

Hochschule Weihenstephan – Triesdorf
Abteilung Triesdorf
Fakultät Landwirtschaft, Lebensmittel und Ernährung
Studiengang Agrartechnik

Bachelorarbeit

**Studie zum Aufbau und zur Funktion aktueller Traktoren,
abgeleitet aus der Entwicklungsgeschichte**

Eingereicht von: Louis Benner
Betreuer: Prof. Dr. Ulrich Groß
Tag der Abgabe: 25.03.2024

Problemstellung:

Die Branche der Landwirtschaft ist seit ihrem Ursprung mit einem hohen Arbeits- und Personalaufwand verbunden. Die kontinuierliche Entwicklung von Innovationen in der Landtechnik verfolgt seither das Ziel die Produktivität sowie die Effizienz des Gesamtprozesses zu steigern und somit den Arbeitskraftbedarf in der Landwirtschaft zu senken. Um dieses Potential der Technik vollständig zu nutzen, ist es von essenzieller Bedeutung, den Aufbau, die Funktion und das Einsatzspektrum zu definieren. So bildet die vorliegende Arbeit das Bindeglied zwischen der Technik und der ausgeführten Praxis in der Landwirtschaft. Ziel ist es, den Studierenden die einzelnen Komponenten der Technik zu erläutern und das Potential dieser aufzuzeigen.

Gliederung:

Die vorliegende Arbeit stellt die Entstehungsgeschichte und Entwicklung des Traktors dar. Mithilfe einer strukturierten Systematik werden verschiedene Traktorbauarten klassifiziert.

Der erste Teil behandelt somit den geschichtlichen Werdegang des Traktors von den Anfängen der Landwirtschaft bis heute. Die Punkte 1.1. bis 1.3. behandeln die dem Traktor zugrunde liegenden Mechanisierungsschritte und stellen die Notwendigkeit der Weiterentwicklung dieser da. Unter Punkt 1.4. ist der universell einsetzbare Standardtraktor aufgeführt. Anhand der Entwicklung des Standardtraktors werden unter Punkt 1.5. grundlegende Meilensteine, bis hin zur speziellen Ausstattungsvariante moderner Traktoren, hinsichtlich ihrer Funktion und dem substanziellen Nutzen für die Branche dargestellt. Die fundamentale PowerPoint-Präsentation, verortet die einzelnen Meilensteine der Traktorgeschichte zeitlich mittels fortlaufend dargestelltem Zeitstrahl.

Die unter Punkt 2. aufgeführte Traktorsystematik klassifiziert die verschiedenen Traktorbauarten nach Aufbau, Eigenschaften und Funktion. Grundlegend wird zwischen Rad- und Raupenschleppern differenziert. Weitere Unterkategorien bilden sich durch verschiedene Lenkungsarten und unterschiedliche Einsatzgebiete der Schlepper.

Punkt 3. gewährt einen Ausblick in die Zukunft des Traktors. Anhand zwei verschiedener Modelle namenhafter Landtechnikersteller werden autonome Traktorsysteme dargestellt. Abschließend wird die Rolle von künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft in Diskussionsform aufgegriffen.

Inhaltsverzeichnis

1. Geschichtlicher Werdegang.....	5
1.1. Ochsen- und Pferdegespanne.....	6
1.2. Dampfbetriebene Traktoren.....	6
1.3. Motorflug.....	7
1.4. Standardtraktor.....	8
1.5. Meilensteine	8
1.5.1. Verbrennungsmotor	8
1.5.2. Alternative Antriebe.....	9
1.5.3. Traktorbauweisen	11
1.5.4. Anhängervorrichtung.....	12
1.5.5. Luftbereifung	14
1.5.6. Traktorheckhydraulik.....	15
1.5.7. Traktorhydraulik	17
1.5.8. Load-Sensing.....	18
1.5.9. Zapfwelle.....	19
1.5.10. Sicherheitsbügel-Verdeck-Vollkabine	20
1.5.11. Bremsanlage.....	22
1.5.12. Pneumatik.....	24
1.5.13. Getriebe	24
1.5.14. Elektronik	27
1.5.15. ISOBUS	28
1.5.16. GPS-Steuerung	28
1.5.17. Flottenmanagement & Betriebssoftware.....	30
1.5.18. Vorgewende Management.....	30
1.5.19. Tractor-Implement-Management	31
1.5.20. Maschinenoptimierungssysteme	32
1.5.21. Section Control	32
1.5.22. Online-Kundenportale.....	34
2. Traktorsystematik.....	34
2.1. Radschlepper	35
2.2. Raupenschlepper	39
3. Aussicht in die Zukunft.....	40

4. <i>Abbildungsverzeichnis</i>	43
5. <i>Literaturverzeichnis</i>	44

1. Geschichtlicher Werdegang

Die landwirtschaftliche Arbeit ist von Grund auf mit einem hohen Arbeits- und Personalaufwand verbunden. Unvorhersehbare Umweltereignisse und kurze Erntezeiträume erschweren die Situation der Landwirte. Um den körperlich anstrengenden Tätigkeiten entgegenzuwirken, wurde bereits früh erkannt, dass Ochsen- und Pferdegespanne die Arbeit erleichtern. Es wird von Anfang an das Ziel verfolgt, die Produktivität sowie Effizienz des Gesamtprozesses zu steigern und gleichzeitig den Arbeitskraftbedarf im Sektor der Landwirtschaft zu senken. So konnte durch den Einsatz von Tiergespannen die Schlagkraft erhöht und die Komponente Mensch entlastet werden.

Die Erfindung der Dampfmaschine löste die tierischen Helfer in der Landwirtschaft ab. Allerdings sind Mechanisierungen in der Größe einer Dampfmaschine nur für große Betriebe erschwinglich. Abgeleitet von dem Pflugprinzip der Dampfmaschinen (Abbildung 1), welche einen Pflug mittels Seilwinde hin und her zogen, entstand der Motorpflug. Die von dem Gasmotoren Hersteller Deutz entwickelte Pfluglokomotive mit Verbrennungsmotor, machte das Pflügen mit nur einer Maschine möglich. (Eggert, 2000)



Abbildung 1 Lokomobile beim Pflügen mittels Seilwinden (Karl Eduard, 2015)

Durch die leichtere Bauweise im Vergleich zu den Dampfmaschinen konnten die Felder gut befahren werden. Allerdings brachte der Motorpflug keine universelle Einsatzmöglichkeit mit sich und wurde deshalb zügig durch den Standardtraktor verdrängt. Der US-amerikanische Hersteller „Hart-Parr“ fertigte im Jahr 1906 die ersten Benzintraktoren in Serienproduktion und etablierte somit den Begriff des Traktors. (Wikipedia, 2024)

Zeitgleich wurde der Zwei-Takt-Glühkopfmotor durch die Engländer Hornsby und Akroyd entwickelt. Dieser sogenannte „Vielkraftstoffmotor“ konnte mit verschiedenen kostengünstigen Kraftstoffen betrieben werden. (Theißen, 2024)

Somit wurde ein weiterer Schritt in Richtung Produktivitäts- und Effizienzsteigerung vollzogen. Der 1893 von Rudolf Diesel erfundene Dieselmotor fasste in der Traktorenbranche erst später Fuß. In den 1920er Jahren gelang der Durchbruch des

Dieselmotors aufgrund des höheren Wirkungsgrades gegenüber dem Ottomotor.
(Heureka, 2024)

Nun ist der Dieselmotor seit über 100 Jahren eine wichtige Komponente der Traktorgeschichte. Diese wurde mit dem Ziel der Leistungsoptimierung und Reduktion von CO₂-Emissionen stetig weiterentwickelt.

Allerdings wird der Dieselmotor heute zu Tage, aufgrund zusätzlicher Anforderungen an die Landtechnik, in Frage gestellt. So bedingen der zunehmende Fachkräftemangel, Lieferengpässe, sich ändernde Gesetzeslagen und der Klimawandel die Erforschung alternativer Antriebsmöglichkeiten.

1.1. *Ochsen- und Pferdegespanne*

Ochsen- & Pferdegespanne legen den Grundstein zur Entwicklung von Zugmaschinen (Abbildung 2). Bereits vor vielen Jahrhunderten wurden Rinder, Ochsen, Esel und Pferde zum Transport von landwirtschaftlichen Gütern eingesetzt. Im Nachgang kam der Feldeinsatz der sogenannten „Arbeitstiere“ hinzu. So konnte die Schlagkraft und somit die Produktivität und Effizienz der landwirtschaftlichen Feldarbeit erhöht werden. Gleichzeitig wird die Komponente Mensch durch den vermehrten Einsatz von Tiergespannen entlastet. Allerdings gehören Ruhepausen zum Erholen, Fressen und Saufen der Tiere zum Arbeitsalltag.

Folie 4 zeigt die Vor- und Nachteile, sowie das Einsatzgebiet von Ochsen- und Pferdegespanne in der Landwirtschaft.



Abbildung 2 Ochsen­gespann (Lexikus, 2015)

1.2. *Dampfbetriebene Traktoren*

Den Ursprung der Dampftraktoren bildet die Erfindung der Dampfmaschine. Thomas Newcomen konstruierte 1712 die erste verwendbare Dampfmaschine. Sie diente zur Wasserhebung in englischen Bergwerken. Die mit Kohle befeuerten Maschinen nutzen den entstehenden Druck, der bei der Verdunstung von Wasser entsteht, als

Energiequelle. Daraufhin konnte James Watt durch die Erfindung des „Wattschen Parallelogramms“, welches für eine geradlinige Auf- und Abwärtsbewegung der Kolbenstange sorgte, den Wirkungsgrad der Dampfmaschine erheblich verbessern. (Güll, 2024)

So nahm die Entwicklung der Dampfmaschine in der Landwirtschaft von dem Standkraftwerk, über die gezogenen Maschinengespanne, bis hin zum selbstangetriebenen Dampftraktor ihren Lauf (Abbildung 3). Hiermit erfüllt die Erfindung der sogenannten „Lokomobile“ das elementare Ziel von Innovationen in der Traktorgeschichte. Die Schlagkraft sowie die Effizienz- und Produktivität der Feldarbeit können weiter gesteigert werden. Nachteile der Lokomobile sind der immense Kohle- und Wasserverbrauch und das hohe Eigengewicht.

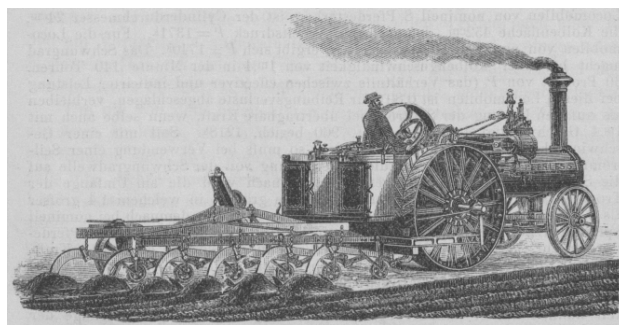


Abbildung 3 Dampftraktor mit Pflug (Dingler, 2015)

1.3. Motorpflug

Das Pflügen mit nur einer Maschine ist durch die Weiterentwicklung der Motortrappflüge möglich (Abbildung 4). So konnten die abgeernteten Felder zügig umgebrochen und zeitig mit der folgenden Herbstbestellung versehen werden. Durch den Kritikpunkt, des nicht universellen Einsatzes der Maschine, folgte die Weiterentwicklung zum Standardtraktor. Der Pflugkörper konnte nun durch andere Arbeitsgeräte ersetzt und der ursprüngliche Motortrappflug als Zugmaschine verwendet werden. (Hochschule Neubrandenburg , 2024)



Abbildung 4 Motortrappflug (Wikipedia, 2024)

1.4. Standardtraktor

Der Standardtraktor mit klein dimensionierten Rädern der Vorderachse und groß dimensionierten Rädern der Hinterachse setzte sich in der Landwirtschaft als universelle Maschine durch (Abbildung 5). Auch kleinere Betriebe bekamen die Möglichkeit von der Mechanisierung zu profitieren. Anfänglich brachte der Standardtraktor keinerlei Sicherheitsvorrichtungen mit sich und konnte durch die Eisenräder nur langsame Fahrgeschwindigkeiten realisieren.



Abbildung 5 Standardtraktor (Brenig, 2024)

1.5. Meilensteine

1.5.1. Verbrennungsmotor

Der Verbrennungsmotor hat sich als zuverlässige Energiequelle im Bereich der Landtechnik etabliert. Die sogenannten Wärmekraftmaschinen werden mit der Energie aus der Verbrennung eines Kraftstoffes betrieben. Somit findet eine Umwandlung von chemischer- in mechanische Energie statt. Aufgrund der hohen Energiedichte der flüssigen Kraftstoffe sind Verbrennungsmotoren effizienter als die mit Kohle betriebenen Dampfmaschinen. Generell ist zwischen der inneren- und äußeren Verbrennung zu differenzieren. Dampf- und Stirlingmotoren sind Motoren mit äußerer Verbrennung. Sie können von außen angelieferte Wärme kontinuierlich nutzen. Der Diesel- und Ottomotor hingegen, verbrennen den Kraftstoff innerhalb eines Zylinders und sind somit der inneren Verbrennung zuzuordnen. (Paschotta, 2024) Außerdem sind bei der inneren Verbrennung kleinere Bauformen des Motors realisierbar. Sie arbeiten nach dem Zwei- oder Vier-Takt-Prinzip. Dementsprechend benötigt ein Motor des Zwei-Takt-Prinzips nur zwei Takte für einen Verbrennungszyklus und der des Vier-Takt-Prinzips vier Takte. (Andrew, 2024)

Der Diesel- und Ottomotor unterscheiden sich grundlegend in der Art der Verbrennung, der Dichte des Kraftstoffs und somit letztendlich im Wirkungsgrad. Der selbstzündende Dieselmotor benötigt keine fremde Zündquelle, denn der eingespritzte Kraftstoff zündet nach der Vermischung mit der heißen, hoch verdichteten Luft von selbst. Der Ottomotor hingegen zündet das komprimierte Kraftstoff-Luft-Gemisch mittels Zündkerzen. So ist, aufgrund der höheren Dichte des Kraftstoffs und der unterschiedlichen Verfahren der Verbrennung, der Wirkungsgrad des Dieselmotors höher als der des Ottomotors. (Aral, 2024)

So setzt sich der Dieselmotor durch den höheren Wirkungsgrad und der geringeren Entflammbarkeit des Kraftstoffes im Traktorenbereich durch.

Analog zum Wirkungsgrad eines Motors, lässt sich auch der Wirkungsgrad des Traktors als Einheit bestimmen. Er dient zur Bewertung der Effizienz der Energieumwandlung, beziehungsweise Energieübertragung und ist eine dimensionslose Größe zwischen null und eins. So bildet sich dieser aus dem Verhältnis von abgegebener- zu zugeführter Leistung. Diese beiden Größen unterscheiden sich aufgrund verschiedener Verlustquellen. (Wenner, 1980)

Anhand des Beispiels auf Folie 11 sollen die verschiedenen Verlustquellen aufgezeigt und der Begriff der Nutzenergie erläutert werden. Ziel ist es, den Studierenden die Bedeutung des Wirkungsgrades in Bezug auf die Effizienz des Traktors zu skizzieren.

1.5.2. *Alternative Antriebe*

1. Vollelektrische Traktoren

Die Traktorenhersteller Fendt und New Holland haben ihre Produktpalette um ein vollelektrisches Traktormodell erweitert. So hat Fendt den e100 Vario und New Holland den T4 Electric Power vorgestellt. Folie 12 zeigt eine Gegenüberstellung dieser auf Basis der technischen Daten. Allgemein sind die grundlegenden Benefits des vollelektrischen Traktors definiert.

Der vollelektrische Antrieb bringt eine nachhaltige und besonders umweltschonende Arbeitsweise mit sich. Die Traktoren mit einer Dauerleistung von 55kW arbeiten emissionsfrei. Sie bewirken somit eine enorme CO₂-Vermeidung und tragen aktiv zum Klimaschutz bei. Ebenso ist die Geräuschbelastung im Vergleich zum Verbrennungsmotor geringer. Hinsichtlich der Pflege und Wartung der Maschine, bringt der elektrische Antrieb einen geringen Wartungsaufwand und somit niedrige Wartungskosten mit sich. Eine Start-Stopp-Funktion der Maschinen spart Betriebsstunden und Energie ein und verlängert folglich die vom Hersteller vorgegebenen Wartungsintervalle.

Der hohe Wirkungsgrad des Elektromotors sorgt für eine energieeffiziente Antriebsweise. Im Teillastbereich sind Arbeitszeiten von vier bis sieben Stunden realistisch. Insgesamt lässt sich der vollelektrische Traktor als wertvolle Innovation einstufen. Allerdings bleibt dieser Antrieb vorerst kleineren Traktoren vorbehalten, da die Komponenten des Antriebs nicht den Dimensionen eines Großtraktors entsprechen. (Fendt, 2024)

2. Wasserstoff Traktoren

Auf dem Wasserstoffgipfel 2023 stellt Fendt das erste Mal den Prototyp eines Wasserstofftraktors vor. Dieser baut auf dem Chassis der Vario 700 Baureihe auf. Auf Folie 13 sind die Herausforderungen und Benefits des jeweiligen Antriebs gegenübergestellt. (Fendt, 2024)

So bringt der Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt mit sich. Lediglich Wärme und Wasser entstehen als Nebenprodukt. Die Herausforderungen bestehen darin, eine Wasserstoffinfrastruktur aufzubauen, sodass die Energieversorgung mit Wasserstoff flächendeckend abgedeckt ist. Die geringe Speicherdichte von Wasserstoff bringt einen hohen Platzbedarf mit sich. Aufgrund dessen befindet sich der Tank des Prototyps zusätzlich auf dem Kabinendach. Die Anschaffungskosten des Antriebs sind aktuell sehr hoch, da die Herstellung von Wasserstoff-Brennstoffzellen verschiedene, kostenintensive Edelmetalle benötigt. (TWI, 2024)

3. Methan Traktoren

Die alternative Antriebsart der Methan Traktoren basiert auf dem Energieträger CNG (compressed natural gas). LNG-Antriebe (liquefied natural gas) sind aufgrund der Temperatur des Kraftstoffes nur durch spezielle Technik realisierbar. Denn um diesen in flüssigem Zustand zu halten, muss die Kraftstofftemperatur permanent unter minus 162°Grad Celsius liegen.

Analog zu den Wasserstoff Traktoren sind auf Folie 13 die Herausforderungen und Benefits des CNG betriebenen Methan Traktor definiert.

Die Antriebsweise bringt eine nahezu klimaneutrale Betriebsweise mit sich. Zudem kann der Landwirt, dass durch eine Biogasanlage erzeugte Biogas, zu Biomethan aufbereiten und somit für seinen Traktor als Kraftstoff verwenden. Die Herausforderung liegt ebenso im Platzbedarf des Kraftstoffs. Aufgrund der geringen Energiedichte sind aktuell noch große Zusatztanks notwendig. (New Holland, 2024)

1.5.3. Traktorbauweisen

Über die Entwicklung des Standardtraktors haben sich verschiedene Bauweisen etabliert. Diese lassen sich in unterschiedliche Auslegungen des Rahmens klassifizieren. Folie 14-18 veranschaulichen die verschiedenen Bauweisen, ordnen diese bekannten Traktormodellen zu und zeigen die Vor- und Nachteile der Rahmenbauweise auf. Anschließend zeigt Folie 19 grundlegende Achsvarianten in der Landtechnik.

1. Rahmenlose Blockbauweise

Die rahmenlose Blockbauweise zeichnet sich durch die unmittelbare, starre Verbindung sämtlicher für den Betrieb notwendiger Komponenten aus. So setzt sich aus Hinterachse, Getriebe, Kupplung und dem Motorblock eine über Flansche verbundene, starre Einheit zusammen. Die Kräfte welche durch die Dreipunkthydraulik, den Frontlader oder das Fahrwerk aufgenommen werden, wirken somit auf die Gesamtheit der Baugruppen ein. Die selbsttragende Einheit muss folglich bauartbedingt ausreichend dimensioniert sein, um Schäden vorzubeugen. (Wikipedia, 2024)

2. Halbrahmenbauweise

Die Halbrahmenbauweise setzt sich aus einem Rahmen, welcher den Motor trägt und einem selbsttragendem Getriebegehäuse zusammen. Durch den kompakten Aufbau des Rahmens lassen sich geringe Eigengewichte, bei maximaler Hubkraft im Front- und Heckbereich, generieren. Zudem bietet diese Bauweise hohe Zuladungsreserven des Traktors. (AGCO GmbH , 2024)

3. Dreiviertelrahmenbauweise

Die Weiterentwicklung des Dreiviertelrahmens zeichnet sich durch die Länge des Rahmens bis zur Hinterachse aus. Durch die veränderte Gewichtsverteilung des Rahmens, optimiert dieser die Traktion des Traktors. Ebenso bringt diese Bauweise ein vergleichbar geringes Eigengewicht bei hoher Zuladung mit sich. Durch eine überragende Stabilität und hohe Belastbarkeit differenziert sich die Dreiviertelrahmen- von der Halbrahmenbauweise. (John Deere, 2024)

4. Vollrahmenbauweise

Die durchgängige Rahmenbauweise, von dem Frontkraftheber bis zum Heckkraftheber eines Traktors, bezeichnet man als Vollrahmenbauweise. Diese

bringt enorme Traglasten, eine erhöhte Belastbarkeit sowie Stabilität mit sich. Aufgrund der durchgängigen Bauart können die Vorder- und Hinterachse am Rahmen befestigt werden. Ebenso ermöglicht diese das Verlegen von Hydraulikleitungen durch oder entlang des Rahmens. (Claas, 2024)

5. Rahmenbauweise unterhalb des Motors

Die jüngste Entwicklung der Traktorbauweisen ist eine Mischform aus der rahmenlosen Blockbauweise und der Rahmenbauweise. So wird der sogenannte Hilfsrahmen unterhalb des Motors gleichzeitig als Ölwanne genutzt. Vorteile dieser Bauweise sind der platzsparende Aufbau und die Reduzierung des Eigengewichts. (Claas, 2024)

1.5.4. Anhängervorrichtung

Der Standardtraktor dient dem universellen Einsatz in der Landwirtschaft. So haben sich über die Jahre folgende Anforderungen an einen Traktor entwickelt:

- Übertragung von Zugleistung
- Tragen von Arbeitsgeräten
- Mechanische Kraftübertragung
- Hydraulische Kraftübertragung
- Elektrische Steuerung

Um diese Anforderungen umzusetzen, beziehungsweise auf die verschiedenen Arbeitsgeräte zu übertragen, gibt es verschiedene Anhängervorrichtungen (Abbildung 6).

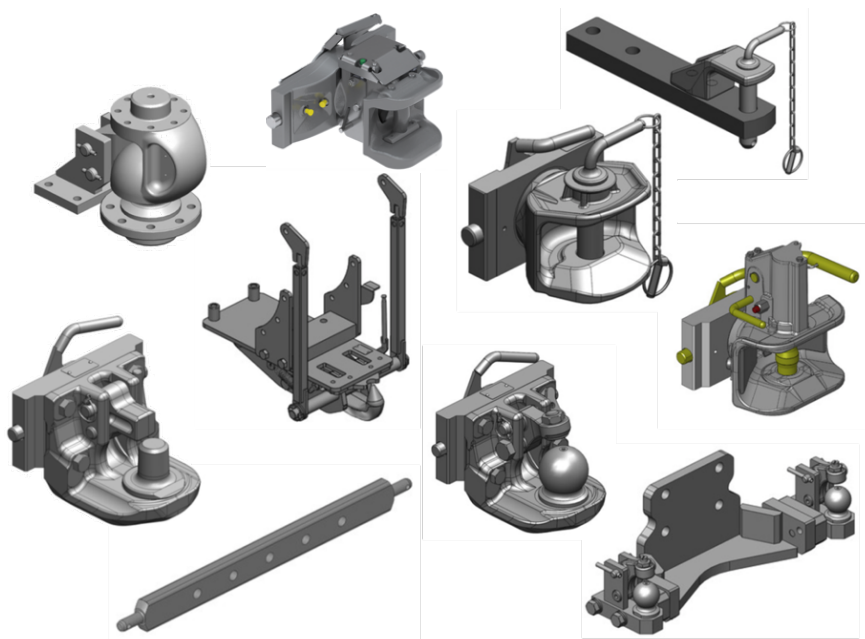


Abbildung 6 verschiedene Anhängervorrichtungen (Scharmüller, 2024)

Das Zugmaul ist die bekannteste Anhängervorrichtung in Deutschland. Dies gibt es in selbsttätiger- und nicht selbsttätiger Ausführung. Unter Selbsttätig versteht man das selbstständige Schließen der Bolzenkupplung, sobald die Zugöse in das Zugmaul eintrifft. Die neuste Entwicklung im Bereich der Anhängervorrichtungen stellt das CCS Zugmaul von Scharmüller dar (Abbildung 7). Dieses Zugmaul ist ein selbsttätiges Zugmaul, welches allerdings durch den minimalen Höhenaufbau mit einem nicht selbsttätigen Zugmaul vergleichbar ist. Durch diese besondere Bauform ist der Einsatz in unterer Stellung mit Weitwinkelgelenkwelle möglich. (landwirt-media, 2024)

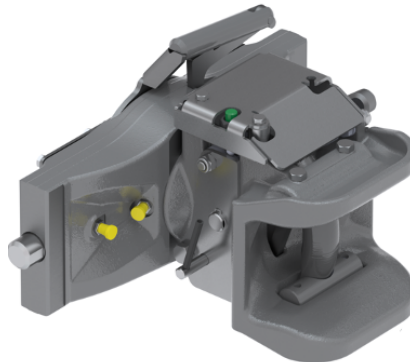


Abbildung 7 Scharmüller CCS Zugmaul (Scharmüller, 2024)

Die Kugelkopfkupplung gibt es in verschiedenen Größen. Die „K80“, sprich die Kugelkopfkupplung mit einem Kugeldurchmesser von 80mm, hat sich als Standardverbindungseinrichtung großer Arbeitsgeräte in der Landtechnik durchgesetzt. Die sogenannte „Untenanhängung“ dient der Übertragung großer Stützlasten auf die Zugmaschine. Durch ihre nahezu spielfreie- und vor allem verschleißarme Verbindung zeichnet sich die Kugelkopfkupplung aus. Die Scharmüller Lenkkugel K80 EAMS ermöglicht den Einsatz einer Zwanglenkung ohne Koppelung weiterer Komponenten. Mittels Sensorik erfasst die Lenkkugel den Einschlagwinkel und somit wird die Lenkung des Anbaugeräts automatisch gesteuert. (Scharmüller, 2024)

Die Schwanenhals-Anhängung ist großen angehängten Arbeitsgeräten vorbehalten. Sie überträgt noch höhere Stützlasten und generiert einen Lenkeinschlag bis zu 90 Grad, durch ihre besondere Bauart. So formen sich die Anbaugeräte wie der Hals eines Schwans auf die über der Hinterachse sitzende Plattform, wo die Zugmaschine mit dem Arbeitsgerät gekoppelt ist. Aufgrund der benötigten Plattform ist diese Form der Anhängung überwiegend den Mittelsitz-Traktoren vorbehalten. (Eder, 2016)

Die restlichen Verbindungsmöglichkeiten von Traktor und Anbaugerät sind in Deutschland selten vertreten. Das sind der Zughaken (Hitch), Zugzapfen (Piton Fix) und das Zugpendel. (Wenner, 1980) Die Verbindungsmöglichkeit der Ackerschiene wird unter der Anhängervorrichtung der Dreipunkthydraulik aufgezeigt.

1.5.5. Luftbereifung

Der Schotte Robert William Thomson meldete 1847 das Patent des Luftreifens in Frankreich und den USA an. Allerdings war die Zeit noch nicht reif für seine Erfindung und das Patent geriet in Vergessenheit. So konnte der ebenfalls schottische Erfinder John Boyd Dunlop 1888 ein Patent auf die Luftbereifung anmelden. Sein Ziel war es, das Dreirad seines Sohnes schneller und komfortabler zu machen. Die Anmeldung des Patents von Dunlop erntete Erfolg und der Grundstein der berühmten Marke Dunlop war gelegt. (Potthast, 2024)

Die Weiterentwicklung des Agrarreifens im Jahr 1930 ist Harvey Firestone zuzuschreiben. Dieser steigert die Schlagkraft und somit die Effizienz der landwirtschaftlichen Feldarbeit. Seither wird der Reifen ständig weiterentwickelt, um den Anforderungen der Landwirte gerecht zu werden. Folie 24 stellt die Vor- und Nachteile und ein historisches Beispiel der Luftbereifung dar.

Daraufhin zeigen die Folien 25 und 26 den Aufbau inklusive Bezeichnung und verschiedene Formen von landwirtschaftlichen Reifen auf.

Allgemein lässt sich zwischen Radial- und Diagonalreifen differenzieren. Die Bezeichnung ist abgeleitet von der Anordnung des Gewebes innerhalb eines Reifens. So verläuft die Gewebestruktur des Diagonalreifens, diagonal in einem Winkel von 30 bis 45 Grad zur Laufrichtung des Reifens. Die des Radialreifens hingegen ist waagrecht zur Laufrichtung angeordnet. Zusätzlich sind bei der Radialbauart stabilisierende Gürtellagen eingebettet, welche keine direkte Anbindung zu den Wülsten haben (Abbildung 8).

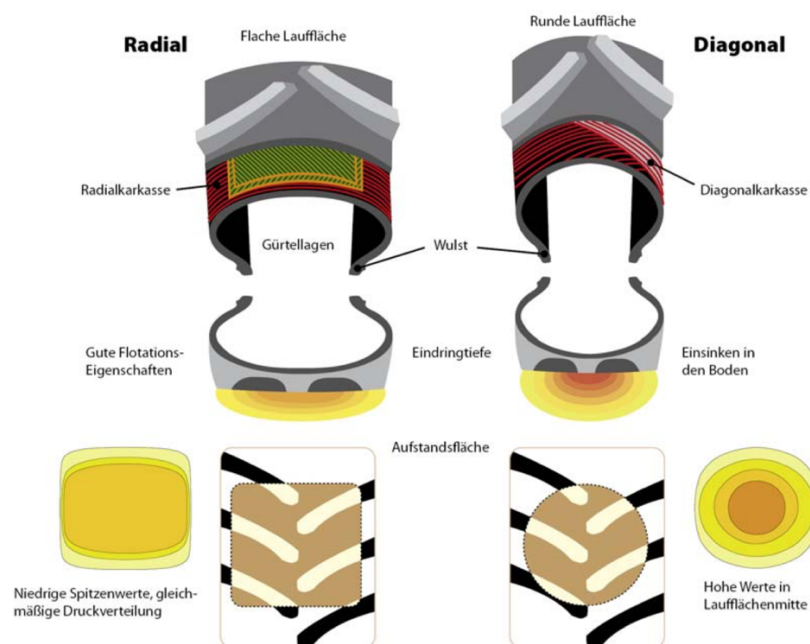


Abbildung 8 Reifenbauarten (DLG, 2024)

So entstehen durch die verschiedenen Bauarten unterschiedliche Einsatzgebiete der Reifen. Aufgrund der ausgeglichenen Druckverteilung auf die Lauffläche ordnet sich der Radialreifen in der landwirtschaftlichen Feldarbeit ein. Der Diagonalreifen bringt Vorteile im Bereich der Forstarbeit mit sich aufgrund der hohen Flankenstabilität. Hinsichtlich der Bezeichnung der Reifen unterscheiden sich die beiden Bauarten kaum. Die Breite des Reifens in Millimeter, das Querschnittsverhältnis in Prozent sowie der Felgendurchmesser in Zoll sind die grundlegenden Angaben auf beiden Bauarten. Das Kürzel „R“ unterscheidet den Radial- von dem Diagonalreifen und kennzeichnet die radiale Bauart. (Bridgestone, 2024)

1.5.6. Traktorheckhydraulik

Der in Nordirland geborene Harry Ferguson verfolgt das Ziel die Effizienz der Nahrungsmittelproduktion zu steigern. Die Erfindung eines Gestänges mit drei Anhängepunkten zur Befestigung eines Arbeitsgeräts am Traktorheck, welche hydraulisch angehoben und abgesenkt werden kann, legt den Grundstein für die heute zu Tage populäre Dreipunkthydraulik. Das nach dem Erfinder benannte „Ferguson-System“ ermöglichte es den Widerstand des Erdreichs gegen den Pflug zu nutzen und somit die Traktion und letztendlich die Zugleistung des Traktors zu erhöhen. Der 1933 vorgestellte „Black Tractor“ gilt als erster Traktor mit Dreipunkthydraulik nach dem Prinzip von Ferguson. (Massey Ferguson, 2024)

Folie 28 zeigt die verschiedenen, genormten Kategorien der Dreipunkthydraulik und ordnet diese den unterschiedlichen Maßen zu. Des Weiteren werden auf Folie 29 bis 34 die verschiedenen Ausbaustufen der Regelhydraulik aufgezeigt und visuell erläutert.

1. Mechanische Hubwerksregelung (MHR)

Die mechanische Hubwerksregelung lässt sich in die Oberlenker- und Unterlenkerregelung unterteilen. Das Arbeitsprinzip der beiden Varianten ist identisch. Die Arbeitstiefe, beziehungsweise die Höhe der Heckhydraulik wird je nach Zugkraftwiderstand geregelt. So wird bei der Oberlenkerregelung anhand der Regelfeder, welche Zug und Druck durch die Kippneigung des Anbaugerätes am Oberlenker aufnimmt, die Hydraulik gesteuert. Hingegen sitzt bei der Unterlenkerregelung die Regelfeder an den Unterlenkern des Traktors. Die Regelung erfolgt schließlich je nach Zugkraftwiderstand, welcher auf die Unterlenker einwirkt. Die Unterlenkerregelung ist bei langen Anbaugeräten sinnvoll, da sie unabhängig von der Kippneigung des Anbaugeräts ist. (Lift, 1992)

2. Elektronische Hubwerksregelung (EHR)

Das elektrohydraulische System basiert auf Kraftmessbolzen und Winkelsensoren, welche die Zugkraft und Lage des Anbaugerätes messen. Mithilfe der Messdaten wird je nach Art der Regelung, die Heckhydraulik des Traktors gesteuert. Man unterscheidet zwischen:

- Schwimmstellung
- Lageregelung
- Zugkraftregelung

Bei der Schwimmstellung findet keine Regelung statt. Der Rücklauf der Hydraulikzylinder wird freigeschaltet und somit können sich die Anbaugeräte frei nach oben und unten bewegen. Die Einstellung der Arbeitstiefe erfolgt über Stützräder am Anbaugerät. Die Lageregelung steuert die Heckhydraulik nach seiner relativen Höhenänderung zum Traktor. Das Anbaugerät wird auf einer fixen Höhe gehalten. Die Zugkraftregelung regelt die Höhe der Heckhydraulik je nach Zugkraftwiderstand des Anbaugerätes und findet vorrangig Einsatz beim Arbeitsprozess des Pflügens.

Folie 32 zeigt die Regelarten unter verschiedenen Einsatzbedingungen und den jeweiligen Einfluss auf die Arbeitstiefe. Unter Mischregelung versteht man die Kombination aus Lage- und Zugkraftregelung. Diese Art der Regelung arbeitet nach dem Prinzip der Zugkraftregelung. Allerdings ist die Auswirkung der Regelung geringer als die der Zugkraftregelung. Einsatz findet die Mischregelung bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen innerhalb einer Fläche. (Wikipedia, 2024)

Folie 33 zeigt die Weiterentwicklungen Pressure Relief Control (PRC), Automatic Hitch Control (AHC) und Hitch Lowering Support (HLS) der elektronischen Hubwerksregelung. Zudem ist die Steuerung der EHR in der Fahrerkabine des Traktors von früher und heute gegenübergestellt.

3. Multidimensionale Dreipunkt-Regelung

Die jüngste Entwicklung im Bereich der elektronischen Hubwerksregelung ist die multidimensionale Dreipunktregelung. Das System arbeitet mit Höhenmesssensoren, die zusätzlich vorne und hinten am Anbaugerät verbaut sind. Bei den herkömmlichen Regelungsarten ist die Lage des Anbaugerätes im Falle der Regelung nicht mehr parallel zum Boden und die Arbeitstiefe somit hinten und vorne unterschiedlich. Die multidimensionale Regelung des Herstellers Claas bezieht den hydraulischen Oberlenker in die Regelung mit ein. So wird eine

dauerhafte bodenparallele Geräteführung und damit eine gleichmäßige Arbeitsqualität garantiert. (topagrar, 2023)

1.5.7. Traktorhydraulik

Nach der erfolgreichen Dreipunkthydraulik setzt sich das Prinzip der Hydraulik weiter durch. Hydraulische Antriebe, Kupplungen, Lenkungen, Bremsen und Steuerungen von Arbeitsgeräten komplettieren den Einsatz der Hydraulik im Bereich der Landtechnik. Die innovative Technik revolutioniert die Traktorgeschichte aufgrund des geringen Leistungsgewichts und der benutzerfreundlichen Bedienung. (Wenner, 1980)

Folie 35 stellt die Vorteile und Einsatzbereiche der Hydraulik in der Landtechnik dar. Das Kernelement einer Hydraulikanlage ist die Pumpe, welche mechanische- in hydraulische Energie umwandelt. Folie 36 soll die Studierenden auf die Funktionsweise einer Außenzahnrad- und Axialkolbenverstellpumpe sensibilisieren. Die Außenzahnradpumpe (Abbildung 9) zeichnet sich durch einen großen Drehzahlbereich, niedrigen Preis und hohen Druckbereich bei relativ geringem Gewicht aus. Sie befördert das Fluid mittels Zahnräder von der Saugseite (S) hin zur Druckseite (P). Die Drehrichtung, der mit minimalem Spiel ineinander eingreifenden Zahnräder, bestimmt die Förderrichtung der Pumpe. Das obere Zahnrad ist mit der Antriebseinheit verbunden und versetzt durch die bauartbedingte Anordnung beide Zahnräder in Rotation. So entsteht durch die Volumenvergrößerung ein Unterdruck auf der Saugseite und durch die Volumenverkleinerung ein Druck auf der Druckseite. Das Fluid wird in den Zahnluken eingeschlossen und entlang der Innenwand befördert. (Hydromot, 2024)

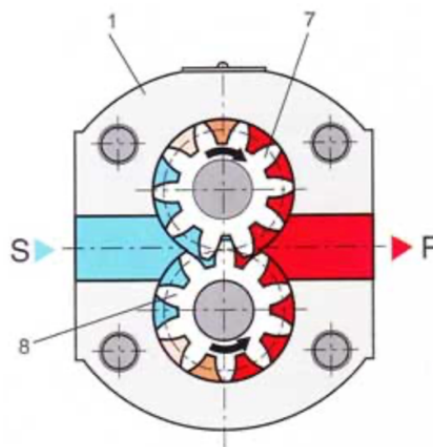


Abbildung 9 Außenzahnradpumpe (Hydromot, 2024)

Die Funktionsweise der Axialkolbenverstellpumpe (Abbildung 10) lässt sich in zwei Teilschritte aufgliedern. Das System wird über eine Antriebswelle in Rotation versetzt. So bewegen sich die innenliegenden Kolben während einer halben Umdrehung der Trommel von der feststehenden Steuerscheibe weg. Durch den entstehenden Unterdruck wird das Fluid angezogen. Die andere Hälfte der Umdrehung sorgt für die entgegengesetzte Bewegung der Kolben. Das angezogene Fluid wird durch das Einstoßen des Kolbens in die Druckleitung befördert. Der Ausschwenkwinkel der Trommel zur Antriebsachse bestimmt den Kolbenhub und somit den Volumenstrom. Ein negativer Ausschwenkwinkel bewirkt die Änderung der Förderrichtung. Somit liegt bei nicht ausgeschwenkter Trommel, sprich einem Ausschwenkwinkel von 0 Grad keine Förderung des Fluids vor. (Amhaus, 2010)

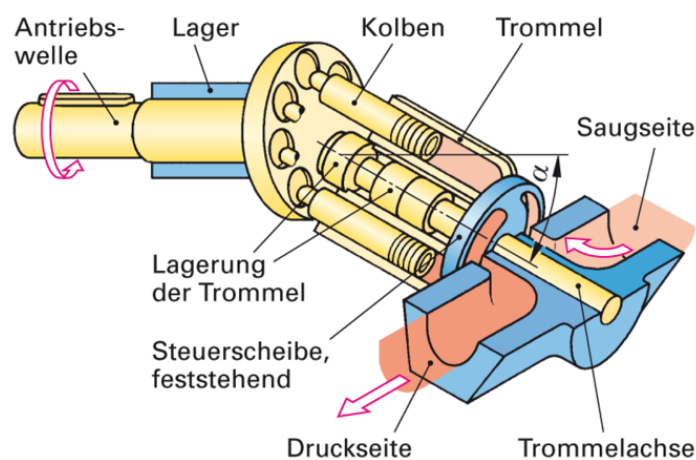


Abbildung 10 Axialkolbenverstellpumpe (Schrägachsenbauart) (Amhaus, 2024)

1.5.8. Load-Sensing

Durch die unterschiedlichen Einsatzgebiete der Hydraulik in der Landtechnik entstehen stark variierende Anforderungen an die Technik. Die herkömmliche Konstantstrom-Hydraulik arbeitet nach dem Prinzip „ganz“ oder „gar nicht“. So entsteht bei kleinen Fördermengen eine starke Erwärmung aufgrund der überschüssigen Ölmenge, die über das Druckbegrenzungsventil abgeführt werden muss. Die entstehende Wärmemenge muss aufwändig wieder heruntergekühlt werden. Der sogenannte Blindleistungsbedarf der Hydraulikanlage mindert somit die Zugleistung und den Wirkungsgrad des Traktors.

Das weiterentwickelte Lastdruck-Melde-System „Load-Sensing“ regelt automatisch die Fördermenge und den Druck je nach Bedarf. So kann die Effizienz und Produktivität der Hydraulik in Landmaschinen gesteigert werden. Das System erkennt den Bedarf an Druck und Fördermenge über integrierte Druckwaagen. Es arbeitet auf

der Grundlage einer Axialkolbenverstellpumpe (siehe 1.5.7.) und fördert somit bei nicht ausgeschwenkter Scheibe kein Öl, hält allerdings den Steuerdruck im System aufrecht. Wichtige Funktionen werden über Prioritätsventile abgesichert. So werden betriebsnotwendige Funktionen, wie die Lenkung und die Getriebesteuerung, vor der EHR und den Zusatzsteuergeräten versorgt. Es ermöglicht zügige parallele Hydraulikaktionen, kann bei Bedarf die volle Leistung zur Verfügung stellen und arbeitet ohne Blindleistungsbedarf.

Um angebaute- oder angehängte Arbeitsmaschinen ebenfalls bedarfsgerecht mit Öl zu versorgen und die Vorteile der Load-Sensing-Hydraulik zu nutzen benötigt es einen Power-Beyond-Anschluss am Traktor und einen Load-Sensing fähigen Steuerblock der Arbeitsmaschine. Der Power-Beyond-Anschluss teilt sich in drei Hydraulikanschlüsse unterschiedlicher Größe und Form auf, um die Verwechslungsgefahr beim Koppeln der Maschine möglichst gering zu halten. Die sogenannte LS-Leitung, beziehungsweise Meldeleitung dient der Steuerung des Systems. Sie hat einen Leitungsquerschnitt von 6-8mm, eine Kupplung der Größe 1 und ist als Vaterstück ausgerüstet. Es gilt je kleiner der Querschnitt und je kürzer die Leitung, desto schneller kommen die Steuerimpulse der Arbeitsmaschine in der Schlepperhydraulik an. Die Druckleitung versorgt die angehängte- oder angebaute Arbeitsmaschine permanent mit Öl, hat einen Leitungsquerschnitt von 12-16mm, eine Kupplungsgröße 3-4 und ist ebenfalls als Vaterstück ausgerüstet. Die Rücklaufleitung ist für den Rücklauf des Öls zuständig, hat den größten Leitungsquerschnitt von 18-24mm, ebenfalls eine Kupplungsgröße der Größe 3-4 und ist allerdings als Mutterstück ausgerüstet. (Timpe, topagrar, 2006)

1.5.9. Zapfwelle

Die Zapfwelle dient der verlustarmen mechanischen Leistungsübertragung vom Traktor auf ein Arbeitsgerät. Den Ursprung der Zapfwelle legte die International Harvester Company durch die Verwendung einer Getriebezapfwelle in der Schaltung. (Schulz, 1987)

Angeordnet ist die Zapfwelle am Schlepperheck, im Zwischenachsbereich oder frontseitig. Allgemein lässt sich zwischen der Motor- und Wegzapfwelle differenzieren. Die Wegzapfwelle ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Traktors. Das Drehmoment wird hinter dem Schaltgetriebe abgenommen. So dreht sich die Zapfwelle nur bei Fahrt und im Falle des Rückwärtsfahrens in die entgegengesetzte Richtung. Einsatz findet diese Bauart früher im Bereich von Säh- und Pflanzenschutzgeräten und heute vereinzelt im Bereich der Forsttechnik.

Die Motorzapfwelle hingegen ist unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Traktors. Das Drehmoment wird folglich vor der Fahrkupplung abgenommen und die Drehzahl ist somit variabel. Mit der Zeit haben sich die Drehzahlen 540 und 1000 Umdrehungen pro Minute durchgesetzt. Das Profil des Zapfwellenstummels ist zur beliebigen Austauschbarkeit von Traktor und Arbeitsgerät genormt. (Wenner, 1980) Man unterscheidet zwischen dem Sechszahn Sternkeil- und dem Feinzahnprofil. Die Größe, beziehungsweise der Durchmesser des Zapfwellenstummels richtet sich je nach Einsatzzweck und Kraftbedarf des Arbeitsgeräts. So gibt es das Sechszahn Sternkeilprofil von der 1 1/8 Zoll Ausführung für Spezial- und Schmalspurtraktoren, bis zur 1 3/4 Zoll Ausführung für Traktoren ab einer Motorleistung von 107kW. Das Feinzahnprofil, auch Evolventenprofil genannt, gibt es hingegen von der 1 3/8 Zoll bis hin zur 2 1/4 Zoll Ausführung. Besonderheit dieses Profils ist es, dass jede Ausführung unterschiedlich viele Zähne aufweist. Die einfachste Möglichkeit den Zapfwellenstummel zu wechseln, bietet die Bauart der Flanschzapfwelle. Diese zeichnet sich durch die verschraubte Verbindung aus. (Walterscheid, 2024)

1.5.10. Sicherheitsbügel-Verdeck-Vollkabine

Das Zusammenwirken von Mensch und Maschine ermöglicht hohe Arbeitsleistungen, ohne die Komponente Mensch zu überlasten. Um die Sicherheit und das Wohlbefinden des Menschen zu gewährleisten ist es erforderlich den Arbeitsplatz dem Menschen anzupassen. Die Arbeit sollte in günstiger Arbeitshaltung durchgeführt und dem Unfallschutz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. (Wenner, 1980)

Die landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft legt die verbindlichen Pflichten der Unfallverhütung fest. So ist es für alle, für den Verkehr zugelassenen Traktoren, ab dem 01.01.1970 Pflicht einen Sicherheitsbügel, ein Sicherheitsverdeck oder eine Sicherheitskabine zu haben. Bereits zugelassene Traktoren mussten bis zum 01.01.1977 nachgerüstet werden, sodass die Überrollschutz-Pflicht auch für Oldtimer gilt. (ackerschlepper, 2024)

Folie 43 zeigt eine Statistik der Entwicklung tödlicher Unfälle mit Ackerschleppern durch Umstürzen in den Jahren 1969 bis 2015. Die Studierenden sollen Verständnis für die essenzielle Wichtigkeit der Gesundheit des Menschen bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten entwickeln.

Die Entwicklung der Sicherheit vom Sicherheitsbügel über das Sicherheitsverdeck bis hin zur Sicherheitskabine steigert den Schutzzumfang kontinuierlich. So bietet der Sicherheitsbügel nur den Schutz vor Umkippen des Traktors. Das Sicherheitsverdeck

hingegen zusätzlich Schutz vor Sonne, Regen, Fahrtwind und teilweise vor Staub. Die Fülle an Sicherheits- und Komfortkriterien bringt die Sicherheitskabine mit sich. Sie schützt zusätzlich vor Lärm und schädlichen Abgasen, ist beheizt sowie klimatisiert und bietet somit die höchste Fahrerentlastung. Ein weiteres Kriterium moderner Sicherheitskabinen ist die Ausbreitung der gesundheitsschädlichen Fahrzeugschwingungen auf die Fahrerkabine möglichst gering zu halten. Eine gute Übersicht nach vorne sowie über die angebauten Arbeitsgeräte ist nicht nur komfortabel für den Fahrer, sondern minimiert auch die Unfallquote, welche aufgrund mangelnder Sichtverhältnisse entstehen. (Wenner, 1980)

Um das sichere Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln zu gewährleisten, wird die Sicherheitskabine nach der Norm DIN EN 15695 in vier Kabinenkategorien im Hinblick auf ihre Schutzeigenschaften eingeordnet (Abbildung 11). In aufsteigender Form von Kategorie 1 bis Kategorie 4 wird der Schutz vor Stäuben, Aerosolen und Dämpfen bewertet. Zusätzlich sind die Mindestanforderungen des Frischluftdurchsatzes, Druckausgleichs und des Druckanzeigers der jeweiligen Kategorie aufgeführt. (SNDC, 2024)

Für das Ausbringen mancher Pflanzenschutzmittel ist eine Kabinenkategorie von 3 und 4 erforderlich. Reicht der Schutzfaktor der Kabine nicht aus, muss auf die entsprechende persönliche Schutzausrüstung zurückgegriffen werden. Ebenso ist eine nachträgliche Hochrüstung der Kabinenkategorie möglich. So ist in Kategorie 4 anstelle des herkömmlichen Kabinenluftfilters ein Aktivkohlefilter verbaut. Aufgrund der hohen Anschaffungskosten des Aktivkohlefilters kann dieser nur zu Pflanzenschutzmaßnahmen verwendet werden, um die Lebensdauer des Filters zu erhöhen und die Kosten langfristig zu reduzieren. (SVLFG, 2022)

Schützt vor		Kabinenkategorie	Mindestanforderungen	
Stäuben	JA	 Kategorie 4	Frischluftdurchsatz	30 m³/h
Aerosolen	JA		Druckausgleich	20 Pa
Dämpfen	JA		Druckanzeiger	Pflicht
Stäuben	JA	 Kategorie 3	Frischluftdurchsatz	30 m³/h
Aerosolen	JA		Druckausgleich	20 Pa
Dämpfen	NEIN		Druckanzeiger	Pflicht
Stäuben	JA	 Kategorie 2	Frischluftdurchsatz	30 m³/h
Aerosolen	NEIN		Druckausgleich	20 Pa
Dämpfen	NEIN		Druckanzeiger	Freiwillig
Stäuben	NEIN	 Kategorie 1	Frischluftdurchsatz	Freiwillig
Aerosolen	NEIN		Druckausgleich	Freiwillig
Dämpfen	NEIN		Druckanzeiger	Freiwillig

Abbildung 11 Kabinenkategorien nach DIN EN 15695 (SNDC, 2024)

Folie 46 stellt einen Vergleich der Traktorkabine aus dem Jahr 1980 und 2020 dar, um das Maß der Kabinenentwicklung zu verdeutlichen. Anhand der Marke Fendt ist das Modell Favorit dem Bedienkonzept Fendt ONE gegenübergestellt. Der Favorit bietet ein festes System mit überwiegend mechanisch angesteuerten Funktionen. Der Traktor zeichnet keine Maschinen- und Arbeitsdaten auf. Die Dokumentation erfolgt mittels Zettel und Stift.

Das Bedienkonzept Fendt ONE bietet durch die freie Belegung des Joysticks und derselben Benutzeroberfläche im Büro und auf der Maschine einen hohen Bedienkomfort. Es bietet den Einstieg in die automatische und systemgestützte Dokumentation, welche die Tätigkeiten auf dem Feld (Onboard) mit der Arbeit im Büro (Offboard) verbindet. Der Datentransfer erfolgt kabellos über Mobilfunk in Echtzeit und generiert somit einen orts- und zeitunabhängigen Datenzugriff. So lassen sich durch die digitalen Systeme Prozesse und Arbeitsvorgänge besser und effizienter organisieren. (Fendt, 2024)

1.5.11. Bremsanlage

Die Bremsanlage ist für die Landtechnik von essenzieller Bedeutung. Folie 47 bis 49 stellen die mechanische- sowie die Druckluftbremsanlage und die automatische Streckbremse dar.

1. Mechanische Bremsanlage

Die mechanische Bremsanlage arbeitet, wie der Name sagt, mit mechanischen Elementen, welche die Kraft, die durch den Fahrer aufgebracht wird, zu den einzelnen Radbremsen weiterleitet. Die Übertragung erfolgt über Seilzüge, beziehungsweise Gestänge oder über eine Kombination dieser Komponenten. Hierbei sollte das Hebelgesetz genutzt werden, um die aufgebrachte Kraft zu verstärken. Letztendlich wird die aufgebrachte Kraft genutzt, um einen Druck der Bremsklötze auf die Bremsscheibe zu generieren und somit den Traktor abzubremesen. (oldtimer markt , 2012)

Durch die kontinuierliche Erhöhung der Geschwindigkeit von Landmaschinen sind bestimmte Grundvoraussetzungen der Bremsanlage erforderlich. So müssen Traktoren mit einer Höchstgeschwindigkeit größer 40 km/h mindestens eine mechanische Bremsanlage mit hydraulischer Unterstützung und gebremster Vorderachse mit Allradzuschaltung aufweisen. Beträgt die Höchstgeschwindigkeit mehr als 60 km/h muss der Traktor mit automatischen Blockierverhinderern (ABS) ausgestattet sein. (Schauer, 2024)

Die Allradzuschaltung ist notwendig aufgrund stark variierender Achslasten, die durch die Ballastierung der Hinterachse oder einen angebauten Frontlader entstehen. Zudem wird eine bessere Übertragung der Bremskräfte und eine Stabilisierung des Traktors während eines Bremsvorgangs generiert. Somit wird die Gefahr des „Ausbrechens“ minimiert. (Stirnemann, 2013)

2. Druckluftbremsanlage

Die Zweileitungsdruckluftbremse hat sich im Bereich landwirtschaftlicher Anhänger und Arbeitsgeräte durchgesetzt. Die Einleitungsdruckluftbremse hingegen ist nicht weit verbreitet, aufgrund der Zulassung bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h. Durch immer schwerer, beziehungsweise größer werdende Arbeitsgeräte und höhere Fahrgeschwindigkeit ist eine zuverlässige Bremsanlage notwendig. So ist die moderne Bremsanlage eines Traktors in zwei Bremssysteme unterteilt. Die sogenannte Druckluftbeschaffungsanlage bremst das angehängte Arbeitsgerät mittels Federspeicherbremse ab und der Traktor selbst wird über im Ölbad laufende hydraulisch betätigte Vollscheibenbremsen abgebremst. Folie 48 zeigt die einzelnen Bestandteile der Druckluftbeschaffungsanlage und die Vorteile des Systems. (Schauer, 2024)

3. Automatische Streckbremse

Die Option der automatischen Streckbremse bietet die Stabilisierung eines Traktor-Anhänger-Gespans während des Bremsvorgangs, insbesondere bei Gefällefahrten und auf rutschigem Untergrund. Darüber hinaus schont das System das Getriebe, entlastet den Fahrer und bietet höchsten Fahrkomfort. Das System basiert auf Sensordaten, welche das Motorschleppmoment und Schubkräfte im Antriebsstrang darstellen. Sobald kritische Werte auftreten, aktiviert das System automatisch die Druckluftbremsen des Anhängers und hält somit das Gespann gestreckt. Bei aktiviertem Tempomat ist das System ebenfalls von Vorteil. Die voreingestellte Geschwindigkeit wird durch Aktivieren der pneumatischen Anhängerbremse in starken Gefällesituationen konstant gehalten und gleichzeitig die Schubkräfte, welche auf das Getriebe wirken, minimiert. Bei Fahrtrichtungsänderungen unterstützt das System zusätzlich den Fahrer, durch kurzzeitige Aktivierung der Druckluftbremse des Anhängers. Zusammenfassend werden wichtige Komponenten eines Traktors geschont und die Sicherheit im Umgang mit schweren Lasten erhöht. (Claas, 2024)

1.5.12. Pneumatik

Die Pneumatik ist analog zur Hydraulik ebenfalls ein Teilgebiet der Fluidtechnik. Allerdings dient keine Flüssigkeit wie bei der Hydraulik, sondern Druckluft zur Kraftübertragung. Mithilfe eines Kompressors wird der nötige Druck erzeugt. Dieser saugt Umgebungsluft an und komprimiert diese anschließend. Spezielle Filter sorgen für die Sauberkeit der angesaugten Luft. Schmutzpartikel werden aus der angesaugten Luft entfernt, um die Funktionsfähigkeit und lange Lebensdauer der Anlage zu erhalten. Entweder wird die komprimierte Luft direkt an die jeweiligen Verbraucher weitergeleitet oder sie wird gespeichert. Die Speicherung ist essenziell, wenn der Betrieb des Traktors, beziehungsweise des Arbeitsgeräts Spitzenzeiten erfordert, in denen besonders viel komprimierte Luft benötigt wird. Die Übertragung der komprimierten Luft erfolgt durch Leitungen, welche ebenfalls Schmutz- und Leckage frei sein müssen. Nur so ist der zuverlässige Betrieb mit benötigter Qualität, Menge und Druck gewährleistet. (Juschkat, 2019)

Im Bereich der Traktoren gilt der MB-Trac als Vorreiter der Pneumatik. Mit der Einführung des MB-Trac 900 im Jahr 1981 wurde eine pneumatische Steuerung der Zapfwelle, des Allradantriebs und der Differentialsperre realisiert. (tractorbook, 2024) Folie 50 zeigt das Einsatzspektrum im Bereich der Traktoren, sowie die Vor- und Nachteile der Pneumatik.

1.5.13. Getriebe

Landwirtschaftliche Arbeitsvorgänge erfordern Arbeits- und Fahrgeschwindigkeiten des Traktors von 1-30 km/h. Allerdings ist der Dieselmotor nur in einem gewissen Drehzahlbereich wirtschaftlich und erreicht seine volle Leistung ausschließlich bei Nenndrehzahl. Das Getriebe ist für die Anpassung von Fahrgeschwindigkeit und Motordrehzahl zuständig. Nachfolgend werden drei innovative Getriebearten eines Traktors betrachtet. (Wenner, 1980)

1. Vollsynchron-Getriebe

Folie 51 zeigt das Triebwerksschema des Overdrive-Vollsynchron-Getriebes der Marke Fendt (Abbildung 12). Das Getriebe deckt einen Geschwindigkeitsbereich von 1,4-40 km/h ab. Es verfügt über eine Turbo- und Fahrkupplung sowie unter Last schaltbare Lamellenkupplungen für die Zapfwelle und den Allradantrieb. Die sogenannte Turbokupplung, beziehungsweise Turbomatik ist eine

Ölströmungskupplung. Diese schützt den Antriebsstrang und die Fahrkupplung vor Lastspitzen, Stoßbelastungen und Vibrationen. Zusätzlich ermöglicht sie ein stufenloses Anfahren unter Last, macht das „Abwürgen“ des Motors nahezu unmöglich und verbessert den Fahrkomfort. (fendt-prospekte, 2024)

Unter Synchronisation des Getriebes versteht man die Möglichkeit Gänge bei laufendem Getriebe zu schalten. So wird bei den synchronisierten Getrieben, das zu schaltende Zahnrad zuvor auf die Drehzahl gebracht, die dem im Moment noch geschalteten Gang entspricht. (lehrerfreund, 2008)

Der Begriff Overdrive bezeichnet einen Schongang des Getriebes. Es ist ein nachgeschaltetes Getriebe hinter dem eigentlichen Schaltgetriebe und sorgt für die Reduzierung der Motordrehzahl, bei gleichbleibender Geschwindigkeit. Somit wird Kraftstoff eingespart und die Geräuschkulisse sowie der Verschleiß im Antriebsstrang minimiert. Allerdings kann durch das Overdrive-Getriebe ein nicht so hohes Drehmoment generiert werden. (partnerlift, 2024)

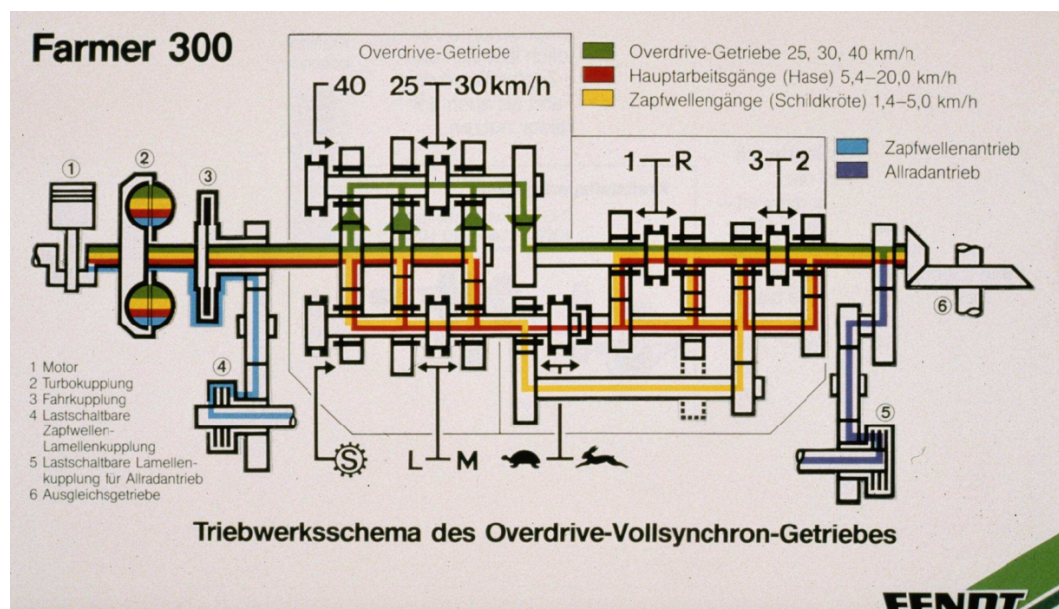


Abbildung 12 21/6-Gang-Overdrive-Getriebe (Fendt, 2024)

2. Lastschaltgetriebe

Wie der Name sagt, sind die sogenannten Lastschaltgetriebe unter Last schaltbar. Der Gangwechsel erfolgt ohne Betätigung der Fahrkupplung und somit ohne Zugkraftunterbrechung. Im Jahr 1954 liegt der Ursprung des Lastschaltgetriebes. Durch das hydraulisch betätigte Kuppeln einer Vorgelegewelle wurde der Gangwechsel ohne Zugkraftunterbrechung initiiert. (Wenner, 1980)

Seitdem kommt dem Getriebe eine besondere Bedeutung zu, da mit diesen schwere Zugarbeiten bei geringen Fahrgeschwindigkeiten effizienter und komfortabler ausgeführt werden können. Der Schaltvorgang erstreckt sich über wenige Millisekunden, in denen sich die Kupplung des eingelegten Gangs öffnet und die Kupplung des Folgeganges schließt. Über die Zeit hat sich die Anzahl der Lastschaltstufen von anfangs zwei, bis heute zu heute acht Stufen entwickelt. Mit der Einführung von Volllastschaltgetrieben ist es möglich alle Vorwärts- und Rückwärtsgänge ohne Kupplungsbetätigung und Leistungsunterbrechung zu schalten. Die Verbindung der jeweiligen Wellen und Zahnräder unter Last erfolgt mittels Lamellenbremsen, beziehungsweise Lamellenkupplungen. (Stirnemann, 2022)

3. Stufenloses Getriebe

Das stufenlose Getriebe bietet höchsten Fahrkomfort und Benutzerfreundlichkeit für den Fahrer. Es gewährleistet eine vollkommene Anpassung von Motordrehzahl und Arbeitsgeschwindigkeit und somit eine kontinuierlich hohe Motorauslastung. Das stufenlose, hydrostatische Getriebe hat sich gegenüber dem mechanisch stufenlosen- und dem hydrodynamischen Getriebe durchgesetzt. (Wenner, 1980)

Anhand des Fendt Vario Getriebes wird die Funktion eines solchen Getriebes verdeutlicht (Abbildung 13). Das System arbeitet auf Grundlage einer Hydropumpe, beziehungsweise Axialkolbenverstellpumpe (6) und einem Hydromotor (7). Die Leistung des Motors ist auf einen hydraulischen- und mechanischen Antriebsstrang aufgeteilt und wird durch das Planetengetriebe (2) und die Summierungswelle (8) vereint. Somit leitet das Planetengetriebe inklusive des Planetenträgers (5) die Kraft entweder über das Hohlräder (3) oder das Sonnenrad (4) an den Antriebsstrang des geringsten Widerstands weiter. Die Funktionsweise ist mit einem Differential vergleichbar. Durch die elektronische Ansteuerung über den Fahrhebel schwenkt die Hydropumpe aus und fördert Öl zum Hydromotor. Der Traktor setzt sich in Bewegung, die Hydropumpe wird bis zu maximal 45 Grad ausgeschwenkt und übergibt anschließend die Leistungsübertragung an den mechanischen Antriebsstrang. Bei Höchstgeschwindigkeit wird der Hydromotor auf 0 Grad zurückgeschwenkt, die Hydropumpe sowie das Hohlräder werden blockiert und die Kraft des Motors wird vollständig über das Sonnenrad an die Räder übertragen. So ist der untere Geschwindigkeitsbereich dem hydrostatischen Antriebsstrang vorbehalten und der obere dem rein mechanischen Antriebsstrang. Der zwischen geschaltete

Torsionsdämpfer (1) gleicht entstehende Lastspitzen aus. Bei Rückwärtsfahrt ist die Funktionsweise dieselbe, allerdings schwenkt die Hydropumpe in die entgegengesetzte Richtung und kehrt somit Druck- und Saugseite der Pumpe um. (Wengelewski, 2021)

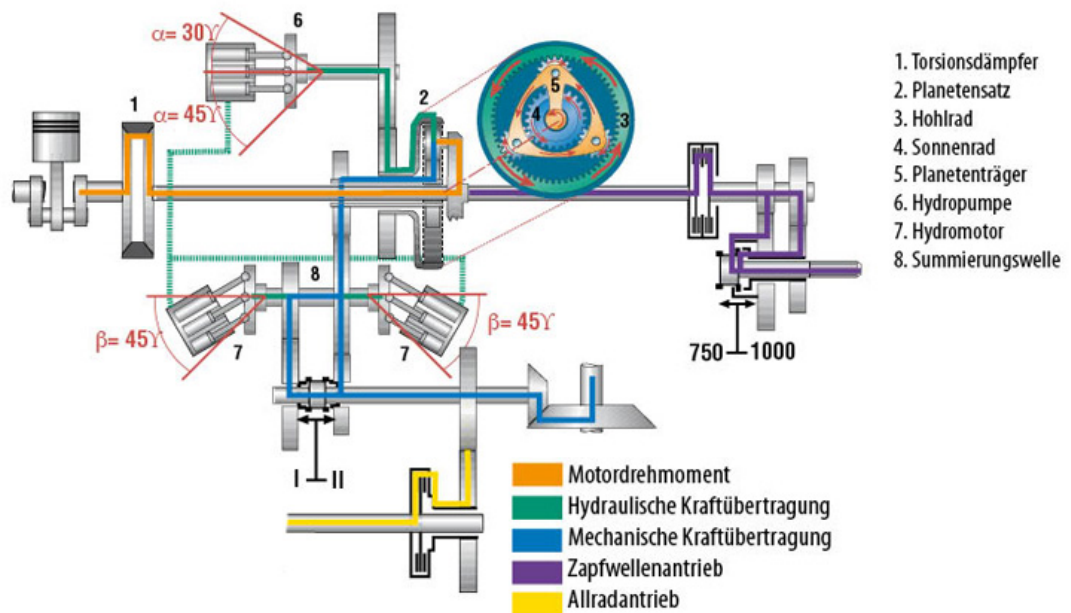


Abbildung 13 Fendt Vario Getriebe (Fendt, 2024)

Anschließend an die verschiedenen Getriebevarianten sind die erstmaligen Traktoren mit maximaler Höchstgeschwindigkeit von 40, 50 und 60 km/h der Marke Fendt dargestellt.

1.5.14. Elektronik

Die Elektronik legt den Grundstein für die nachfolgenden Meilensteine der Traktorgeschichte. Sie erstreckt sich von der Steuerung einzelner Komponenten über digitale Informationen, Handlungsvorschläge für Fahrtgeschwindigkeiten, bis hin zur Datenübertragung per Mobilfunk in Echtzeit. Allgemein lässt sich die Traktorelektronik in die Bereiche Fahrzeug, Information und Bedienung, Diagnose und Verbindung zum Betriebsmanagement unterteilen. Jede spezielle Anwendung ist einem dieser Bereiche zuzuordnen. (Auernhammer, 1991)

1.5.15. ISOBUS

ISOBUS bezeichnet ein standardisiertes internationales Kommunikationsprotokoll, das den Austausch von Daten und Informationen zwischen Traktor und Arbeitsgerät dank einer universellen Sprache ermöglicht. Die Entstehung des Systems ist auf die Mitte der 90er Jahre zurückzuführen, wo eine Vereinbarung wichtiger Landtechnik Hersteller die vorherrschenden Kompatibilitätsprobleme lösen sollte. Das System ist nach der ISO11783-Norm für Traktoren und Maschinen der Land- und Forstwirtschaft genormt. Somit ist die Kommunikation verschiedener Maschinen unabhängig vom Hersteller standardisiert. Es ermöglicht verschiedene Arbeitsgeräte über ein einziges grafisches, universelles Terminal (UT) anzuschließen und zu steuern. (agri-motion, 2024)

Die Funktionsweise ist vom CAN-BUS (Controlled Area Network) abgeleitet. Die einfachste Ausführung des Systems besteht aus dem Terminal und einem Job-Rechner. Dieser ist an dem Arbeitsgerät verbaut und steuert die verschiedenen Funktionen. Die Verbindung der beiden Komponenten erfolgt über den ISOBUS-Stecker. Ist der Jobrechner verbunden, meldet er sich auf dem Terminal an und ruft die Benutzeroberfläche des Arbeitsgeräts hervor. Diese gestaltet sich je nach Komplexität und Vielseitigkeit der Bedienung des Arbeitsgeräts. Der Traktor liefert zum einen den Strom, kann aber auch selbst als BUS-Teilnehmer eingebunden sein. So ist die Kombination des Systems mit Section Control oder dem Tractor Implement Management möglich. (Berning, 2021)

1.5.16. GPS-Steuerung

Der Ursprung von Satellitenortungssystemen ist auf das Militär zurückzuführen. Dort hatte die genaue Information über den eigenen Standort essenzielle Bedeutung für die Kriegsführung. Anschließend entwickelte die Schifffahrt Interesse an Satellitenortungssystemen mit dem Hintergrund der Navigation über das offene Meer. Letztendlich versuchte die Landwirtschaft als erster Industriezweig, die Satellitenortung zur Optimierung der Produktion einzusetzen. Von einer anfänglich Positionsgenauigkeit von 100m wurden die Systeme über die Jahre stetig weiterentwickelt, sodass in den späten 1990er Jahren die GPS gestützte Parallelführung mit einer Genauigkeit von 30-50cm möglich wurde. Seit dem Jahr 2003 sind automatische Lenksysteme für Traktoren verfügbar.

Diese basieren ebenfalls auf Satellitenortungssystemen, welche im Allgemeinen als GNSS (Global Navigation Satellite System) bezeichnet werden. Das System umfasst einen Komplex aus Satelliten und Bodenstationen, mit dem auf Basis von Signallaufzeitmessungen, Position und Bewegungsrichtung einer stationären oder mobilen Einheit bestimmt werden kann. So spricht man bei der Ortung mittels drei Satelliten von einer Trilateration und bei der Ortung mittels vier Satelliten von einer Multilateration. Um Laufzeitfehler zu vermeiden und den störungsfreien Betrieb zu gewährleisten ist eine Multilateration von Nöten. Die Genauigkeit des Systems hängt von der Qualität der Antenne, der Signalfilterung und den Algorithmen für die Signalverarbeitung, der Anzahl und Konstellation der verfügbaren Satelliten und dem Ausmaß atmosphärischer Störungen ab. So ergeben sich für die unterschiedlichen Korrektursignale folgende relative- und absolute Genauigkeiten (Abbildung 14):

Einfrequenz DGPS	Zweifrequenz DGPS	RTK
• SF1	• SF2	• RTK-Netzwerk
• 10-30cm	• 5-10cm	• ~ 2cm
• ~ 1m	• 20-30cm	• ~ 2cm
• Lizenzkostenfrei	• Kostenpflichtiges Korrektursignal	• Kauf Basisstation • Abonnement • Wiederholbarkeit

Abbildung 14 Genauigkeitsstufen GNSS (Noack, 2018)

In der Praxis finden Parallelführungs- und automatische Lenksysteme durch ihre einfache Bedienung und den unmittelbar resultierenden Nutzen Einsatz. In den meisten Fällen wird die populäre AB-Methode verwendet. Es wird ein Anfangspunkt A und Endpunkt B definiert. Im Anschluss berechnet das System eine gerade Referenzlinie zwischen den definierten Punkten und generiert auf Grundlage der Arbeitsbreite des Arbeitsgeräts parallele Linien. Neben einer geraden Referenzlinie können auch Kurven, Vorgewende- oder Kreisregnerfahrspuren angelegt werden. Neben den allgemeinen Vorteilen der Fahrerentlastung und dem optimierten Einsatz von Betriebsmitteln bietet der Einsatz von GPS-Systemen weitere innovative Möglichkeiten. So ist das Strip Till Verfahren und das Bewirtschaften der Flächen auf Grundlage des Controlled Traffic Farmings durch den Einsatz von GPS-Systemen möglich. Allgemein ist die Integration von solchen Systemen ein weiterer Schritt in Richtung Effizienzsteigerung und Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion. (Noack, 2018)

1.5.17. *Flottenmanagement & Betriebssoftware*

Neben der Positionsbestimmung bietet ein GNSS basierendes System die Möglichkeit des Transfers weiterer Daten. Diese werden mittels CAN-BUS aufgezeichnet und per GPRS (General Packet Radio Service) an einen Server übertragen. Von dort können die Daten über eine Internetverbindung auf beliebigen Geräten abgerufen werden.

Das System vereinfacht somit die Informationsbeschaffung über die ganze Flotte. Position und Fahrwege, Kraftstoffverbrauch und AdBlue Füllstand, Geschwindigkeit und Arbeitszeit, Auslastung, Fehlermeldungen und anstehende Serviceintervalle der Maschine können übermittelt werden. Durch den Einsatz von Flottenmanagement kann somit die Produktivität der Dokumentation gesteigert und die Planung sowie Koordination der gesamten Flotte effizienter ausgeführt werden. (Fendt, 2024)

Einen weiteren Schritt in Richtung Digitalisierung bietet die Nutzung einer Betriebssoftware. Diese bietet eine innovative Lösung des Datenaustauschs zwischen Fahrer und Büro und eignet sich besonders für große Betriebe und Lohnunternehmen. Prinzipiell lässt sich die Anwendung in die Bereiche Auftragserfassung, digitales Belegmanagement, Disposition, Flottenmanagement und Ackerschlagverwaltung unterteilen. Alle Daten und Aufträge werden digital und in Echtzeit erfasst. So kann kontinuierlich, per Online-Datenzugriff, auf die Daten zugegriffen und die anschließende Büroarbeit minimiert werden. Mit nur einem Klick lässt sich aus einem erledigten Auftrag eine Rechnung generieren, welche direkt per Mail versendet werden kann. Zusätzlich bietet die Software die Möglichkeit der Arbeitszeit- sowie Maschinenplanung und deren Koordination. Durch das GPS-Tracking kann der Bearbeitungsfortschritt und der aktuelle Standort jeder Maschine auf der Echtzeitkarte angezeigt werden. Die Karte dient außerdem der Flächenverwaltung. So können die Schlaggrenzen sowie die Aufwands- und Ertragsmengen pro Schlag dargestellt werden. Auf Grundlage dessen lässt sich die Düngbedarfsermittlung erstellen. (agrarmonitor, 2024)

1.5.18. *Vorgewende Management*

Das Vorgewende-Management automatisiert den Wendevorgang einer Traktor Arbeitsgerät Kombination bei der Feldarbeit. Wiederkehrende Bedienfolgen können aufgenommen und per Knopfdruck wieder abgespielt werden. Anhand des Vorgewende-Management System von Claas, dem CSM (Claas Sequence

Management), sollen die Funktion und die resultierenden Vorteile eines solchen Systems aufgezeigt werden. Das System fasst einzelne Arbeitsschritte zu einer Sequenz zusammen und bedient sich dabei folgender Traktorfunktionen:

- Steuergeräte mit Zeit- und Mengensteuerung
- Allradantrieb, Differentialsperre, Vorderachsfederung
- Front- und Heckkraftheber
- Tempomat
- Front- und Heckzapfwelle
- Motordrehzahlspeicher

So lässt sich auch die Arbeitsabfolge komplexer Arbeitsgeräte, die parallele und schnell aufeinander folgende Traktorfunktionen benötigen, komfortabel ausführen. Das System arbeitet wahlweise weg- oder zeitabhängig. So kann auf der einen Seite eine gewisse Zeit zwischen der Ausführung einzelner Funktionen abgespeichert werden. Auf der anderen Seite hingegen basiert die Ausführung einzelner Funktionen auf einer bestimmten, zurückgelegten Wegstrecke. Zudem lässt sich eine abgespeicherte Sequenz pausieren und nachträglich optimieren. Einzelne Schritte können eingefügt, gelöscht und in jedem Detail angepasst werden.

Neben der Entlastung des Fahrers sorgt das System für minimale Fahrstrecken auf der Fläche. Somit werden Ernteverluste und Nebenzeiten minimiert und der Boden aktiv geschont. In Kombination mit einem GPS-Lenksystem und Section Control lässt sich das Einsetzen und Ausheben des Arbeitsgerätes präzise, auf wenige Zentimeter genau, ausführen. Fehlstellen und Überlappungen am Vorgewende gehören aufgrund dieser Technik der Vergangenheit an. (Claas, 2024)

1.5.19. Tractor-Implement-Management

Tractor-Implement-Management ist ein ISOBUS basiertes System, welches dem Arbeitsgerät die Möglichkeit gibt, den Traktor zu steuern. Das anbieterübergreifende landwirtschaftliche Technologiesystem nutzt die Intelligenz der gesamten Kombination, bestehend aus Traktor und Arbeitsgerät. Die zugrundeliegende bidirektionale Kommunikation ermöglicht die Übertragung der Steuerung in beide Richtungen. Das angehängte Arbeitsgerät optimiert seinen Betrieb folglich von selbst. Anwendung findet das System vorrangig im Bereich der Ballenpressen und Pflanzenschutzspritzen. So kann die Ballenpresse die Fahrgeschwindigkeit und hydraulischen Ventile des Traktors automatisch steuern, was einerseits den Fahrer entlastet und andererseits die Effizienz des Gesamtprozesses steigert. Eine Tractor-

Implement-Management fähige Pflanzenschutzspritze regelt, durch den Zugriff auf die Fahrgeschwindigkeit des Traktors, die gewünschte Ausbringmenge selbstständig. Folie 64 zeigt die Kernelemente des Systems und verdeutlicht die Funktionsweise anhand eines Videos. (AEF, 2024)

1.5.20. *Maschinenoptimierungssysteme*

Die Maschinenoptimierungssysteme in der Branche der Landtechnik setzen ihren Ursprung im Bereich der Mähdrescher. Der Hersteller Claas bietet für seine Mähdrescher das System CEMOS-Automatik an. Es erkennt die Verluste, den Bruchkornanteil, den Kurzstrohanteil sowie die Gutfeuchte. Anhand der erfassten Daten wird die Dreschkorbeinstellung, Drehzahl der Dreschtrommel und die Vorfahrtsgeschwindigkeit des Mähdreschers geregelt.

Abgeleitet von der CEMOS-Automatik im Bereich der Mähdrescher hat ebenfalls der Hersteller Claas im Jahr 2020 ein Maschinenoptimierungssystem für Traktoren vorgestellt. Es bildet einen zuverlässigen Assistenten für den Fahrer, schlägt Einstellungswerte vor und versucht die Maschine permanent an die gegebenen Einsatzbedingungen anzupassen. Die Einstellungsvorschläge beziehen sich auf die Ballastierung, den Reifendruck sowie Motor- und Getriebeeinstellungen des Traktors. Somit lässt sich die Komplexität der Einstellungen reduzieren und das Optimum der Maschinenabstimmung auf die jeweiligen Einsatzbedingungen schneller erreichen. Durch Anwendung des Systems lässt sich, durch die deutsche Landwirtschaftsgesellschaft geprüft und bestätigt, eine bis zu 16,3% höhere Flächenleistung (ha/h) und bis zu 16,8% weniger Kraftstoffverbrauch (l/h) generieren. Durch die steigende Flächenleistung sinken somit die Betriebskosten und die CO₂-Bilanz des Betriebs verbessert sich. Außerdem resultierten aus dem optimalen Reifendruck eine geringe Bodenverdichtung und ein minimierter Reifenverschleiß. Analog zu den vorherigen Systemen wird ebenfalls die Komponente Mensch entlastet und durch die Nutzung des vollen Maschinenpotentials, die Effizienz des Gesamtprozesses weiterhin gesteigert. (Claas, 2024)

1.5.21. *Section Control*

Section Control, zu deutsch Teilbreitenschaltung ist ein digitales Assistenzsystem, welches sich der präzisen Applikation in der Landwirtschaft widmet. Durch die Technik lassen sich einzelne Aggregate gezielt elektronisch an- und abschalten.

Die Problematik der landwirtschaftlichen Feldarbeit entsteht durch unförmige Ackerschläge, welche nicht quadratisch zugeschnitten sind und somit bei der Bearbeitung Keile entstehen. Ohne eine Teilbreitenschaltung des Arbeitsgerätes kommt es besonders bei großen Arbeitsbreiten zu Überlappungen. Die Keilfläche unterliegt der mehrfachen Behandlung mit Saatgut-, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Der Einsatz von Section Control ermöglicht es, die mehrfache Behandlung dieser Keilflächen auf ein Minimum zu reduzieren. Auf Grundlage von Satelliten- und spezifischen Flächendaten wird das System in die ISOBUS-Kommunikation integriert. Die Genauigkeit der Applikation ist somit abhängig von der Genauigkeit des GNSS-Empfängers.

Im Einsatzbereich der Pflanzenschutzspritzen bietet Section Control die Möglichkeit jede einzelne Düse abzuschalten und damit eine maximale Überlappungsbreite von 25-50cm zu erreichen (Abbildung 15). Das Einsparpotential liegt bei mehr als 5% und reduziert somit aktiv die Umweltbelastung durch übermäßig ausgebrachte Stoffe. Je größer die Arbeitsbreite des Arbeitsgerätes und je unförmiger die Fläche, desto höher ist das Einsparpotential. Die Größe der doppelt applizierten Fläche wird zudem von der Größe der Teilbreite und dem Winkel der gefahrenen Fahrgasse zum Vorgewende bestimmt.

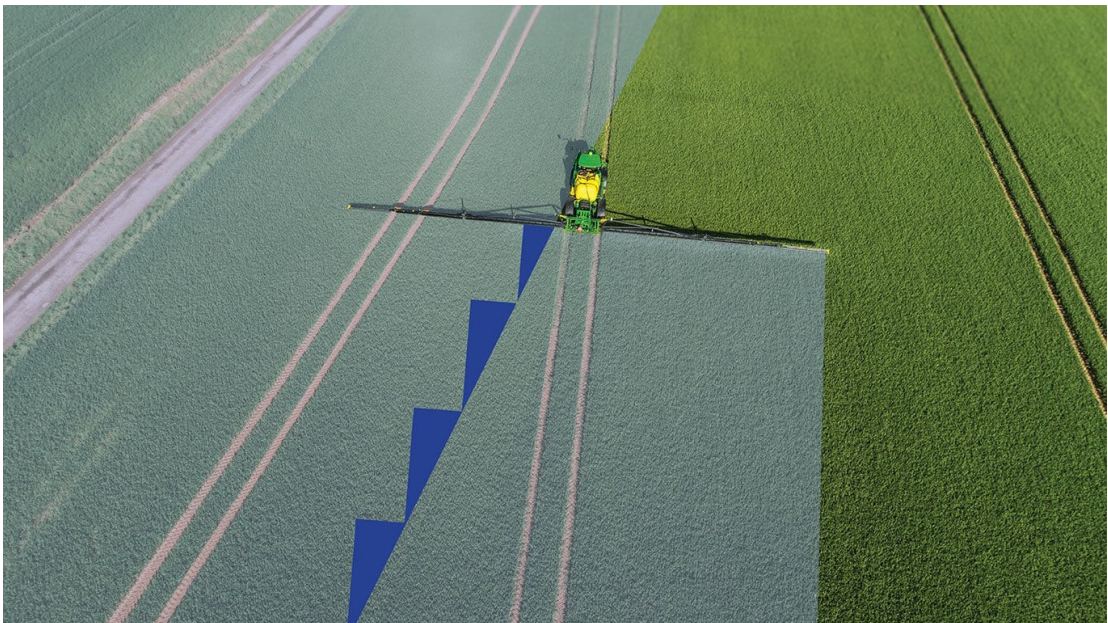


Abbildung 15 Section Control Überlappungsbereiche (Spingat, 2024)

Neben der allgemeinen Entlastung des Fahrers ist das System auch durch die automatische Steuerung unabhängig von der Tageszeit einsetzbar. Folie 66 zeigt das Einsatzspektrum sowie die Vor- und Nachteile von Section Control. (Spingat, 2024)

1.5.22. *Online-Kundenportale*

Online-Kundenportale stellen den jüngsten Schritt in Richtung Digitalisierung der Landtechnik dar. Sie sorgen für eine digitale Vernetzung vom Hersteller, über den Vertriebspartner inklusive Vertragswerkstatt, bis hin zum Kunden. Anhand des Kundenportals „My John Deere“ wird der Inhalt und die Funktion eines solchen Systems auf Folie 67 dargestellt. Hauptbestandteile beziehungsweise Anwendungen lassen sich wie folgt kategorisieren:

- Maschinenlisten
- Benachrichtigungen / Warnungen
- Ersatzteillisten / Bedienungsanleitungen
- Reparatur- und Garantieinformationen

Die Benutzeroberfläche des Portals lässt sich individuell anordnen. Einzelne Anwendungen lassen sich auf der Startseite unterschiedlich groß anzeigen, hinzufügen oder entfernen. Das Anlegen verschiedener Vertriebspartner ist die Grundlage für eine schnelle und einfache Zusammenarbeit. Über den Ersatzteilservice können Ersatzteile verwaltet und Servicetermine vereinbart werden. Die angelegte Maschinenliste, welche alle Maschinen des Kunden beinhaltet, liefert detaillierte Informationen über jede einzelne Maschine des Fuhrparks. Dies beinhaltet die Motorbetriebsstunden und den aktuellen Standort der Maschine sowie zugehörige Garantieinformationen, Produktverbesserungspläne, Benachrichtigungen und zur Seriennummer passende Ersatzteilkataloge.

Ziel der Online-Kundenportale ist ein schneller Zugriff auf alle wichtigen Informationen, um somit eine effiziente Zusammenarbeit zu generieren. (John Deere, 2024)

2. *Traktorsystematik*

Traktoren lassen sich bauartbedingt voneinander unterscheiden und dementsprechend in verschiedenen Klassen einstufen. Grundlegend lässt sich zwischen Rad- und Raupenschleppern differenzieren. Weiterhin sind die Radschlepper anhand der Anzahl der Achsen und die Raupenschlepper anhand der Lenkungsart aufgegliedert.

Ziel ist es die Studierenden zum einen auf die Merkmale und Funktion, sowie zum anderen auf das Einsatzspektrum der jeweiligen Traktorbauart zu sensibilisieren.

2.1. Radschlepper

Durch unterschiedliche Anforderungen eines Arbeitsgerätes an den Traktor bringt die Entwicklung verschiedene Traktorbauarten mit sich. Grundlage der Entwicklung ist die Anbringung und möglichst effiziente Kraftübertragung auf das angehängte oder angebaute Arbeitsgerät. Somit ergeben sich aus speziellen Anforderungen, spezielle Traktorbauweisen. Die Systematik der Radschlepper lässt sich klassifizieren in die Bereiche Einachs-, Zweiachs-, Dreiachs- und Vierachsschlepper.

1. Einachsschlepper

Die mechanisch- oder hydrostatisch angetriebenen Schlepper mit nur einer Achse werden in der Regel von einem hinterhergehenden Bediener gelenkt. Der Antrieb von Arbeitsgeräten wird mechanisch über eine Zapfwelle realisiert. Einsatz fanden die Kleinstgeräte in der Landwirtschaft vorwiegend in den 1950er bis 1970er Jahren. Anschließend wurden Sie durch größere Maschinen verdrängt und finden nur noch in vereinzelt Nischen ihren Einsatz. So erstreckt sich das aktuelle Einsatzspektrum von Einachsschleppern von Kommunen über Garten- und Landschaftsunternehmen bis hin zur Hangbewirtschaftung in den Alpen. (Wikipedia, 2024)

2. Zweiachsschlepper

Der Zweiachsschlepper ist nicht nur die bekannteste Traktorenbauart, sondern auch die mit dem größten Marktanteil. Seit der Entstehung des ersten Traktors im Jahr 1890 hat sich das System mit zwei Achsen und vier Rädern bewährt und durchgesetzt. Die Zweiachsschlepper lassen sich in vier Kategorien unterteilen. Die Systemschlepper und Spezialschlepper wiederum lassen sich erneut in drei beziehungsweise vier Unterkategorien differenzieren (Abbildung 16).

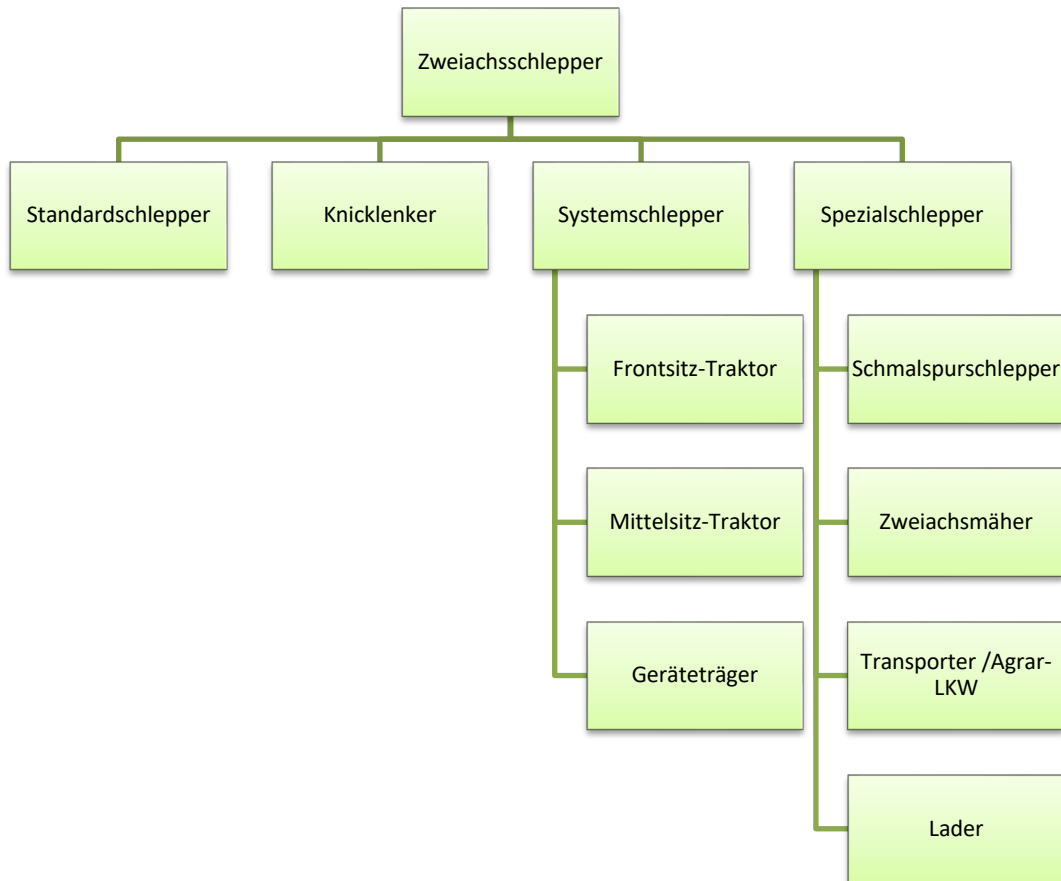


Abbildung 16 Systematik der Zweiachsschlepper (Eigene Darstellung)

2.1 Standardschlepper

Der Standradschlepper zeichnet sich durch große Räder der Hinterachse und kleine Räder der Vorderachse aus. Die Fahrerposition, beziehungsweise die Fahrerkabine sitzt über der Hinterachse und der Motor ist zentral vor der Kabine verortet. Der Anbauraum eines Standardschleppers teilt sich auf Heck-, Front- und den Zwischenachsbereich auf. Durch die fortschreitende Entwicklung der Arbeitsgeräte hat sich der Front- und Heck- gegenüber dem Zwischenachsenanbau durchgesetzt. Anhand der Folien 73-77 sollen die Studierenden auf die Merkmale des Standardschleppers und deren Entwicklung über die Jahre sensibilisiert werden. (Wenner, 1980)

2.2 Knicklenker

Die Schlepperbauart der Knicklenker findet ausschließlich Einsatz in der schweren Feldarbeit. Das Chassis der groß dimensionierten Schlepper erstreckt sich über zwei Teile, welche über ein Gelenk miteinander verbunden sind. So wird beim Richtungswechsel der vordere Teil des Chassis verschwenkt und der hintere Teil spurgetreu hinterher gezogen. (BEYER, 2024)

2.3 Systemschlepper

Systemschlepper differenzieren sich von Standardschleppern durch ihren abgewandelten, beziehungsweise angepassten Aufbau an unterschiedliche Arbeitsprozesse. Somit eignen sich die drei Unterkategorien der Systemschlepper besonders für einen bestimmten Einsatzzweck.

2.3.1 Frontsitz-Traktor

Die Bauart der Frontsitztraktoren kennzeichnet sich durch die über der Vorderachse sitzende Fahrerkabine. Anbau Räume teilen sich auf Front und Heck, sowie den Aufbaureaum über der Hinterachse auf. Somit entsteht bauartbedingt ein guter Überblick auf die Front und ein dementsprechend eingeschränkter Überblick auf das Heck des Schleppers. Anhand des Unimogs zeigen Folie 86-88, die Vor- und Nachteile und das Einsatzspektrum von Frontsitztraktoren.

2.3.2 Mittelsitz-Traktor

Mittelsitztraktoren zeichnen sich durch ihre Vielfalt an Anbau Räume aus. Sie bieten neben dem üblichen Front- und Heckanbau, einen Aufbaureaum in der Front, sowie im Heck. Die Kabine sitzt mittig zwischen der Vorder- und Hinterachse. Dies bedingt die gute Straßenlage und den hohen Fahrkomfort der Mittelsitztraktoren.

2.3.3 Geräteträger

Die Bauart der Geräteträger stellt den Ursprung aller Systemschlepper dar. Hintergrund der Entwicklung eines Geräteträgers ist die gute Übersicht über alle vorhandenen Anbau Räume. Besondere Bedeutung kommt der Zwischenachsenbauplatte zu, welche zwischen der Vorder- und Hinterachse angeordnet ist. Durch den unter der Kabine sitzenden Motor hat der Fahrer freie Sicht auf den Zwischenachsbereich. (Wikipedia, 2024)

2.4 Spezialschlepper

Die Schlepperbauart der Spezialschlepper findet Einsatz in unterschiedlichen Nischen der Landwirtschaft. Durch die Anordnung, Lage und Dimensionen dieser Nischen ist der universelle Standardschlepper ungeeignet. Somit bringt der Spezialschlepper die höchste Anpassung an ein spezielles Einsatzgebiet mit sich.

2.4.1 Schmalspurschlepper

Die landwirtschaftliche Nischenkulturen des Obst- und Weinanbaus erfordern durch die reihenförmige Anordnung der Kultur eine besondere Traktorbauart. Wie der Name sagt, zeichnet sich der Schmalspurschlepper durch seine schmale Spurweite aus. Durch seinen bauartbedingt niedrigen Schwerpunkt kann dieser zusätzlich in Hanglagen eingesetzt werden.

2.4.2 Zweiachsmäher

Die Zweiachsmäher zeichnen sich durch ihre breite Spurweite, geringes Eigengewicht und niedrigen Schwerpunkt aus. Sie werden ausschließlich am Steilhang zur Grünfütterernte eingesetzt.

2.4.3 Transporter und Agrar-LKW

Die sogenannten Transporter stellen die größte Abwandlung des herkömmlichen Standardschleppers dar. Die vom Lastkraftwagen abgewandelten Agrarfahrzeuge sind durch ihren Wechselaufbau im Transport universell einsetzbar. Durch ihren ebenfalls niedrigen Schwerpunkt und vergleichsweise geringes Eigengewicht erstreckt sich das Einsatzspektrum vorwiegend auf die Hangbewirtschaftung.

Die Weiterentwicklung vom Lastkraftwagen zum Agrar-LKW ermöglicht die Effizienzsteigerung des Transports landwirtschaftlicher Güter. Das sich hauptsächlich durch die breite Agrarbereifung vom klassischen Lastkraftwagen unterscheidende Fahrzeug bietet neben dem Heck- und Frontanbau, die Möglichkeit aufgesattelte Arbeitsgeräte mitzuführen.

2.4.4 Lader

Der Ursprung der Lader ist auf die Bauart der Standardschlepper zurückzuführen. Mithilfe eines angebauten „Klinkladers“ wurde das Heben und Bewegen von Lasten möglich. Durch Ziehen eines Seilzugs wurde das Arbeitswerkzeug ausgeklinkt und somit ausgeschüttet. Die anfänglichen Frontlader verfügten nur über eine Hubfunktion und wurden durch ihr Eigengewicht wieder heruntergelassen. (Wikipedia, 2024)

Die aktuellen Laderbauarten lassen sich wie folgt klassifizieren:

- Frontlader (Standardschlepper)
- Hoflader
- Teleskoplader
- Teleskopradlader

Anhand der Folien 102-105 werden die verschiedenen Bauarten, sowie deren Vor- und Nachteile aufgezeigt.

2.5 Dreiachsschlepper

Der Konstruktion von Drei- und Vierachsschlepper liegt maximale Traktion bei minimalem Bodendruck zugrunde. Die leistungsstarken Ackerschlepper gehören aufgrund ihrer großen Dimension der Seltenheit an und wurden nur in geringen Stückzahlen produziert. Bezüglich der Lenkung lässt sich zwischen Drei- und Vierachsschlepper differenzieren. Die Dreiachsschlepper zeichnen sich durch die starre Mittelachse und die gelenkte Hinter-, sowie Vorderachse aus.

2.6 Vierachsschlepper

Vierachsschlepper hingegen sind nach dem Prinzip der Knicklenker gelenkt. Aufgrund der außergewöhnlichen Abmessung der Schlepper ist die Straßentauglichkeit und somit die verkehrssichere Zulassung problematisch. Anhand der Folien 79-80 werden exemplarisch je zwei Vertreter von Drei- und Vierachstraktoren dargestellt. Durch die technischen Daten der Schlepper soll das Ausmaß der Dimensionen verdeutlicht werden.

2.2. *Raupenschlepper*

Die den Raupenschleppern zugrunde liegenden Laufwerke finden vom Militär, über die Baumaschinentechnik und der Pistenräumung in Skigebieten, bis hin zur Land- und Forstwirtschaft ihren Einsatz. Unterschiedliche Materialien der Raupenkettens bieten eine bestmögliche Anpassung an das jeweilige Einsatzspektrum. So werden bei landwirtschaftlichen Raupenschleppern vorrangig Gummiraupenkettens verbaut. Bauartbedingt lässt sich die Systematik der landwirtschaftlichen Raupenschlepper, anhand Anzahl der Laufwerke und Art der Lenkung wie folgt klassifizieren:

- Raupe
- Standardschlepper
- Knicklenker
- Raupe + Rad

Durch die große Aufstandsfläche realisieren Raupenschlepper eine hohe Zugkraft bei minimalem Schlupf. Radschlepper weisen bei identischen Einsatzbedingungen eine zwei- bis vierfach so hohe Schlupfrate auf. Das hohe Eigengewicht der Raupenschlepper ist ein Fluch und Segen zugleich. Auf der einen Seite können durch die bessere Traktionsfähigkeit der Raupenschlepper größere Arbeitsgeräte gezogen

werden. Die Produktivität pro Hektar nimmt somit deutlich zu. Auf der anderen Seite hingegen ist der Bodendruck nahezu identisch zu einem leichten Radschlepper-Arbeitsgerät-Gespann. Somit bietet die Bauart der Raupenschlepper hinsichtlich der Bodenbelastungen nur einen Vorteil bei identischer Gewichts- und Leistungsklasse. Die Anschaffungskosten der Raupenschlepper sind allerdings bei identischer Ausstattung deutlich höher verordnet als die der Radschlepper. Anhand der Folien 106-108 wird die Systematik der Raupenschlepper, sowie deren Merkmale und eine Gegenüberstellung der Rad- und Raupenschlepper aufgezeigt. (Bridgestone, 2022)

3. *Aussicht in die Zukunft*

Mit dem Hinblick auf die Zukunft der Traktorgeschichte sind auf den Folien 109-110 zwei autonome Traktorsysteme unterschiedlicher Hersteller dargestellt. Anhand der technischen Daten und Entwicklungshintergründen der autonomen Systeme, soll den Studierenden ein Ausblick auf die mögliche Zukunft der Traktorgeschichte gewährt werden. Die abschließende Folie bezieht sich auf künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft. Anhand der Fragestellung: „Ist die Komponente Mensch ersetzbar?“ soll der vorliegende Sachverhalt diskutiert und von den Studierenden selbst eingestuft werden, ob der Einsatz von künstlicher Intelligenz die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion steigert.

1. Combined Powers Krone / Lemken (Abbildung 17)

Die visionären Familienunternehmen Krone und Lemken haben in Zusammenarbeit das Projekt „Combined Powers“ ins Leben gerufen. Ihr Ziel ist es dem Arbeitskräftemangel entgegenzuwirken und die Autonomie in der Landwirtschaft zu fördern. Die Kompetenzen beider Unternehmen aus den Bereichen Grünfütterernte und Ackerbautechnik prägen die Entwicklung der sogenannten „Verfahrenstechnischen Einheit“. Der Fokus liegt auf dem bestmöglichen Arbeitsergebnis und gleichzeitig sicherem Einsatz in allen Bereichen. Aufgrund dessen steuert das Arbeitsgerät die Antriebseinheit über ISOBUS, beziehungsweise Tractor-Implement-Management. Ebenso wird besonderer Wert auf intuitive Bedienung und die kontinuierliche Prozessüberwachung gelegt. Somit lässt sich das autonome System über mobile Endgeräte steuern und die Arbeitsaufträge sowie Dokumentation über ein Kommunikationsmodul übermitteln. (Lemken, 2024)



Abbildung 17 Combined Powers Krone / Lemken (Land & Forst, 2024)

2. Agxeed AgBot 5.115 T2 (Abbildung 18)

Das 2018 gegründete Unternehmen Agxeed nimmt sich mit der Entwicklung von autonomen Traktoren der Entlastung des Landwirts an. Zusätzlich hat die Schonung des Bodens bei der Entwicklung der autonomen Systeme großen Stellenwert.

Der AgBot 5.115 T2 verfügt über bodenschonende Raupenlaufwerke, welche in der Spurbreite variabel an die gegebenen Einsatzbedingungen anpassbar sind. Ebenso wie das Combined Powers System wird der AgBot dieselelektrisch angetrieben und verfügt über einen Anbauraum im Heck und in der Front. Somit ist der Zug- und Schubbetrieb der autonomen Traktoren möglich. Das Einsatzspektrum des AgBots bezieht sich hauptsächlich auf die Boden- und Saatbettvorbereitung, sowie die Aussaat. Hingegen eignet sich das Combined Powers System zusätzlich für die Grünlandarbeit. (agxeed, 2024)



Abbildung 18 Agxeed AgBot 5.115 T2 (geo-konzept, 2024)

3. Künstliche Intelligenz

Maschinen oder Roboter, welche über künstliche Intelligenz verfügen, können Muster in großen Datenmengen erkennen und anhand dieser selbstständig Lösungsansätze, beziehungsweise weitere Arbeitsschritte ableiten. Die Datenerfassung erfolgt über Sensoren, Kameras oder akustische Signale. Voraussetzung für den zuverlässigen Betrieb künstlicher Intelligenz basierter Systeme, ist einerseits die korrekte Datenerhebung. In der Landwirtschaft können Staub, Hitze oder Nässe die Datenerfassung beeinträchtigen und somit zu fehlerhaften Entscheidungen führen. Andererseits ist eine ausreichende Mobilfunkabdeckung und Breitbandverfügbarkeit Bedingung für den zufriedenstellenden Betrieb der Systeme. In Anbetracht des Datenschutzes ist aktuell noch nicht sichergestellt, dass Daten von Maschinen genauso geschützt sind wie personenbezogene Daten.

Der aktuelle Entwicklungsstand solcher Systeme bietet einen großen Nutzen im Bereich der Landwirtschaft. So kann zum Beispiel der Ausbringzeitpunkt von Dünger oder die Zusammenstellung einer optimalen Futtermischung auf Grundlage erhobener Daten durch künstliche Intelligenz bestimmt werden. Um Kompatibilitätsprobleme zu beseitigen und zusätzliche Potenziale nutzbar zu machen, ist die weitere Forschung im Bereich künstlicher Intelligenz erforderlich. (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2023)

4. *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1 Lokomobile beim Pflügen mittels Seilwinden (Karl Eduard, 2015).....	5
Abbildung 2 Ochsen gespannt (Lexikus, 2015).....	6
Abbildung 3 Dampftraktor mit Pflug (Dingler, 2015).....	7
Abbildung 4 Motortragpflug (Wikipedia, 2024).....	7
Abbildung 5 Standardtraktor (Brenig, 2024).....	8
Abbildung 6 verschiedene Anhängervorrichtungen (Scharmüller, 2024).....	12
Abbildung 7 Scharmüller CCS Zugmaul (Scharmüller, 2024).....	13
Abbildung 8 Reifenbauarten (DLG, 2024).....	14
Abbildung 9 Außenzahnradpumpe (Hydromot, 2024).....	17
Abbildung 10 Axialkolbenverstellpumpe (Schrägachsenbauart) (Amhaus, 2024).....	18
Abbildung 11 Kabinenkategorien nach DIN EN 15695 (SNDC, 2024).....	21
Abbildung 12 21/6-Gang-Overdrive-Getriebe (Fendt, 2024).....	25
Abbildung 13 Fendt Vario Getriebe (Fendt, 2024).....	27
Abbildung 14 Genauigkeitsstufen GNSS (Noack, 2018).....	29
Abbildung 15 Section Control Überlappungsbereiche (Spingat, 2024).....	33
Abbildung 16 Systematik der Zweiachsschlepper (Eigene Darstellung).....	36
Abbildung 17 Combined Powers Krone / Lemken (Land & Forst, 2024).....	41
Abbildung 18 Agxeed AgBot 5.115 T2 (geo-konzept, 2024).....	41

5. Literaturverzeichnis

- ackerschlepper. (12. 03 2024). *ackerschlepper*. Von ackerschlepper: <http://www.ackerschlepper.com/porsche-diesel-fendt/rechtliches/ueberrollbuegel/ueberrollbuegel.html> abgerufen
- AEF. (14. 03 2024). *aef-online*. Von aef-online: <https://www.aef-online.org/de/ueberuns/activities/tractor-implement-management-tim.html> abgerufen
- AGCO GmbH . (2024). *Fendt ISU*. Marktoberdorf : Fendt Marketing .
- agrarmonitor. (13. 03 2024). *AGRARMONITOR*. Von AGRARMONITOR: <https://www.agrarmonitor.de/software/> abgerufen
- agri-motion. (13. 03 2024). *agri-motion*. Von agri-motion: <https://www.agri-motion.com/de/nachrichten/artikel/was-ist-ein-isobus-system-und-wie-es-funktioniert#:~:text=ISOBUS%20ist%20ein%20standardisiertes%20internationales,gemeinsame%20Sprache%20miteinander%20zu%20kommunizieren.> abgerufen
- agxeed. (17. 03 2024). *agxeed*. Von agxeed: <https://www.agxeed.com/de/unsere-losungen/agbot-5-115t2/> abgerufen
- Amhaus, T. (2010). *Pneumatik und Hydraulik*. EUROPA-LEHRMITTEL.
- Amhaus, T. (18. 03 2024). Von https://www.hs zg.de/fileadmin/user_upload/Redakteure/F_EI/Navigation_Oben/Startseite/Studenten/Berufsspezifk/Pneumatik_Hydraulik/Pneumatik_und_Hydraulik_-_Skript_neu.pdf abgerufen
- Andrew. (04. 03 2024). *andrewliyanage*. Von andrewliyanage: <https://andrewliyanage.com/was-ist-der-unterschied-zwischen-4-und-2-takt-motoren/> abgerufen
- Aral. (04. 03 2024). *Aral*. Von Aral: https://www.aral.de/de/global/forschung/wissenswertes/antriebe/dieselmotor-und-ottomotor-im-vergleich.html#accordion_1 abgerufen
- Auernhammer, H. (1991). *Elektronik in Traktoren und Maschinen*. München: BLV Verlagsgesellschaft München.
- Berning, F. (2021). *profi*. Von profi: <https://www.profi.de/iso-bus-das-kann-er-heute-12502628.html> abgerufen
- BEYER. (15. 03 2024). *BEYER*. Von BEYER: <https://www.beyermietservice.de/service/glossar/k/knicklenkung> abgerufen
- Brenig. (03 2024). *Brenig*. Von Brenig: <http://www.mvc-brenig.de/Fotos/Trak/Fordson2.jpg> abgerufen
- Bridgestone. (18. 07 2022). *Bridgestone*. Von Bridgestone: <https://blog.bridgestone-agriculture.de/vf-landwirtschaftsreifen-gegen-raupenfahwerk-vor-und-nachteile> abgerufen

- Bridgestone. (06. 03 2024). *Bridgestone Europe* . Von Bridgestone Europe:
<https://blog.bridgestone-agriculture.de/fortschritt-bei-agrarreifen-was-bedeutet-das-für-meinen-betrieb#:~:text=Seit%20der%20Erfindung%20des%20Agrarreifens,Landwirte%20immer%20besser%20zu%20erfüllen.> abgerufen
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. (01. 07 2023). *Bundesinformationszentrum Landwirtschaft*. Von Bundesinformationszentrum Landwirtschaft:
<https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wird-kuenstliche-intelligenz-in-der-landwirtschaft-angewendet> abgerufen
- Claas. (05. 03 2024). *Claas*. Von Claas: <https://www.claas.de/produkte/traktoren/xerion-hrc> abgerufen
- Claas. (05. 03 2024). *Claas*. Von Claas: <https://www.claas.de/produkte/technologien/claas-power-systems> abgerufen
- Claas. (12. 03 2024). *Claas*. Von Claas: <https://www.claas.de/aktuell/meldungen-veranstaltungen/meldungen/automatische-streckbremse-fuer-arion-cmatic/2514842> abgerufen
- Claas. (14. 03 2024). *Claas*. Von Claas:
https://www.claas.de/blueprint/servlet/resource/blob/2644052/7736bcccd6404e3cf2414f6c41b03159/395511_23-dataRaw.pdf abgerufen
- Claas. (14. 03 2024). *Claas*. Von Claas: <https://www.claas.de/produkte/digitale-loesungen/ceмос/ceмос-traktoren> abgerufen
- Dingler. (04 2015). *Dingler*. Von Dingler: http://dingler.culture.huberlin.de/dingler_static/pj267/32422814Z/tx267074a.png (27.04.16-09:57) 6 abgerufen
- DLG. (16. 02 2024). *DLG*. Von DLG:
https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_356.pdf abgerufen
- Eder, J. (23. 09 2016). *agrardeute*. Von agrardeute:
<https://www.agrardeute.com/technik/ackerbautechnik/jcb-sgt-entwickeln-schwanenhals-guellefass-fuer-fastrac-527062> abgerufen
- Eggert, A. (2000). *Aschendorffs Traktorenbuch*. Aschendorff.
- Fendt . (19. 03 2024). *Fendt* . Von Fendt :
http://www.fendt.com/int/de/images/VarioGetriebe900_Schema_zoom.jpg abgerufen
- Fendt. (29. 02 2024). *Fendt*. Von Fendt:
<https://www.fendt.com/de/landmaschinen/traktoren/fendt-e100-v-vario> abgerufen
- Fendt. (01. 03 2024). *Fendt*. Von Fendt: <https://www.fendt.com/de/fendt-stellt-ersten-wasserstofftraktor-auf-wasserstoffgipfel-aus> abgerufen
- Fendt. (12. 03 2024). *Fendt*. Von Fendt: <https://www.fendt.com/de/smart-farming/fendtone> abgerufen

Fendt. (13. 03 2024). *Fendt*. Von Fendt: <https://www.fendt.com/de/smart-farming/telemetrie> abgerufen

Fendt. (18. 03 2024). *Fendt* . Von Fendt:
https://www.fendt.com/de/download/pdf/08262400_FE_200S_DE_Internet.pdf
abgerufen

fendt-prospekte. (13. 03 2024). *fendt-prospekte*. Von fendt-prospekte: <https://www.fendt-prospekte.de/tronic-tk/#> abgerufen

Güll, R. (01. 03 2024). *statistik-bw*. Von statistik-bw: <https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/20160409#:~:text=Die%20erste%20verwendbare%20Dampfmaschine%20wurde,Wirkungsgrad%20der%20Newcomenschen%20Dampfmaschine%20erheblich.> abgerufen

geo-konzept. (20. 03 2024). *geo-konzept*. Von geo-konzept: <https://geo-konzept.de/lp-agbot/> abgerufen

Groß, P. D. (2014).

Heureka. (04. 03 2024). *Heureka-stories*. Von Heureka-stories: <https://heureka-stories.de/2-uncategorised/20-der-dieselmotor-die-ganze-geschichte.html> abgerufen

Hochschule Neubrandenburg . (04. 03 2024). *hs-nb*. Von hs-nb: <https://www.hs-nb.de/iugr/landschaft-hat-geschichte/landwirtschaft/industrialisierung-in-der-landwirtschaft/standard-titel-2/die-geschichte-der-mechanisierung/> abgerufen

Hydromot. (11. 03 2024). *Hydromot*. Von Hydromot :
<https://www.hydromot.lu/techblog/zahnradpumpen/> abgerufen

Hydromot. (18. 03 2024). *Hydromot*. Von Hydromot:
<https://www.hydromot.lu/techblog/zahnradpumpen> abgerufen

John Deere. (2024). *5M Serie*. Korneuburg : John Deere Marketing.

John Deere. (14. 03 2024). *deere*. Von deere: <https://www.deere.de/de/digitale-werkzeuge/> abgerufen

Juschkat, K. (17. 11 2019). *konstruktionspraxis*. Von konstruktionspraxis:
<https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/was-ist-pneumatik-funktion-vorteile-und-anwendungen-erklaert-a-789299/> abgerufen

Karl Eduard. (04 2015). *karleduardskanal*. Von karleduardskanal:
<https://karleduardskanal.files.wordpress.com/2015/04/fowlerscher-dampfpflug-1868-c.jpg> abgerufen

Land & Forst. (20. 03 2024). *Land & Forst* . Von Land & Forst :
<https://www.landundforst.de/landwirtschaft/landtechnik/lemken-krone-steht-autonome-konzeptfahrzeug-serie-569943> abgerufen

landwirt-media. (05. 03 2024). *Landwirt*. Von Landwirt: <https://landwirt-media.com/scharmueler-ccs-zugmaul/> abgerufen

- lehrerfreund. (15. 09 2008). *lehrerfreund*. Von lehrerfreund:
<https://www.lehrerfreund.de/technik/1s/zahnraeder-getriebe-2/3088> abgerufen
- Lemken. (17. 03 2024). *Lemken*. Von Lemken: <https://lemken.com/de-de/lemken-aktuelles/landtechnik-news/detail/combined-powers> abgerufen
- Lexikus. (04 2015). *Lexikus*. Von Lexikus:
<http://www.lexikus.de/pics/manager/landwirtschaft/pflugochsen.jpg> abgerufen
- Lift, H. (1992). *Hydraulik in der Landtechnik* . Würzburg : Vogel.
- Massey Ferguson. (06. 03 2024). *Massey Ferguson*. Von Massey Ferguson:
<http://media.repro-mayr.de/00/530200.pdf> abgerufen
- New Holland. (01. 03 2024). *New Holland*. Von New Holland :
<https://agriculture.newholland.com/de-de/europe/produkte/traktoren/t6-methane-power> abgerufen
- Noack, P. D. (2018). Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft . *DLG-Merkblatt* 388, 5-25.
- oldtimer markt . (27. 06 2012). *oldtimer markt*. Von oldtimer markt: <https://www.oldtimer-markt.de/ratgeber/technik-lexikon/mechanische-bremsanlagen-mit-hebelkraft> abgerufen
- Paeger, J. (01. 03 2024). *Oekosystem-Erde*. Von Oekosystem-Erde:
https://www.oekosystem-erde.de/html/industrielle_landwirtschaft.html abgerufen
- partnerlift. (13. 03 2024). *partnerlift*. Von partnerlift: <https://www.partnerlift.com/fragen-und-antworten/glossar/schnellgang> abgerufen
- Paschotta, D. R. (01. 03 2024). *energie-lexikon*. Von energie-lexikon: <https://www.energie-lexikon.info/verbrennungsmotor.html> abgerufen
- Potthast, D. J. (29. 01 2024). *Deutsches Patent- und Markenamt* . Von Deutsches patent- und Markenamt :
<https://www.dpma.de/dpma/veroeffentlichungen/meilensteine/erfindungenmitgeschichten/dunlop/index.html> abgerufen
- Scharmüller. (05. 03 2024). *Scharmüller*. Von Scharmüller:
<https://www.scharmuellerkupplung.de/ueber-uns/ueber-k80> abgerufen
- Scharmüller. (02. 03 2024). *Scharmüller*. Von Scharmüller: <http://www.scharmueller.at/de> abgerufen
- Schauer, D. -I. (2024). *Bremsen für land- oder forstwirtschaftliche Fahrzeuge* . Frankfurt am Main: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft.
- Schulz, D. I. (1987). Zum Stand der Zapfwellenbtechnik . *Agrartechnik-Wissensspeicher*, S. 311-314.
- SNDC. (12. 03 2024). *SNDC*. Von SNDC: <https://sncd.net/de/unternehmen/norm-en15695/> abgerufen

- SNDC. (18. 03 2024). *SNDC*. Von SNDC: <https://sndc.net/de/unternehmen/norm-en15695/> abgerufen
- Spingat, H. (14. 03 2024). *farmwiki*. Von farmwiki: https://farmwiki.de/Glossar/S/Section_Control abgerufen
- Stirnemann, R. (19. 06 2013). *agroscope*. Von agroscope: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiQvduzgO-EAxVzRPEDHUzmAT0QFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.agroscope.admin.ch%2Fdam%2Fagroscope%2Fde%2Fdokumente%2Faktuell%2Fveranstaltungen%2Ffeldkirchtagung%2F2013%2F2013-06.pdf.d> abgerufen
- Stirnemann, R. (11. 05 2022). Auch Lastschaltgetriebe entwickeln sich weiter . *Eilbote*, 10.
- SVLFG. (09. 03 2022). *SVLFG*. Von SVLFG: <https://www.svlfg.de/fa-pflanzenschutz-im-fruehjahr-auf-die-kabine-kommt-es-an> abgerufen
- Theißen, G. (04. 03 2024). *Profi*. Von Profi: <https://www.profi.de/panorama/was-wurde-aus/was-wurde-eigentlich-aus-dem-gluehkopfmotor-12526397.html> abgerufen
- Timpe, R. (05 2006). *topagrar*. Von topagrar: https://www.topagrar.com/dl/2/5/8/8/6/0/6/Hydraulik_mitfu_776_hlt_load-sensing.pdf abgerufen
- Timpe, R. (05 2006). Wenn die Hydraulik "mitfühlt". *topagrar*, S. 88-91.
- topagrar. (30. 10 2023). *topagrar*. Von topagrar: <https://www.topagrar.com/technik/news/claas-gewinnt-mit-multidimensionalem-3-punkt-kraftheber-fuer-traktoren-silbermedaille-d-13489565.html> abgerufen
- tractorbook. (12. 03 2024). *tractorbook*. Von tractorbook: <https://www.tractorbook.de/traktoren/mercedes-benz/mb-trac-700-800-900-1975-1982/technische-daten/#> abgerufen
- TWI. (01. 03 2024). *twi-global*. Von twi-global: <https://www.twi-global.com/locations/deutschland/was-wir-tun/haeufig-gestellte-fragen/was-sind-die-vor-und-nachteile-von-wasserstoff-brennstoffzellen#:~:text=Wasserstoff%2DBrennstoffzellen%20sind%20die%20derzeit,keine%20großen%20Landflächen%20zur%20Produk> abgerufen
- Walterscheid. (11. 03 2024). *Walterscheid*. Von Walterscheid: <https://www.walterscheid.com/produkte/gelenkwellen/gelenkwellen-komplett/> abgerufen
- Wengelewski, R. (Regisseur). (2021). *Das Variogetriebe* [Kinofilm].
- Wenner, P. D.-L. (1980). *Grundlagen Landtechnik Bauwesen*. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Wikipedia. (04. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Hart-Parr_Company abgerufen

Wikipedia. (05. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia:

https://de.wikipedia.org/wiki/Rahmenlose_Blockbauweise abgerufen

Wikipedia. (06. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Dreipunkt-Kraftheber#:~:text=Bei%20der%20elektronischen%20Hubwerksregelung%20werden,Die%20Primärspule%20wird%20bestromt.> abgerufen

Wikipedia. (14. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Einachsschlepper#:~:text=Einachsschlepper%20waren%20in%20den%201950er,vor%20allem%20im%20Nebenerwerb%2C%20eingesetzt.> abgerufen

Wikipedia. (15. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Geräteträger> abgerufen

Wikipedia. (16. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Frontlader_\(Traktor\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Frontlader_(Traktor)) abgerufen

Wikipedia. (05. 03 2024). *Wikipedia*. Von Wikipedia:

https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Stock#/media/Datei:Templehofer_Field,_Berlin_plowed_for_potatoes_LCCN2014698946.jpg abgerufen

Erklärung

Verfasser/in (Name, Vorname):

Benner, Louis

Betreuer/in (Name, Vorname):

Groß, Ulrich

Thema der Arbeit:

Studie zum Aufbau und zur Funktion aktueller Traktoren, abgeleitet aus

der Entwicklungsgeschichte

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit gemäß § 35 Abs. 7 RaPO (Rahmenprüfungsordnung für die Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Bayern) selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Hattest	22.03.2024	L. Benner
Ort	Datum	Unterschrift Verfasser/in

Erklärung bzgl. der Zugänglichkeit von Bachelor-/Masterarbeiten

Verfasser/in (Name, Vorname): Benner, Louis

Betreuer/in (Name, Vorname): Groß, Ulrich

Thema der Arbeit: Studie zum Aufbau und zur Funktion aktueller Traktoren, abgeleitet
aus der Entwicklungsgeschichte

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir angefertigte Arbeit mit o.g. Titel innerhalb des Bibliotheksystems der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf aufgestellt und damit einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Die Arbeit darf im Bibliothekskatalog der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (und zugeordneten Verbundkatalogen) nachgewiesen werden und steht allen Interessierten entsprechend der jeweils gültigen Nutzungsmodalitäten der Hochschulbibliothek der HSWT zur Verfügung. Ich bin mir auch darüber im klaren, dass die Arbeit damit von Dritten ohne mein Wissen kopiert werden kann. Die Veröffentlichung der Arbeit habe ich mit meiner Betreuerin bzw. meinem Betreuer und falls zutreffend, mit der Firma/ Institution abgesprochen, die eine Mitbetreuung übernommen hatte.

- Ja
 Ja, nach Ablauf einer Sperrfrist von ____ Jahren
 Nein

Hallertal , 22.03.2014 L. Benner
Ort Datum Unterschrift Verfasser/in

Fachgebiet:

Umweltsicherung

- Abfall
 Boden
 Wasser
 Analytik, Mikrobiologie
 Ökologie & Naturschutz
 Umwelttechnik, EDV
 Verwaltung, Recht, Wirtschaft
 Umweltmanagement
 Erneuerbare Energien

Ernährung und Versorgungsmanagement

Agrartechnik

Master:

- Energiemanagement und Energietechnik
 MBA Agrarmanagement
 MBA Regionalmanagement

Landwirtschaft

- Pflanzliche Erzeugung
 Tierische Erzeugung
 Agrarökonomie
 Landtechnik
 Erneuerbare Energien
 Agrarökologie
 Ökologische Landwirtschaft

Lebensmittelmanagement

Als Betreuer/in bin ich mit der Aufnahme in das Bibliothekssystem der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf einverstanden.

Triesdorf 23.03.2014
Ort Datum Unterschrift Betreuer/in