

Produktivitätsmodell "Forwarder Rundholz 2017"

Teil B: Analyse der Datensätze und Diskussion der Modellierung

Dario Pedolin, WSL Birmensdorf

19. Dezember 2017

Co-Autoren: Fritz Frutig
Renato Lemm
Oliver Thees
Leitung: Oliver Thees

Zusammenfassung

Anhand eines Datensatzes über die Leistungen von Arbeiten mit Forwarder aus deutschen Forstbetrieben soll ein Modell für die Berechnung der Zeitaufwände für das Rücken mit Forwarder erstellt werden. Das Modell erklärt 27% der im Datensatz ($N = 636$ Rückearbeiten, total Kubikmeter ohne Rinde = 449'427 m³ o.R.) gefundenen Varianz.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Das bestehende Forwarder Modell soll vereinfacht (auf die wichtigsten Parameter reduziert) sowie getestet werden.

Ein Datensatz bestehend aus 665 Holzschlägen aus den Jahren 2007 bis 2015 aus deutschen Forstbetrieben wurde benutzt, um ein Modell für die Produktivität des Rückens mit Forwarder zu erstellen. In einer ersten Analyse wurden für jedes der beiden Modelle Ausreisser identifiziert. In einem zweiten Schritt wurden diese Ausreisser aus der Analyse ausgeschlossen und ein Modell für die gemessenen Produktivitäten erstellt.

Die Modelle wurden in der Residuenanalyse auf Verletzungen der Voraussetzungen für lineare Modellierung untersucht (Anhang Abbildung ?? bis ??). Abschliessend wurden Sensitivitätsanalysen für die Parameter durchgeführt. Die Qualität der Modelle wurde ausserdem mit Kreuzvalidierungen getestet (Anhang Tabelle ??). Bearbeitet in R (?).

2 Analyse Produktivitäten - Montage und Demontage

2.1 Beschreibung des Prozesses

Der Prozess 'Rücken mit Forwarder' umfasst alle Arbeitsschritte Rückens mit Forwarder auf der Rückegasse. Der Output des Prozesses 'Rücken mit Forwarder' sind die sortiertem Stücke an der Waldstrasse gepoltet.

2.2 Beschreibung der Einheiten und Masse

Alle Zeiten (Stunden [h]) sind Maschinenstunden MAS ([PSH15] vergleiche Anhang Abbildung ??) und beinhalten alle Zeitaufwände des Rückens mit Forwarder¹.

2.3 Erstellen und Testen des Modells

Tabelle 1: Resultat der Analyse des linearen Zusammenhangs und Schätzung der Modellkoeffizienten für das Modell 'Rücken mit Forwarder'

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	5.8084	0.5444	10.67	0.0000
BHD	0.2495	0.0222	11.26	0.0000

Tabelle ?? zeigt die Koeffizienten und p-Werte der ersten Analyse des Modells für Rücken mit Forwarder. Das korrigierte R^2 für die Modellbildung zur Identifizierung der Ausreisser beträgt 0.16.

Die Abbildung ?? zeigt den Vergleich der berechneten mit den gemessenen Werten. Für Punkte, die auf der grauen Linie liegen, ist der Schätzwert gleich gross wie der gemessene Wert. Liegen die Punkte links der Linie unterschätzt das Modell die Werte. Liegen sie rechts der Linie, werden die Zeitaufwände vom Modell überschätzt. Zusätzlich sind jene Fälle mit aussergewöhnlich grossen Schätzfehlern (= Residuum minus Mittelwert der Residuen grösser als zwei Standardabweichungen der Residuen) schwarz markiert.

Für die nachfolgenden Auswertungen wurden diese Fälle aus dem Datensatz entfernt² (siehe Anhang Tabelle ?? für Beschreibung der Ausreisser). Es werden noch 636 Fälle benutzt.

¹in den original Daten als 'Leistung [Gesamtmasse/MAS]' erfasst

²Die 29 Ausreisser entsprechen 4% der Fälle der Grundgesamtheit.

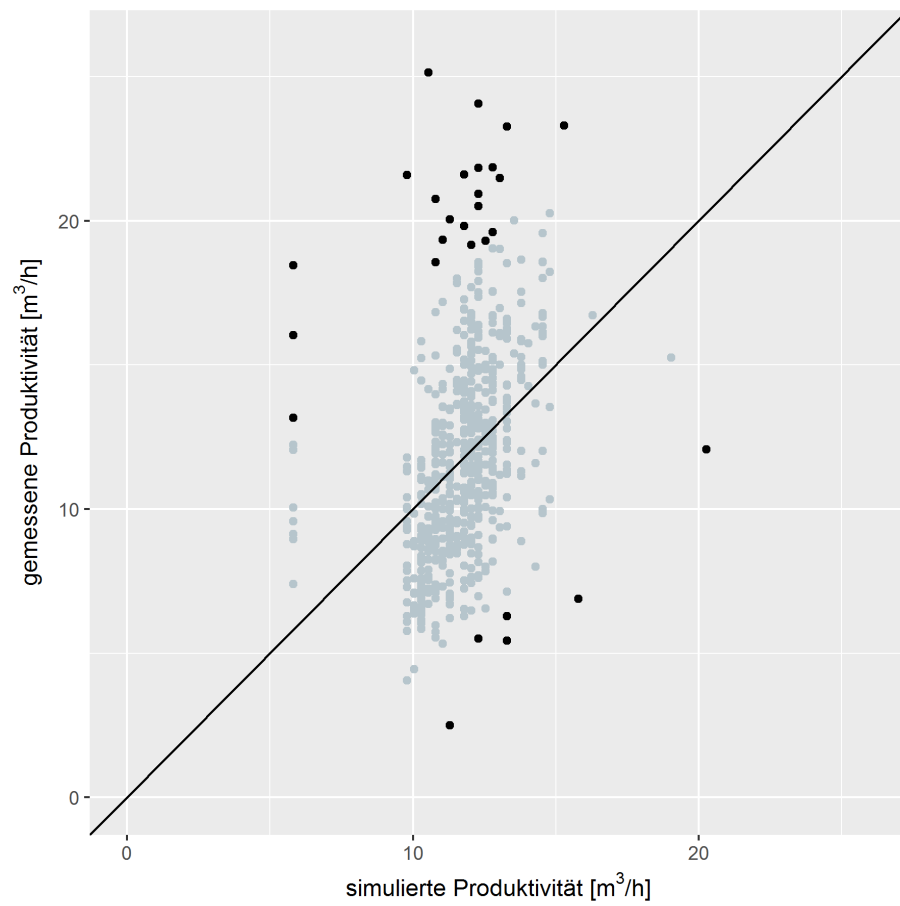


Abbildung 1: Vergleich der mittels des Modells berechneten mit den gemessenen Produktivitäten [m³/MAS] für das Modell 'Rücken mit Forwarder'. Messwerte deren Residuen (= gemessener Wert - durch das Modell geschätzter Wert) mehr als zwei Standardabweichungen über dem Mittelwert der Residuen liegen, sind schwarz eingefärbt.

Tabelle 2: Resultat der Analyse des linearen Zusammenhangs und Schätzung der Modellkoeffizienten für den Datensatz ohne Ausreisser für das Modell 'Rücken mit Forwarder'

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.1430	0.4880	8.49	0.0000
BHD	0.3085	0.0200	15.46	0.0000

Tabelle ?? zeigt, dass die Variablen 'BHD' [cm] für die Produktivität des Rücken mit Forwarder massgebend sind. Das korrigierte R^2 für die Modellbildung ohne Ausreisser beträgt 0.27. Die in Anhang Abbildungen ?? bis ?? gezeigten Tests wurden durchgeführt, um auf Verletzungen der Voraussetzungen der Annahmen für einen linearen Zusammenhang zu testen. Weiter wurde für das Model eine Kreuzvalidierung durchgeführt (siehe Anhang Tabelle ??).

Die Abbildung ?? zeigt den Vergleich der berechneten mit den gemessenen Werten. Für Punkte, die auf der grauen Linie liegen, ist der Schätzwert gleich gross wie der gemessene Wert. Liegen die Punkte links der Linie, unterschätzt das Modell die Werte. Liegen sie rechts der Linie, werden die Produktivitäten vom Modell überschätzt.

Die mittlere Abweichung der berechneten Werte von den gemessenen beträgt $2.18 \text{ m}^3/\text{h}$ (Median: $1.91 \text{ m}^3/\text{h}$). Um ein Mass für die relative Genauigkeit der durch das Modell berechneten Werte zu bekommen, wurden auch die relative Abweichung der berechneten Werte von den gemessenen Werten untersucht (d.h. (gemessener Wert - berechneter Wert) / gemessener Wert; vergl. ?). Die mittlere relative Abweichung beträgt 20.94% (Median: 17%). Vergleiche auch Anhang Abbildung ?? und ?? für einen Überblick über die Verteilung der Residuen.

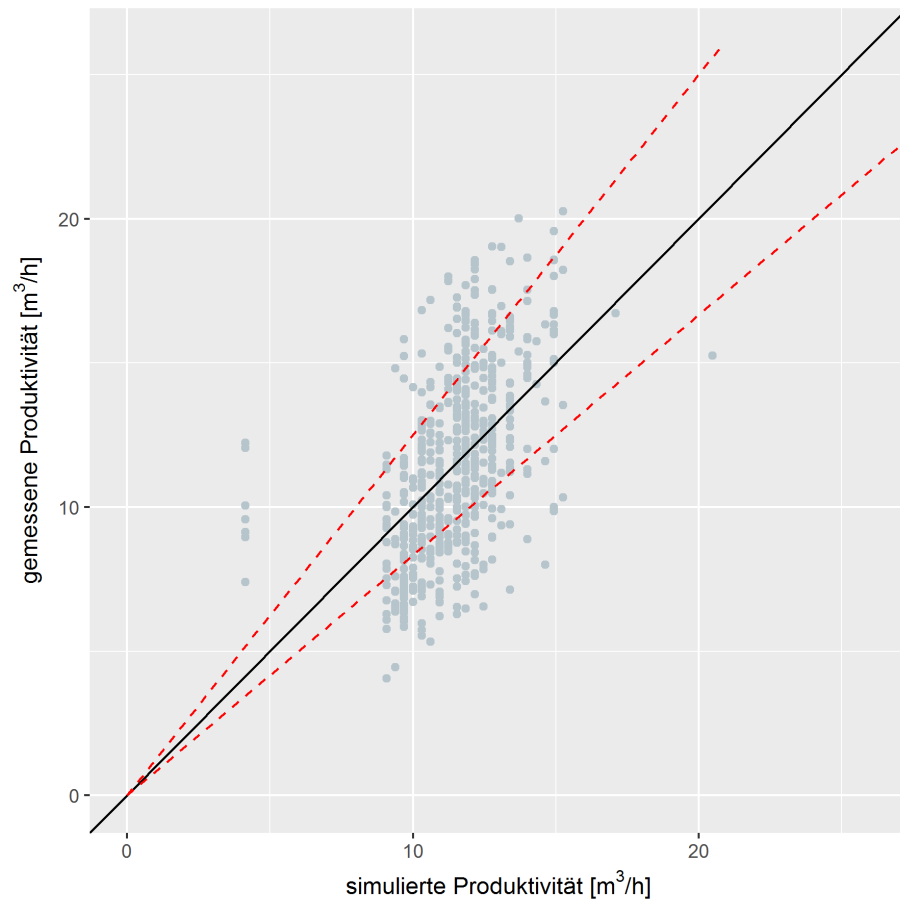


Abbildung 2: Vergleich der mittels des Modells berechneten Produktivitäten mit den gemessenen Produktivitäten für das Modell 'Rücken mit Forwarder'. Die roten gestrichelten Linien grenzen den Bereich von 20% Abweichung ein.

3 Diskussion

3.1 Diskussion der Datengrundlage

- Modell soll für Energieholz gelten
 - gerückte Stücke mit BHD $\geq 20\text{cm}$ zum Energieholz zurechnen
- Bei den Arbeiten aus dem Jahr 2015 wurde statt dem BHD die mittlere Stückmasse erfasst. Diese wurde mit dem Luzerner Tarif III (Fichte) auf den BHD zurückgerechnet.

Die Datengrundlage umfasst zahlreiche Variablen, allerdings weisen die meisten der gemessenen Größen nur geringe Varianz auf (siehe auch Anhang 'Beschreibung der im Modell benutzten Messgrößen').

3.2 Diskussion des Modells

Das hier gezeigte Modell erfasst nur den Effekt des BHDs auf die Produktivität. Es ist davon aus zu gehen, dass neben dem BHD noch andere Variablen die Produktivität beeinflussen. Deren Betrag und Vorzeichen konnten mit den hier angewendeten einfachen Methoden nicht abgeschätzt werden. Um diese wichtigen Parameter trotzdem ins Modell einfließen zu lassen wird das oben gezeigte Modell erweitert. Dabei werden zusätzliche Informationen und Expertenwissen benutzt um das Modell zu erweitern.

4 Modelle einsetzen

4.1 Formel, Koeffizienten und Systemgrenzen

Die Modelle liefern sinnvolle Resultate für Wertebereiche, in denen sie gut definiert sind (das heisst Bereiche, die von den Trainingsdaten abgedeckt werden, siehe 'Beschreibung der Messgrössen' im Anhang).

Der Einsatz der Modelle kann mittels Excel oder anderen Programmen erfolgen. Dabei werden für die kontinuierlichen Variablen (metrisches Skalenniveau) die Koeffizienten mit den Werten der Variabel verrechnet, für die kategorialen Variablen (nominales Skalenniveau) die zu der Kategorie gehörenden Werte eingesetzt.

4.1.1 Modell Rücken mit Forwarder

$$\begin{aligned} \text{Produktivität } [m^3/MAS] = a \\ + b * \text{BHD [cm]} \end{aligned} \quad (1)$$

Formel ?? zeigt das Modell aus Tabelle ?? in mathematischer Form (die Zeiten in Stunden sind als 'Maschinenstunden' (PSH15 in Abbildung ??)). Das Modell umfasst alle Teilprozesse des Rücken mit Forwarder. Die Koeffizienten dazu sind:

Variable	Koeffizient
Konstante	4.14
BHD	0.31

Tabelle 3: Koeffizienten zum Forwarder Model

4.2 Sensitivitätsanalysen

Die nachfolgende Abbildung ?? der Sensitivitätsanalyse zeigt die Abhängigkeit der durch das Modell berechneten Produktivität von den unabhängigen Variablen. Die Punkte markieren die gemessenen Produktivitäten (für Vergleichbare Fälle). Die Linien zeigen die Vorhersagen des Modells. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, wie sich die geschätzten Werte in Abhängigkeit der Modellparameter verändern.

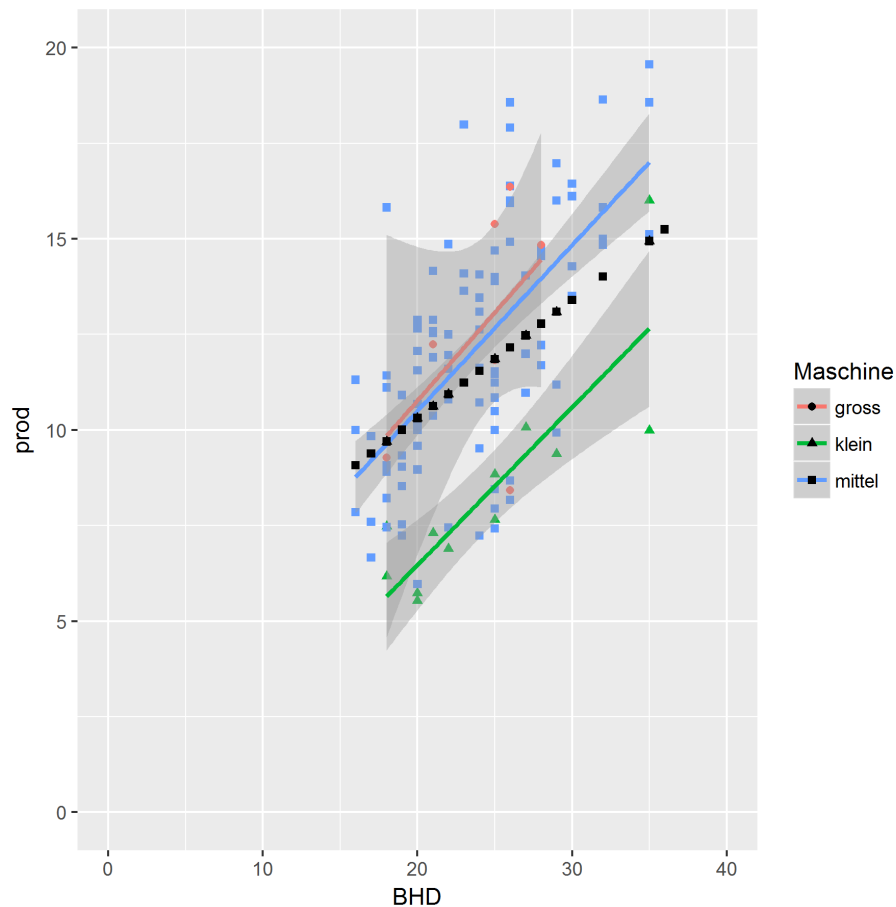


Abbildung 3: Sensitivitätsanalyse für die Variabel 'BHD' [cm] im Modell 'Rücken mit Forwarder' für Fälle mit 'Anzahl Sortimente' = 6. Die schwarzen Punkte entsprechen den Vorhersagen des Modells, die farbigen Punkte sind gemessene Werte. Da für diese Sensitivitätsanalyse genügend vergleichbare Fälle (Anzahl Sortimente = 6 vorhanden sind), wurde für die gemessenen Werte (Punkte) eine Glättung durchgeführt (durchgezogene Linie). Der graue Bereich um die Glättungslinie markiert das 95% Vertrauensintervall.

5 Anhang

5.1 Testen auf Verletzungen der Annahmen für multiple Regression

Das Modell wurde auf folgende Anforderungen getestet:

1. Modellannahme 1: Es gibt einen Linearen Zusammenhang zwischen gemessenen Werten und mit linearem Modell simulierten Werten (Linearität).
2. Modellannahme 2: Die Residuen sind unabhängig von der abhängigen und den unabhängigen Variablen (sog. Heteroskedastie). Der Erwartungswert der Residuen ist für jeden Wert der Variabel = 0 (in den Grafiken durch die blaue Linie (gleitendes Mittel) dargestellt).
3. Modellannahme 3: Falls die Residuen geordnet sind (zBsp. bei Zeitreihen), dürfen sie nicht voneinander abhängig sein (keine Autokorrelation, zBsp. auf grosse Residuen folgen kleine, etc). Da unsere Daten keine natürliche Reihenfolge haben, spielt diese Annahme keine Rolle. (Bzw. umfasst das Datenset Daten aus 7 Jahren, aber es ist nur ein geringer Anstieg der Produktivität über die Jahre erkennbar. Ausserdem ist der Unterschied der Residuen für die Jahre sehr gering (Vergleiche auch Anhang Abbildung ??).)
4. Modellannahme 4: Die Residuen sind normal verteilt um den Mittelwert 0.

Diese Anforderungen werden in den nachfolgenden Tests und Grafiken diskutiert. Auf die Anforderung '3: keine Autokorrelation' wird nicht weiter eingegangen.

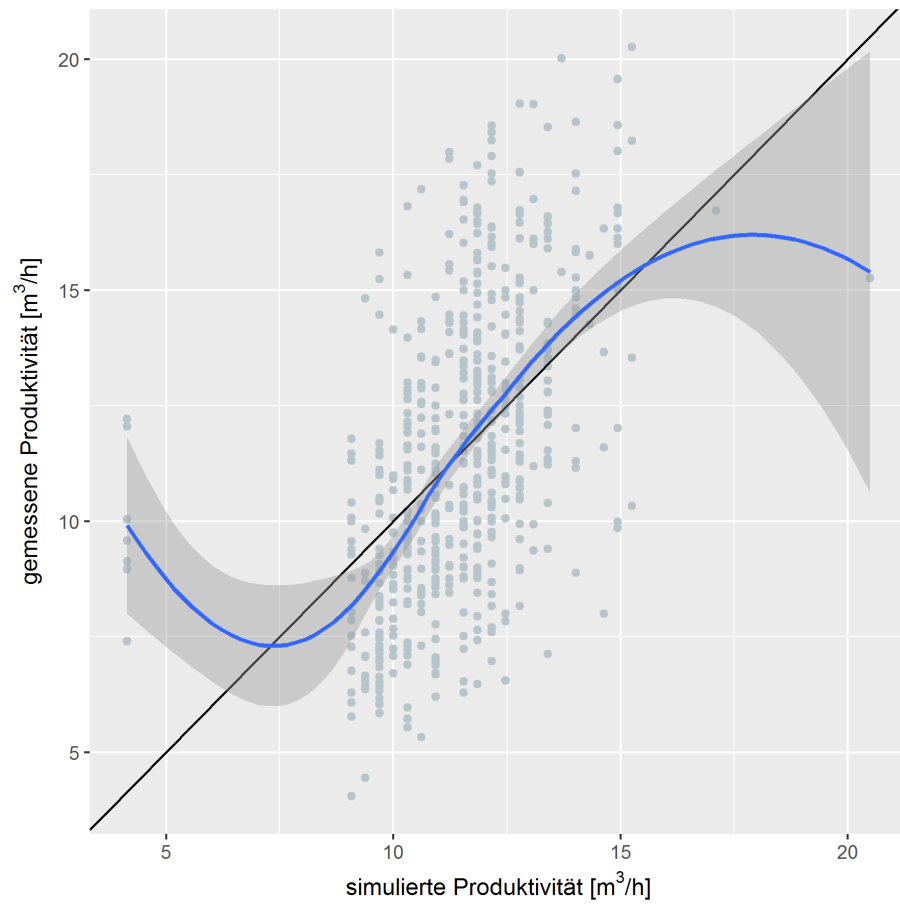


Abbildung 4: Test Modellannahmen 1: Linearität. Die Punkte streuen um die Diagonale, es gibt keine Anzeichen für einen systematischen Fehler.

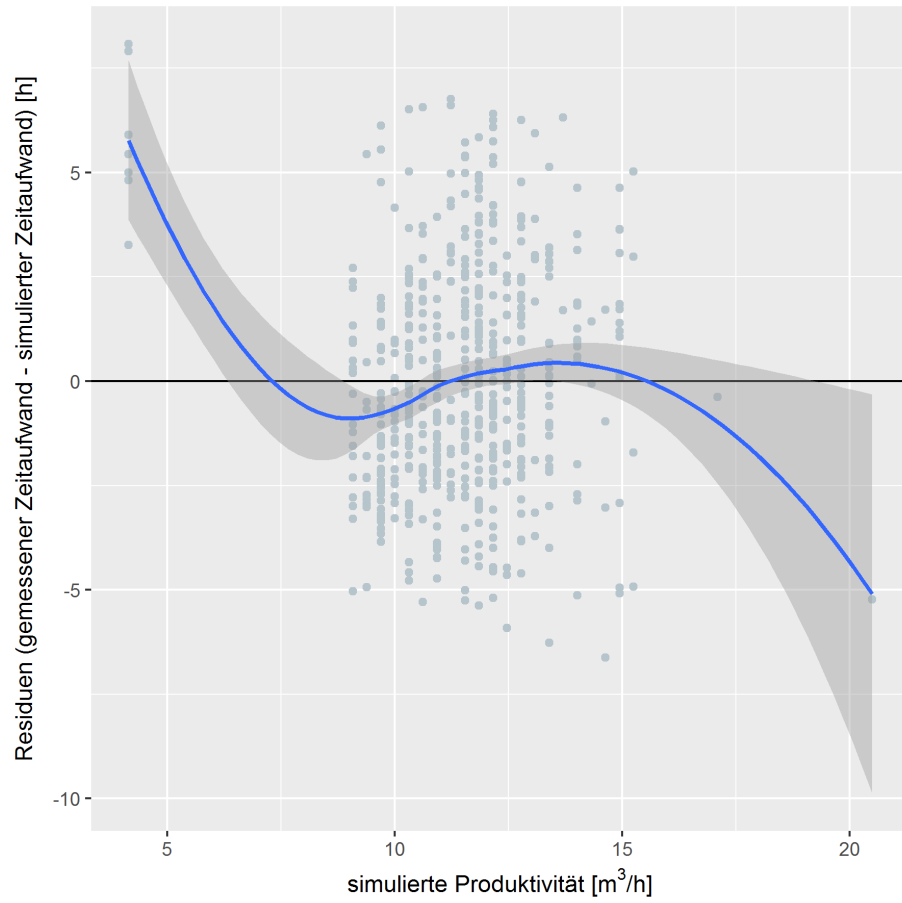


Abbildung 5: Modellannahme 1: Normalverteilung der Residuen. Tukey-Anscombe Plot für das Modell aus Tabelle ???. Der p-Wert der ANOVA der Mittelwertsunterschiede der Residuen über die vier Quartile beträgt 0.002

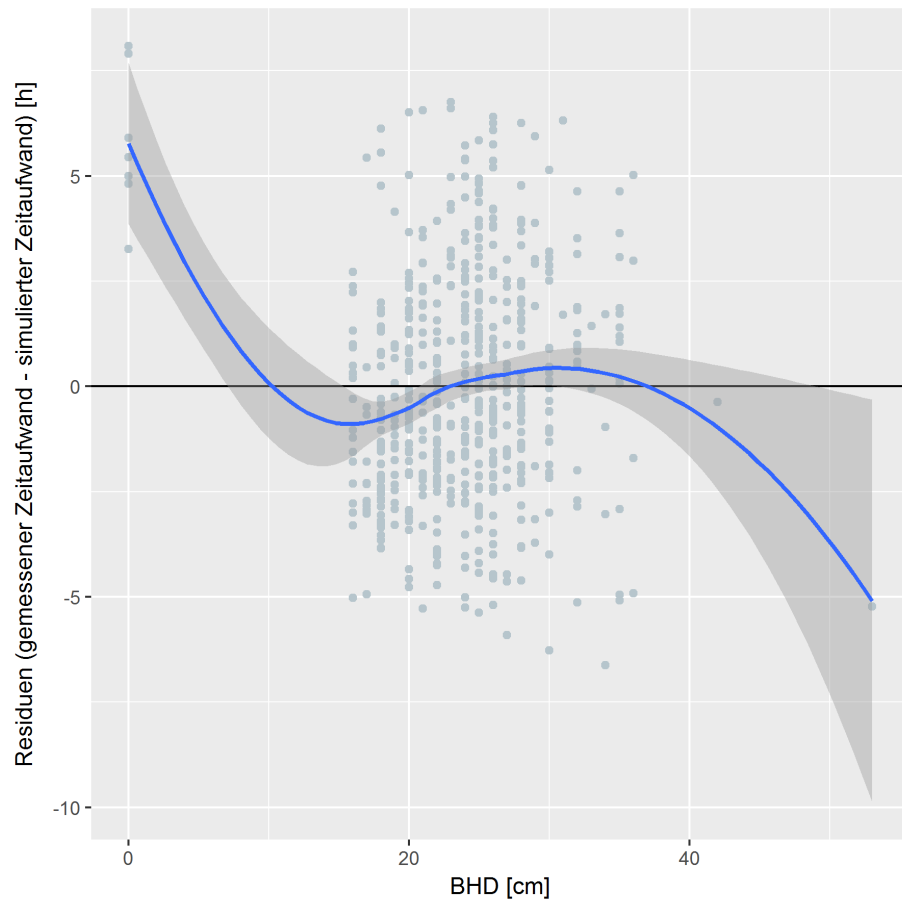


Abbildung 6: Test Modellannahmen 2: Korrelation der Residuen mit unabhängiger Variabel 'BHD [cm]'. Die blaue Linie steht für das gleitende Mittel. Der p-Wert der ANOVA der Mittelwertsunterschiede der Residuen über die vier Quartile beträgt <0.01

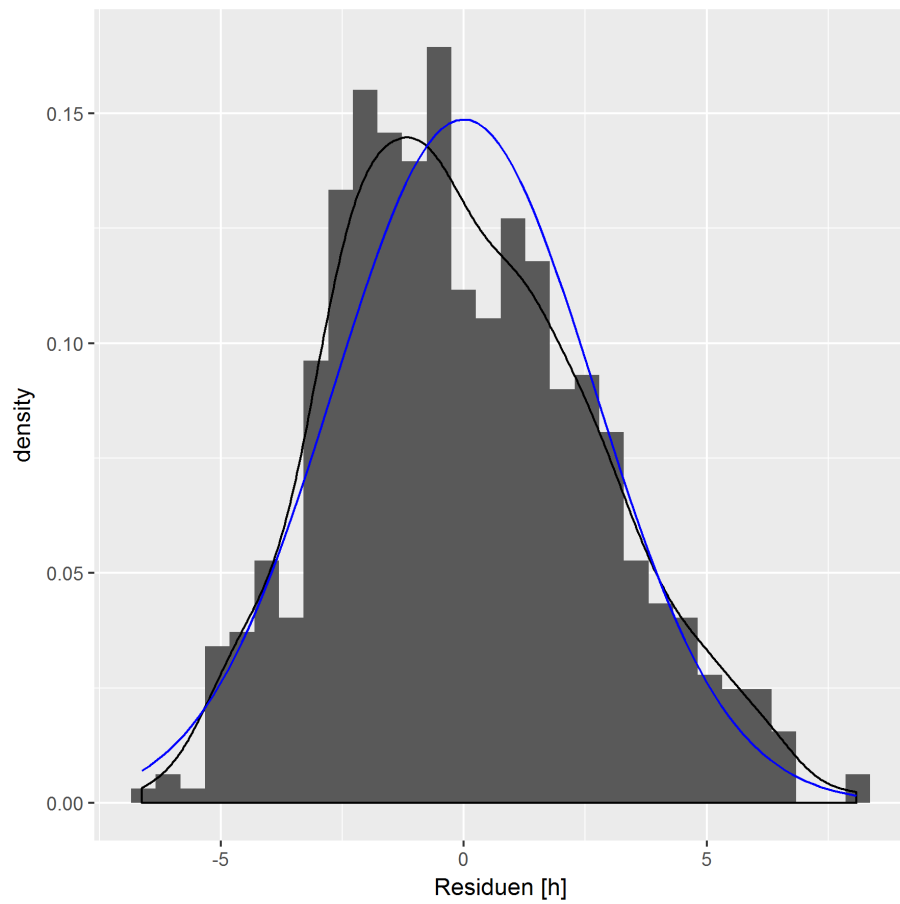


Abbildung 7: Test Modellannahmen 4: Normalverteilung der Residuen: Dichtefunktion der Residuen. Als Referenz ist die Dichtefunktion einer normal verteilten Variabel blau eingezeichnet. Die Residuen sind annähernd normal verteilt.

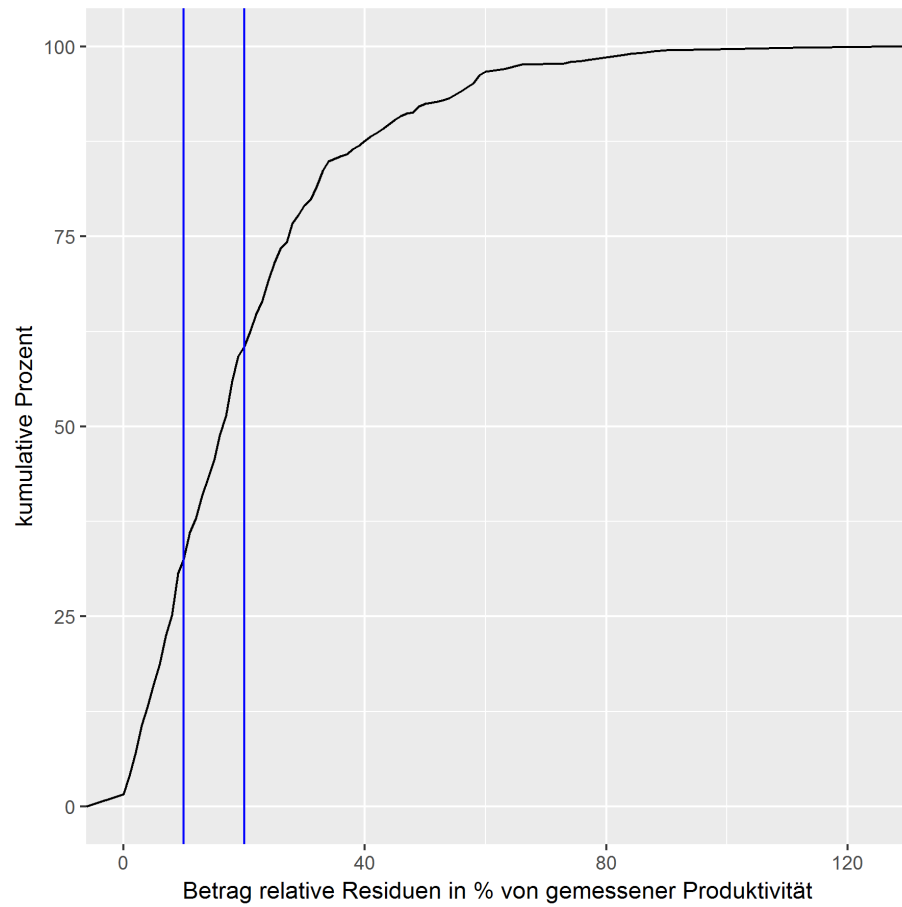


Abbildung 8: Kumulative Verteilung der Beträge der relativen Residuen. Die vertikalen blauen Linie markieren 10% bzw. 20% Abweichung. Bei 32% der Fälle ist der relative Schätzfehler kleiner gleich 10%.

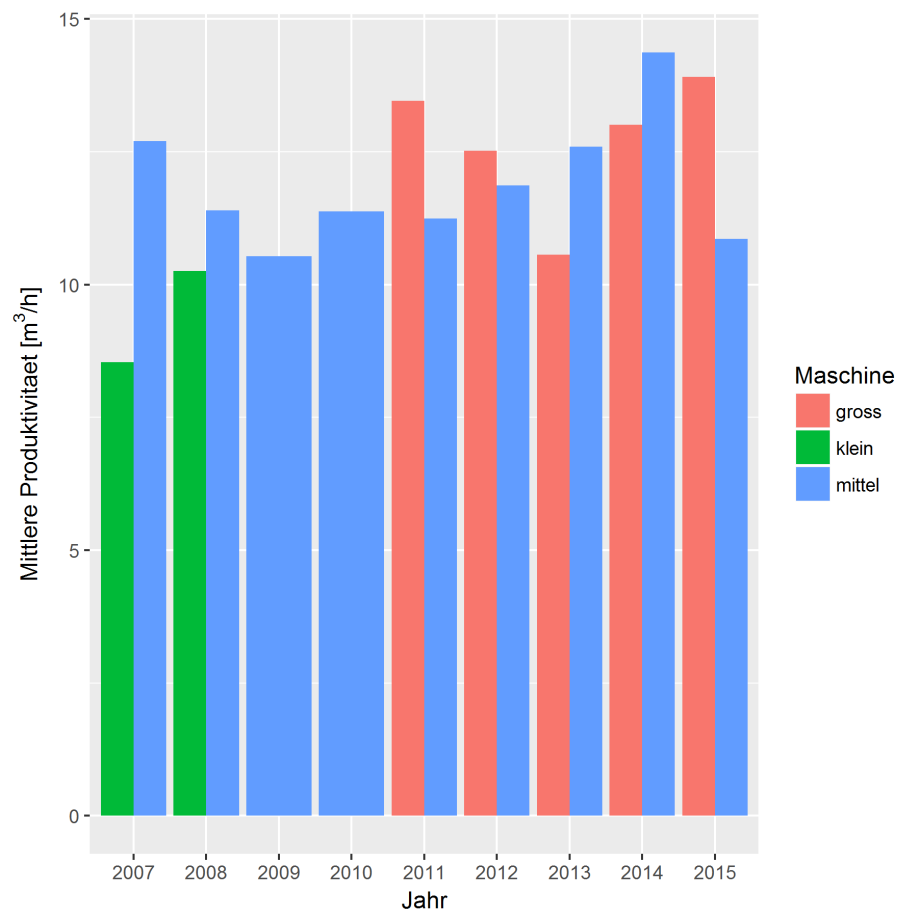


Abbildung 9: Boxplot mittlere Produktivitaet vs. Jahre

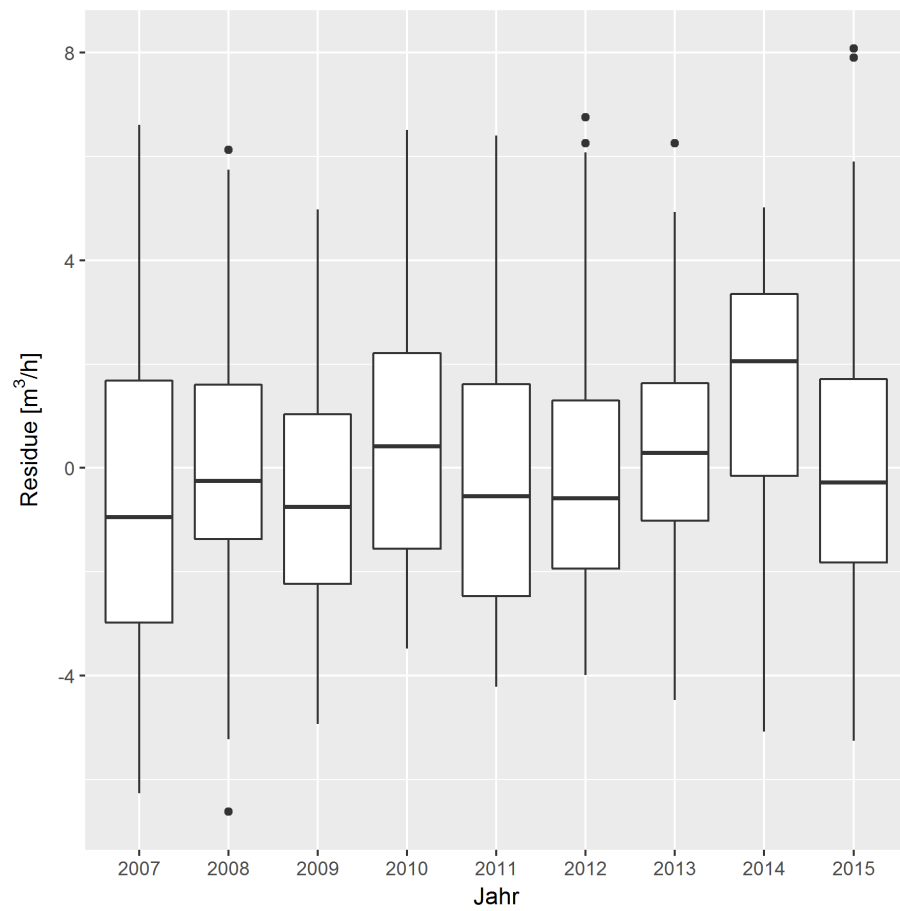


Abbildung 10: Boxplot Residuen vs. Jahre

5.2 Testen der Modellparameter auf Signifikanz

Tabelle 4: Für das Modell fuer 'Produktivität Forwarder'

	Estimate	Std. Error	t value	pWert
(Intercept)	5.41	0.60	9.03	0.001
BHD	0.32	0.02	14.43	0.001
Fahrdistanz	-0.00	0.00	-1.07	0.286
Stueckzahl	0.00	0.00	2.18	0.029
Anzahl.Sortimente	-0.09	0.05	-1.82	0.069
Komplettrücken	-0.01	0.00	-2.32	0.021
HN	-0.02	0.01	-1.62	0.106

In Tabelle ?? werden die geschätzten Koeffizienten und deren p-Werte gezeigt (Variablen mit nicht signifikantem p-Wert rot eingefärbt). Es wurden Test für alle Variablen gleichzeitig (Tabelle ??) durchgeführt.

5.3 Beschreibung der 'Ausreisser'

Tabelle 5: Beschreibung der Ausreisser

BHD	Produktivitaet
30.00	23.26
19.00	25.15
26.00	24.06
26.00	21.85
20.00	20.75
22.00	20.05
24.00	19.81
27.00	19.30
28.00	19.61
20.00	18.57
25.00	19.16
22.00	2.50
26.00	5.51
21.00	19.35
58.00	12.08
28.00	21.86
38.00	23.31
26.00	20.93
29.00	21.48
29.00	21.48
30.00	6.29
16.00	21.60
24.00	21.60
30.00	5.44
26.00	20.51
0.00	18.46
0.00	13.17
40.00	6.88
0.00	16.03

5.4 Kreuzvalidierung

Für die Kreuzvalidierung wurden die Daten in zwei Sets eingeteilt, wobei das 'Modellierset' (N=207) zur Schätzung der Modellparameter benutzt wird und diese anschliessend am 'Validierungsset' (N=429) getestet werden.

Tabelle 6: Resultat der Analyse des linearen Zusammenhangs und Schätzung der Modellkoeffizienten für den Trainingsdatensatz

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.128	0.879	4.698	0.000
BHD	0.319	0.036	8.842	0.000

Tabelle ?? gibt die Koeffizienten-Schätzungen für das Trainingsdatenset des Modells 'Rücken mit Forwarder' wieder. Das korrigierte R^2 für die Modellbildung beträgt 0.27.

Tabelle 7: Resultat der Analyse des linearen Zusammenhangs und Schätzung der Modellkoeffizienten für den Trainingsdatensatz - Unterschiede der Koeffizientenschätzungen

	p-Wert	alle Daten	trainings Daten	% Diff
(Intercept)	0.000	4.143	4.128	0.0
BHD	0.000	0.308	0.319	-3.0

Tabelle ?? zeigt die Unterschiede für die Koeffizientenschätzung aus allen Daten (N= 636) vs. Koeffizientenschätzung aus Trainingsdaten (N= 207). Der p-Wert bezieht sich auf die Schätzung aus allen Daten. NA

5.5 Beschreibung der im Modell benutzten Messgrößen

Für die nachfolgenden Tabellen gelten folgende Abkürzungen: n = Anzahl gültiger Datensätze für diese Variabel, mean = Mittelwert, sd = Standardabweichung, median = Median, min = kleinster Wert, max= grösster Wert, skew = Schiefe (wie stark neigt die Verteilung nach links (+) oder rechts (-)), se = standard Fehler des Mittelwerts.

Tabelle 8: Beschreibung der Produktivität [h] bzw. [m³ o.R./h]

Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Rücken mit Forwarder [m ³ /h]	636	11.51	3.15	11.25	4.05	20.27	0.30	0.12
Rücken mit Forwarder [m ³ /h]	636	11.51	3.15	11.25	4.05	20.27	0.30	0.12

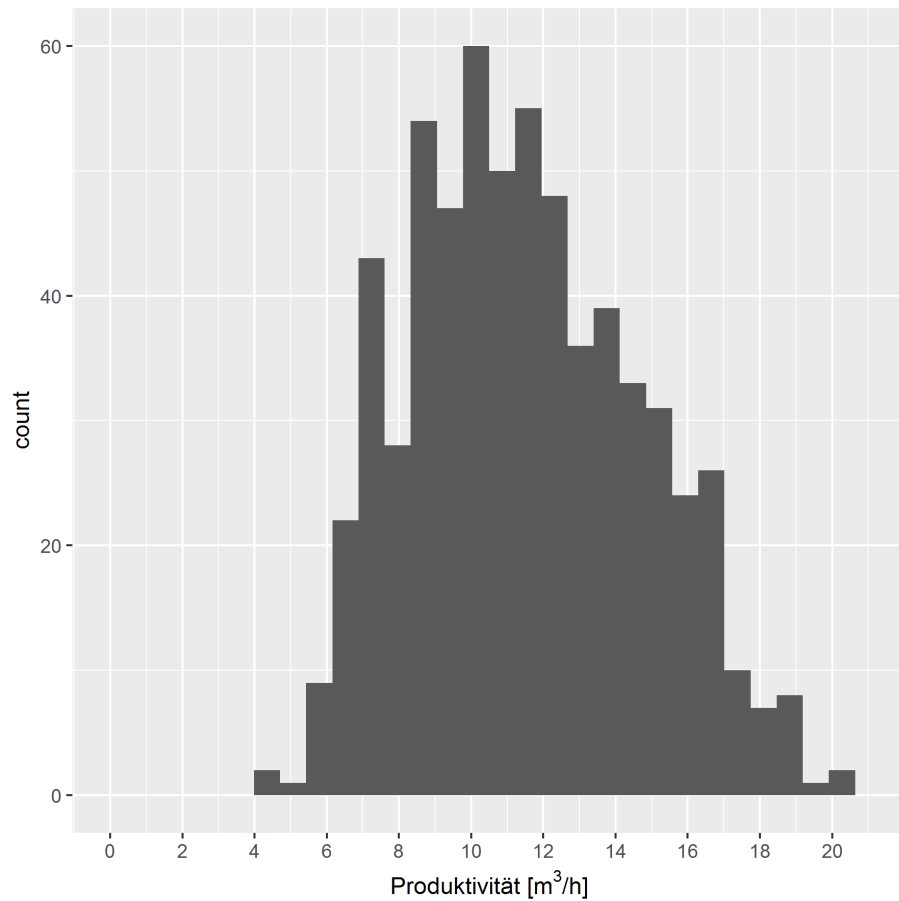


Abbildung 11: Verteilung der Variabel 'Produktivität' [m³ o.R./h].

Tabelle 9: Beschreibung der Variabel 'BHD' [cm]

Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Forwarder BHD [cm]	636	23.87	5.34	24.00	0.00	53.00	-0.40	0.21

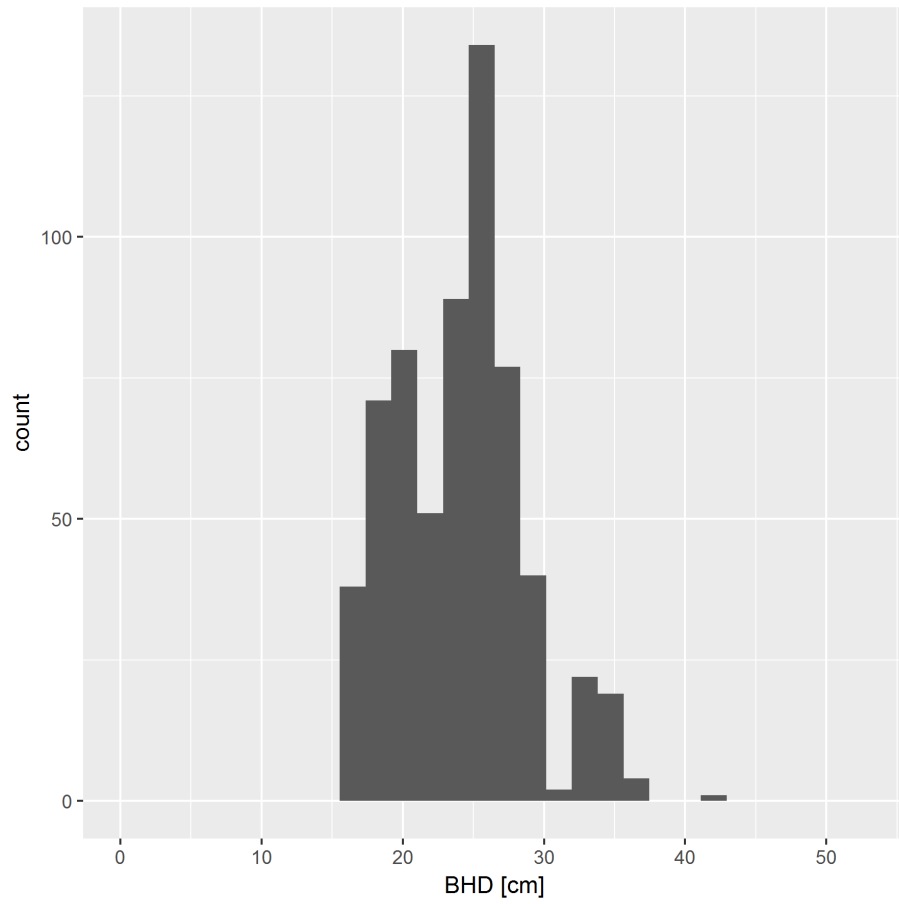


Abbildung 12: Verteilung der Variabel 'BHD [cm]'.

Tabelle 10: Beschreibung der Variabel 'Kubikmeter liegend' [m^3 o.R.]

Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Forwarder Volumen liegend [m^3]	636	706.65	598.38	544.79	10.00	4349.52	1.49	23.73

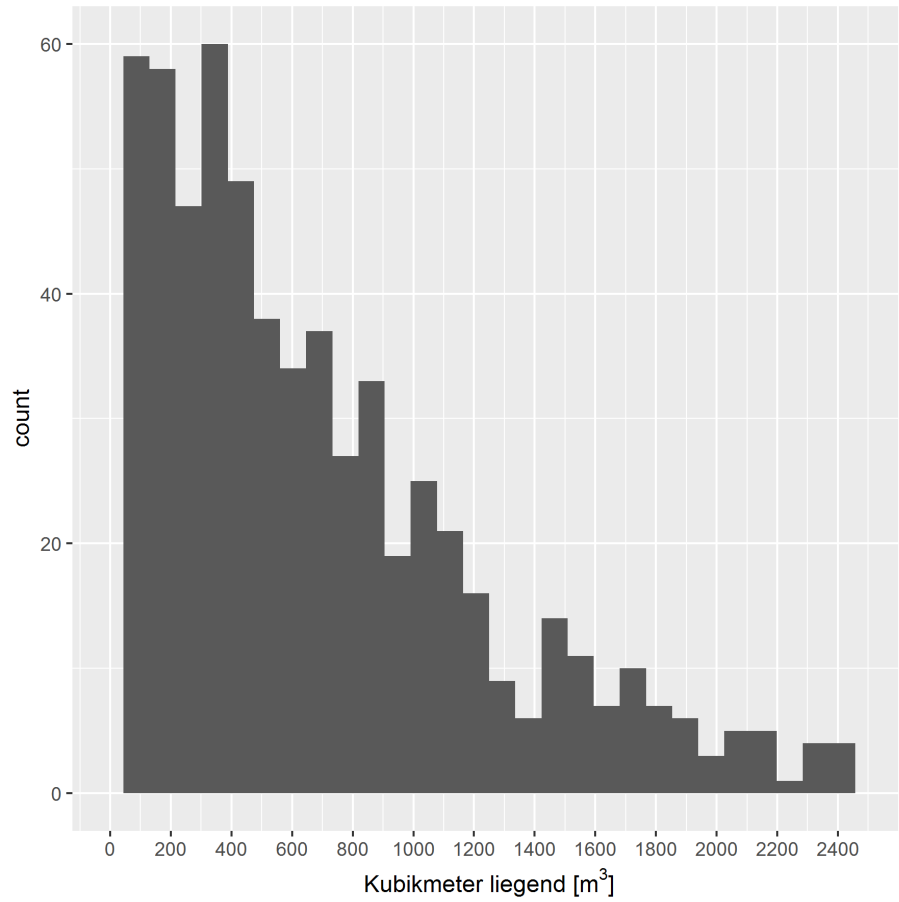


Abbildung 13: Verteilung der Variabel 'Kubikmeter liegend [m^3 o.R.]'.

Tabelle 11: Beschreibung der Variabel 'Anzahl.Sortimente' [-]

Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Forwarder Anzahl.Sortimente [-]	546	6.55	2.41	6.00	0.00	20.00	-0.05	0.10

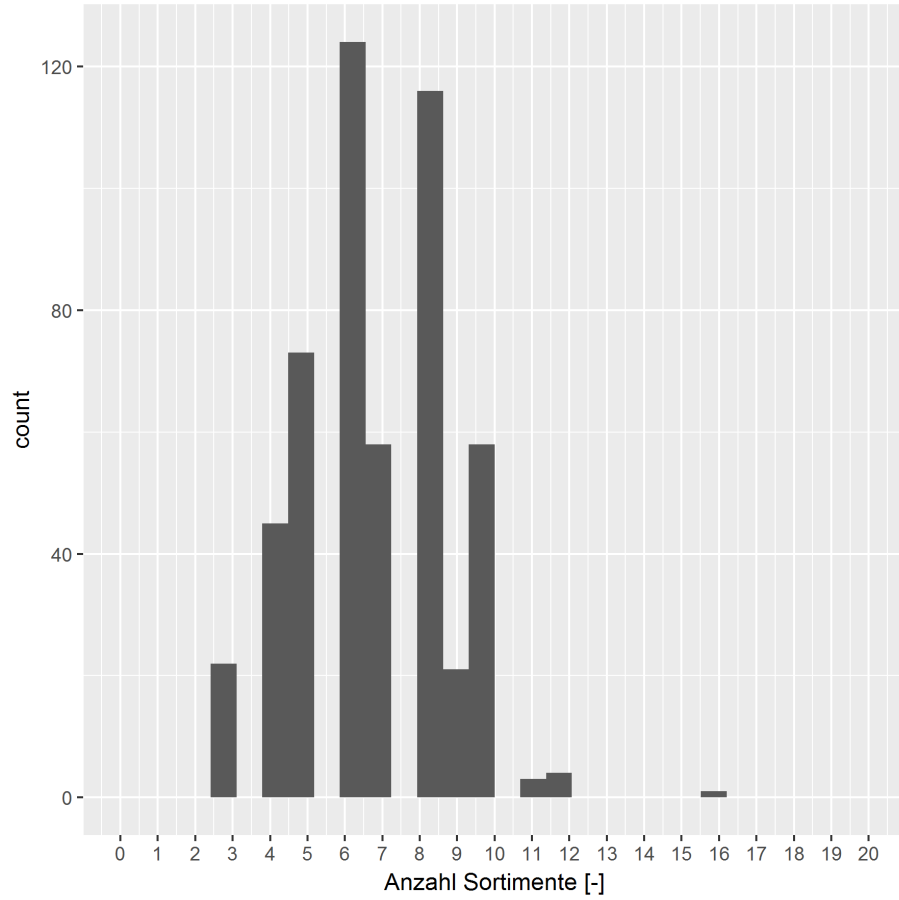


Abbildung 14: Verteilung der Variabel 'Anzahl Sortimente [-]'.

Tabelle 12: Beschreibung der Variabel 'Stueckzahl' [-]								
Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Forwarder Stueckzahl [-]	636	1633.12	2980.66	0.00	0.00	19349.00	2.39	118.19

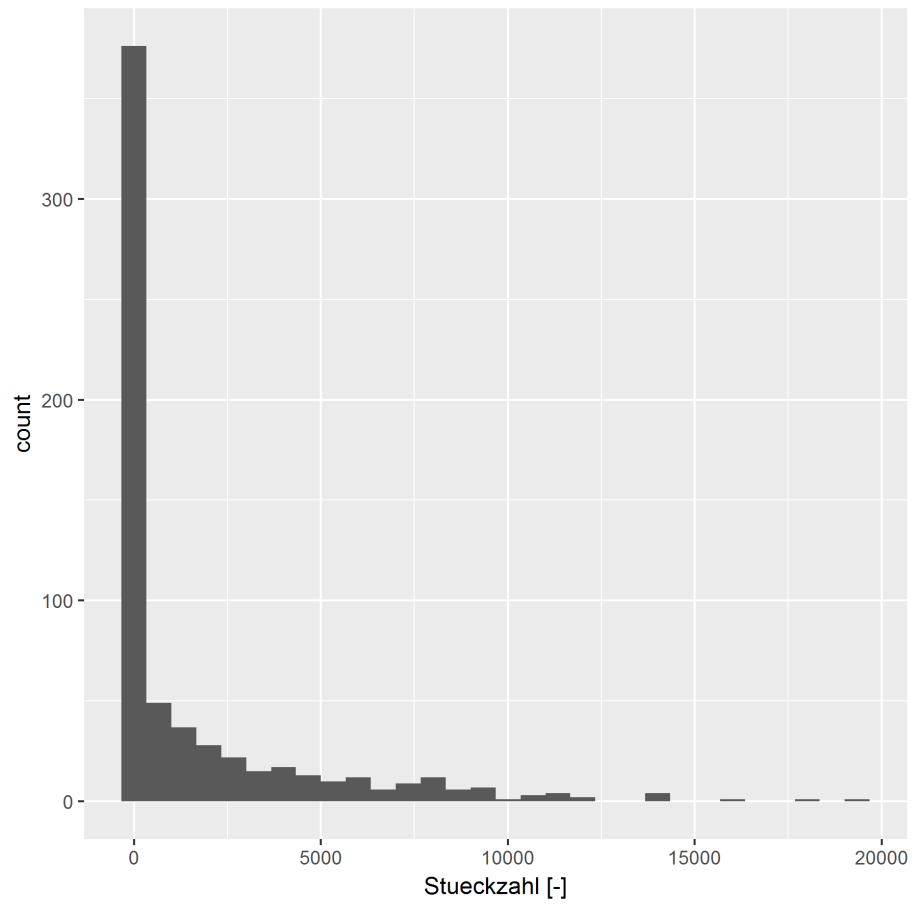


Abbildung 15: Verteilung der Variabel 'Stueckzahl [-]'.

Tabelle 13: Beschreibung der Variabel 'Fahrdistanz' [m]

Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Forwarder Fahrdistanz [m]	546	208.19	128.27	200.00	0.00	1200.00	2.85	5.49

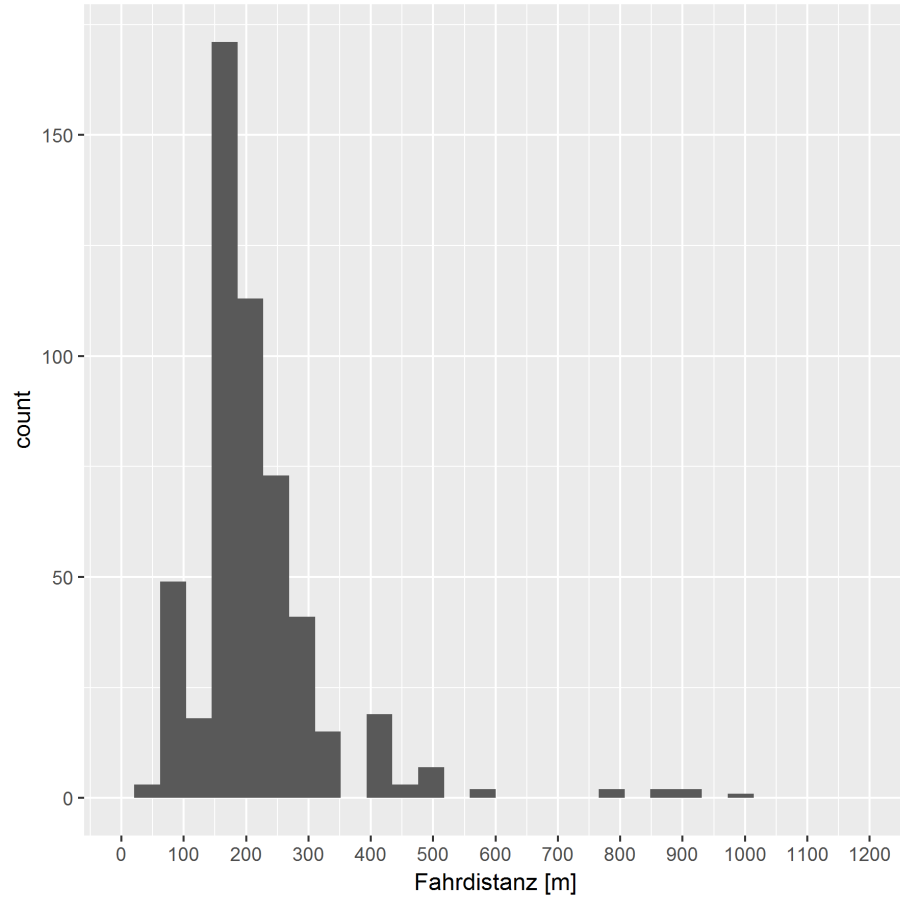


Abbildung 16: Verteilung der Variabel 'Fahrdistanz [m]'.

Tabelle 14: Beschreibung der Variabel 'Hangneigung' [%]

Daten	n	mean	sd	median	min	max	skew	se
Forwarder Hangneigung [%]	546	12.59	10.56	10.00	0.00	100.00	1.65	0.45

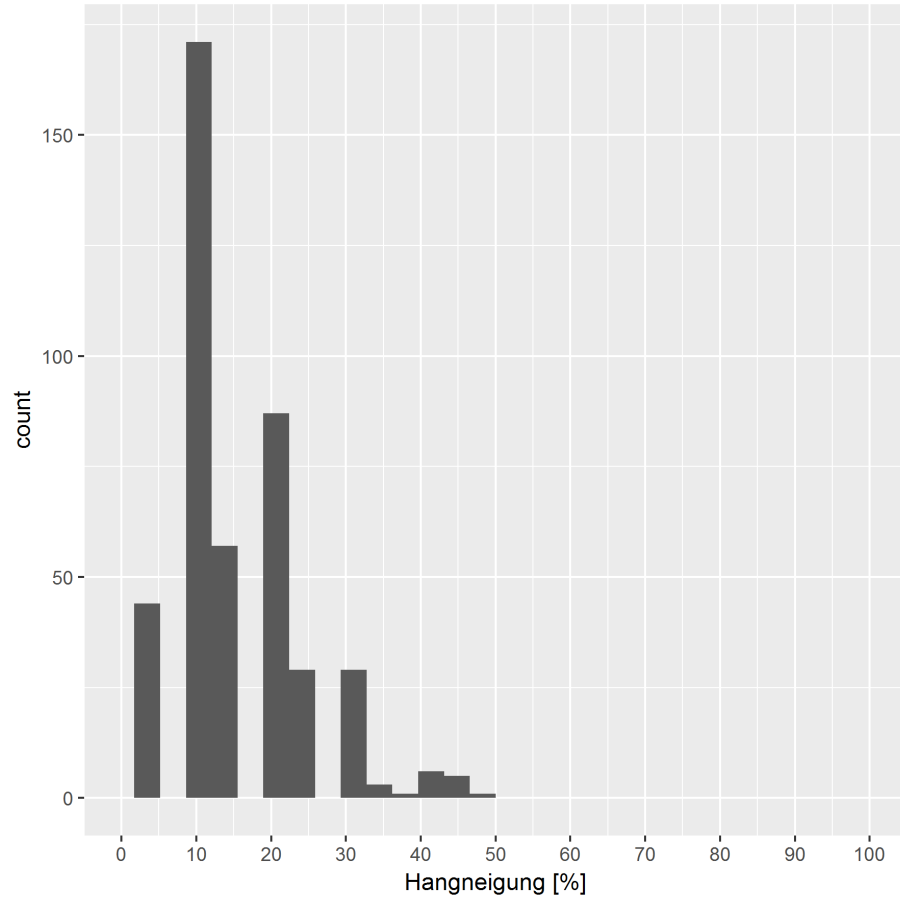


Abbildung 17: Verteilung der Variabel 'Hangneigung [%]'.

Tabelle 15: Beschreibung prozentuale Verteilung Maschinen

	gross	klein	mittel
1	55 (8.6%)	37 (5.8%)	544 (85.5%)

Tabelle 16: Beschreibung Prozentuale Verteilung Maschinen

	Maschine Bez.	N (%)	Einteilung
1	ECOLOG 564	21 (3.3%)	mittel
2	Forwarder Eco Log 564 B,	118 (18.6%)	mittel
3	Forwarder HSM 208 Big	142 (22.3%)	mittel
4	Forwarder HSM 208 F	37 (5.8%)	klein
5	Forwarder Valmet 840	42 (6.6%)	mittel
6	Forwarder Valmet 840.3	62 (9.7%)	mittel
7	Hangforwarder Forcar FC 200	27 (4.2%)	gross
8	HSM 208 F 11to Kombinationsrückemaschine	22 (3.5%)	mittel
9	Rapid	1 (0.2%)	mittel
10	Rottne F10B	27 (4.2%)	mittel
11	Valmet 840 TX	22 (3.5%)	mittel
12	Valmet 840.2	19 (3.0%)	mittel
13	Valmet 860.4	68 (10.7%)	mittel

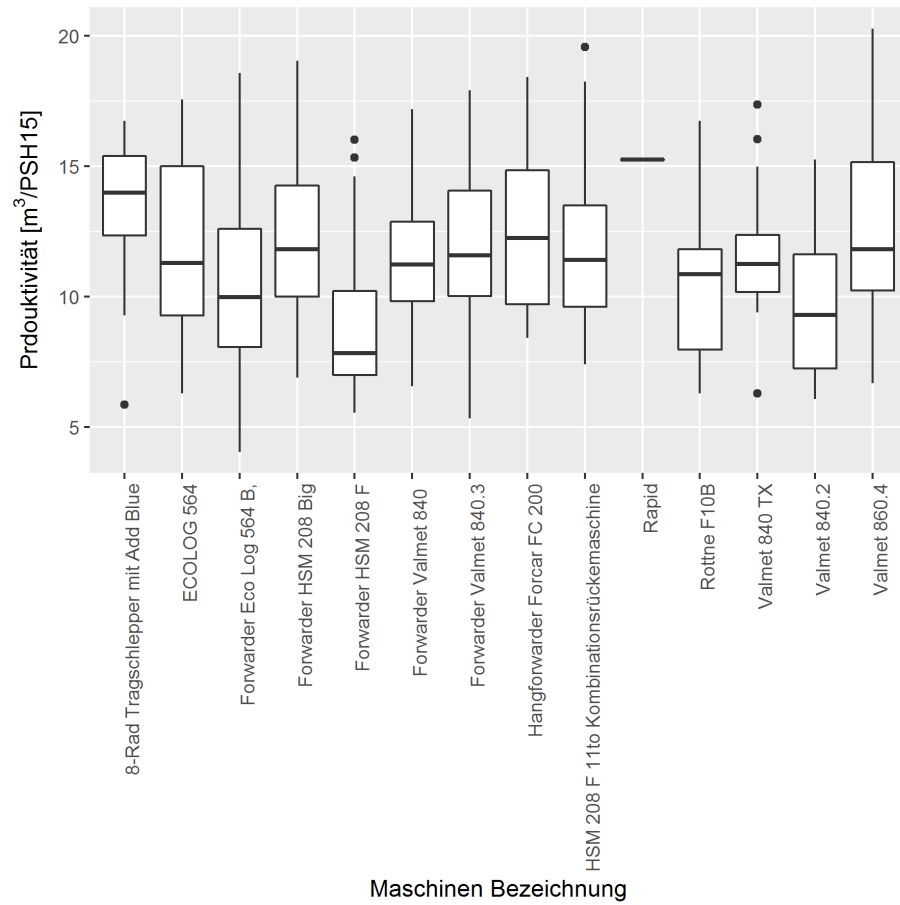


Abbildung 18: Boxplot gemessene Produktivitäten für die erfassten Maschinen Bezeichnungen

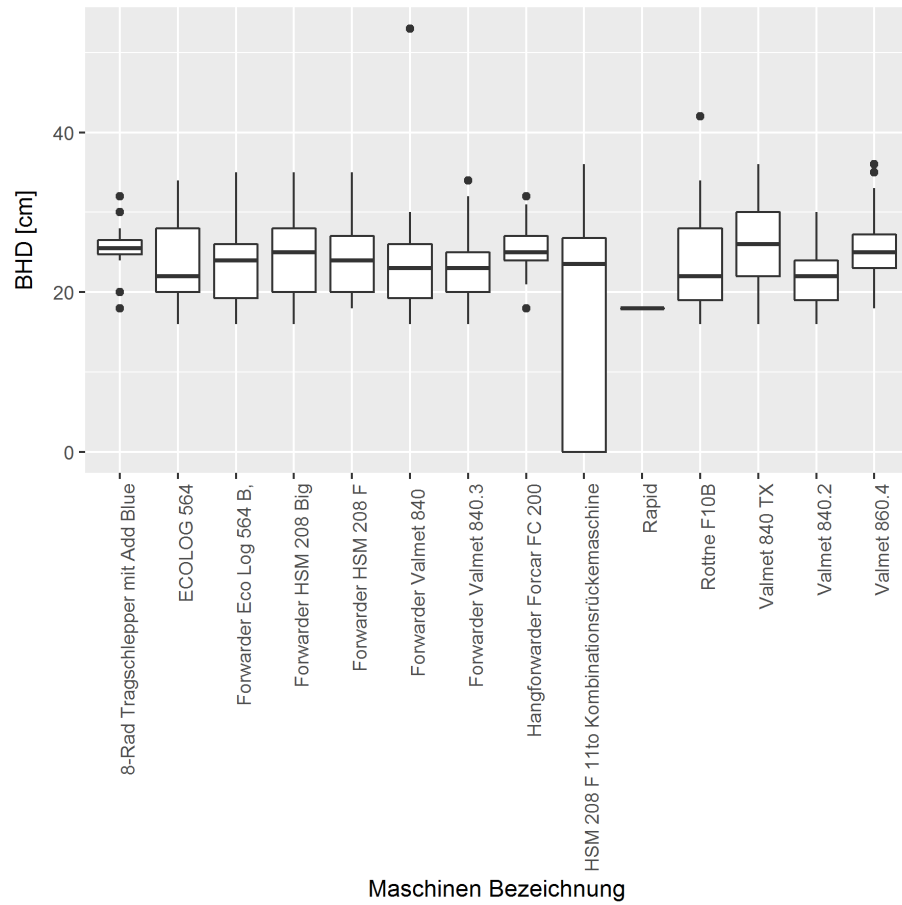


Abbildung 19: Boxplot gemessene mittleren BHDs für die erfassten Maschinen Bezeichnungen

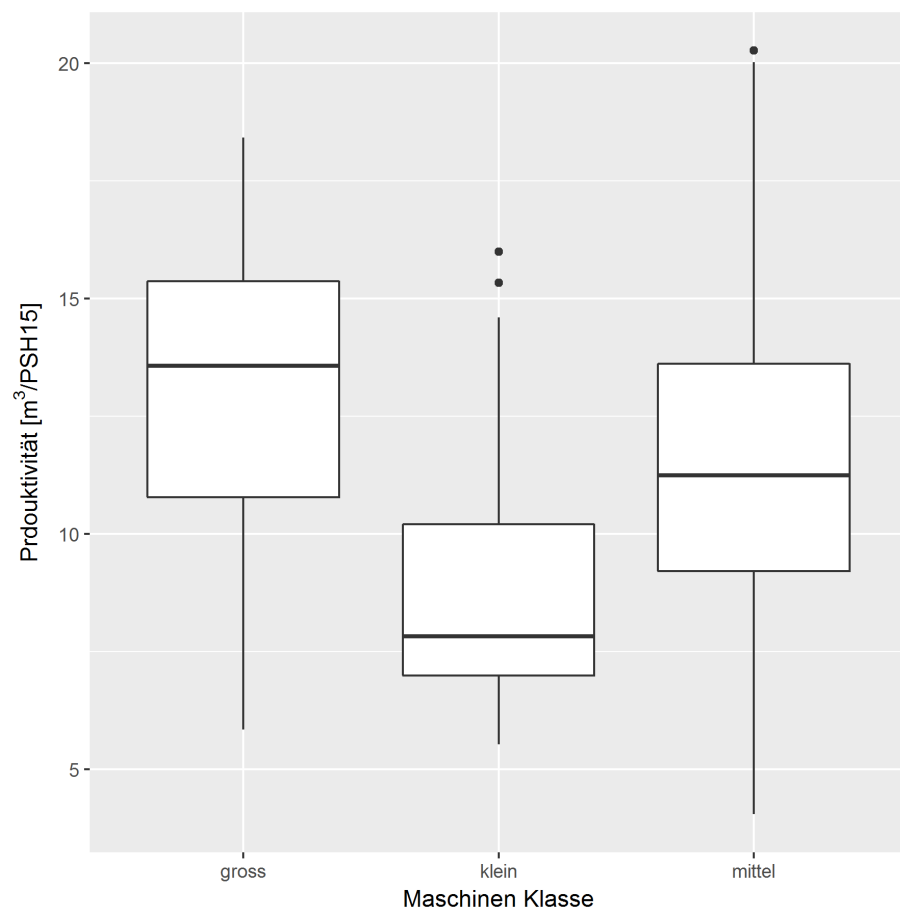


Abbildung 20: Boxplot gemessene BHDs für die erfassten Maschinen Klasse

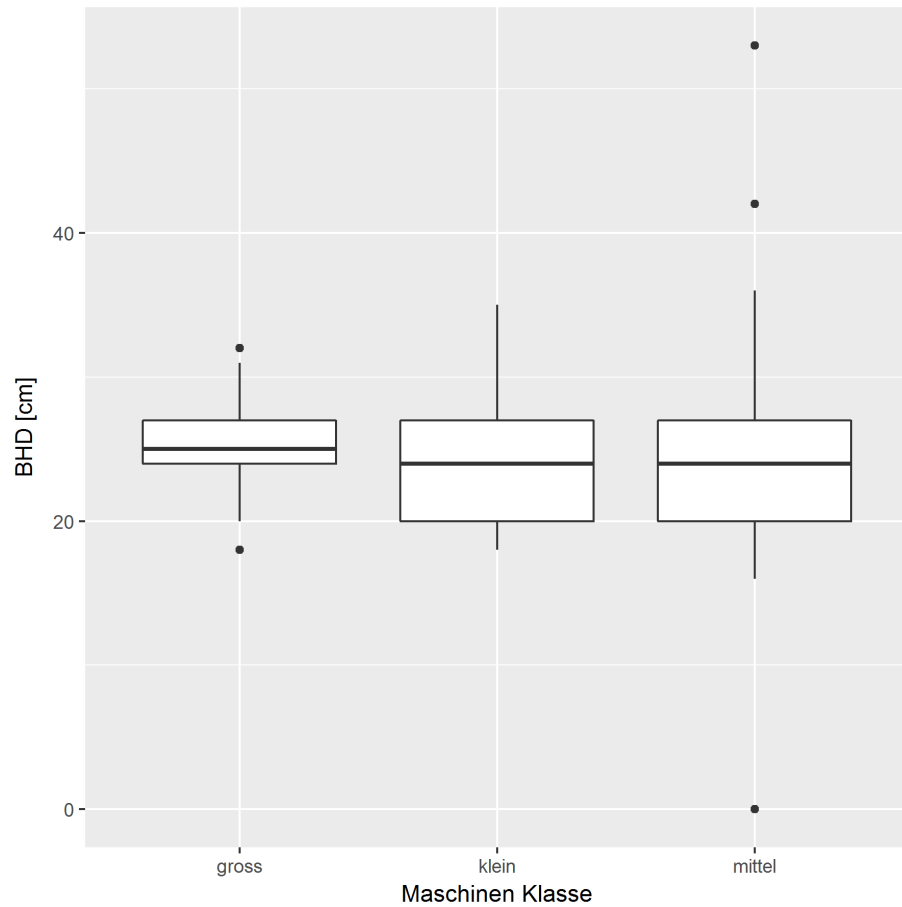


Abbildung 21: Boxplot gemessene mittleren BHDs für die erfassten Maschinen Bezeichnungen

Tabelle 17: Beschreibung Prozentuale Verteilung Fälle auf die Jahre

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	88 (13.8%)	62 (9.7%)	99 (15.6%)	46 (7.2%)	78 (12.3%)	56 (8.8%)	59 (9.3%)	35 (5.5%)	113 (17.8%)

Tabelle 18: Beschreibung Prozentuale Verteilung der Maschinen Bezeichnung auf die Jahre

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
8-Rad Trag- schlepper mit Add Blue	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	14 (40.0%)	14 (12.4%)
ECOLOG 564	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	21 (18.6%)
Forwarder Eco	0 (0.0%)	6 (9.7%)	46 (46.5%)	19 (41.3%)	18 (23.1%)	15 (26.8%)	14 (23.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Log 564 B, Forwarder HSM 208 Big	25 (28.4%)	8 (12.9%)	24 (24.2%)	27 (58.7%)	24 (30.8%)	13 (23.2%)	21 (35.6%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Forwarder HSM 208 F	29 (33.0%)	8 (12.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Forwarder Val- met 840	12 (13.6%)	16 (25.8%)	14 (14.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Forwarder Val- met 840.3	22 (25.0%)	24 (38.7%)	15 (15.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (1.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Hangforwarder Forcar FC 200	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	11 (14.1%)	10 (17.9%)	6 (10.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
HSM 208 F 11to Kombina- tionsrückema- schine	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	4 (6.8%)	9 (25.7%)	9 (8.0%)
Rapid	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (0.9%)
Rottne F10B	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	27 (23.9%)
Valmet 840 TX	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	22 (19.5%)
Valmet 840.2	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	19 (16.8%)
Valmet 860.4	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	25 (32.1%)	18 (32.1%)	13 (22.0%)	12 (34.3%)	0 (0.0%)

Tabelle 19: Beschreibung der Maschinenherkunft

	Ochsenberg	Rastalde	rlp	Schrofel
HSM 208 F	0	0	0	37
Eco Log 564B	0	118	0	0
ECOLOG 564	0	0	21	0
Forcar FC 200	0	0	0	27
HSM 208 Big	0	142	0	0
HSM 208 F 11t	0	0	0	22
Komatsu 855.1	28	0	0	0
Rapid	0	0	1	0
Rottne F10B	0	0	27	0
Valmet 840	42	0	0	0
Valmet 840 TX	0	0	22	0
Valmet 840.2	0	0	19	0
Valmet 840.3	62	0	0	0
Valmet 860.4	0	0	0	68

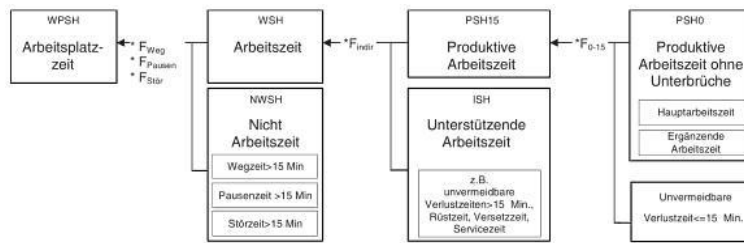


Abbildung 22: Zeitsystem (Übernommen aus ?)

5.6 Speziallösungen für sehr kleine und sehr grosse Werte

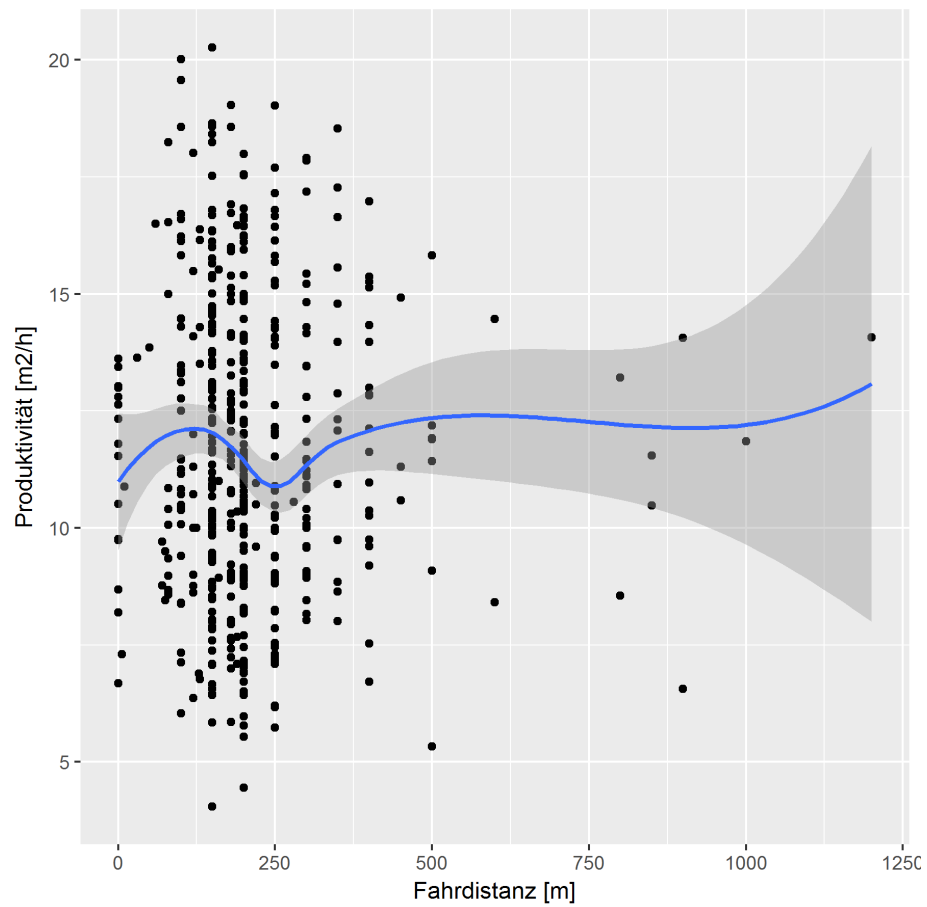


Abbildung 23: Zusammenhang gemessene Produktivität und Fahrtdistanz aus den Daten mit erfasster Fahrtdistanz (N= 539)

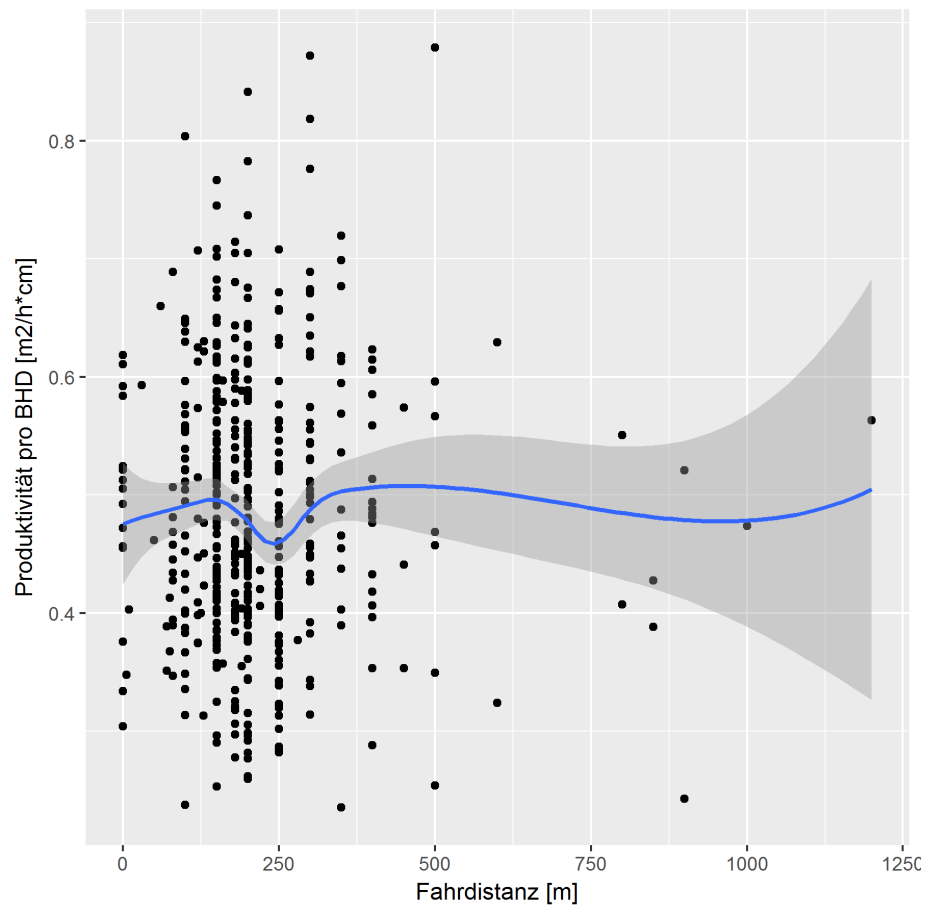


Abbildung 24: Zusammenhang für BHD normalisierte gemessene Produktivität und Fahrdistanz aus den Daten mit erfasster Fahrdistanz (N= 539)

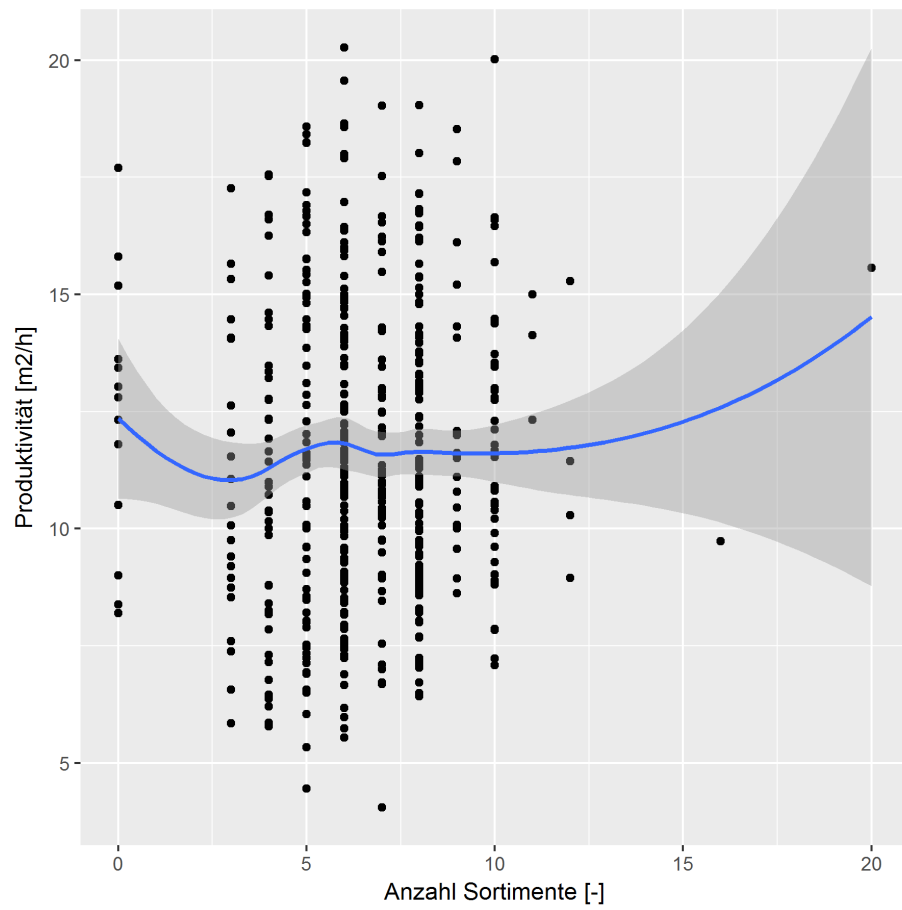


Abbildung 25: Zusammenhang gemessene Produktivität und Anzahl Sortimente aus den Daten mit erfasster Anzahl Sortimente (N= 539)

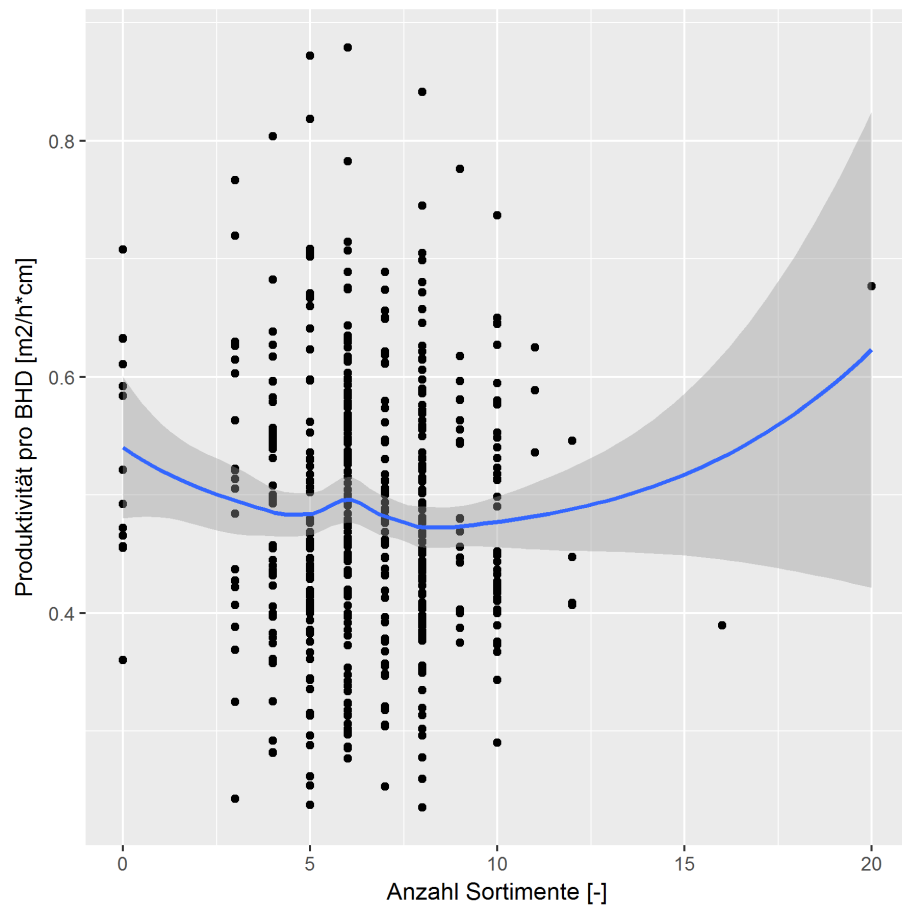


Abbildung 26: Zusammenhang für BHD normalisierte gemessene Produktivität und Anzahl Sortimente aus den Daten mit erfasster Anzahl Sortimente (N= 539)

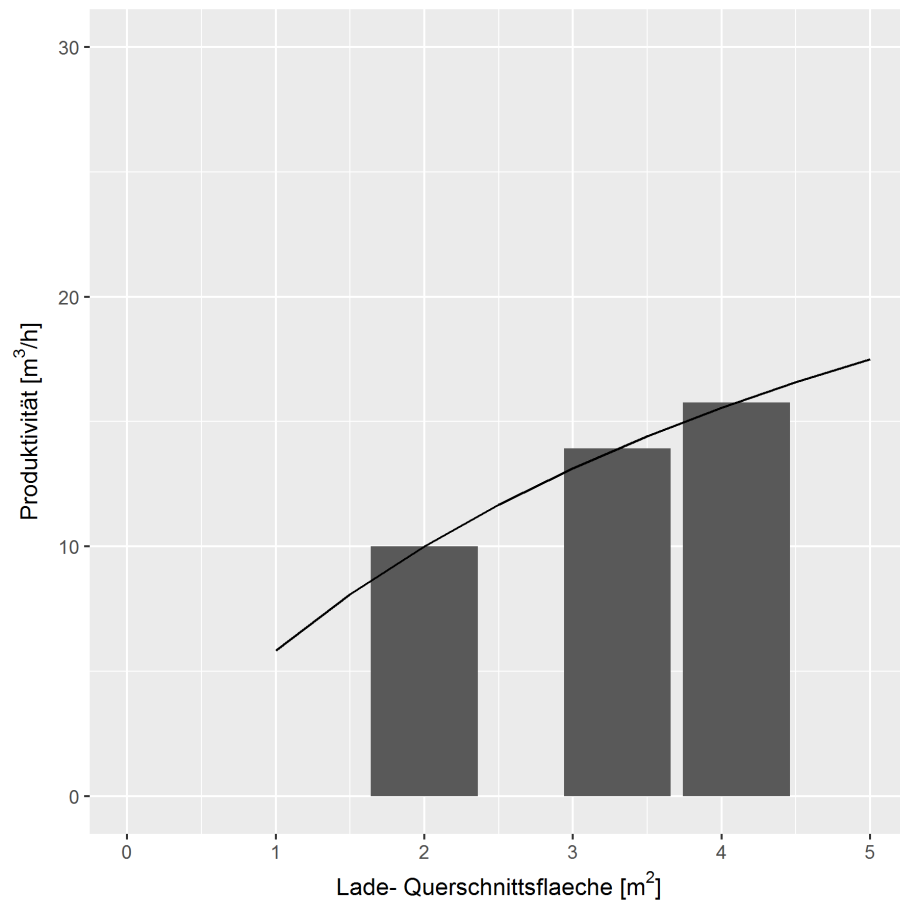


Abbildung 27: Zusammenhang Ladequerschnittsflaeche_m2 - Produktivität im alten Forwarder Modell. Fahrdistanz = 150, BHD = 0.3, Laubholzanteil 50%, m3 200, Länge 4m, Anzahl Sortimente 2

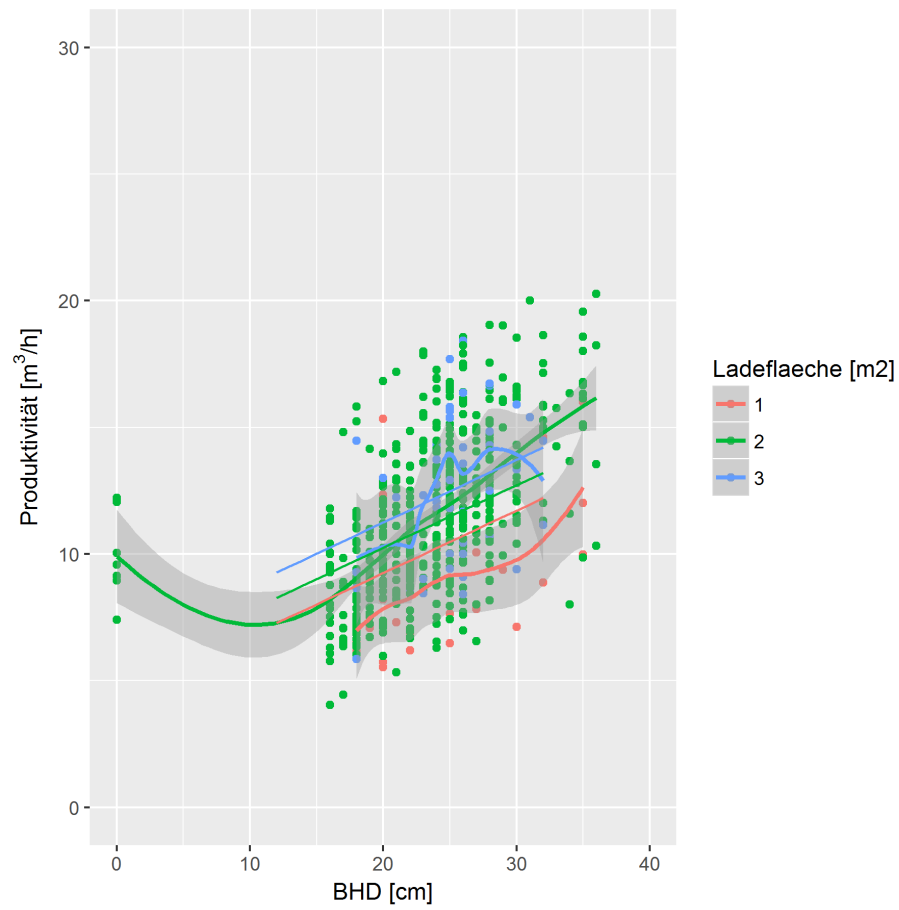


Abbildung 28: Modell Forwarder mit Speziallösungen für Ladefläche. Maschine = mittel, Anzahl Sortimente = 6, Fahrdistanz= 150m.

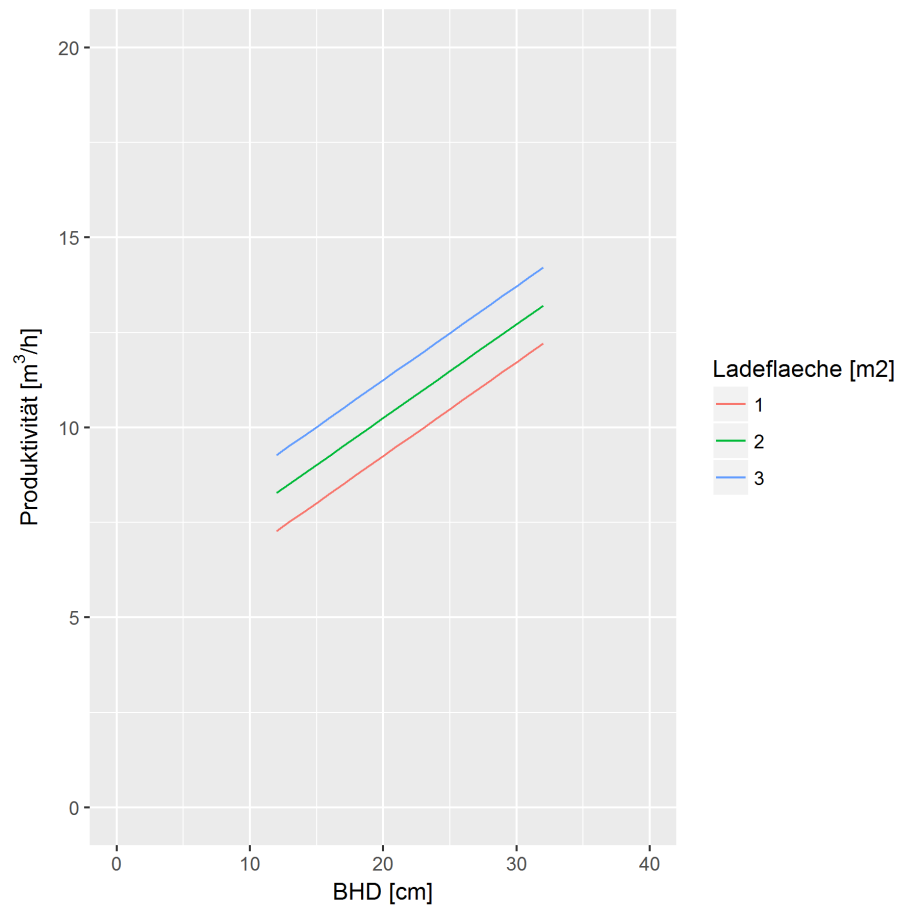


Abbildung 29: Modell Forwarder mit Speziallösungen für Ladefläche. Maschine = mittel, Anzahl Sortimente = 6, Beizugsdistanz= 20m.

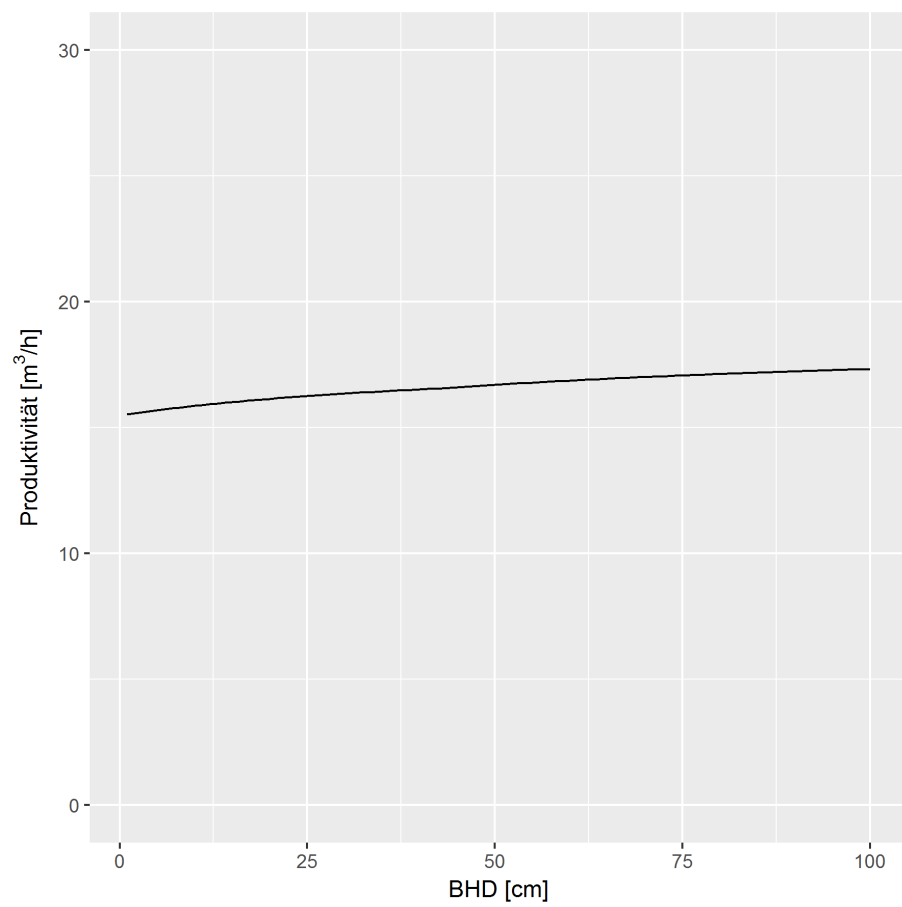


Abbildung 30: Zusammenhang BHD - Produktivität im alten Forwarder Modell

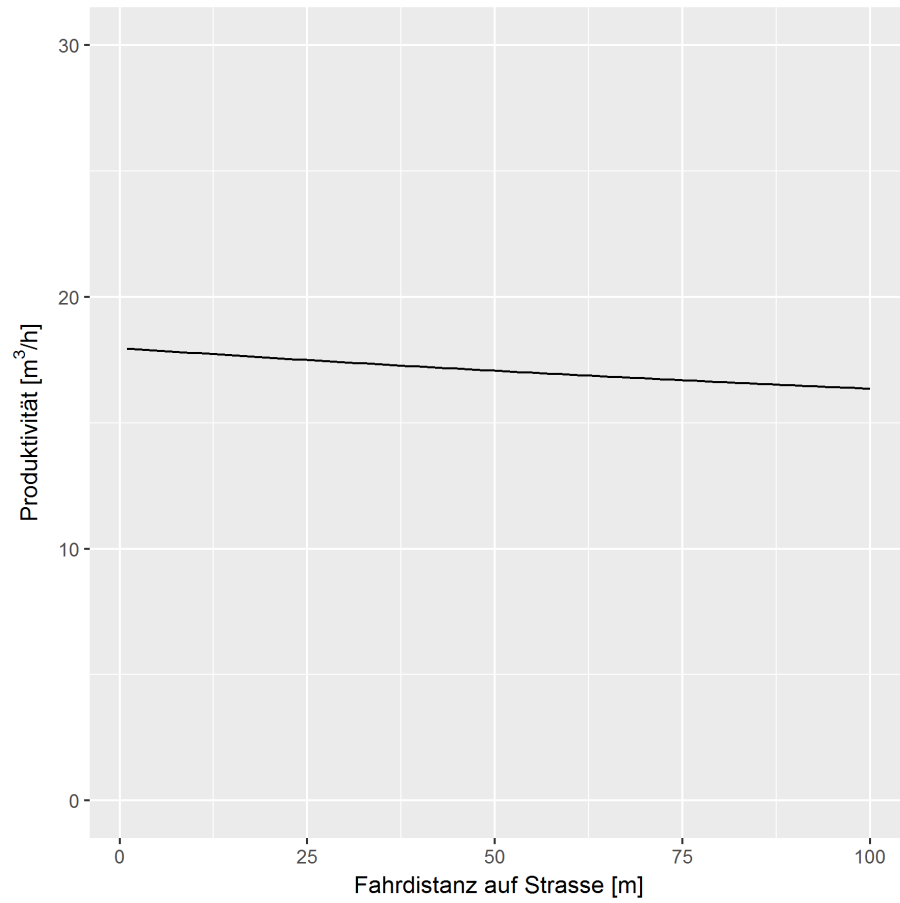


Abbildung 31: Zusammenhang Fahrdistanz1 - Produktivität im alten Forwarder Modell

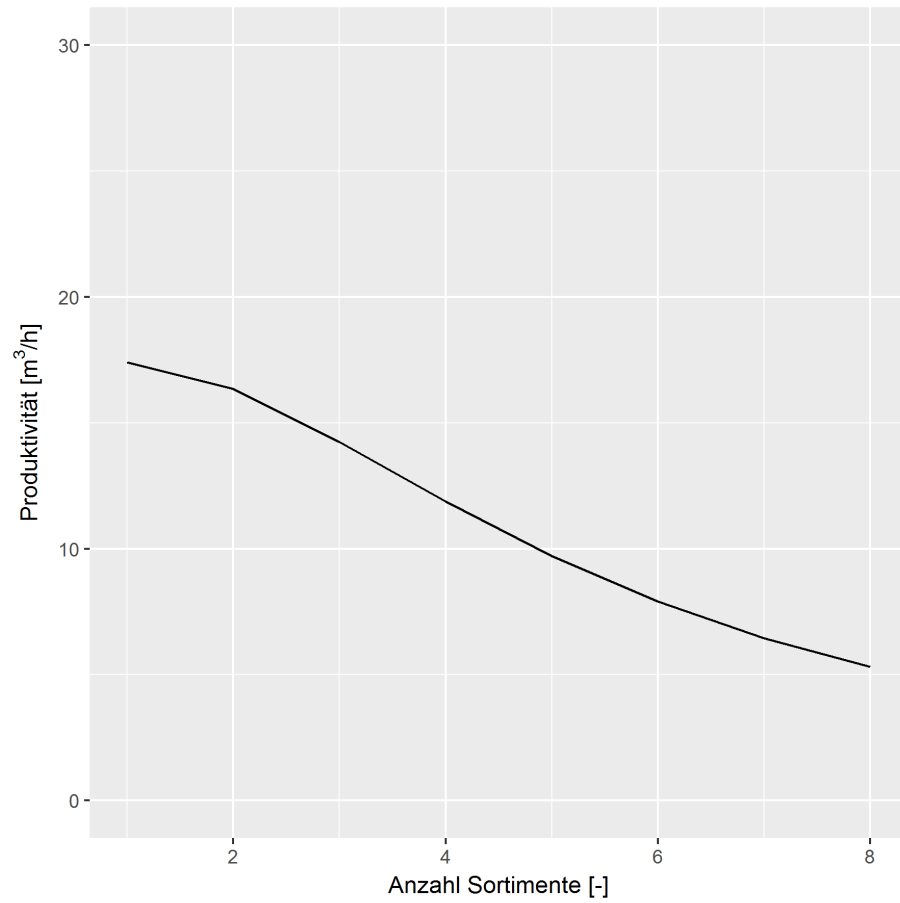


Abbildung 32: Zusammenhang Anzahl Sortimente - Produktivität im alten Forwarder Modell

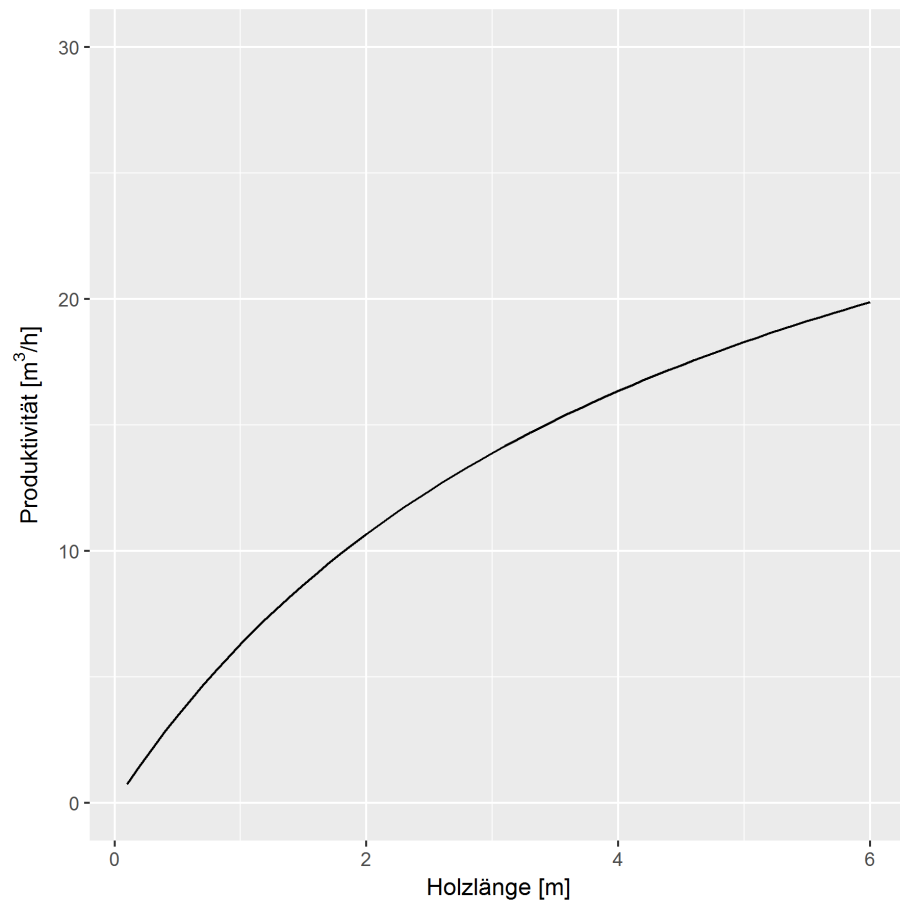


Abbildung 33: Zusammenhang Holzlänge - Produktivität im alten Forwarder Modell

Bezeichnung	N	Median BHD	Median gemessene Produktivität
8-Rad Tragschlepper mit Add Blue	28	25.50	13.97
ECOLOG 564	21	22.00	11.29
Forwarder Eco Log 564 B,	118	24.00	9.97
Forwarder HSM 208 Big	142	25.00	11.82
Forwarder HSM 208 F	37	24.00	7.83
Forwarder Valmet 840	42	23.00	11.23
Forwarder Valmet 840.3	62	23.00	11.58
Hangforwarder Forcar FC 200	27	25.00	12.24
HSM 208 F 11to Kombinationsrückemaschine	22	23.50	11.41
Rapid	1	18.00	15.24
Rottne F10B	27	22.00	10.86
Valmet 840 TX	22	26.00	11.26
Valmet 840.2	19	22.00	9.29
Valmet 860.4	68	25.00	11.81

Tabelle 20: Die benutzten Maschinen

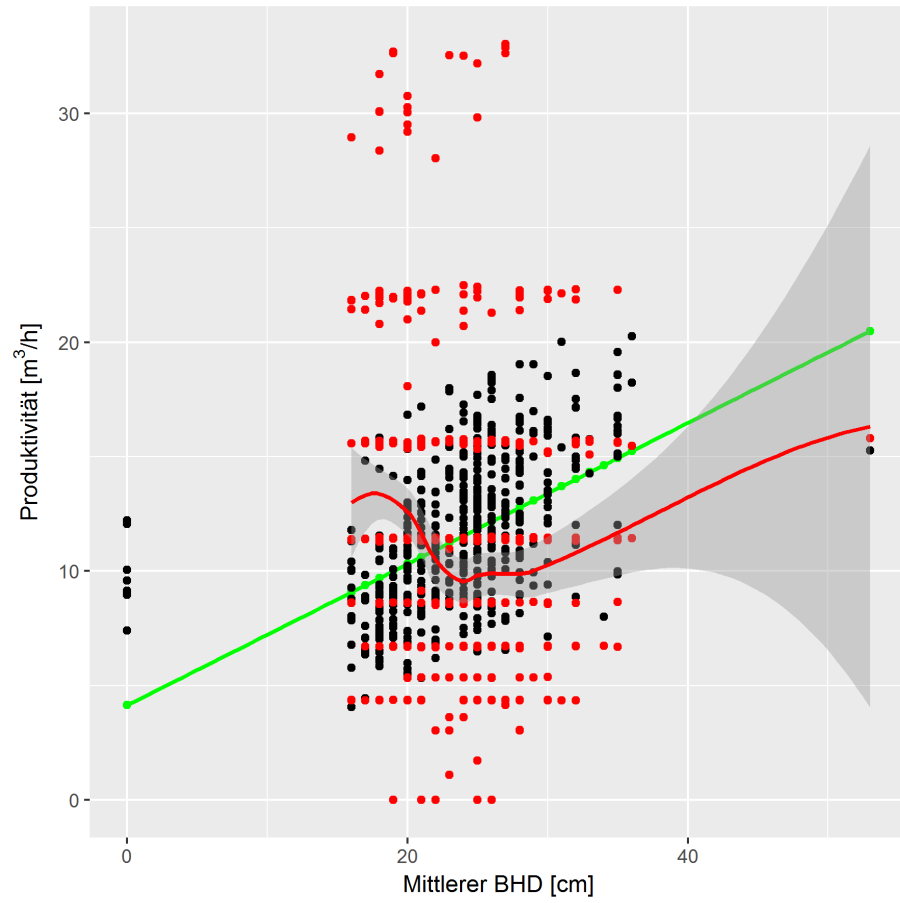


Abbildung 34: Vergleich der Ergebnisse des alten und neuen Forwarder Modells. Rote Punkte/Linie = altes Forwarder Modell, grüne Punkte/Linie = neues Forwarder Modell, schwarze Punkte = gemessene Produktivität.