

# Test auf Motor 21126

## BERICHT ÜBER DIE TESTGERÄTE R3 & R7 VON CTP

### Zweck der Tests

Der Zweck dieser Tests besteht darin, die Auswirkungen von R3 und R7 auf Veränderungen des Kraftstoffverbrauchs des Motors und dessen Umweltleistung zu untersuchen.

### Testprogramm

Der Komplex der Tests wurde gemäß dem Testprogramm PM-03/2024-04 durchgeführt.

### Liste der Abkürzungen und Symbole

Im vorliegenden Forschungsbericht werden die folgenden Abkürzungen und Bezeichnungen verwendet:

- ESC – Externes Geschwindigkeitskennfeld
- Motor – Verbrennungsmotor V-21126 mit Bosch M7.9.7 elektronischem Motorsteuerungssystem.
- TP – Testprogramm PM-03/2024-04

### Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Prototypen der von CTP hergestellten Geräte R3 und R7 (folgend als Prototyp bezeichnet) zu testen, die an den Elementen des Kraftstoffsystems und der elektrischen Verkabelung eines Prüfstands basierend auf dem V-21126 Motor installiert sind, um den Einfluss des Prototyps auf Veränderungen des Kraftstoffverbrauchs und der Umweltindikatoren des Motors zu untersuchen.

Die experimentellen Studien werden in Übereinstimmung mit dem abgestimmten Testprogramm PM-03/2024-04 (im Folgenden als Testprogramm bezeichnet) durchgeführt.

### 1 Beschreibung des Prüfstands

Die Tests des Prototyps werden an einem Prüfstand durchgeführt, der den V-21126 Motor (im Folgenden als Verbrennungsmotor bezeichnet, siehe Abbildung 1.1) und ein hydraulisches Belastungsgerät SuperFlow SF902 (siehe Abbildung 1.2) umfasst.



Abbildung 1.1 – Verbrennungsmotor

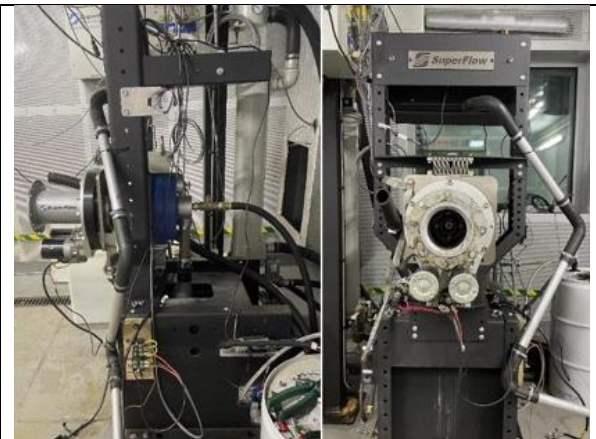


Abbildung 1.2 – Lastgerät

Die Hauptmerkmale des Verbrennungsmotors sind in Tabelle 1.1 dargestellt.

Parameter	Werte
Typ	Reihen, 4-Zylindermotor
Reihenfolge der Zündfolge der Zylinder	1-3-4-2
Zylinderdurchmesser , mm	82
Hub, mm	75.6
Hubraum, L	1.597
Verdichtungsverhältnis	11:1
Nennleistung, KW (hp)	72 (98)
Nenn-Drehzahl der Kurbelwelle, rpm	5600
Volumen des Schmierölsystems, l	3.5
Motorsteuerung	Bosch M 7.9.7
Tabelle1.1 – Eigenschaften des V-21126 Motors	

Der auf dem Prüfstand installierte Verbrennungsmotor war mit den erforderlichen Messgeräten und Messeinrichtungen ausgestattet, die zur Bestimmung der erforderlichen Motorparameter sowie zur Überwachung seiner Leistung notwendig sind:

- K-Typ-Stabthermoelemente zur Messung der Abgastemperatur (Abbildung 1.3)
- Turbinen-Typ-Kraftstoffverbrauchssensor (Abbildung 1.4)
- Ansaugluftdurchflussmesser (Abbildung 1.5)



Abbildung 1.3 – Stabthermoelemente

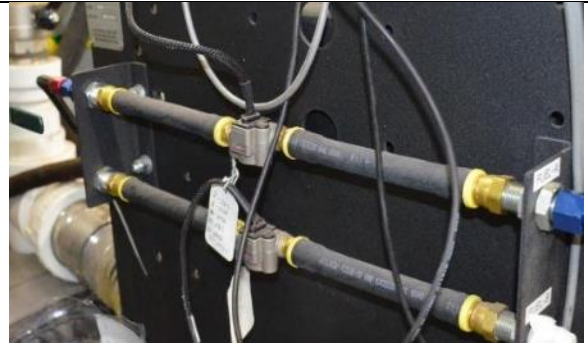


Abbildung 1.4 – Kraftstoffverbrauchssensor

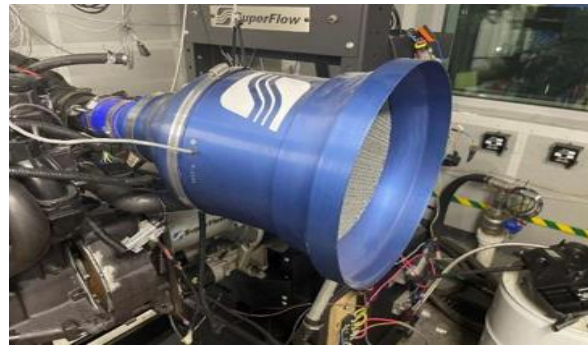


Abbildung 1.5 – Luftmengenmesser

Als Kraftstoff wurde Benzin mit 95 Oktan verwendet.

Motoröl 5W-40

Kühlflüssigkeit-Antifreeze

Der Motor wird durch einen Starter gestartet, der Teil des Prüfstands ist.

In der Box sind Sensoren installiert, die Umweltparameter wie Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufzeichnen.

Motordrehzahl, Drehmoment, Leistung, Kraftstoffverbrauch, atmosphärischer Druck, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Abgas- und Kühlmitteltemperatur usw. wurden sowohl vom Prüfstand als auch vom Bedienfeld des Belastungsgeräts überwacht (Abbildungen 1.7-1.8).

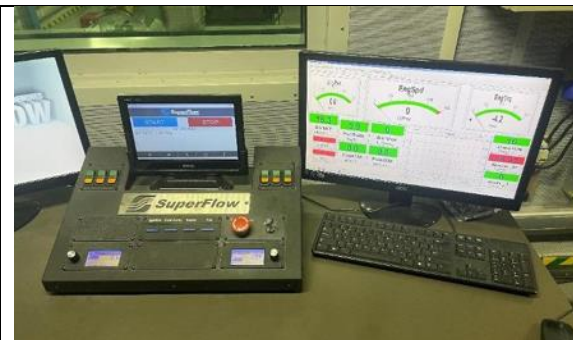


Abbildung 1.7 – Bedienfeld



Abbildung 1.8 – Prüfstandsbediener-Monitor

## 2. Untersuchung des Einflusses der Geräte R3 und R7

Während der Tests wurden zunächst die Parameter des Motors ohne die Geräte R3 und R7 analysiert und anschließend mit den Geräten R3 und R7. Danach erfolgte ein Vergleich der Ergebnisse.

Die im Rahmen der Testdaten aufgezeichneten sowie während der Analyse berechneten Parameter sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

#	Parameter	Einheit
1	Drehzahl	min <sup>-1</sup>
2	Drosselklappenstellung	%
3	Leistung	HP
4	Leistung	KW
5	Drehmoment	Nm
6	Kraftstoffverbrauch (stationär)	g/min
7	Kraftstoffverbrauch (Gewicht)	g/min
8	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/KWh
9	CO	%
10	CO <sub>2</sub>	%
11	Ch	mln <sup>-1</sup>
12	O <sub>2</sub>	%
13	λ	

Tabelle 2.1 – Gemessene Parameter

Nach dem Starten und Aufwärmen des Motors (die Kühlmitteltemperatur liegt über 60°C) wurde der Motor in den Betriebsmodus versetzt und die Parameter wurden aufgezeichnet.

Die Software des Prüfstands erfasst sowohl die tatsächlich gemessenen Werte der Parameter als auch die berechneten Werte.

Auf Basis der Ergebnisse des ersten Testteils wurde ein Satz von Parameterwerten zur Erstellung des externen Geschwindigkeitskennfelds (im Folgenden als ESC bezeichnet) ermittelt. Weitere Informationen finden Sie in Anhang Tabelle A1.

Im zweiten Teil wurden der Kraftstoffverbrauch und die Umweltparameter bestimmt. Die Werte der Parameter sind in den Tabellen 2.2 und 2.3 dargestellt.

#	Parameter Messung	Einheit	Wert							
			#1		#2		#3		#4	
1	Drehzahl	min <sup>-1</sup>	2503	2502	2570	2496	3498	3498	3500	3499
2	Drosselklappenstellung	%	40	60	40	60	40	60	40	60
3	Leistung	HP	36.6	39.6	35.6	36.6	53.2	62.9	50.4	60.7
4	Leistung	KW	27.0	29.2	26.2	27.0	39.0	46.4	37.1	44.7
5	Drehmoment	Nm	103.0	111.4	97.7	103.2	106.8	126.7	101.3	122.2
6	Kraftstoffverbrauch (stationär)	g/min	138.0	144.0	126.0	132.0	198.0	228.0	174.0	204.0
7	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/KWh	306.7	295.9	288.1	293.6	304.6	294.8	281.0	273.6

Tabelle 2.2 – Bestimmung der Parameter in stationären Betriebsmodi



#	Parameter	Einheit	Wert			
1	Drehzahl	min <sup>-1</sup>	2570	2496	3500	3499
2	Drosselklappenstellung	%	40	60	40	60
3	Leistung	HP	35.6	36.6	50.4	60.7
4	Leistung	KW	26.2	27.0	37.1	44.7
5	Drehmoment	Nm	97.7	103.2	101.3	122.2
6	Kraftstoffverbrauch (stationär)	g/min	126.0	132.0	174.0	204.0
7	Kraftstoffverbrauch (Gewicht)	g/min	118.0	133.0	171.0	207.0
8	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/KWh	269.8	295.8	276.2	277.6
9	CO	%	2.341	1.847	4.485	3.612
10	CO <sub>2</sub>	%	14.56	14.79	14.35	14.43
11	Ch	mln <sup>-1</sup>	201.0	204.0	153.0	125.0
12	O <sub>2</sub>	%	0.954	0.658	0.561	1.286
13	λ		1.058	1.042	1.031	1.026

Tabelle 2.3 – Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs und der Umweltparameter

Ähnlich wie bei den oben beschriebenen Schritten wurden Tests mit den installierten R3- und R7-Geräten durchgeführt (Abbildungen 2.2-2.3).



Abbildung 2.2 – Allgemeine Ansicht R3 und R7



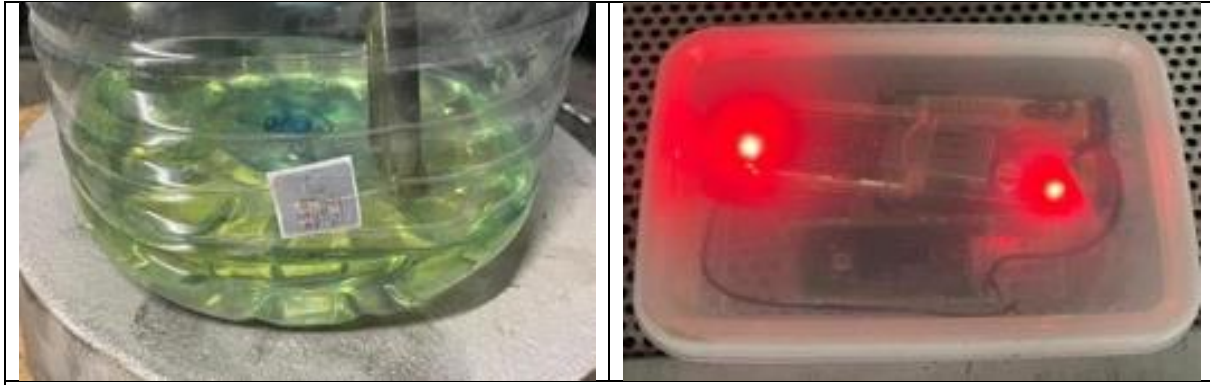


Abbildung 2.3 – Installierte R3 und R7

Das externe Geschwindigkeitskennfeld (ESC) des Motors mit den installierten R3- und R7-Geräten wurde erstellt. Weitere detaillierte Daten finden Sie in Anhang Tabelle B1.

Der Kraftstoffverbrauch und die Umweltparameter sind in den Tabellen 2.4 und 2.5 dargestellt.

#	Parameter Messung	Einheit	Wert							
			#1		#2		#1		#2	
1	Drehzahl	min <sup>-1</sup>	2497	2501	2493	2503	3502	3507	3496	3508
2	Drosselklappenstellung	%	40	60	40	60	40	60	40	60
3	Leistung	HP	37.9	40.8	37.2	41.1	53.8	64.9	53.7	64.1
4	Leistung	KW	27.9	30.1	27.4	30.3	39.7	47.9	39.6	47.3
5	Drehmoment	Nm	106.8	114.7	105.1	115.5	108.2	130.4	108.2	128.7
6	Kraftstoffverbrauch (stationär)	g/min	138.0	138.0	132.0	144.0	198.0	228.0	198.0	228.0
7	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/KWh	296.8	275.1	289.1	285.1	299.2	285.6	300.0	289.2

Tabelle 2.4 – Bestimmung der Parameter in stationären Betriebsmodi

#	Parameter	Einheit	Wert			
1	Drehzahl	min <sup>-1</sup>	2510	2501	3503	3505
2	Drosselklappenstellung	%	40	60	40	60
3	Leistung	HP	38.4	40.9	54.8	66.3
4	Leistung	KW	28.3	30.2	40.4	48.9
5	Drehmoment	Nm	107.7	115.3	110.1	133.3
6	Kraftstoffverbrauch (stationär)	g/min	144.0	144.0	198.0	228.0
7	Kraftstoffverbrauch (Gewicht)	g/min	115.0	117.0	168.0	183.0
8	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/KWh	243.8	232.5	249.5	224.5
9	CO	%	2.089	1.827	4.273	3.592
10	CO <sub>2</sub>	%	13.93	14.26	12.90	13.42
11	CH	mln <sup>-1</sup>	141.0	70.0	73.0	52.0
12	O <sub>2</sub>	%	0.254	0.182	0.130	1.443
13	λ		0.949	0.954	0.889	0.962

Tabelle 2.3 – Bestimmung der Parameter in stationären Betriebsmodi

Basierend auf den Ergebnissen des Tests wurde eine zusammenfassende Analyse der erhaltenen Parameterwerte durchgeführt. Ein vergleichendes ESC ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

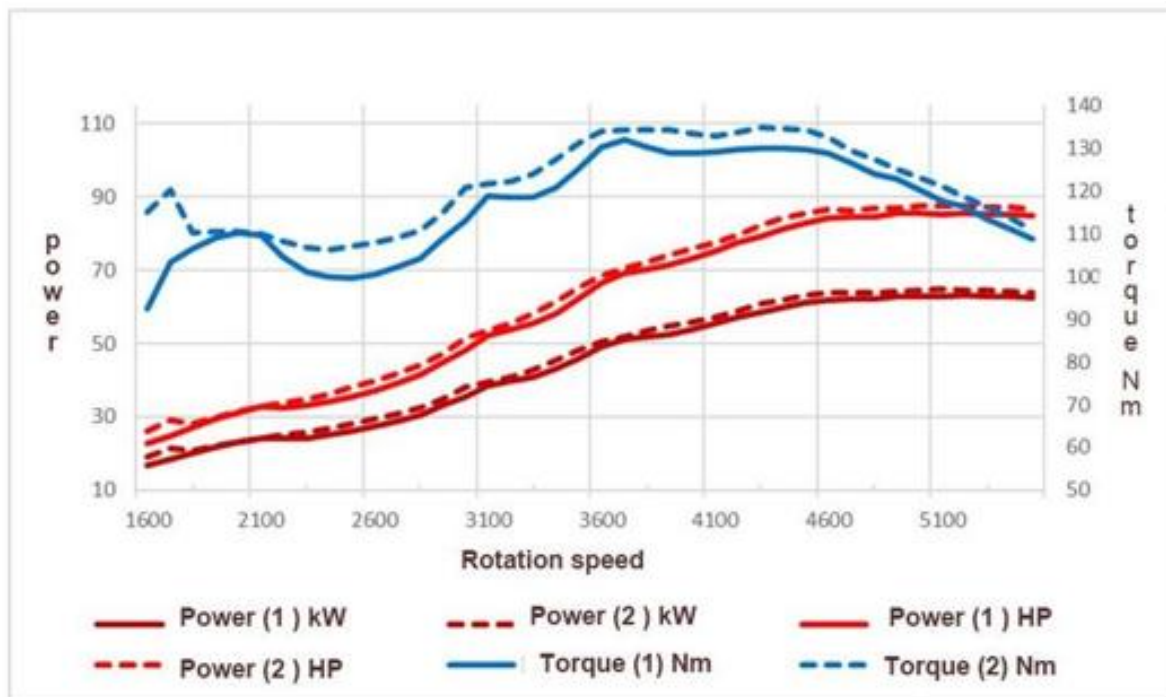


Abbildung 2.5 – Vergleichendes ESC, wobei (1) der Basismotor und (2) der Motor mit den installierten R3- und R7-Geräten ist

Tabelle 2.6 zeigt die Vergleichswerte im stationären Betrieb.

#	Parameter Messung	Einheit	Basis Motor				mit R3 und R7			
1	Drehzahl	min <sup>-1</sup>	2570	2496	3500	3499	2510	2501	3503	3505
2	Drosselklappenstellung	%	40	60	40	60	40	60	40	60
3	Leistung	KW	26.2	27.0	37.1	44.7	28.3	30.2	40.4	48.9
4	Kraftstoffverbrauch (Gewicht)	g/min	118.0	133.0	171.0	207.0	115.0	117.0	168.0	183.0
5	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/KWh	269.8	295.8	276.2	277.6	243.8	232.5	249.5	224.5
6	<b>Verbrauchsreduktion</b>	%	-	-	-	-	<b>9.6</b>	<b>21.4</b>	<b>9.7</b>	<b>19.1</b>
7	CO	%	2.341	1.847	4.485	3.612	2.089	1.827	4.273	3.592
8	CO <sub>2</sub>	%	14.56	14.79	14.35	14.43	13.93	14.26	12.90	13.42
9	CH	mln <sup>-1</sup>	201.0	204.0	153.0	125.0	141.0	70.0	73.0	52.0
10	O <sub>2</sub>	%	0.954	0.658	0.561	1.286	0.254	0.182	0.130	1.443
11	λ		1.058	1.042	1.031	1.026	0.949	0.954	0.889	0.962

Tabelle 2.6 – Vergleichswerte im stationären Betrieb

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Basierend auf der Analyse der erhaltenen Daten lässt sich ein signifikanter Rückgang des spezifischen Kraftstoffverbrauchs in mehreren Betriebsmodi feststellen (bei 2500 U/min und 3500 U/min bei 60% Drosselklappenöffnung), der bis zu 21,4% erreichte. Es ist auch eine leichte Verbesserung der Umweltindikatoren zu verzeichnen.

Um die Motorbetriebsmodi zu bestimmen, bei denen der maximale bzw. minimale Effekt der R3- und R7-Geräte erzielt wird, ist ein Testzyklus nach einem erweiterten Programm erforderlich. Diese Tests ermöglichen es, die Bereiche der Motorbetriebsmodi

aufzuzeichnen und mit den Hauptmodi zu vergleichen, die auf den Cyclogrammen der Fahrzeugbewegung dargestellt sind. Außerdem sollen sie die Auswahl optimaler Tests und Betriebsbedingungen für umfassende Straßenversuche unterstützen.

## Fazit

Die Tests der Geräte R3 und R7, die an den Elementen des Kraftstoffsystems und der elektrischen Verkabelung des Prüfstands basierend auf dem V-21126-Motor installiert wurden, bestätigten die Wirksamkeit dieser Geräte und führten zu einer Verbesserung der effektiven und umweltrelevanten Parameter des Motors. Es wurde festgestellt, dass nach einem Betrieb von 6 Tagen mit den R3- und R7-Geräten der spezifische Kraftstoffverbrauch gesenkt wurde. Die Auswertung der experimentellen Daten zeigt, dass im gesamten Bereich der Geschwindigkeitsmodi des externen Geschwindigkeitskennfelds der durchschnittliche integrale Leistungszuwachs 4,2% betrug und das Drehmoment um 4,4% erhöht wurde. Bei 2500 U/min, wenn die Drosselklappe um 60% geöffnet ist, erreichte die maximale Reduktion des Kraftstoffverbrauchs Werte von 21,4% im Vergleich zum Kraftstoffverbrauch des Motors ohne die R3- und R7-Geräte.

Für eine umfassende Bewertung der experimentellen Daten und eine tiefere Untersuchung der Ergebnisse über einen breiten Bereich von Motorbetriebsmodi hinaus ist es ratsam, zusätzliche Studien durchzuführen. Diese sollten darauf abzielen, die Physik des Prozesses zu bestimmen, eine Motorindizierung vorzunehmen, eine größere Anzahl von Parametern des getesteten Motors (wie Temperatur und Abgaszusammensetzung, lokale Wärmeflüsse an der Oberfläche der Brennkammer) zu bewerten und den Arbeitsablauf mit modernen Methoden der numerischen Strömungsmechanik zu simulieren, um ein verifiziertes Modell des Arbeitsablaufs unter Verwendung der entsprechenden chemischen Kinetik-Gleichungen zu erhalten.

## Liste der verwendeten Quellen

1. Superflow – SF-902. Motorprüfstand. Originalhandbuch/Pub.No.:190322 Rev.: 1. April 2019
2. PM-03/2024-04



# Anhang

Table A1- ESC of the base engine without R3, R7				Table B1-ESC of the engine with R3, R7			
Frequency of rotation, rpm	Power, kW	Power, HP	Torque, Nm	Frequency of rotation, rpm	Power, kW	Power, HP	Torque, Nm
1700	16,7	22,7	92,4	1700	19,3	26,1	115,0
1700	18,4	24,9	103,3	1700	21,4	29,0	120,3
1800	20,1	27,2	106,4	1800	20,8	28,2	110,2
1900	21,7	29,4	109,0	1900	22,0	29,8	110,5
2000	23,1	31,3	110,3	2000	23,1	31,4	110,5
2100	24,1	32,7	109,6	2100	24,2	32,8	109,8
2200	24,1	32,6	104,4	2200	25,0	33,8	108,3
2300	24,3	33	101,0	2300	25,7	34,9	106,7
2400	25,1	34,1	100,0	2400	26,7	36,2	106,3
2500	26,1	35,4	99,7	2500	28,0	38,0	106,9
2600	27,4	37,1	100,5	2600	29,4	39,8	107,8
2700	28,9	39,2	102,3	2700	30,8	41,8	109,0
2800	30,6	41,5	104,3	2800	32,5	44,1	110,8
2900	33,0	44,8	108,8	2900	34,8	47,2	114,7
3000	35,5	48,1	112,9	3000	38,0	51,5	120,8
3100	38,6	52,3	118,8	3100	39,5	53,6	121,7
3200	39,7	53,8	118,4	3200	40,9	55,5	122,1
3300	40,9	55,5	118,5	3300	42,8	58,1	124,0
3400	43,0	58,3	120,8	3400	45,4	61,5	127,4
3500	45,8	62,1	125,0	3500	48,1	65,2	131,2
3600	49,1	66,6	130,3	3600	50,4	68,4	133,8
3700	51,1	69,3	131,9	3700	52,0	70,5	134,2
3800	51,9	70,3	130,3	3800	53,4	72,3	134,1
3900	52,6	71,4	128,8	3900	54,8	74,3	134,2
4000	53,9	73,1	128,7	4000	55,9	75,8	133,4
4100	55,5	75,2	129,2	4100	57,1	77,4	132,9
4200	57,1	77,4	129,7	4200	58,8	79,7	133,7
4300	58,5	79,3	129,8	4300	60,7	82,2	134,7
4400	59,9	81,2	129,9	4400	62,0	84,1	134,6
4500	61,1	82,8	129,6	4500	63,2	85,7	134,2
4600	62,0	84,1	128,7	4600	63,8	86,5	132,4
4700	62,3	84,5	126,6	4700	63,7	86,3	129,4
4800	62,3	84,5	124,0	4800	64,0	86,8	127,3
4900	63,0	85,4	122,7	4900	64,2	87,0	125,0
5000	63,0	85,4	120,3	5000	64,4	87,4	123,1
5100	62,9	85,3	117,7	5100	64,7	87,7	121,1
5200	63,2	85,7	116,1	5200	64,5	87,5	118,5
5300	62,9	85,3	113,4	5300	64,4	87,3	116,1
5400	62,8	85,1	111,0	5400	64,2	87,1	113,6
5500	62,6	84,9	108,7	5500	63,8	86,6	110,8

Testresultate – Leistung und Drehmoment