

Durchschnittskosten von Traktoren – Der Einfluss von abweichenden Nutzungsdauern sowie Neu- und Gebrauchtkäufen

Average costs of tractors – The influence of deviating replacement ages as well as new and used purchases

Felix Witte*, Hans Back, Christian Sponagel und Enno Bahrs

Universität Hohenheim, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, DE

*Correspondence to: Felix.witte@uni-hohenheim.de

Received: 7 Januar 2022 – Revised: 11 April 2022 – Accepted: 20 April 2022 – Published: 3 Oktober 2022

Zusammenfassung

Die Optimierung von Maschinenkosten ist eine wichtige Aufgabe auf landwirtschaftlichen Betrieben. Während sich die Literatur hierzu hauptsächlich mit Neukäufen und deren optimalen Nutzungsdauern beschäftigt, untersucht dieser Beitrag am Beispiel von Traktoren, inwiefern mit dem Kauf von Gebrauchtmaschinen Maschinenkosten reduziert werden können und ob ein Abweichen von der optimalen Nutzungsdauer zu nennenswerten Mehrkosten führt. Hierzu werden mit einer auf der Annuitätenmethode basierenden Modellrechnung Gebraucht- und Neukäufe verglichen. Grundsätzlich können Gebrauchtkäufe die Durchschnittskosten senken. Die Vorzüglichkeit unterscheidet sich zwischen verschiedenen Leistungsklassen, Auslastungen, Zinsniveaus und erwarteten Reparaturkosten. Bei geplanten Auslastungen bis 200 h/a kann der Gebrauchtkauf besonders vorzüglich sein, höhere Auslastungen senken seine Vorzüglichkeit. Vom optimalen Ersatzzeitpunkt, selbst um mehrere Jahre, abzuweichen, führt im Durchschnitt aller betrachteter Fälle nur zu Kostensteigerungen von 1% oder weniger. Demnach ist das exakte Einhalten der optimalen Nutzungsdauer aus Kostensicht von untergeordneter Bedeutung.

Schlagerworte: Optimale Nutzungsdauer, Traktor, Gebrauchtkauf, Maschinenkosten

Summary

Optimizing machinery costs is an important task of farm management. The literature mainly deals with new purchases and their optimal replacement. Taking the example of tractors the paper analyses the potential of used purchases to reduce machinery costs and whether significant additional costs are associated with deviating from the optimal replacement age. A model calculation based on the annuity method is used to compare used and new purchases. Generally, used purchases can reduce average costs. The cost advantage differs among power classes, utilization rates, interest rates and expected repair costs. For planned utilization up to 200 h/a, the used purchase can be particularly advantageous. Higher utilization rates lower the advantage. Deviation from the optimal replacement age, even over several years, leads to cost increases of 1% or less on average for all cases considered. Accordingly, sticking exactly to the optimal replacement age is of minor importance from a cost perspective.

Keywords: Optimal replacement, tractors, machinery cost, used purchase

1 Einleitung

Die Maschinenkosten, insbesondere Traktorkosten, sind bedeutende Kostenpositionen landwirtschaftlicher Betriebe. Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigt sich deshalb mit der Kostenoptimierung von Traktoren (Reid und Bradford 1983; Perry und Nixon 1991; Khoubakht et al. 2008; Lips 2017). Meist werden nur neue Traktoren betrachtet und ein Fokus auf die optimale Nutzungsdauer gelegt. Solche Betrachtungen bedürfen vor allem Annahmen über künftigen Wertverluste und die zu erwartenden Reparaturkosten (Perrin 1972). Wertverlustfunktionen für Traktoren werden etwa in den Arbeiten von Cross und Perry (1996), Daninger und Gunderson (2017) und Witte et al. (2022) beschrieben. Ihnen ist gemein, dass der Wertverlust im Zeitablauf sinkt. Außerdem wird die relative Wertstabilität kleinerer Leistungsklassen betont (Daninger und Gunderson 2017). Die Reparaturkosten von Traktoren werden unter anderem in den Arbeiten von Khoubakht et al. (2008), Lips und Burose (2012) und Calcante et al. (2013) betrachtet. Sie unterstellen einen mit der Nutzung ansteigenden Verlauf der Reparaturkosten, dessen Steigung aber im Zeitverlauf abnimmt. Sie verwenden überwiegend die geleisteten Betriebsstunden als alleinige erklärende Variable. Wichtige Einflussgrößen für die Optimierung der Kosten und der Nutzungsdauer von Traktoren sind der Kalkulationszinssatz (Reid und Bradford 1983), die Reparaturkosten (Perry und Nixon 1991) sowie die Auslastung (Lips 2017).

Während Neukäufe in der Literatur sehr präsent sind, werden Kostenersparnisse durch Gebrauchtkäufe nur in wenigen Studien wie z. B. Perry und Nixon (1991) betrachtet. Dem gegenüber sind in der landwirtschaftlichen Praxis Gebrauchtkäufe weit verbreitet. In den letzten 10 Jahren (2010-2019) kamen in Deutschland auf jede Neuzulassung mindestens zwei, im Schnitt mehr als drei Besitzumschreibungen bereits zugelassener Traktoren (Stirnemann und Renius 2021). Auch wenn diese Umschreibungen möglicherweise auch andere Gründe als den Gebrauchtkauf haben, etwa Hofübergaben, machen sie die Bedeutung dieses Segmentes deutlich. Obwohl es in der landwirtschaftlichen Praxis vielfältige Gründe für Gebrauchtkäufe gibt, etwa die Liquiditätsschonung oder geringere Kreditanforderungen, sollten Konstellationen existieren, wo sie aus reinen Kostenüberlegungen vorzüglich sind. Der Beitrag möchte die Vorzüglichkeit des Gebrauchtkaufes nach unserem Kenntnisstand erstmals unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Traktoren und Einflussgrößen betrachten und damit einen Erklärungsbeitrag zu der Frage liefern, warum so viele Gebrauchstraktoren gekauft werden.

Die theoretische Möglichkeit einer Kostenreduktion durch Gebrauchtkäufe im Vergleich zum Neukauf ergibt sich im Wesentlichen aus den Unterschieden in den degressiven Verläufen des Wertverlustes und den progressiven Verläufen der Reparaturkosten. Dadurch können Konstellationen entstehen, bei denen die im Vergleich zum Neukauf geringeren Wertverluste (noch) nicht durch höhere Reparaturkosten ausgeglichen werden. Entsprechend wären die

Durchschnittskosten c. p. niedriger und der Gebrauchtkauf vorzüglich.

Hypothese 1: Es gibt Konstellationen, in denen Gebrauchtkäufe geringere Durchschnittskosten als Neukäufe von Traktoren aufweisen und deshalb ökonomisch vorzüglich sind.

Die Vorzüglichkeit von Gebrauchtkäufen sollte durch dieselben Größen wie die Kostenoptimierungen von Neukäufen, beeinflusst werden. Deshalb erfolgt die Betrachtung in Abhängigkeit von Kalkulationszinssätzen, Reparaturkostenhöhen und der Auslastung.

Im Tiefpunkt der Durchschnittskosten(-funktion) gleichen sich die Grenzwerte der durchschnittskostenenkenden Komponenten (abnehmender Wertverlust, sinkende durchschnittliche Fixkosten durch Beschäftigungsdegression) und die der durchschnittskostenerhöhenden Komponenten (steigende Reparaturkosten) aus. Die beschriebenen Verläufe von Wertverlust und Reparaturkosten sollten sich über einen längeren Zeitraum um den optimalen Ersatzzeitpunkt herum annähernd ausgleichen. Somit wäre die exakte Berechnung und das Einhalten der optimalen Nutzungsdauer, anders als durch die Fülle an Literatur suggeriert, für Neu- und Gebrauchtkäufe relativ unbedeutend.

Hypothese 2: Die Bedeutung der optimalen Nutzungsdauer von Traktoren wird überschätzt, da die Durchschnittskosten in einer relativ langen Zeitspanne unelastisch (<1%) auf eine Änderung der Nutzungsdauer reagieren.

2 Methode

Zur Prüfung von Hypothese 1 werden die minimalen Durchschnittskosten von Neu- und Gebrauchtkäufen von Traktoren in derselben Leistungsklasse unter verschiedenen Bedingungen verglichen. Die Berechnung erfolgt mit der Annuitätenmethode. Zur Ableitung allgemeiner Aussagen werden eine Vielzahl von Kombinationen von Betriebsstunden und Alter von tatsächlichen Gebrauchtkäufen betrachtet. Um Aussagen zu Hypothese 2 zu treffen, werden neben den minimalen Durchschnittskosten die Durchschnittskosten aller möglichen Nutzungsdauern bis zu 20.000 Betriebsstunden betrachtet. Aus Vereinfachungsgründen erfolgen die Berechnungen in Intervallen t zu 100 Betriebsstunden ab Kauf.

2.1 Annuitätenmethode zur Berechnung der Durchschnittskosten

Grundsätzlich wird bei der Annuitätenmethode der Barwert aller Kosten mit dem Annuitätenfaktor auf die Jahre der Nutzung aufgeteilt. Diese jährlichen Durchschnittskosten werden im vorliegenden Fall mittels der Auslastung auf die Betriebsstunde umgerechnet, um eine, über verschiedene Auslastungen vergleichbare und intuitiv verständliche

Größe abzubilden. Die minimalen Durchschnittskosten des einzelnen Traktors entsprechen gleichzeitig denen einer unendlichen Kette von identischen Folgeinvestitionen (Götze 2014). Die Annahme eines identischen Ersatzes klammert den technischen Fortschritt aus. Diese methodische Annahme wird in der Diskussion aufgegriffen. Gleichung (1) zeigt die verwendete Kostenfunktion. Betrachtet werden der Wertverlust, die Reparaturkosten sowie die sonstigen Fixkosten und Transaktionskosten. Für den Neu- und Gebrauchtkauf werden Transaktionskosten von beispielhaft 1.000 € für Zulassung, Inbetriebnahme und Transport unterstellt. Die variablen Kosten für Betriebsstoffe und Fahrerlohn sind je Stunde unabhängig von Auslastung, Alter und akkumulierten Stunden gleich und somit nicht entscheidungsrelevant. Die einzelnen Kostenarten werden im Weiteren erläutert.

$$\text{Durchschnittskosten je Stunde} = \left((W_{kw,i} + RB_{kw,i} + T) * AF + F_{kw} \right) * \frac{1}{A} \quad (1)$$

Mit:

kw = Leistungsklasse nach KTBL (2020)

i = Kalkulationszins

W = Barwert des Wertverlustes

RB = Barwert der Reparaturkosten

T = Transaktionskosten

AF = Annuitätenfaktor

F = weitere Fixkosten in €/a

A = Auslastung in h/a.

2.2 Wertverlust

Der Wertverlust wird mit folgenden nichtlinearen leistungs-klassenspezifischen Restwertfunktionen beschrieben, deren grundsätzliche Form einer Veröffentlichung von Witte et al. (2022) entspricht.

$$\text{Restwert}_{kw} = v_{kw} * e^{h_{kw} * B} * e^{a_{kw} * J} \quad (2)$$

Wobei:

v_{kw} = Neupreis je Leistungsklasse

h_{kw} = Entwertungsparameter gegen die Betriebsstunden

a_{kw} = Entwertungsparameter gegen das Alter

B = Gesamtbetriebsstunden

J = Gesamalter in Jahren ab Herstellung

Die eingesetzten Parameterwerte finden sich im Anhang. Für die Betrachtung der Gebrauchtkäufe werden 553 Kombinationen von Alter und Betriebsstunden von tatsächlichen Gebrauchttraktoren verwendet. Sie entstammen deutschen Traktorauktionen der Firma Ritchie Bros aus den Jahren 2018 bis 2021. Die enthaltenen Traktoren sind jünger als 15 Jahre und haben weniger als 12.000 h geleistet. Eine Übersicht hierzu findet sich im Anhang. Der Barwert des Wertverlustes W entspricht dem (Rest)wert zu Beginn der Betrachtung ($t=0$) abzüglich des Barwertes des Restwertes am Ende des betrachteten Intervalls. Der Wert zu Beginn der Betrachtung ($t=0$) entspricht bei Neukäufen dem Neupreis, bei

Gebrauchtkäufen dem Restwert nach (2), der sich aus den vorliegenden Betriebsstunden und dem Alter ergibt.

$$W_{kw,i} = \text{Restwert}_{t=0,kw} - \text{Restwert}_{t,kw} * (1 + i)^{-j} \quad (3)$$

Mit:

j = Jahre seit Kauf (Quotient aus Betriebsstunden ab Kauf und der angenommenen Auslastung)

2.3 Reparaturkosten

Die verwendete Reparaturkostenfunktion ist aus den Korrekturfaktoren des KTBL (2020) für Gebrauchtkäufe und abweichende Nutzungsdauern abgeleitet. Ein solches Vorgehen findet sich auch bei Bruhn (2000). Die Reparaturkosten in jedem Intervall entsprechen:

$$R_{kw} = \int_t^{t+1} \left(1,5 * \left(\frac{B}{10.000} \right)^{0,5} \right) * G_{kw} \quad (4)$$

Der Parameter G_{kw} , dessen Werte im Anhang dargestellt sind, entspricht den vom KTBL angenommenen Gesamt-reparaturkosten bei 10.000 h in der entsprechenden Leistungsklasse. Der Reparaturkostenverlauf ist ansteigend mit abnehmender Steigung und hängt von den akkumulierten Betriebsstunden ab. Der Barwert der Reparaturkosten entspricht:

$$RB_{kw,i} = \sum_{t=0}^t (R_{kw} * (1 + i)^{-j}) \quad (5)$$

2.4 Sonstige Annahmen

Betrachtet werden die Leistungsklassen 67 kW bis 233 kW nach KTBL (2020). Die Fixkosten für Versicherung und technische Überwachung sind leistungs-klassenspezifische KTBL-Tabellenwerte. Sie werden als konstant angenommen und ihr jährlicher Wert lediglich zur Annuität addiert. Betrachtet werden Auslastungen zwischen 100 h/a und 1.200 h/a und eine maximale Gesamtnutzungsdauer von 20.000 h. Für den Kalkulationszins werden Niveaus von 1% bis 10% angenommen. Wo nicht anders angegeben, wird ein Kalkulationszins von 4% unterstellt. Für die Reparaturkosten wird eine Bandbreite von 50% bis 150% des ursprünglichen Wertes betrachtet.

Für die verschiedenen Nutzungsdauern der einzelnen Traktoren werden die relativen Mehrkosten zu den minimalen Durchschnittskosten berechnet. Daraus wird die Spanne der Nutzungsdauer mit Mehrkosten von maximal 1% abgeleitet.

3 Ergebnisdarstellung

Zunächst werden die Ergebnisse zur Vorzüglichkeit des Gebrauchtkaufes und anschließend die zur optimalen Nutzungsdauer dargestellt.

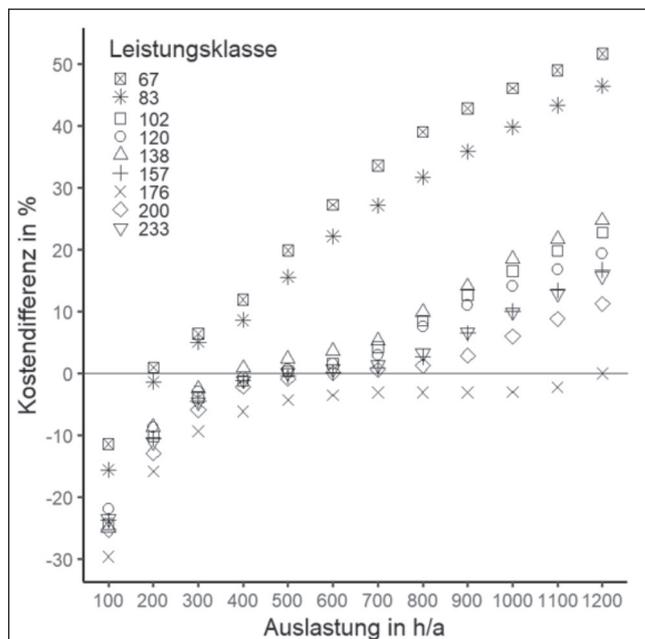
3.1 Einfluss der Auslastung auf die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe

Abbildung 1 zeigt die prozentuale Kostendifferenz zwischen den minimalen Durchschnittskosten von Neu- und Gebrauchtkäufen. Dargestellt ist, aufgrund seiner Robustheit, der Median. Negative Werte bedeuten eine Kostenreduktion durch den Gebrauchtkauf gegenüber dem Neukauf. Die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe sinkt bei steigender Auslastung. In den Auslastungen 100 h/a und 200 h/a sind in den meisten Leistungsklassen Kostenreduktionen um mehr als 10% möglich. In den unteren Leistungsklassen (67 und 83 kW) ist der Gebrauchtkauf bei größeren Auslastungen nicht vorzüglich, da die Mehrkosten deutlich steigen. Die Durchschnittskosten des Gebrauchtkaufes sind ab einer Auslastung von 800 h/a mehr als 30% höher als beim Neukauf. Dies ist durch die relativ zum Neupreis hohen Reparaturkosten im Zusammenspiel mit ihrer hohen Wertstabilität bedingt.

Hingegen bestehen Kostenunterschiede in den größeren Leistungsklassen für Auslastungen von 300 h/a bis 800 h/a im Bereich von +10% bis -10%. Danach entstehen auch hier erhebliche Mehrkosten durch den Gebrauchtkauf, da bei höheren Auslastungen die geringeren Wertverluste je Betriebsstunde die gesteigerten Reparaturkosten nicht mehr rechtfertigen.

Dass sich dieser Effekt in der Leistungsklasse 176 kW weniger stark zeigt, wird in der Diskussion aufgegriffen. Tabelle 1 enthält den Anteil der Traktoren aus der Stichprobe, für die ein Gebrauchtkauf gegenüber einem Neukauf vor-

Abbildung 1: Median der relativen Kostendifferenz von Gebrauchtkäufen und Neukäufen in Abhängigkeit der Auslastung in h/a für verschiedene Leistungsklassen



Quelle: Eigene Berechnungen.

züglich ist. Selbst bei 1.200 h/a sind in einigen Fällen Gebrauchtkäufe vorteilhaft. Dies sind, abgesehen von der Klasse 176 kW, ausnahmslos Traktoren, die bis zum Kauf relativ zu ihrem Alter wenige Betriebsstunden geleistet haben.

Tabelle 1: Anteil der Gebrauchtkäufe mit Kostenreduktionen gegenüber eines Neukaufs in Abhängigkeit der Leistungsklasse und Auslastung

	67kW	83kW	102kW	120kW	138kW	157kW	176kW	200kW	233kW
100h/a	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%
200h/a	42%	72%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	96%
300h/a	24%	17%	92%	84%	81%	86%	100%	99%	92%
400h/a	18%	11%	61%	54%	43%	64%	97%	78%	65%
500h/a	15%	7%	49%	47%	35%	53%	89%	59%	50%
600h/a	12%	4%	43%	39%	27%	50%	82%	48%	40%
700h/a	12%	4%	37%	33%	19%	42%	75%	42%	31%
800h/a	12%	4%	22%	15%	14%	38%	71%	37%	23%
900h/a	12%	4%	20%	8%	8%	26%	70%	26%	10%
1.000h/a	12%	4%	18%	7%	8%	13%	67%	16%	4%
1.100h/a	12%	4%	14%	2%	5%	8%	62%	10%	2%
1.200h/a	12%	4%	14%	1%	5%	7%	47%	4%	2%

Quelle: Eigene Berechnungen.

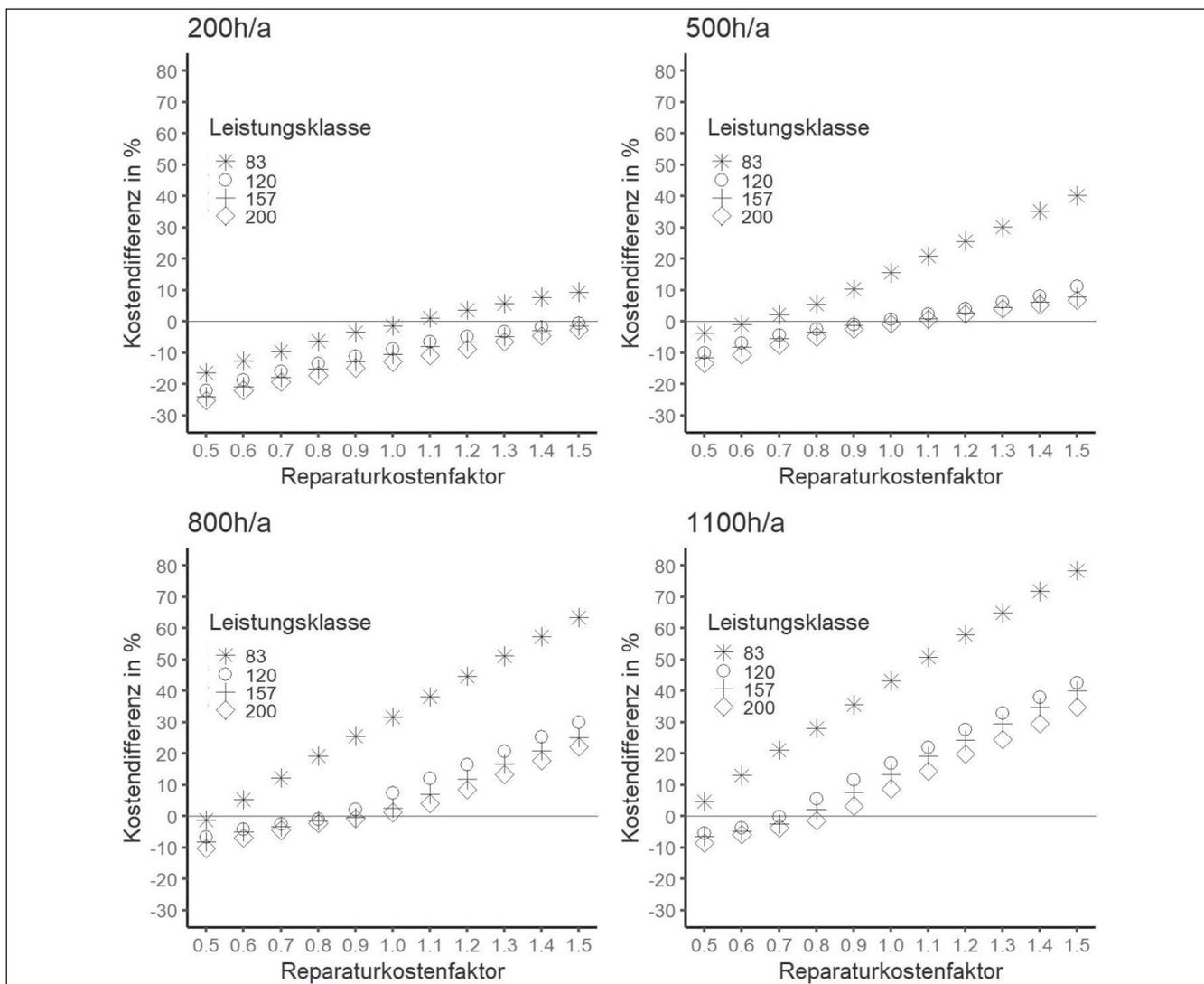
3.2 Einfluss der Reparaturkosten auf die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe

Abbildung 2 zeigt die Auswirkungen veränderter Reparaturkosten auf die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe. Da die Berechnungen gezeigt haben, dass die Auslastung einen größeren Einfluss hat als die Leistungsklasse, wird nur jede zweite Leistungsklasse dargestellt. Bei höheren Reparaturkosten ist der Gebrauchtkauf unattraktiver. Für 200 h/a sind die Gebrauchtkäufe in den größeren Leistungsklassen im Median stets vorzüglich. In den anderen Auslastungen verursachen Reparaturkosten über dem ursprünglichen Niveau erhebliche Mehrkosten. Eine Reduktion unter das Ausgangsniveau bewirkt keinen vergleichbaren Anstieg der Vorzüglichkeit.

3.3 Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe

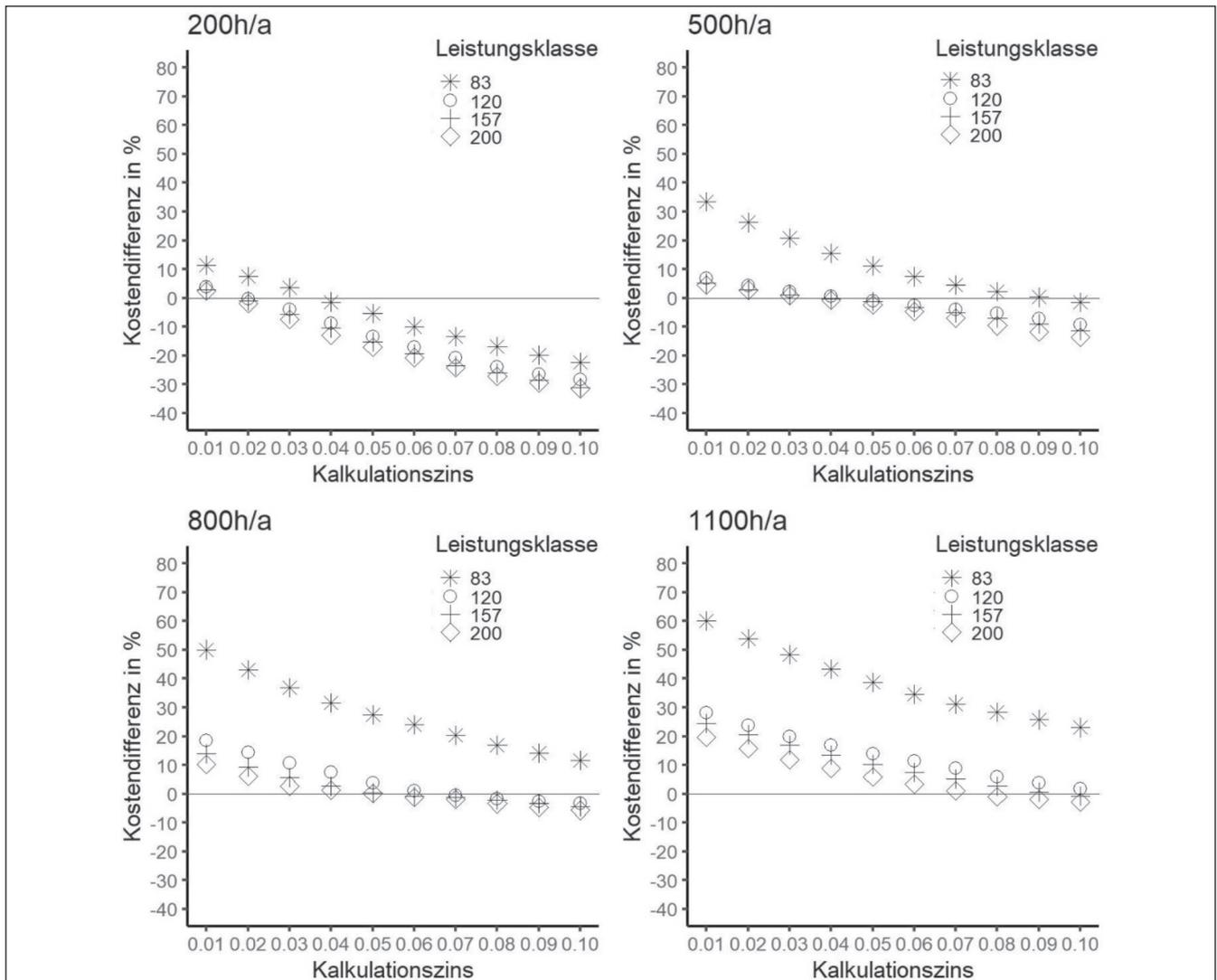
Ein höherer Kalkulationszins verbessert, wie in Abbildung 3 dargestellt, die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe. In der Auslastung von 200 h/a sind für die meisten betrachteten Kalkulationszinssätze Gebrauchtkäufe vorzüglich. Für größere Auslastungen sind in der untersten dargestellten Leistungsklasse 83 kW die Gebrauchtkäufe fast nie vorzüglich. Für die höheren Leistungsklassen kann bei Zinssätzen ab 8% der Gebrauchtkauf selbst bei 1.100 h/a vorzüglich sein.

Abbildung 2: Median der relativen Kostendifferenz zwischen Neu- und Gebrauchtkäufen in Abhängigkeit der Reparaturkosten (relativ zu KTBL 2020) für verschiedene Leistungsklassen und Auslastungen



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 3: Median der relativen Kostendifferenz zwischen Neu- und Gebrauchtkäufen gegen den Kalkulationszins für verschiedene Leistungsklassen und Auslastungen



Quelle: Eigene Berechnungen.

3.4 Mehrkosten durch Abweichen von der optimalen Nutzungsdauer

Zur Prüfung von Hypothese 2 werden die Mehrkosten eines Abweichens von der optimalen Nutzungsdauer betrachtet. Dafür wird für jeden Traktor aus der Stichprobe die zeitliche Abweichung von der Nutzungsdauer betrachtet, in der die Durchschnittskosten um nicht mehr als 1% über dem Minimum liegen. Tabelle 2 zeigt in Abhängigkeit von angenommener Auslastung und Leistungsklasse den Medianwert dieser Abweichungen für die vorliegende Stichprobe. Die Ergebnisse sind auf volle Jahre gerundet und im Median stets mehrere Jahre lang. Die kürzeste Spanne ist gerundet zwei Jahre lang. Die längste theoretische Spanne der Nutzung beträgt 61 Jahre, sie spielt in der Praxis keine Rolle. Für 5% Mehrkosten ist die kürzeste Spanne länger als 5 Jahre. In ein-

zelne Kombinationen ist die Zeitspanne ein Jahr oder kürzer. Allerdings betrifft dies selbst in der Kombination von 67 kW und 1.200 h/a nur 15% der betrachteten Traktoren. Im Bereich von 5% Mehrkosten existiert sogar nur ein solcher Fall.

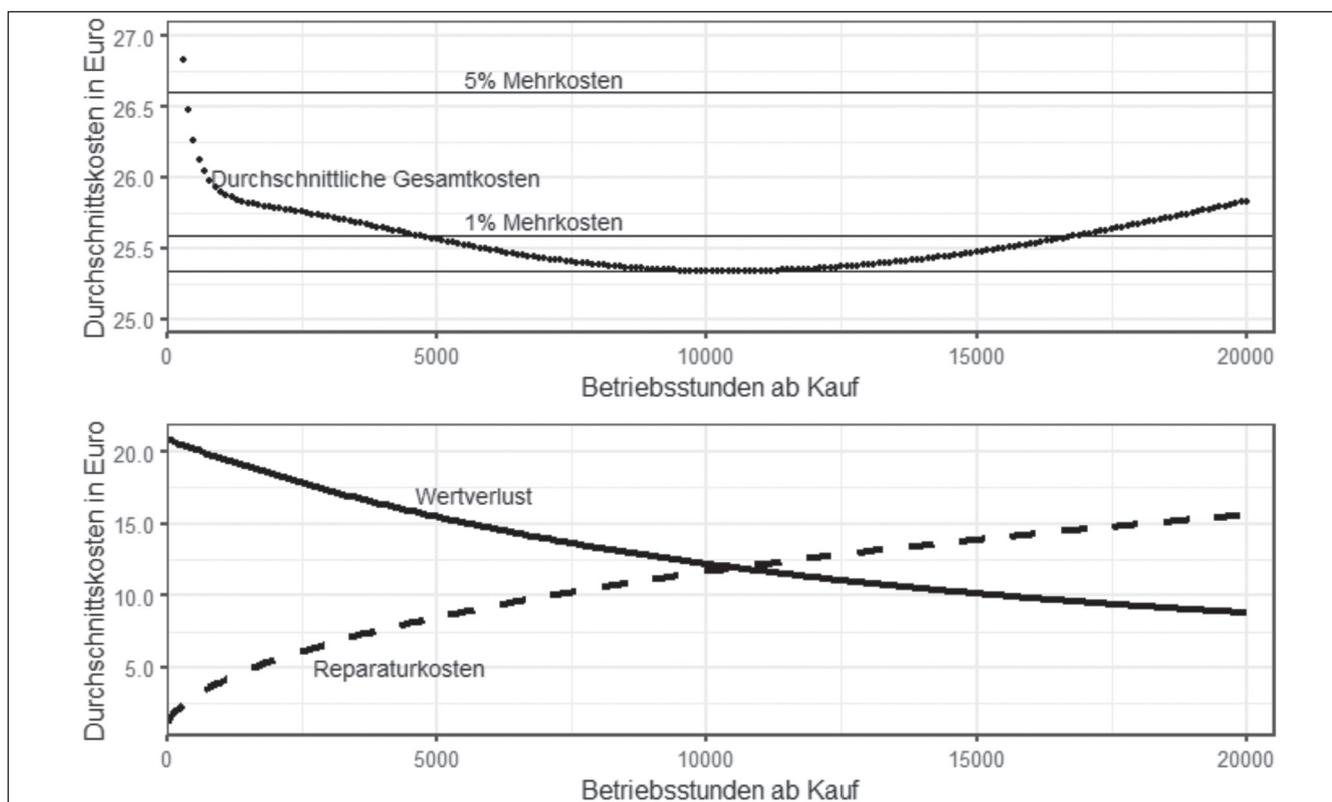
Die Spannen bei Neukäufen sind ebenfalls mehrere Jahre lang. Abbildung 4 zeigt am Beispiel eines Neukauf, in der Leistungsklasse 200 kW und einer Auslastung von 800 h/a die durchschnittlichen Gesamtkosten und die Durchschnittswerte für Wertverlust und Reparaturkosten. Die horizontalen Linien zeigen die minimalen Durchschnittskosten und Mehrkosten von 1% sowie 5%. Obwohl bei etwa 10.000 Betriebsstunden das Minimum der Durchschnittskosten liegt, unterscheiden sich die Durchschnittskosten bereits seit der 4.700ten Betriebsstunde um weniger als 1% von den minimalen Durchschnittskosten. Abgesehen von den ersten Betriebsstunden sind die Mehrkosten immer kleiner als 5%.

Tabelle 2: Median der Nutzungsdauer in Jahren mit 1% oder weniger Durchschnittskostendifferenz zum Minimum für die betrachteten Gebrauchstraktoren in verschiedenen Kombinationen von Leistungsklasse und Auslastung

	67kW	83kW	102kW	120kW	138kW	157kW	176kW	200kW	233kW
100h/a	61	48	48	58	44	55	57	55	49
200h/a	35	25	21	21	17	19	21	18	18
300h/a	31	26	20	17	13	16	15	14	16
400h/a	15	19	20	19	15	16	14	15	17
500h/a	9	11	16	17	14	16	14	15	17
600h/a	6	7	11	14	12	13	13	14	15
700h/a	4	5	7	9	8	10	11	12	11
800h/a	3	4	5	6	6	7	9	9	7
900h/a	3	3	4	4	5	5	7	6	5
1.000h/a	3	3	3	4	4	4	6	5	4
1.100h/a	2	3	3	3	3	3	4	4	3
1.200h/a	2	2	2	3	3	3	4	3	3

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 4: Durchschnittliche Gesamtkosten, durchschnittliche Reparaturkosten und durchschnittliche Wertverluste in Euro/h für einen Neukauf in der Leistungsklasse 200kW mit der Auslastung 800 h/a in Abhängigkeit der Nutzungsdauer in Betriebsstunden



Anmerkung: Die Gesamtkosten enthalten alle Kostenkomponenten lt. Formel 1 nicht nur Reparaturkosten und Wertverlust

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die untere Hälfte von Abbildung 4 zeigt den Verlauf der durchschnittlichen Reparaturkosten und den Wertverlust. Ihr ausgleichendes Verhalten erklärt maßgeblich die über lange Zeit sehr unelastischen Durchschnittskosten. Diese Zusam-

menhänge gelten ebenfalls für die Gebrauchstraktoren. Sie sind dort aber wegen der vielen möglichen „Einstiegsunkte“ (Kombinationen aus Alter und Betriebsstunden) schwerer einheitlich zu visualisieren.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit Hypothese 1. In Abhängigkeit wichtiger Einflussfaktoren, wie Auslastung, Kalkulationszinssatz und Reparaturkostenniveau, kann der Gebrauchtkauf von Traktoren vorzüglich sein. Nicht überraschend zu betonen ist, dass Gebrauchtkäufe insbesondere bei erwarteten geringen Auslastungen und Reparaturkosten sowie hohen Kalkulationszinsen und in größeren Leistungsklassen vorzüglich sind. Bei Auslastungen bis 200 h/a sollte unter den gewählten Annahmen ein Gebrauchtkauf grundsätzlich geprüft werden. Beispielsweise betragen die Einsparungen durch den Gebrauchtkauf für einen Traktor der Leistungsklasse 102 kW und einer Auslastung von 200 h/a im Median 2,47 €/h oder 500 €/a (10% der Jahreskosten des Traktors). In der Praxis treten geringe Auslastungen häufig auf. In der Schweiz werden 75% der Allradtraktoren weniger als 500 h/a genutzt (Albisser Vögeli et al. 2009). In einer Befragung von Burose (2011) in Niedersachsen und Baden-Württemberg lag die durchschnittliche Auslastung bei 442 h/a (Spanne: 25 h/a bis 1.761 h/a). Somit liefert der Beitrag einen Erklärungsbeitrag für die Vielzahl von realen Gebrauchtkäufen. Allerdings sind bei geringen Auslastungen stärkere Kostenreduktionen durch eine Erhöhung der Auslastung möglich. Im Beispiel des 102 kW Traktors reduziert eine von 100 h/a auf 300 h/a gesteigerte Auslastung die Kosten um 4,15 €/h bzw. 17%. Außerdem sollte bei geringen Auslastungen eine Fremdmechanisierung erwägt werden. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse, dass die momentane Niedrigzinsphase Neukäufe begünstigt.

Die Ergebnisse stehen ebenfalls mit der zweiten Hypothese im Einklang. In den meisten Fällen verursacht selbst ein Abweichen von mehreren Jahren von der optimalen Nutzungsdauer Mehrkosten von max. 1%. Das genaue Einhalten selbiger ist in der betrieblichen Praxis folglich für Neu- und Gebrauchtkäufe relativ unbedeutend. Dennoch sind Entscheidungen zur Nutzungsdauer nicht irrelevant. Um Mehrkosten von über 10% zu vermeiden, sollten für geringe Auslastungen bis etwa 400 h/a Nutzungsdauern von unter 5.000 Betriebsstunden, für größere Auslastungen ab 1.100 h/a solche von mehr als 17.000 Betriebsstunden vermieden werden.

Für die Ergebnisse ist die Validität der Reparaturkosten- und Wertverlustfunktionen maßgeblich. Die verwendeten Wertverlustfunktionen beruhen auf einem umfangreichen und aktuellen Datensatz (Witte et al. 2022). Dort wurden sie umfassend validiert. Die Reparaturkosten nach KTBL wurden gewählt, um aktuelle Ansätze für Deutschland zu nutzen. Sie sind höher als andere für die westliche Welt angegebene Werte (siehe etwa ASABE (2011); Lips und Burose (2012); Calcante et al. (2013)). Dies kann durch unterschiedliche angenommene Lohnniveaus, Eigenleistungen oder Listenpreise bedingt sein. Trotz dieser unterschiedlichen Reparaturkostenhöhen sollte die gewählte Funktionsform die Reparaturkosten gut beschreiben. Dies war bereits in der Vergangenheit festzustellen. So deckten sich bei Bruhn (2000) die empirisch erhobenen Reparaturkosten weitgehend mit denen des KTBL. Außerdem nutzen alle der ge-

nannten empirischen Arbeiten bezüglich der Reparaturkosten sehr ähnliche Funktionsformen, so dass die allgemeinen Aussagen des Beitrages unabhängig von der verwendeten Reparaturkostenfunktion sein dürften. Die ASABE (2011) und Khoubakht et al. (2008) beschreiben mit ihren Funktionen die Reparaturkosten bis 16.000 bzw. 20.000 Betriebsstunden. Deshalb sollten die hier angestrebten allgemeinen Aussagen trotz der Extrapolation über die vom KTBL angenommene Nutzungsdauer ausreichend valide sein. Zu beachten ist die hohe Schwankungsweite von Reparaturkosten zwischen einzelnen Traktoren und Betrieben (Calcante et al. 2013), die den Übertrag auf die einzelbetriebliche Ebene erschwert.

Obwohl sie vermutlich zwischen einzelnen Betrieben variieren, wirken sich veränderte Transaktionskostenhöhen nicht auf die grundsätzlichen Ergebnisse aus, sofern keine erheblichen Unterschiede für Neu- und Gebrauchtkäufe unterstellt werden. Auch ansteigende statt konstante Fixkosten haben, sofern sie sich für Neu- und Gebrauchtkäufe gleich entwickeln, vor allem Einfluss auf den Vergleich der Auslastungen. Die anderen Aussagen bleiben unberührt.

Während für die Wertverluste fabrikatspezifische Funktionen vorliegen, ist dies für Reparaturkosten weder in der Höhe noch für den Verlauf der Fall. Zur Wahrung einer einheitlichen Betrachtungsebene wurde deshalb auf die Verwendung von fabrikatspezifischen Wertverlusten verzichtet.

Die alleinige Berücksichtigung von Betriebsstunden in der Reparaturkostenfunktion begünstigt Gebrauchstraktoren mit sehr geringen bisherigen Auslastungen. Ihre zeitliche Entwertung ist bereits vorangeschritten, während die Reparaturkosten noch vergleichsweise niedrig sind. Fraglich ist, ob in diesen Grenzfällen der ruhende Verschleiß ausreichend berücksichtigt wird. Die hohe Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe in der Leistungsklasse 176kW ergibt sich aus dem, im Vergleich zur Klasse 157 kW, relativ hohen Neupreis. Die verwendeten Neupreise ergeben sich modellendogen aus demselben Schätzmodell wie die Entwertungsparameter. Sie wurden in der Veröffentlichung von Witte et al. (2022) umfangreich validiert und durch den Vergleich zu Auktionsergebnissen um Rabatte auf Listenpreise bereinigt. Die Reparaturkosten je Stunde wurden nicht zwischen den Auslastungen variiert. Dies deckt sich mit Erkenntnissen von Bruhn (2000). Werden die Reparaturkosten je Stunde um die Gesamtbetriebsstunden bereinigt, hatte dort die Auslastung keinen statistisch signifikanten Erklärungsbeitrag.

Der identische Ersatz ist eine bedeutende Annahme, da er den technischen Fortschritt ausklammert. Obwohl sie theoretischer Natur ist, ist sie aus verschiedenen Gründen sinnvoll. Zum einen wären andernfalls gesicherte und exakte Annahmen über die möglichen Gesamtnutzungsdauern und Eigenschaften zukünftiger abweichender Investitionsgüter nötig (Götze 2014). Solche Annahmen sind kaum verlässlich zu treffen und ihr Nutzen damit begrenzt. Zum anderen impliziert die verwendete Kostenvergleichsrechnung, dass die verglichenen Neu- und Gebrauchstraktoren dieselbe Leistung erbringen und entsprechend auf demselben technischen Stand sind. Durch den etwaigen technischen Fortschritt hätte

die Neumaschine einen Leistungsvorteil und die Rechnung wäre nicht als reiner Kostenvergleich möglich. Dies betrifft auch möglicherweise veränderte Betriebsmittelverbräuche neuer Traktoren. Die vorgenommene Betrachtung in Intervallen zu 100 Betriebsstunden ermöglicht eine zeitlich differenzierte Betrachtung. Der Informationsgewinn kürzerer Intervalle ist begrenzt, zumal auf die Stunde genaue Verkaufs- und Kaufentscheidungen in der Praxis ohnehin nicht getroffen werden können. Es würden Scheingenauigkeiten entstehen.

Nicht berücksichtigt wurde die adverse Selektion (Akerlof 1970). Unter der Annahme der adversen Selektion würden auf dem Gebrauchtmarkt vor allem Traktoren mit höheren erwarteten Reparaturkosten angeboten, ohne dass diese einen entsprechend niedrigeren Gebrauchtpreis aufweisen. Dies würde die Vorzüglichkeit der Gebrauchtkäufe senken. Allerdings werden zum einen viele Gebrauchtkäufe über professionelle Händler abgewickelt, die an einer längeren Geschäftsbeziehung Interesse haben und Gewährleistungsgarantien bieten. Zum anderen kann den Kaufenden eine gewisse Expertise mit Traktoren unterstellt werden. Beide Aspekte sollten das Auftreten adverser Selektion reduzieren. Dass selbst bei erhöhten Reparaturkosten, die vor allem Gebrauchtkäufe betreffen, vorzügliche Gebrauchtkäufe vorkommen (siehe Abbildung 2), spricht für einen geringeren Einfluss einer möglichen adversen Selektion.

Die betrieblichen und persönlichen Motivationen beim Traktorkauf können außerhalb der betrachteten Kostenrechnung sehr unterschiedlich sein. Überlegungen zur Attraktivität des „Arbeitsplatzes“, des Komforts oder höhere Ausfallwahrscheinlichkeiten älterer Traktoren über die gesteigerten Reparaturkosten hinaus (Terminkosten) können eine Rolle spielen. Trotz dieser Vereinfachung liefert das Modell wertvolle Einblicke in die allgemeinen Tendenzen zur Vorzüglichkeit gebrauchter Traktoren. Die genannten Vereinfachungen bieten weitere Anknüpfungspunkte für die künftige Forschung in diesem Bereich.

Literatur

- Akerlof, G.A. (1970) The Market for „Lemons“: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84, 3, 488–500. <https://doi.org/10.2307/1879431>.
- Albisser Vögeli, G., Gazzarin, C. und Gärtner, D. (2009) Maschinenkosten in der Praxis. Auslastung, Nutzungsdauer und Reparaturkosten ausgewählter Landmaschinen auf Schweizer Betrieben. ART-Bericht, 711, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon.
- ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) (2011) D497.7. Agricultural Machinery Management Data MAR2011. ASABE Standards 2011, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bruhn, I. (2000) Erhebung zu Reparaturkosten von Maschinen auf Großbetrieben, dargestellt für Traktoren und Mähdrescher. Dissertation an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Burose, F. (2011) Maschinenkosten auf Landwirtschaftsbetrieben in der Schweiz und in Deutschland, Ergebnisse der Befragungen in den Jahren 2008 und 2010. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Calcante, A., Fontanini, L. und Mazzetto, F. (2013) Repair and Maintenance Costs of 4WD Tractors in Northern Italy. *Transactions of the ASABE*, 56, 2, 355–362. <https://doi.org/10.13031/2013.42660>.
- Cross, T.L. und Perry, G.M. (1996) Remaining Value Functions for Farm Equipment. *Applied Engineering in Agriculture*, 12, 5, 547–553. <https://doi.org/10.13031/2013.25682>.
- Daninger, N. und Gunderson, M.A. (2017) The Pricing and Depreciation Patterns of Used Tractors. 2017 Annual Meeting, July 30–August 1, Chicago, Illinois, Agricultural and Applied Economics Association.
- Götze, U. (2014) Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Khoub bakht, G.M., Ahmadi, H., Akram, A. und Karimi, M. (2008) Repair and Maintenance Cost Models for MF285 Tractor: A Case Study in Central Region of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 4, 1, 76–80.
- KTBL (2020) Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- Lips, M. (2017) Length of Operational Life and Its Impact on Life-Cycle Costs of a Tractor in Switzerland. *Agriculture*, 7, 8, 68. <https://doi.org/10.3390/agriculture7080068>.
- Lips, M. und Burose, F. (2012) Repair and Maintenance Costs for Agricultural Machines. *International Journal of Agricultural Management*, 01, 3, 1–7. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.149750>.
- Perrin, R.K. (1972) Asset Replacement Principles. *American Journal of Agricultural Economics*, 54, 1, 60–67. <https://doi.org/10.2307/1237734>.
- Perry, G.M. und Nixon, C.J. (1991) Optimal Tractor Replacement: What Matters? *Review of Agricultural Economics*, 13, 1, 119–128. <https://doi.org/10.2307/1349562>.
- Reid, D.W. und Bradford, G.L. (1983) On Optimal Replacement of Farm Tractors. *American Journal of Agricultural Economics*, 65, 2, 326–331. <https://doi.org/10.2307/1240883>.
- Stirnemann, R. und Renius, K.T. (2021) Gesamtentwicklung Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.). *Jahrbuch Agrartechnik 2020*, Band 32, Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1–14.
- Witte, F., Back, H., Sponagel, C. und Bahrs, E. (2022) Restwertentwicklung von Traktoren – ein Plädoyer für die Anwendung einer differenzierten Marktwertschätzung. *Landtechnik*, 77, 1, 1–20. <https://doi.org/10.15150/lt.2022.3273>.

Appendix

Tabelle A1: Kalkulationsgrundlagen der Traktoren nach Leistungsklassen

Leistungs- klasse	Angenommener Neupreis in Euro	Parameter Stundenverlust	Parameter Jahresverlust	Reparaturkosten (gesamt) in Euro nach KTBL 2020	jährliche Fixkosten in Euro nach KTBL 2020
67kW	38.083	-0.00004677	-0.03192	65.000	474
83kW	48.412	-0.00005407	-0.02923	70.000	641
102kW	64.700	-0.00005482	-0.04353	75.000	761
120kW	72.949	-0.00005266	-0.05108	85.000	891
138kW	80.621	-0.00004217	-0.05548	90.000	1.021
157kW	89.995	-0.00004515	-0.06526	100.000	1.089
176kW	109.920	-0.00006575	-0.06513	110.000	1.089
200kW	113.268	-0.00006297	-0.05590	120.000	1.089
233kW	119.075	-0.00006500	-0.04708	130.000	1.089

Quelle: Darstellung nach KTBL 2020 und Witte et al. 2022.

Tabelle A2: Übersicht über die verwendeten Auktionsergebnisse

Leistungsklasse	Anzahl	durch. Alter in Jahren	durch. Betriebsstunden	Historische Auslastung in h/a
67kW	33	12	5.379	448
83kW	46	13	7.587	584
102kW	49	11	6.403	582
120kW	87	9	6.163	685
138kW	37	11	8.087	735
157kW	72	8	6.403	800
176kW	89	8	6.233	779
200kW	92	8	6.480	810
233kW	48	8	6.386	798

Quelle: Eigene Darstellung nach Ritchie Bros.