Thema „Fachkräftebedarf in der Landwirtschaft im Land Brandenburg bis 2030“ werden bis dahin 20.000 neue Fachkräfte benötigt. Davon werden maximal 5.000 Stellen besetzt werden können. (Söstra, 2018) Der Schritt zur Landwirtschaft 4.0, die volle Automatisierung und Autonomisierung von Agrarfahrzeugen, ist daher dringend notwendig. (IDG Business Media GmbH, 2018)

1.2 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist die Vorstellung der verschiedenen Konzepte autonomer Traktoren einschließlich deren Leistungsdaten. Die aktuellen gesetzlichen und nötigen technischen Grundlagen sollen dafür genauer betrachtet werden. Eine vereinfachte Kalkulation soll einen groben Überblick über die Kosten eines möglichen Einsatzes autonomer Traktoren im Vergleich zu bisher eingesetzten Maschinen aufzeigen.

2 Definition und Erläuterung

2.1 Automatisiert und autonom

Die Automatik ist eine „Vorrichtung, die einen eingeleiteten technischen Vorgang ohne weiteres menschliches Zutun steuert und regelt“. (Duden, 2019)

Autonom hingegen bezeichnet die Fähigkeit sich Grenzen und Gesetze selbst zu definieren und vom Einfluss Anderer unabhängig zu sein. Selbstständig legen wir unsere Entscheidungen fest. Übertragen auf Traktoren und Fahrzeuge bedeutet dies, dass diese nicht mehr eigenständig gesteuert werden müssen, das heißt ohne Einfluss eines menschlichen Fahrers fahren, steuern oder einparken können. Bei automatisierten Maschinen wird der Fahrer weiterhin bei seinen Handlungen unterstützt wobei autonome Fahrzeuge Entscheidungen anhand der Gegebenheiten treffen. Dabei ist die Begrifflichkeit autonom und automatisiert auch juristisch von Bedeutung. (Daimler, 2019)

2.2 Klassifizierung nach SAE International

Der weltweit agierende Automobilingenieurverband „SAE International“ mit Sitz in den Vereinigten Staaten, hat die Automatisierung von Fahrzeugen in fünf Stufen eingeteilt. Diese Klassifizierung sorgt für Klarheit in der Bezeichnung der verschiedensten Assistenzsysteme.

Die Bezeichnungen lauten wie folgt:

Vollautomatisierung

Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall (autonomes Fahren)

- der Fahrer muss das System nicht überwachen
- vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf
- Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt
- Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen

Hochautomatisiert

Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen

- der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen
- bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert
- Systemgrenzen werden alle vom System erkannt
- das System ist nicht in der Lage aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen

Teilautomatisiert

Das System übernimmt Quer- und Längsführung (für einen gewissen Zeitraum und/ oder in spezifischen Situationen)

- der Fahrer muss das System größtenteils beaufsichtigen
- der Fahrer muss allzeit bereit sein die Führung des Fahrzeuges zu übernehmen

Assistiert

Der Fahrer bedient auf Dauer entweder die Quer- oder Längsführung. Das Gegenteilige wird im gewissen Rahmen vom System ausgeführt

- Fahrer muss System beaufsichtigen
- Fahrer muss allzeit bereit sein zur kompletten Übernahme der Fahrzeugkontrolle

Driver only

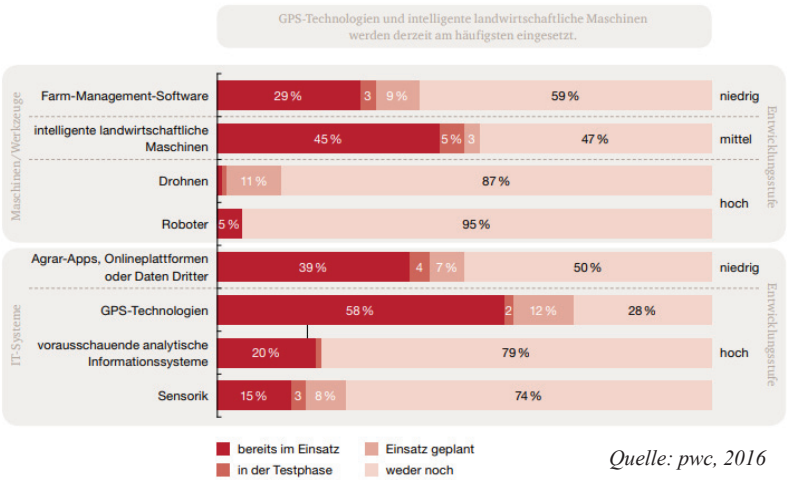
Der Fahrer hat die volle Kontrolle über das Fahrzeug und beeinflusst über die gesamte Fahrt hinweg das Lenken sowie Abbremsen und Beschleunigen

(SAE & NHTSA, 2017)

2.3 Einordnung der in deutschen Betrieben eingesetzten Traktoren nach SAE Klassifizierung

Landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge und Traktoren sind bisher in allen Klassifizierungen außer der Vollautomatisierung vertreten, vom alten Haus- und Hofschlepper in der Kategorie „Driver only“ bis hin zum hochautomatisiert fahrenden und arbeitenden Traktor. In vielen Betrieben ist es bereits Standard, dass der Schlepper über ein GPS gestütztes Lenksystem, „Section Control“ (Teilbreitenabschaltung), Geschwindigkeitsregulierung sowie über Feldgrenzenerkennung verfügt. (pwc, 2016) Der nächste Schritt, die „Vollautomatisierung“, wird in Deutschland schätzungsweise innerhalb der nächsten 10 Jahre erfolgen.

Abbildung 1: Technologieeinsatz im Ackerbau



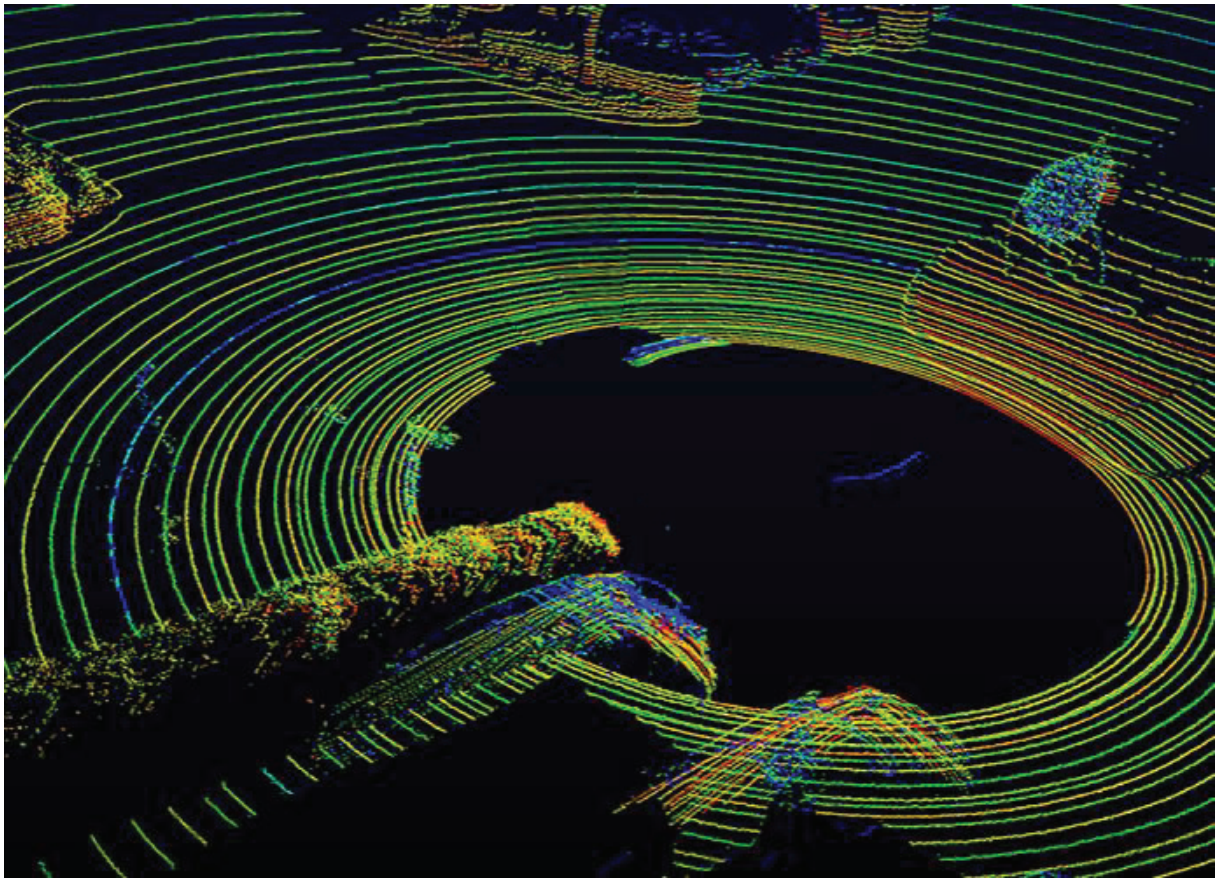
Quelle: pwc, 2016

2.4 Notwendige Sensor- und Kameratechnik

2.4.1 LiDAR Sensor

Das LiDAR-System (Light detection and Ranging) nutzt Lasertechnologie, um dreidimensionale Karten mittels Punkten zu erstellen. So kann die Entfernung eines Objektes, welches in der näheren Umgebung des Traktors ist, erfasst und als „3D Wolke“ dargestellt werden. Die Sensoren arbeiten mit Wellenlängen, die sich außerhalb des sichtbaren Lichtes befinden, der Einsatz ist daher unabhängig von der Tageszeit und den Witterungsbedingungen. Die Funktionsweise ähnelt dabei einem Radar oder Sonar. Statt Radio- bzw. Schallwellen werden Lichtwellen genutzt. Das LiDAR-System berechnet die Dauer vom Aussenden bis zum Reflektieren des Lichtes, pro Sekunde werden dabei ca. 150.000 Impulse ausgesendet. (Level Five Supplies, 2019)

Abbildung 2: Punktewolke eines LiDAR Sensors



Quelle: Level Five Supplies, 2019

2.4.2 Radar Sensoren

Eine Bandbreite dieser Radar-Sensoren (Radio detection and ranging) wird in einem Schutzbehälter am Fronthubwerk des Traktors montiert. Das Radar sendet elektromagnetische Wellen aus und analysiert deren Echo. Je schneller das ausgesandte Signal zurück kommt desto dichter das Hindernis. Wasser und metallische Objekte reflektieren dieses Signal sehr gut. (Planet Schule, 2019)

Abbildung 3: An der Gewichtaufhängung montierte Sensoreinheit

Quelle: youtube.de – „New Holland Autonomous Tractor"; 19.09.2016

2.4.3 RGB Kameras

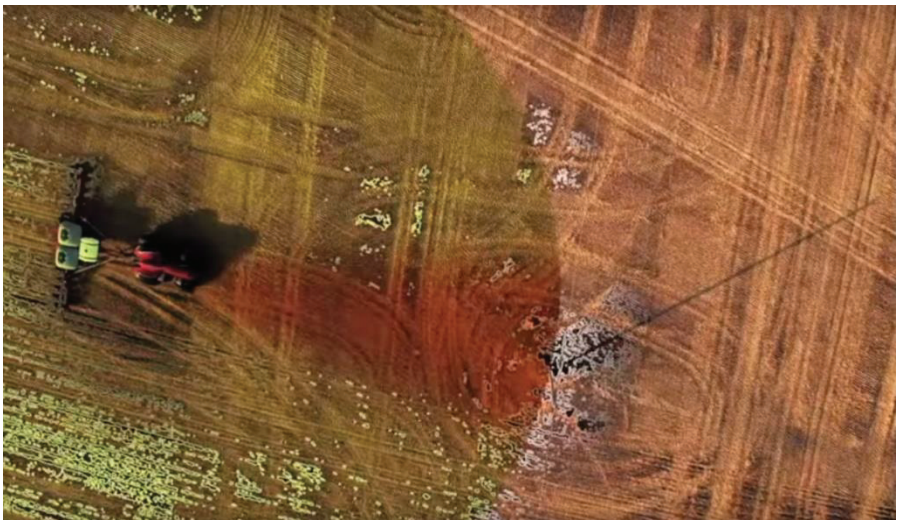
Abbildung 4: Am Kabinendach montierte RGB Kameras

Quelle: youtube.de – „New Holland #NHDrive Concept Autonomous Tractor"; 30.08.2016

Jeweils zwei nach vorne und hinten gerichtete Kameras dienen zur Überwachung des Schleppers. RGB Kameras sind normale Farbkameras, die mit den Lichtfarben Rot, Grün und Blau Bilder aufzeichnen. Diese Bilder werden dann via Livestream auf einen Desktop-Computer oder ein Tablet übertragen.

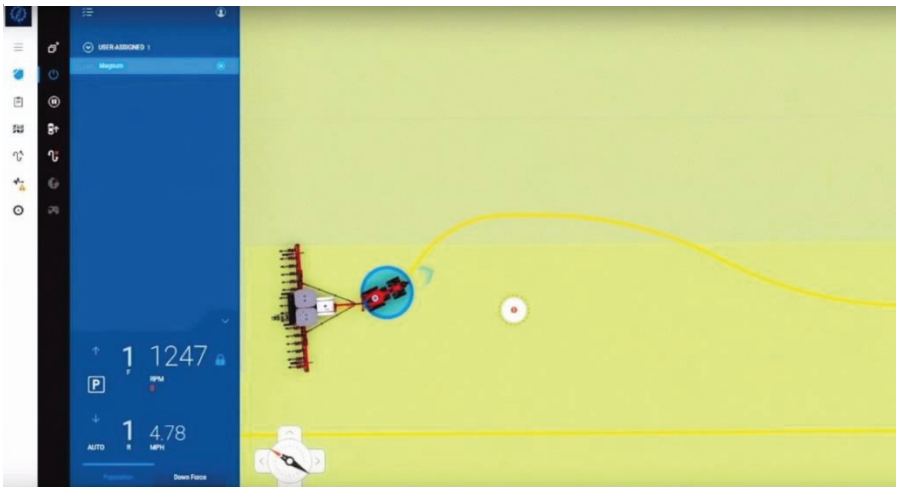
2.4.4 Hinderniserkennung durch LiDAR und Radar

Abbildung 5: Hinderniserkennung durch LiDAR und Radar Sensoren



Quelle: youtube.de – „CASE IH TRAKTORKONZEPT – kabinenloser Magnum Schlepper“; 08.09.2016

Abbildung 6: Ermittlung der optimalen Route um das Hindernis



Quelle: youtube.de – „CASE IH TRAKTORKONZEPT – kabinenloser Magnum Schlepper“ 08.09.2016

Abbildung 7: Durchführung der gewählten Option

Quelle: youtube.de – „CASE IH TRAKTORKONZEPT – kabinenloser Magnum Schlepper“ 08.09.2016

3 Voraussetzungen für den Einsatz autonomer Schlepper

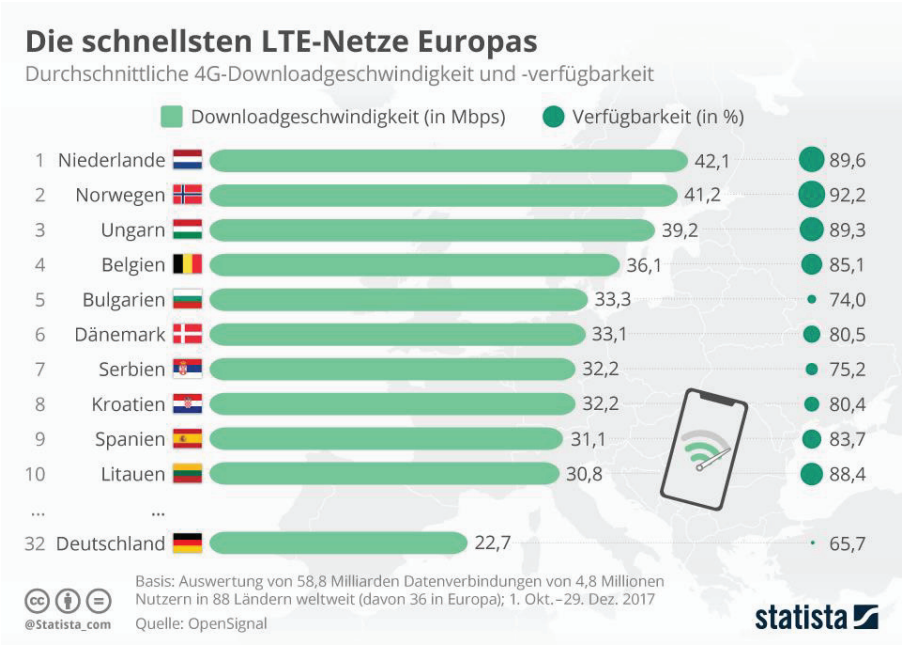
3.1 Betriebliche Voraussetzungen

Um autonome Traktoren im Unternehmen einsetzen zu können benötigt es einer gewissen technischen Grundlage. Die Basis dafür beginnt nicht auf dem Feld, sondern im Büro des Landwirtschaftsbetriebes. Ein Terminal in Form eines Desktop PCs, Laptops oder Tablets mit ausreichend Speicherkapazität und Leistung ist unumgänglich. Zum Verarbeiten, Speichern und Senden der Daten wird ein lokaler bzw. Cloud-Server benötigt. Es ist von Vorteil, wenn das Terminal mit der Ackerschlagkartei verbunden ist. Dies vereinfacht den Austausch von Daten wie Feldarbeiten, Dokumentationen oder Planaufträgen. (BWGV, 2018)

Als Verbindung zwischen Schlepper und Basis ist eine stabile und schnelle Internetverbindung notwendig, da Informationen wie die Bildübertragung oder Maschinenauslastung in Echtzeit vom und zum Schlepper übermittelt werden. Der Traktor muss im Feld stetig überwacht und gesteuert werden können, um Unfälle zu vermeiden. (BWGV, 2018)

In Deutschland ist die Verfügbarkeit des LTE-Netzes aber noch nicht überall Standard, besonders im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, wie man anhand der Abbildung erkennen kann. (Statista, 2018)

Abbildung 6: Netzabdeckung Deutschland - Vergleich zu anderen EU Staaten



Quelle: Statista; 2018

Momentan wird das 5G Netz erstmalig in Deutschland getestet. Das Internet der fünften Generation hat eine Geschwindigkeit von 500 Megabit pro Sekunde. (Vodafone, 2019)

Die zu kommunizierenden Geräte müssen die gleiche „Sprache“ sprechen, um kompatibel miteinander sein zu können. Der „Agrirouter“ von der Firma „DKE-Data GmbH & Co. KG“ ist ein erster Schritt um Maschinen, Terminals und Programme miteinander zu verbinden. Es ist eine cloudbasierte Schnittstelle und dient als Übersetzer zwischen den einzelnen Geräten und Maschinen. (DKE-Data GmBH & Co. KG)

Schlussendlich wird für die Bedienung solch komplexer Softwareanwendungen speziell ausgebildetes Personal benötigt. Neben ackerbaulichen Kenntnissen wird hier auch gutes IT-Wissen von Bedeutung sein.

3.2 Rechtliche Voraussetzungen

Beim „autonomen Fahren“ handelt es sich um die fünfte und zugleich höchste Stufe der SAE Klassifizierung. Die sogenannte Vollautomatisierung ist dadurch gekennzeichnet, dass lediglich für das Starten und Festlegen von Zielen ein menschlicher Eingriff in das System notwendig ist. In einem autonom gesteuerten Fahrzeug der Stufe 5 gibt es keinen Fahrer mehr. Insassen sind lediglich Passagiere.

Das assistierte- und teilautomatisierte Fahren, welches den Stufen zwei und drei der SAE Klassifizierung entspricht, steht bereits mit dem deutschen Verkehrsrecht im Einklang. Dieses wird in der Straßenverkehrsordnung (StVO) und dem Wiener Übereinkommen (WÜ) grundsätzlich geregelt, da in diesen Stufen ein Mensch das Fahrzeug steuert und bedient.

Fahrzeuge der Stufe 3 (hochautomatisiertes Fahren) gestatten es dem Fahrer sich während der Fahrt auf andere Dinge zu konzentrieren und waren daher bis 2016 auf nationaler Ebene unzulässig. Es folgten Rechtsanpassung im Jahr 2016 national sowie 2017 international. Diese erweiterten den Raum für automatisierte Fahrzeuge deutlich. Die Änderung des Wiener Übereinkommens trat am 23. März 2016 für die Bundesrepublik in Kraft. Am 21. Juni 2017 wurden dann die §§ 1a und 1b in das Straßenverkehrsgesetz (StVG) eingefügt. (Deutscher Bundestag, 2018)

Zitat: „Deutschland hat damit als erstes Land das automatisierte Fahren in einem einheitlichen Rahmen geregelt. Das begrüßen wir sehr.“ Renata Jungo Brüngger, Vorstandsmitglied Daimler AG, Integrität und Recht. Durch die Verabschiedung werden Voraussetzungen für hoch- und vollautomatisierte Systeme geschaffen. Das Gesetz regelt allerdings nicht das autonome Fahren. (Daimler, 2019)

3.2.1 Deutsches Recht

Der § 1a Abs. 1 StVG besagt, dass der Betrieb eines Kraftfahrzeuges mit der Stufe 3 und 4 („mittels hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion“) grundsätzlich zulässig ist, wenn die Funktion bestimmungsgemäß verwendet wird. (König, 2017) Während des Betriebs dieser Fahrfunktion darf der Fahrer sich vom Verkehrsgeschehen sowie der Fahrzeugsteuerung abwenden (§ 1b Abs. 1 Halbsatz 1 StVG), muss jedoch „wahrnehmungsbereit“ bleiben. Er muss jederzeit und unverzüglich die Fahrzeugsteuerung übernehmen können, wenn ihn das System dazu auffordert (§ 1b Abs. 1 Halbsatz 2, Abs. 2 Nr. 1 StVG). Folglich muss das System so beschaffen sein, dass es die Erforderlichkeit einer eigenhändigen Fahrzeugsteuerung durch den Fahrzeugführer erkennt und diesem mit einer ausreichenden Zeitspanne auf die Notwendigkeit der Übernahme oder eine der Systembeschreibung zuwiderlaufende Verwendung der automatisierten Fahrfunktion hinweist (§ 1a Abs. 3 i.V.m. Abs. 2 Satz 1 Nr. 4, 5 und 6 StVG). Die automatische Fahrfunktion muss jederzeit durch den Fahrzeugführer manuell übersteuerbar oder deaktivierbar sein (§ 1a Abs. 3 i.V.m. Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 StVG). Der Fahrer ist auch zur Übernahme der Fahrzeugsteuerung verpflichtet, wenn dieser erkennt oder auf Grund offensichtlicher Umstände erkennen muss, dass die Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung der hoch- oder vollautomatisierten Fahrfunktion nicht mehr vorliegen (§ 1b Abs. 2 Nr. 2 StVG). Insoweit hat er ebenfalls wahrnehmungsbereit zu sein (§ 1b Abs. 1 Halbsatz 2 i.V.m. Abs. 2 Nr. 2 StVG). Die automatisierte Fahrfunktion muss so beschaffen sein, dass sie die Bewältigung der Fahraufgabe, einschließlich Längs- und Querführung, sowie die Einhaltung der an den Fahrzeugführer gerichteten Verkehrsvorschriften gewährleistet (§ 1a Abs. 3 i.V.m. Abs. 2 Satz 1 Nr. 1 und 3 StVG). Die hoch- und vollautomatisierten Funktionen müssen gemäß § 1a Abs. 3 Nr. 1 und Nr. 2 StVG aber auch entweder „in internationalen, im Geltungsbereich dieses Gesetzes anzuwendenden Vorschriften beschrieben sein und diesen entsprechen“ oder „ eine Typengenehmigung gemäß Artikel 20 der Richtlinie 2007/46/EG […] erteilt bekommen haben.“ (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2019)

3.2.2 EU Recht

Eine weitere Herausforderung ist es international einheitlich geltendes Recht festzulegen. So setzt sich der Autobauer „Daimler“ für ein international harmonisierten Rechtsrahmen zum automatisierten und autonomen Fahren ein.

Zitat: „Fortschritt darf nicht an nationalen Grenzen Halt machen. Die Gesetzgebung muss mit der technischen Entwicklung Schritt halten, sonst können wichtige Innovationen beim automatisierten und autonomen Fahren nicht auf die Straße kommen. Rechtssicherheit ist eine Voraussetzung für die Akzeptanz des autonomen Fahrens in der Gesellschaft. Daher brauchen wir zügig eine weitergehende internationale Harmonisierung des Rechtsrahmens.“

- Renata Jungo Brüngger

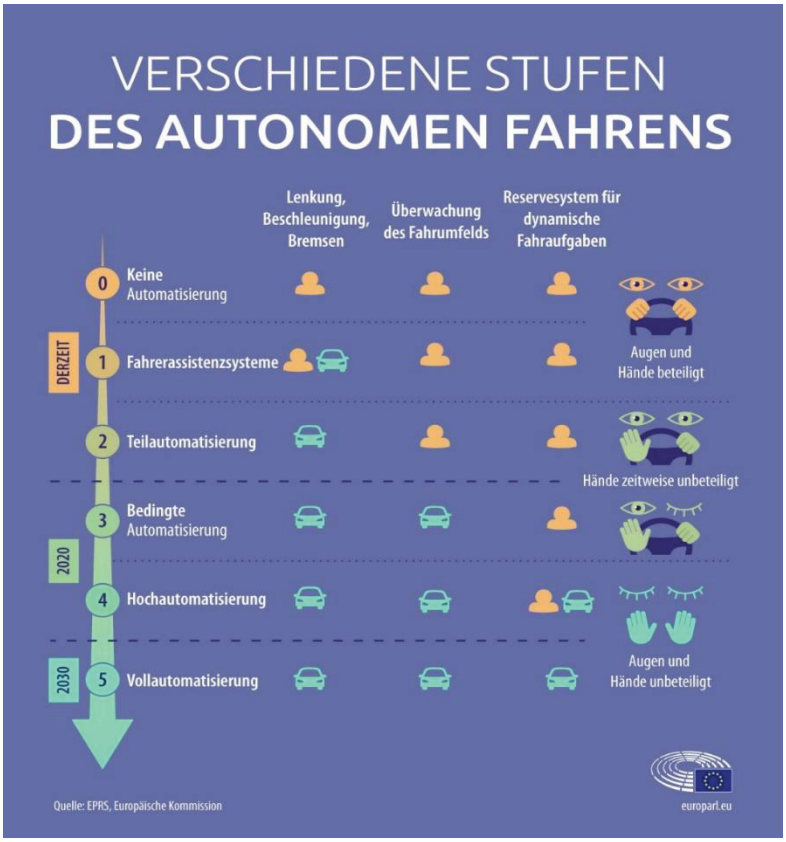
Hinsichtlich der „internationalen […] Vorschriften“ bezieht sich der § 1a Abs. 3 Nr. 1 StVG besonders auf die Vorgaben der Europäischen Union und die Regelungen der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (United Nations Economic Commission for Europe – UN – ECE). (BTDrs, 2017) Die Typengenehmigungs-Richtline 2007/46/EG (Richtlinie, 2007) bezieht sich vielfach auf UN-ECE-Regelungen. (Ungern-Sternberg, 2017) Dies hat zur Folge, dass beide Regelorgane eng miteinander verzahnt sind.

Besonders relevant ist hierbei die UN-ECE-Regelung Nr. 7921 bezüglich Lenkanlagen. BTDrs, 2017) In dieser maßgeblichen Fassung werden „Autonome Lenkanlagen“ ausdrücklich ausgeschlossen. (Ungern-Sternberg, 2017) So ist der Einsatz von „Fahrassistenz-Anlagen“ die vom Bediener jederzeit übersteuerbar sind nur bis zu einer Geschwindigkeit von 12 km/h vorgesehen. (Ungern-Sternberg, 2017) Die Regelung Nr. 79 soll so überarbeitet (BTDrs, 2017) werden, dass jederzeit übersteuerbare automatisierte Lenkanlagen bis zu einer Geschwindigkeit von 130 km/h zulässig sind. (Ungern-Sternberg, 2017) Bis zu Regelungsänderung ist nur die Erteilung einer Ausnahme-Typengenehmigung nach Art. 20 der Richtlinie 2007/46/EG zulässig. (Lange, 2018) Durch diese Vorschrift ist es mit Zustimmung der Europäischen Kommission möglich, eine EG-Typengenehmigung für „neue Techniken oder Systeme“ zu erhalten. Selbst wenn die UN – ECE – Regelungen definierten Anforderungen nicht erfüllt sind. BTDrs, 2017) Die zuständige Behörde für die Erteilung von EG-Typengenehmigungen nach Art. 20 der Richtlinie 2007/46/EG ist in Deutschland das Kraftfahrt-Bundesamt.

3.2.3 Zusammenfassung

- § 1a StVG ebnet den Weg für hoch- und vollautomatisierte Fahrfunktionen
- Potential des vollautomatisierten Fahrens kann nicht ausgeschöpft werden
- Fahrer hat Wahrnehmungsbereitschafts- und Übernahmepflichten
- das autonome Fahren der Stufe 5 wird eindeutig nicht vom § 1a StVG erfasst
- wesentliche Kennzeichnung der Stufe 5 (kein Fahrer) ist nicht mit dem Gesetz konform
- 12 km/h auf baulich vom Verkehr abgetrennte Parkflächen ist erlaubt

Abbildung 7: Zeitplan für die Gesetzgebung autonomen Fahrens



Quelle: Europäisches Parlament, 2019

4 Hersteller autonomer Traktoren

4.1 Case

4.1.1 Technische Daten

Case Magnum

Der Case Prototyp basiert auf dem Modell „Magnum“. Dieses wurde im Jahr 1987 zum ersten Mal veröffentlicht. In den letzten Jahrzehnten wurde die Serie immer weiterentwickelt. Den Schlepper gibt es in der jetzigen Form in vier Ausführungen. (CNH Industrial America LLC., 2019) Die autonome Variante des Case „Magnum“ wurde wie folgt ausgestattet:

Abbildung 8: Autonomer Konzepttraktor Case "Magnum"

Quelle: CNH Industial America LLC., 2019

Motor	FPT Industrial Cursor 9 Motor
	24 Ventilen, Turbolader und Ladeluftkühler
Abgasnorm Stufe	4
Zylinderanzahl	6
Hubraum	8700 cm³
Motorleistung	370 PS
Getriebe	CVXDrive – Stufengetriebe ECO
Max. Geschw.	50 km/h

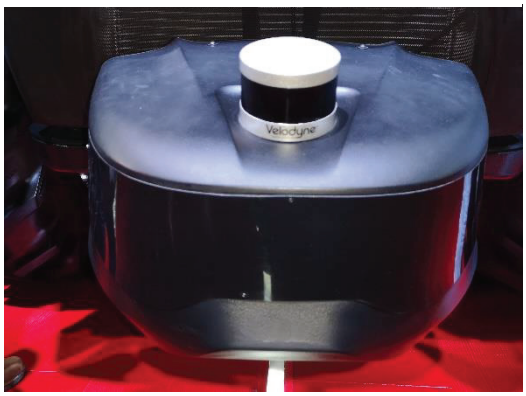
Bedienerinformationen:

- Kritische Betriebsparameter (Kraftstoff, Saatgut/Dünger, Radschlupf)
- Fehlercodes und Warnungen
- Ungültige oder verlorene GPS-Position
- Spurführungsfehler und ungeplante Abweichungen vom definierten Pfad
- Kommunikation zwischen Fahrzeug und Basisstation ist unterbrochen

Sensoren-Technologie:

- LiDAR Sensoren verwenden Lasertechnologie zur Entfernungsmessung und erstellen eine 3D- Punktewolke
- Radargeräte an der Vorderseite erkennen Objekte, die Wasser oder Metall enthalten
- Vorwärts- und rückwärtsgerichtete RGB-Kameras, die ein Liveübertragung gewährleisten

Abbildung 10: Sensoreinheit an der Front



Quelle: eigene Aufnahme Agritechnica, 2019

Abbildung 9: Heckansicht des Schleppers

Quelle: eigene Aufnahme Agritechnica, 2019

Case Quadtrac AFS 580

Der Quadtrac AFS 580 ist ein weiteres Modell aus dem Hause Case. Dieser hat im Gegensatz zum „Magnum“ noch eine Kabine, von der aus manuell gesteuert werden kann. Der Quadtrac ist aber lediglich eine modifizierte Variante des eigentlichen Modells. (CNH Industrial America LLC., 2019)

Abbildung 11:Autonomer Case Quadtrac bei der Feldarbeit

Quelle: CNH Industial America LLC., 2019

Motor	Common-Rail-Dieselmotor mit zweistufigem Turbolader
Abgasnorm Stufe	4
Hubraum	12900 cm³
Motorleistung	589 PS
Getriebe	16 x 2 PowerDrive Volllastschaltgetriebe
Max. Geschw.	37 km/h

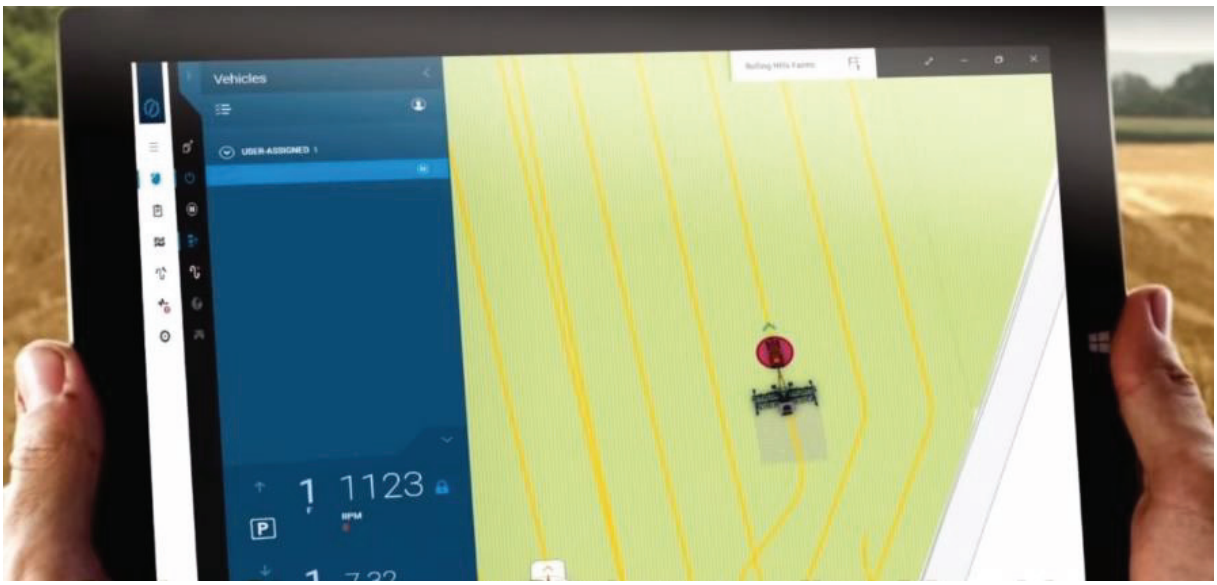
Sensoren-Technologie:

- LiDAR Sensoren verwenden Lasertechnologie zur Entfernungsmessung und erstellen eine 3D- Punktewolke
- Radargeräte an der Vorderseite erkennen Objekte, die Wasser oder Metall enthalten
- vorwärts- und rückwärtsgerichtete RGB-Kameras, die ein Liveübertragung gewährleisten

4.1.2 Konzept

Case hat bereits zwei serienmäßige Modelle zu autonomen Prototypen modifiziert und umgebaut. Diese sogenannten „Case IH Concept Vehicle“, welche im Jahr 2016 der Öffentlichkeit vorgestellt wurden, basieren auf den bereits zuvor genannten Modellen „Magnum“ und „Quadtrac 580“. Beim „Magnum“ wird gänzlich auf eine Kabine zur manuellen Steuerung verzichtet, stattdessen wird er ausschließlich über eine interaktive Benutzeroberfläche gesteuert.

Abbildung 12: Interaktive Benutzeroberfläche



Quelle: youtube.de – „CASE IH TRAKTORKONZEPT – kabinenloser Magnum Schlepper“ 08.09.2016

Beide Prototypen verfügen über Sicht- und Radarsensoren zur Hinderniserkennung, die sich an Front und Heck des Traktors befinden. Bestandteil dieser Technik sind RGB-Kameras, mit denen der Bediener die Maschine per Livestream stetig überwachen kann und GPS Technik zur genauen Positionsbestimmung sowie zum synchronisierten Arbeiten mit anderen Maschinen.

Die Verarbeitung der Daten erfolgt über das mobile Datennetz in Verbindung mit einem Cloudserver. Der Landwirt kann so theoretisch zu jederzeit und von jedem Ort der Welt mit einem Desktop-PC oder einem Tablet auf die Schlepper zugreifen, um Maschinendaten abzurufen, Aufgaben zu bearbeiten oder hinzuzufügen. Erkennt das Überwachungssystem ein Hindernis, hält der Traktor automatisch an. Anschließend erhält der Bediener umgehend eine Benachrichtigung, um eine Entscheidung zu treffen, wie weiter verfahren werden soll.

4.2 New Holland

4.2.1 Technische Daten

NH^{Drive} Concept Vehicle (T8.410)

Beim autonomen Traktor handelt es sich um einen Traktor der Baureihe T8 in der Ausführung 410. Diese Traktoren kamen erstmals im Jahr 2016 auf den Markt. Der sogenannte „NH^{Drive} Konzept Traktor“ ist vollkommen autonom und ist vom herkömmlichen T8.410 optisch kaum zu unterscheiden. (CNH Industrial America LLC, 2019)

Abbildung 13: NH Drive Concept Vehicle im Einsatz T8.410

Quelle: top agrar, 2016

Motor	Cursor-9 FPT Industrial variable-geometry Turbolader Diesel
Abgasnorm Stufe	4
Zylinderanzahl	6
Hubraum	8700 cm³
Motorleistung	409 PS
Getriebe	18 x 4 Ultra Command Volllastschaltgetriebe
Max. Geschw.	50 km/h

Sensoren-Technologie:

- LiDAR Sensoren verwenden Lasertechnologie zur Entfernungsmessung und zum Erstellen einer 3D- Punktewolke
- Radargeräte an der Vorderseite erkennen Objekte, die Wasser oder Metall enthalten
- vorwärts- und rückwärtsgerichtete RGB-Kameras, die ein Liveübertragung gewährleisten

4.2.2 Konzept

Der „NH^{Drive} concept tractor“ basiert auf dem Modell der T8 Baureihe und wurde zum ersten Mal am 30. August auf der „Farm Progress Show“ in den USA präsentiert. Speziell handelt es sich um einen mit Sensortechnik ausgestatteten T8.410, welcher im Gegensatz zum Case Magnum weiterhin eine Kabine besitzt, die vollkommen identisch mit der eines Standard T8s ist. (CNH Industrial America LLC, 2019) Dies bedeutet, dass der Traktor autonom und manuell gesteuert werden kann. So ist der Traktor auch bei Arbeiten nutzbar, die noch nicht vollkommen automatisiert zu realisieren sind, wie beim Be- oder Entladen mit einem Frontlader oder Fahrten auf der Straße. Neben der Feldarbeit kann der Traktor jedoch selbständig zum Einsatzort gelangen. Hierzu werden vorgefertigte Routen, die über Feldwege verlaufen, auf den Traktor übertragen. Es sollte sich dabei aber um Privatwege handeln, um mögliche Gefahren zu vermeiden. Der Benutzer entscheidet also nur zu welchem Feld der Traktor fahren soll und welche Aufgabe dort erledigt werden soll. Die Wahrnehmungs- und Auffassungstechnologie des „NH^{Drive}“ Konzepttraktors kann Hindernisse erkennen, sie beinhaltet LiDAR Laser, Radar Sensoren und RGB Kamerasysteme. Wird ein undefiniertes Objekt im Wahrnehmungsbereich des Traktors entdeckt, wird eine Stoppsequenz eingeleitet. Dann wartet der Traktor auf weitere Anweisungen des Benutzers. Entweder wird das Hindernis entfernt und der Traktor setzt seine bisherige Aufgabe automatisch fort oder es wird eine alternative Strecke vorgeschlagen. Am Feld angekommen wird von der PLM Software die optimale Bearbeitungsroute berechnet. Hierzu werden die Größe und Form des Feldes berücksichtigt. Hindernisse, Telefonmasten, Naturelemente und deren Größe werden ebenfalls einkalkuliert. Die Entwickler planen für die Zukunft Daten von vorherigen Jahren mit zu berücksichtigen, um die Bearbeitung stetig zu verbessern und zu präzisieren. (Lüscher, 2019)

4.3 Fendt

4.3.1 Vorstellung

Nach langjähriger Entwicklung wurde der Schwarmroboter „Xaver“, welcher zunächst unter dem Projektnamen „MARS“ (Mobile Agricultural Robot Swarms) bekannt war, auf der Agritechnica 2016 vorgestellt. In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Ulm und der EU Forschungsförderung haben AGCO und Fendt beschlossen das Projekt bis zur Serienreife weiterzuentwickeln. Der Name „Xaver“ hat für den Maschinenhersteller einen historischen Hintergrund und ist auf den Firmengründer Xaver Fendt zurückzuführen. Dieser gründete zusammen mit seinem Bruder Hermann die Schlepperfabrik „Xaver Fendt & Co“. in den 30er Jahren. (Fendt, 2017)

Abbildung 14: Feldeinsatz Fendt Xaver

Quelle: Fendt, 2017

4.3.2 Konzept

Bei Fendt verfolgt man ein komplett anderes Konzept. Statt großen und schweren Maschinen setzen die Entwickler von AGCO und Fendt auf kleine autonom fahrende Roboter. Das Xaver System besteht dabei aus sechs bis zwölf kleinen Robotern, untergebracht in einer Logistikeinheit. (Fendt, 2017)

Abbildung 15: Xaver Logistikeinheit

Quelle: Fendt, 2017

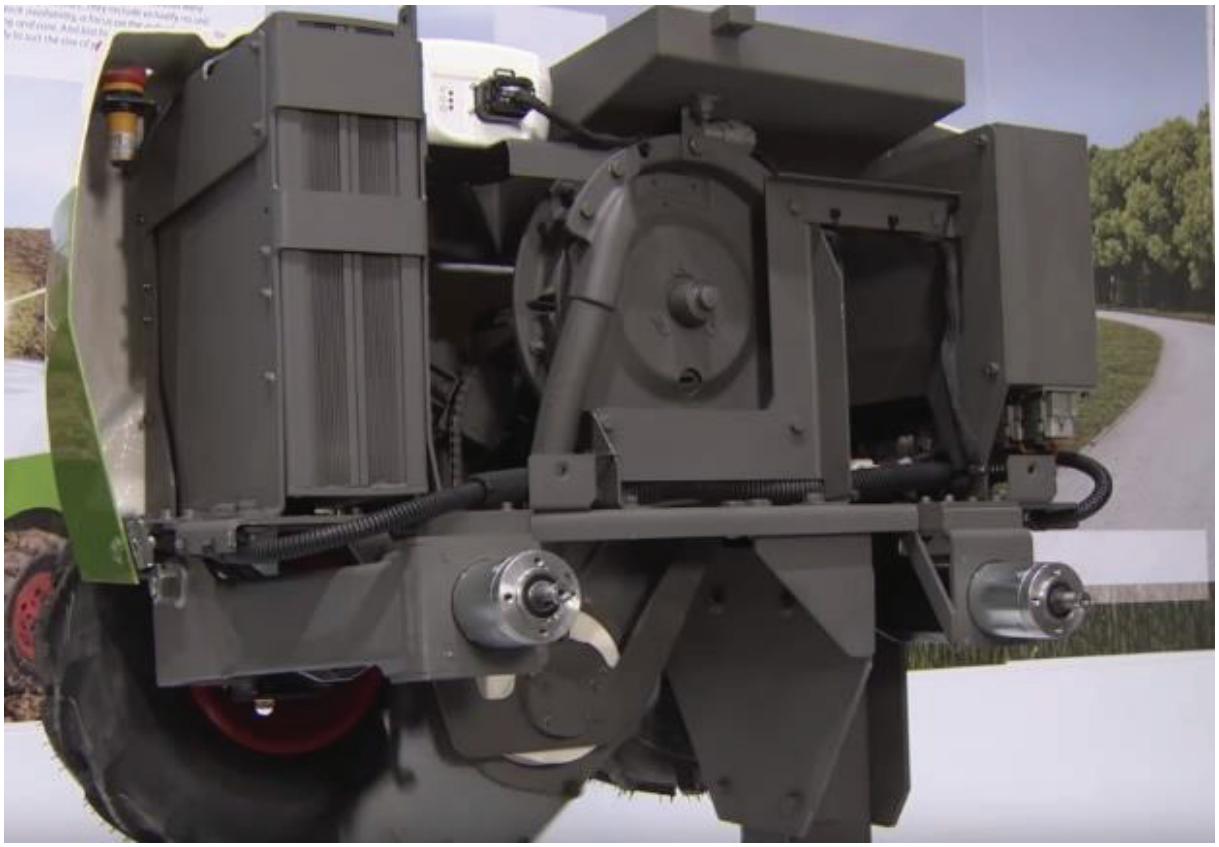
Dadurch dass Xaver 72 Mal kleiner als ein konventioneller Traktor ist, arbeiten diese kleinen Fahrzeuge in Schwärmen, um die Größe und Flächenleistung zu kompensieren. Diese sogenannte „Schwarmtechnologie“ ermöglicht eine präzise Aussaat bei minimaler Bodenbelastung. Jedoch sind die Roboter noch nicht universell einsetzbar. In der aktuellen Entwicklung dienen diese lediglich zum Aussäen von Mais. Jedes einzelne abgelegte Maiskorn soll dabei mit einer GPS Koordinate versehen werden. Durch die genaue Kartierung kann jede Pflanze in späteren Arbeitsschritten gesondert und zielgerecht behandelt werden. Durch eine mechanische Behandlung soll in Zukunft der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden. (Fendt, 2017)

Abbildung 16: Xaver ist 1/72-mal so groß wie ein konventioneller Traktor

Quelle: Fendt, 2017

Koordiniert wird jede einzelne Xaver-Einheit über einen Cloudserver, welcher Informationen per Wifi an die Schwärme überträgt. Die Grundidee von Xaver ist die Vereinfachung meist hoch komplexer Maschinen. Robuste Steuergeräte sowie eine übersichtliche Hardwarestruktur machen diese Roboter äußerst zuverlässig und produktiv. Fällt mal eine Einheit im Schwarm aus, kann eine andere dessen Aufgabe schnell übernehmen und weiterführen. Dadurch wird ein reibungsloser Arbeitsablauf 24 Stunden am Tag sichergestellt. (Fendt, 2017)

Abbildung 17: Querschnitt der Xaver Maislegeeinheit



Quelle youtube.de – „Agritechnica 2017, Tag 2: Fendt Xaver und Fendt Rundballenpresse“; 13.11.2017

4.4 John Deere

4.4.1 Technische Daten

GridCON

Motor	100 kW + 200 kW Elektromotor
Abgasnorm Stufe	CO2 neutral
Zylinderanzahl	-
Hubraum	-
Motorleistung	bis zu 400 PS
Getriebe	stufenlos
Max. Geschw.	20 km/h (autonomer Betrieb)

Abbildung 18: Projekt GridCON im Feldeinsatz

Quelle: iVT, 2019

4.4.2 Konzept

Im Jahr 2016 hat John Deere sein erstes Konzept eines autonomen Traktors vorgestellt, dieser trägt den Namen SESAM (Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery). 2018 erschien dann der Nachfolger, welcher auf dem John Deere 6210R basiert und den Projektnamen GridCON trägt. Neben der Eigenschaft vollkommen selbstständig arbeiten zu können, soll dieser auch CO2 neutral und leistungsstark sein. Um dies zu gewährleisten besitzt der GridCON einen 100 kW Elektromotor. Ein zweiter Anschluss treibt Anbaugeräte mit einem 200 kW Motor an. Insgesamt hat der Traktor damit eine Leistung von bis zu 400 PS (300 KW). Ein derartiger Antrieb hat einen hohen Energieverbrauch, weshalb der Traktor permanent mit einem Stromkabel verbunden ist. Eine Trommel mit einem 1000 Meter langem Kabel wird mittels Ausleger fortlaufend abgerollt und liefert die konstant benötigten 300 kW Strom. Auf dem Feld wird das Kabel je nach Fahrtrichtung automatisch ab- oder aufgewickelt. Ein intelligentes Leitsystem soll verhindern, dass der Traktor nicht über das Kabel fährt. Im Vergleich zu batteriebetriebenen Äquivalenten sind bei diesem Prototyp die Maschinen- und Betriebskosten rund 50 % niedriger. Neben der autonomen Betriebsgeschwindigkeit von 20 km/h kann das Fahrzeug auch mit einer Fernbedienung gesteuert werden. Das Gesamtgewicht beträgt 8,5 Tonnen und entspricht damit annähernd dem eines herkömmlichen Traktors, jedoch mit doppelter Leistung. (iVT, 2019)

Auf der „Agriland“ und „Agritechnica“ wurde vor kurzem ein weiteres autonomes Modell von John Deere vorgestellt. Dieser kabellose Elektrotraktor hat eine Nennleistung von 500 kW (ca. 680 PS). Wie beim GridCON wurde bei dieser Ausführung auf eine Kabine verzichtet. (top agrar, 2019)

Abbildung 19: Neuster autonomer Traktor von John Deere

Quelle: eigene Aufnahme Agritechnica 2019

5 Kostenkalkulation

Der Vergleich soll herausfinden unter welchen Umständen die jährlichen Gesamtkosten eines autonomen Schleppers niedriger sein können als die eines herkömmlichen Traktors.

Die Berechnungen beziehen sich dabei auf den Case „Magnum“ mit einer Nennleistung von 370 PS, den es in beiden Varianten gibt. In seiner hochautomatisierten Ausführung betragen die Anschaffungskosten lt. Listenpreis 350.000 €. (Lange, 2019) Dem entgegen steht das autonome Modell, bei dem Kosten für Sensorik von etwa 100.000 € hinzukommen. (Schwermann, 2019) Die Nutzungsdauer beider Maschinen liegt bei acht Jahren, bei einer Auslastung von 1000 Stunden pro Jahr. (BMF, 2019) Zur Kalkulation wird ein Sollzinssatz von 5 % vorausgesetzt, sowie jährliche Versicherungskosten von 0,5 % der Anschaffungskosten.

Abbildung 20: Berechnung zum autonomen Traktor

Traktorendaten	
Case Magnum 370 PS	
autonom	
Anschaffungskosten	450.000,00 €
Nutzungsdauer in Jahre	8
Maschinennutzung p.a.	1000
Zinssatz in %	5
Versicherung	2.250,00 €

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 21:Berechnung zum hochautomatisierten Traktor

Traktorendaten	
Case Magnum 370 PS	
Standard	
Anschaffungskosten	350.000,00 €
Nutzungsdauer in Jahre	8
Maschinennutzung p.a.	1000
Zinssatz in %	5
Versicherung	1.750,00 €

Quelle: eigene Darstellung

Aus diesen Vorgaben ergeben sich folgende Tilgungspläne:

Abbildung 22: Tilgungsplan zu Abb. 21 „hochautomatisierter Traktor“

Jahr	Restschuld	Zahlung	Zinsen	Tilgung	Restschulden
1	350.000,00 €	61.250,00 €	17.500,00 €	43.750,00 €	306.250,00 €
2	306.250,00 €	59.062,50 €	15.312,50 €	43.750,00 €	262.500,00 €
3	262.500,00 €	56.875,00 €	13.125,00 €	43.750,00 €	218.750,00 €
4	218.750,00 €	54.687,50 €	10.937,50 €	43.750,00 €	175.000,00 €
5	175.000,00 €	52.500,00 €	8.750,00 €	43.750,00 €	131.250,00 €
6	131.250,00 €	50.312,50 €	6.562,50 €	43.750,00 €	87.500,00 €
7	87.500,00 €	48.125,00 €	4.375,00 €	43.750,00 €	43.750,00 €
8	43.750,00 €	45.937,50 €	2.187,50 €	43.750,00 €	0,00 €

Quelle: eigene Darstellung

Jahr	Restschuld	Zahlung	Zinsen	Tilgung	Restschulden
1	450.000,00 €	78.750,00 €	22.500,00 €	56.250,00 €	393.750,00 €
2	393.750,00 €	75.937,50 €	19.687,50 €	56.250,00 €	337.500,00 €
3	337.500,00 €	73.125,00 €	16.875,00 €	56.250,00 €	281.250,00 €
4	281.250,00 €	70.312,50 €	14.062,50 €	56.250,00 €	225.000,00 €
5	225.000,00 €	67.500,00 €	11.250,00 €	56.250,00 €	168.750,00 €
6	168.750,00 €	64.687,50 €	8.437,50 €	56.250,00 €	112.500,00 €
7	112.500,00 €	61.875,00 €	5.625,00 €	56.250,00 €	56.250,00 €
8	56.250,00 €	59.062,50 €	2.812,50 €	56.250,00 €	0,00 €

Abbildung 23: Tilgungsplan zu Abb. 20 „autonomer Traktor“

Quelle: eigene Darstellung

Die jährlichen Fixkosten ergeben sich durch die Gesamtkosten aus Finanzierung geteilt durch die Nutzungsdauer und den Versicherungsaufwand. Reparaturen sowie Ausgaben für Betriebsstoffe fließen als variable Kosten in die Berechnung mit ein. Die variablen Kosten werden mit 7,00 €/h für Reparaturen und 8,60 €/h für Betriebsstoffe kalkuliert. (Uni Hohenheim, 2018) Die Summe der fixen und variablen Kosten ergeben folgende Gesamtkosten pro Jahr:

Abbildung 24: Gesamtkosten pro Jahr für hochautomatisierten Traktor

Fixkosten	pro Jahr
Finanzierung	53.593,75 €
Versicherung	1.750,00 €
Summe FK	55.343,75 €
Variable Kosten	pro Jahr
Reparaturen	7.000,00 €
Betriebsstoffe	8.600,00 €
Summe VK	15.600,00 €
	pro Jahr
Gesamtkosten	**70.943,75 €**

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 25: Gesamtkosten pro Jahr für autonomen Traktor

Fixkosten	pro Jahr
Finanzierung	68.906,25 €
Versicherung	2.250,00 €
Summe FK	71.156,25 €
Variable Kosten	pro Jahr
Reparaturen	7.000,00 €
Betriebsstoffe	8.600,00 €
Summe VK	15.600,00 €
	pro Jahr
Gesamtkosten	**86.756,25 €**

Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der höheren Anschaffungskosten des autonomen Traktors, fallen folglich auch höhere jährliche Gesamtkosten an. Es muss aber berücksichtigt werden, dass für jeden nicht autonomen Traktor ein Fahrer angestellt werden muss. Da autonome Traktoren überwiegend selbstständig arbeiten, ist eine dauerhafte Bedienung nicht notwendig und bindet somit auch weniger Personal. Ein Bediener kann also mehrere im Feld arbeitende Traktoren überwachen.

Die Personalkosten sind somit ein wichtiger Faktor für das Betriebsergebnis und fließen daher folgendermaßen mit in die Berechnung ein. Bei der Kalkulation wird angenommen, dass ein Bediener von autonomen Traktoren, neben dem Wissen eines „normalen" Fahrers über gute IT-Kenntnisse verfügen muss und daher ein höheres monatliches Gehalt erhält.

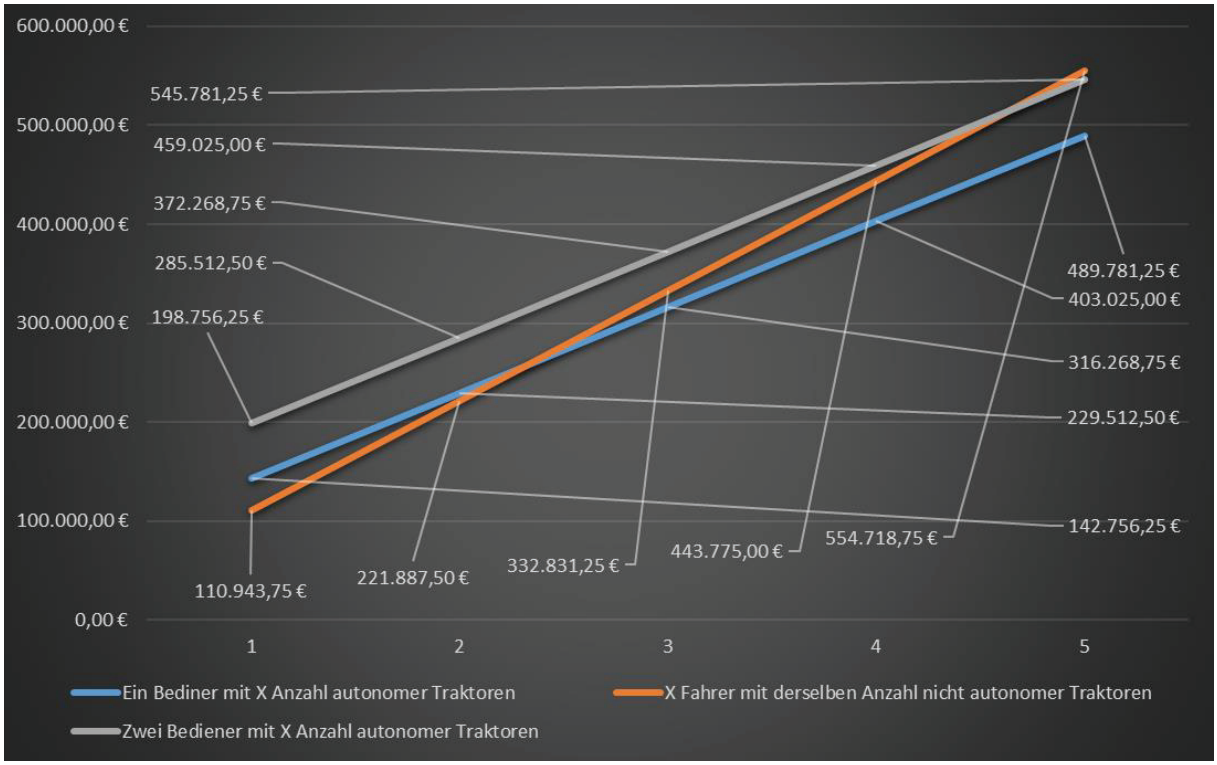
Ein „normaler" Fahrer erhält einen Bruttolohn von etwa 2600 € pro Monat (1975 € netto). (Ausbildung.de, 2019) Demnach fallen für den Arbeitgeber jährliche Personalkosten in Höhe von ca. 40.000 € an. Für einen Maschinenführer von autonomen Traktoren werden in diesem Beispiel 1000 € mehr, also 3600 € pro Monat (2540 € netto) als Grundlage genommen. Dies entspricht jährlichen Arbeitgeberkosten von ca. 56.000 €. (Handwerker Magazin, 2019)

In der folgenden Grafik werden drei Szenarien dargestellt, bei denen die jährlichen Gesamtkosten miteinander verglichen werden.

Die orangene Linie stellt dabei die standardmäßige Konstellation in einem Betrieb dar. Es ist anzunehmen, dass für jeden im Betrieb eingesetzten Traktor ein fest zugeteilter Fahrer eingestellt werden muss.

Die blaue Linie zeigt wie sich die jährlichen Kosten mit zunehmender Anzahl autonomer Traktoren entwickeln. Vorausgesetzt wird, dass ein Bediener bis zu fünf Traktoren gleichzeitig überwachen kann. In der Praxis sind aber mindestens zwei Personen mit ausreichendem Fachwissen notwendig, da z.B. aufgrund von Urlaub oder Krankheit immer eine Vertretung im Betrieb anwesend sein sollte, damit es nicht zu Ausfällen bei wichtigen Arbeiten kommt. Diese Kostenentwicklung wird mit der grauen Linie dargestellt.

Abbildung 26: Vergleich jährlicher Kosten



Quelle: eigene Darstellung

6 Diskussion

Um zunächst einen Überblick über den Stand der Technik autonomer Traktoren zu bekommen werden die Pläne von vier Marken genauer beleuchtet. Bei der Ausarbeitung stellt sich heraus, dass die großen Landmaschinenhersteller Case, New Holland, Fendt und John Deere mit unterschiedlichen Ansätzen bereits seit einigen Jahren an der Entwicklung dieser Schlepper arbeiten.

Der Grundgedanke von New Holland ist ein umgebauter Traktor, der weiterhin manuell steuerbar ist (New Holland Agriculture a brand of CNH Industrial, 2019), während Case (CNH Industrial America LLC., 2019) und John Deere gänzlich auf die Fahrerkabine verzichten und nur noch eine Fernsteuerung zulassen. John Deere setzt dabei auf einen elektrischen Antrieb, dessen Versorgung mittels gezogener Stromkabel sichergestellt wird. (iVT,2019) Kleine ebenfalls elektrisch angetriebene Schwarmroboter stellt hingegen die Firma Fendt vor, sie sollen nur spezifische Aufgaben verrichten und werden von einer künstlichen Intelligenz koordiniert. (Fendt, 2017)

Bei allen Konzepten ist der wichtigste Bestandteil die Sensor- und Kameratechnik, welche eine unfallfreie Arbeit im Feld garantieren soll. Diese Technologie ist derzeit noch sehr aufwändig und folglich mit hohen Kosten von etwa 100.000 € verbunden, was die Serienproduktion schwierig gestaltet. (Schwermann, 2019) Durch den Einsatz der Schlepper kann jedoch Personal eingespart werden, da nicht mehr für jeden Traktor ein Fahrer benötigt wird. Der Einsatz dieser Technologie hat seine Vorteile: Die Maschinen können lange und ohne Pause arbeiten, der Kraftstoffbedarf wird aufgrund optimal berechneter Routen minimiert und der Landwirt bekommt Planungssicherheit, da er auf weniger Arbeitskräfte angewiesen ist.

Um einen Vergleich von hoch- und vollautomatisierten Traktoren darzustellen, wurden eine Kostenkalkulation erstellt. Unter Berücksichtigung der jährlichen Ausgaben für Personal, Reparaturen, Versicherungen und Maschinen stellt sich heraus, dass diese Traktoren die Ökonomie des Betriebes positiv beeinflussen können. Ausgehend von der Annahme, dass ein Bediener mindestens zwei autonome Traktoren steuern und überwachen kann, wird dagegen derzeit in einem Betrieb pro Schlepper ein Fahrer benötigt. Dies führt zum Ergebnis, dass die jährlichen Gesamtkosten ab drei vollautomatisierten Maschinen mit einem Bediener günstiger sind als die übliche Konstellation (ein Fahrer pro Traktor). Es ist jedoch zu beachten, dass die Kalkulation keine genauen Angaben über die letztendlichen Händlerpreise, Gehälter der Maschinenführer und die Kosten zusätzlicher Hard- und Software beinhaltet. Die jährlichen Versicherungskosten werden prozentual vom Anschaffungswert berechnet. Da es noch keine Erfahrungswerte gibt können auch keine Aussagen über die Reparaturkosten getroffen werden, weshalb der Aufwand in diesem Punkt unverändert bleibt. Einerseits werden durch die komplexe Technik die möglichen Fehlerquellen mehr, andererseits fallen aber auch Komponenten wie die Fahrerkabine weg und somit auch deren Reparaturbedarf.

Die Berechnung vergleicht Traktoren, deren Anschaffungswert aufgrund ihrer Motorisierung so hoch ist, dass diese für einen kleinen Betrieb weniger relevant ist. Besonders die Personalkosten sind nicht vorhersehbar, da aktuell noch keine genaue Aussage getroffen werden kann, wie viele autonome Traktoren durch einen Bediener steuer- und überwachbar sind. Zudem werden voraussichtlich spezielle Qualifikationen notwendig sein, um diese Aufgabe zu übernehmen, was somit auch ein höheres Gehalt mit sich ziehen würde. Die Arbeit enthält daher einen geschätzten Wert mit 3600 € brutto pro Monat. In Zukunft könnte sich daraus ein neuer Beruf ergeben, das bedeutet aber auch, dass die Arbeitsplätze der Traktoristen größtenteils abgelöst werden würden.

Praxistests haben eindeutig gezeigt, dass die Traktoren in der Lage sind im Feld vollkommen autonom zu arbeiten. Wahrscheinlich entstehen noch Probleme bei der Überwachung der Anbaugerät. Bei der Ausarbeitung stellte sich heraus, dass bei Arbeiten mit Geräten ohne ISOBUS-Anschluss nur eine aktive Überwachung durch den jeweiligen Bediener möglich ist, weil diese keine Fehlermeldungen an den Traktor senden können. Es gibt keine Warnsensoren die erkennen, wenn sich z.B. ein Erdhaufen vor einem Grubber gebildet hat. (Schwermann, 2019)

Da die Fahrt zum Einsatzort in den meisten Fällen über öffentliche Straßen geschieht, schränkt die Gesetzgebung die Inbetriebnahme vollautomatisierter Traktoren ein. (top agrar, 2017) Um Beschlüsse zum autonomen Fahren zu beschleunigen, hat die „SAE International“ die verschiedenen Automatisierungsstufen klar definiert. (SAE & NHTSA, 2017) Es ist jedoch laut Fahrplan der Europäischen Union erst ab 2030 mit einer rechtlichen Bestimmung zur Vollautomatisierung zu rechnen. Dies ist vor allem wichtig, um die Schuldfragen bei Unfällen eindeutig klären zu können. (Europäisches Parlament, 2019)

Neben den politischen Einschränkungen und hohen Anschaffungskosten für derartige Maschinen kommen auch infrastrukturelle Probleme hinzu. Durch die Recherchen hat sich ergeben, dass die Netzabdeckung in vielen Gebieten noch nicht ausreicht, um eine stabile Verbindung zwischen Bediener und Traktor sicherzustellen. In Deutschland waren bis zum Jahr 2017 gerade einmal 65,7 % des Bundesgebietes mit mobilem Internet abgedeckt. Und auch bei der Übertragungsgeschwindigkeit befanden wir uns zu diesem Zeitpunkt nur auf dem 32ten Platz in Europa. (Statista, 2018) Derzeit wird am Ausbau des mobilen Internets der fünften Generation gearbeitet. Eine der ersten Versuchsanlagen in Deutschland wurde in Mecklenburg-Vorpommern auf der Insel Usedom aufgebaut. Eine lückenlose Abdeckung mit der 5G Geschwindigkeit, würde die Kommunikation zwischen Geräten erheblich verbessern und somit auch den Einsatz auf dem Feld mit autonomen Traktoren zuverlässiger gestalten. (Vodafone, 2019)

7 Fazit

Die in dieser Arbeit vorgestellten Hersteller, Case, New Holland, Fendt und John Deere, haben bereits autonome Traktoren gebaut und in der Praxis getestet. Unter den Landmaschinenherstellern gibt es verschiedene Vorstellungen wie ein vollautomatisierter Traktor aussehen sollte, dies führt folglich zu sehr verschiedenen Konzepten. Die für einen unfallfreien Betrieb notwendige Sensor- und Kameratechnik ist jedoch bei allen Maschinen gleichermaßen nötig. Die Nachfrage nach derartiger Technik ist aufgrund der hohen Kosten und gesetzlichen Beschränkungen noch gering, was eine Serienproduktion momentan unrentabel macht. Die Automatisierung in der Landwirtschaft scheint aber ein unumgänglicher Schritt zu sein, denn der Fachkräftemangel wird in den nächsten Jahren ein großes Risiko für die Betriebe darstellen. Die vereinfachte Kostenkalkulation hat aufgezeigt, dass der Einsatz autonomer Traktoren, unter beschriebenen Umständen, durchaus kostengünstiger sein kann.

Abschließend ist zu erwähnen, dass es sich bei dem Thema „Autonome Traktoren“ um eine Zukunftsvision handelt. Die Hersteller enthalten der Öffentlichkeit noch viele Informationen vor. Aufgrund der Komplexität dieses Themas empfiehlt es sich daher den Entwicklungsprozess autonomer Traktoren in ähnlichen Studien weiter zu begleiten. Es gibt noch viele ungeklärte Fragen, die erst mit Erscheinen serienmäßig gebauter autonomer Traktoren geklärt werden können. Wie wird die gesellschaftliche Akzeptanz dieser fahrerlosen Maschinen sein und kann diese Technologie dem Fachkräftemangel entgegenwirken? Welches der in dieser Arbeit genannten Konzepte wird sich in Zukunft am Markt etablieren können?

8 Literaturverzeichnis

BTDrs. – Gesetzesentwurf 18/11300 S.13 ff
Online verfügbar unter:
https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/113/1811300.pdf
abgerufen am 16.11.2019

Bundesministerium für Finanzen – „Afa Tabellen“
Online verfügbar unter:
https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Landwirtschaft-und-Tierzucht.html
abgerufen am 20.11.2019

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz – „Straßenverkehrsgesetz“
Online verfügbar unter:
https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/
abgerufen am 01.10.2019

BWGV – „Landwirtschaft 4.0 Stand und Perspektiven“
Online verfügbar unter:
https://www.wir-leben-genossenschaft.de/de/Landwirtschaft-4-0-Stand-und-Perspektiven-5654.htm
abgerufen am 08.11.2019

CNH Industrial America LLC. – „Automation“
Online verfügbar unter:
https://www.caseih.com/northamerica/en-us/innovations/automation
abgerufen am 07.06.2019

CNH Industrial America LLC. – „Technische Daten“
Online verfügbar unter:
https://www.caseih.com/emea/de-de/Pages/Comparison.aspx?family=Tractors&series=107
abgerufen am 02.09.2019

Daimler – „Automatisiertes und Autonomes Fahren“
Online verfügbar unter:
https://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/rechtlicher-rahmen.html
abgerufen am 07.10.2019

Deter, Alfons, Redakteur TopAgrar – „Landwirte müssen immer mehr Zeit für Bürokratie aufwenden“
Online verfügbar unter:
https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/landwirte-muessen-immer-mehr-zeit-fuer-buerokratie-aufwenden-9605281.html
Stand: 11.08.2017
abgerufen am 17.06.2019

Deutscher Bundestag – „Autonomes und Automatisiertes Fahren auf der Straße – rechtlicher Rahmen“
Online verfügbar unter:
https://www.bundestag.de/resource/blob/562790/c12af1873384bcd1f8604334f97ee4b9/wd-7-111-18-pdf-data.pdf
abgerufen am 07.10.2019

DKE-Data GmbH & Co.KG – Agrirouter
Online verfügbar unter:
https://my-agrirouter.com/en/
abgerufen am 26.11.2019

Duden – „Definition Automatik“
Online verfügbar unter:
https://www.duden.de/rechtschreibung/Automatik
abgerufen am 02.09.2019

Europäisches Parlament – „Selbstfahrende Autos in der EU: Since Fiction wird Realität“
Online verfügbar unter:
https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20190110STO23102/selbstfahrende-autos-in-der-eu-science-fiction-wird-realitat
abgerufen am 10.10.2019

Fendt – „Fendt schickt neuen Roboter „Xaver“ aufs Feld“
Online verfügbar unter:
https://www.fendt.com/de/fendt-xaver
abgerufen am 20.10.2019

Handwerk Magazin – „Personalkosten einfach berechnen: Was Mitarbeiter kosten“
Online verfügbar unter:
https://www.handwerk-magazin.de/personalkostenrechner/150/516/32766
abgerufen am 20.11.2019

IDG Business Media GmbH – „Was sie über Landwirtschaft 4.0 wissen müssen“
Online verfügbar unter:
https://www.computerwoche.de/a/was-sie-ueber-landwirtschaft-4-0-wissen-muessen,3544215
abgerufen am 13.09.2019

iVT – International Vehicle Technology – „John Deere develops fully electric, autonomous tractor“
Online verfügbar unter:
https://www.ivtinternational.com/news/agriculture/john-deere-develops-fully-electric-autonomous-tractor.html
abgerufen am 18.11.2019

König, Carsten, Die gesetzlichen Neuregelungen zum automatisierten Fahren, in: NZV 2017 S. 123 ff.
„Eine bestimmungsgemäße Verwendung läge z.B. nicht vor, wenn die automatische Fahrfunktion vom Hersteller nur für den Einsatz auf der Autobahn vorsieht, der Fahrer sie aber auch auf der Landestraße verwendet“

Lange, Gunter – Vertrieb Firma Wüstenberg
Persönliche Kommunikation des Autos mit Gunter Lange. Schwanbeck, 18. November 2019

Lange, Ulrich, Automatisiertes und autonomes Fahren – eine verkehrs-, wirtschafts- und rechtspolitische Einordnung, in: NZV 2017, S. 345 ff.

Level Five Supplies – „LiDAR: How Does It Work?“
Online verfügbar unter:
https://levelfivesupplies.com/lidar-how-does-it-work/
abgerufen am 22.10.2019

Lüscher – „NH^{Drive}-Konzepttraktor“
Online verfügbar unter:
http://www.landtech.ch/Neues/NHDrive-Konzepttraktor-.htm
abgerufen am 10.04.2019

National Ocean Service – „What is LIDAR?“
Online verfügbar unter:
https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html Stand: 25.06.2018
abgerufen am: 15.09.2019

New Holland Agriculture a brand of CNH Industrial, 2019 – „Genesis T8 Series“
Online verfügbar unter:
https://agriculture.newholland.com/nar/en-us/equipment/products/tractors-telehandlers/genesis-t8-series-tier-4b
abgerufen am 09.09.2019

Planet Schule – „Funktionsweise Radar“
Online verfügbar unter:
https://www.planet-schule.de/sf/multimedia-interaktive-animationen-detail.php?projekt=radar
abgerufen am 17.09.2019

pwc – „Quo vadis, agricola? Smart Farming: Nachhaltigkeit und Effizienz durch den Einsatz digitaler Technologien“
Online verfügbar unter:
https://www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/assets/smart-farming-studie-2016.pdf
abgerufen am 14.11.2019

RICHTLINIE 2007/46/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmenrichtlinie) (ABl. L 263 vom 9.10.2007, S. 1), zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2017/2400 der Kommission vom 12. Dezember 2017 (ABGl. L 349 vom 29.12.2017, S. 1). – Zum Reformprozess auf europäischer Ebene, bei dem unter anderem die Richtlinie durch eine Verordnung ersetzt werden soll, vgl. Europäische Kommission [2018] passim, insbesondere S. 6 Fn. 16.

RLV – „Ein Landwirt ernährt heute 155 Mitbürger“
Online verfügbar unter:
https://www.rlv.de/presse/beitrag-presse/detail/ein-landwirt-ernaehrt-heute-155-mitbuerger/
abgerufen am 27.08.2019

SAE & NHTSA – „Autonomous Driving Overdrive in 2018“
Online verfügbar unter:
https://medium.com/@Unfoldlabs/autonomous-driving-shifting-to-overdrive-in-2018-1b4c44235a2d
abgerufen am 27.05.2019

Schwermann, Peter – Produktmanager CNH
Persönliche Kommunikation des Autors mit Peter Schwermann Schwanbeck, 20. November 2019

Statista – „Die schnellsten LTE-Netze Europas“
https://de.statista.com/infografik/12986/schnellste-lte-netze-europas/
abgerufen am 10.11.2019

Söstra Institut für sozialökonomische Strukturanalyse – „Fachkräftebedarf in der Landwirtschaft im Land Brandenburg bis 2030“

Online verfügbar unter:
https://mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/Fachkraeftestudie-Landwirtschaft2030.pdf
abgerufen am 07.06.2019

top agrar – „Das ist der autonom elektrische Traktor von John Deere“
Online verfügbar unter:
https://www.topagrar.com/technik/news/das-ist-der-autonom-elektrische-traktor-von-john-deere-11895623.html
abgerufen am 24.11.2019

top agrar – „Autonome Traktoren weisen den Weg in die Zukunft“
Online verfügbar unter:
https://www.topagrar.com/technik/news/autonome-traktoren-weisen-den-weg-in-die-zukunft-9378553.html
abgerufen am 22.11.2019

top agrar – „New Holland NHDrive: Autonomer Traktor für die Zukunft der Landwirtschaft“
Online verfügbar unter:
https://www.topagrar.com/technik/news/new-holland-nhdrive-autonomer-traktor-fuer-die-zukunft-der-landwirtschaft-9243486.html
abgerufen am 15.10.2019

Ungern-Sternberg, Antje von, Völker- und europarechtliche Implikationen autonomen Fahrens, in: Oppermann, Bern H./Stender-Vorwachs, Jutta (Hrsg.), Autonomes Fahren, Rechtsfolgen, Rechtsprobleme, technische Grundlagen, 2017, S. 294 ff.

Uni Hohenheim – „Maschinenkosten Kalkulation“
Online verfügbar unter:
https://projekte.uni-hohenheim.de/i410a/etloes.def/makost.htm
abgerufen am 20.11.2019

Vodafone – „5G auf Usedom: Hotel, Wasserschloss Mellenthin surft mit der neuen Mobilfunk-Generation“
Online verfügbar unter:
https://www.vodafone.de/newsroom/netz/vodafone-5g-auf-usedom/
abgerufen am 16.11.2019

youtube.de – New Holland Agriculture „New Holland #NHDrive Concept Autonomous Tractor“
Online verfügbar unter:
https://www.youtube.com/watch?v=OnoER4Ooxaw – Bildausschnitt bei 2:04 Minuten
abgerufen am 14.10.2019

youtube.de – RealAgriculture „New Holland Autonomous Tractor“
Online verfügbar unter:
https://www.youtube.com/watch?v=hN_fAhs6hwM – Bildausschnitt bei 2:28 Minuten
abgerufen am 14.10.2019

youtube.de – EDER Profitechnik „CASE ICH „TRAKTORKONZEPT – kabinenloser Magnum Schlepper“
Online verfügbar unter:
https://www.youtube.com/watch?v=oA6_VEcBZQQ – Bildausschnitte bei 0:53; 1:17; 1:24; 1:26 Minuten
abgerufen am 15.10.2019

youtube.de – FendtTV „Agritechnica 2017, Tag 2: Fendt Xaver und Fendt Rundballenpressen“
Online verfügbar unter:
https://www.youtube.com/watch?v=DbFWh_jb8UY – Bildausschnitt bei 1:00 Minuten
abgerufen am 30.09.2019

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Marco Wolmuth, erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema „Autonome Traktoren“ selbstständig und ohne Benutzung anderer als angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.
Die Arbeit wurde bisher in gleicher und ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Neubrandenburg, den 10.12.2019 _____

(Prüfungsort, Abgabetermin) Marco Wolmuth