



# Projektarbeit im Rahmen der Fachschule

## Optimierung/Leistungssteigerung eines Biturbo Reihensechszylinder Verbrennungsmotors der Marke BMW



Abb. 1 CAD-Teilschnittmodell-N54B30

## N54B30



## Inhaltsverzeichnis

1 Sperrvermerk.....	1
2 Vorwort.....	2
3 Projektvorstellung.....	3
3.1 Projektziele .....	3
3.2 Meilensteine.....	4
3.3 Projektabgrenzung.....	4
4 Hauptziel .....	5
5 Zeitplan.....	6
6 Parameterverzeichnis.....	7
7 N54B30-Optimierungsbeschreibung .....	8
7.1 Software/Tools zur Optimierung.....	14
7.1.1 Kennfelder .....	16
9 Stage 0 - Stock.....	20
9.1 Datalogs – Allgemein .....	22
9.2 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck in „psi“ und Soll-Ladedruck in „psi“ .....	24
9.3 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck und WGDC-Wert .....	25
9.4 Datalog – Timing Cyl1 crk*.....	26
9.5 Datalog – Rail pressure.....	27
9.6 Datalog – low-pressure-fuel-pump – low-pressure-sensor.....	28



9.7 Datalog – IAT in °F .....	29
9.8 Eingangsmessung – Leistungsprüfstand .....	30
9.9 Beurteilung der Leistungsmessung .....	31
10 Stage 1 .....	32
10.1 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck in „psi“ und Soll-Ladedruck in „psi“ .....	33
10.2 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck und WGDC-Wert .....	34
10.3 Datalog – Timing cyl. 1 crk .....	35
10.4 Datalog – Rail pressure.....	36
10.5 Datalog – fuel-low-pressure sensor.....	37
10.6 Datalog – IAT in °F .....	38
10.7 Leistungsnachweis – Prüfstandslauf .....	39
11 Stage 2 .....	40
11.1 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck in „psi“ und Soll-Ladedruck in „psi“ .....	41
11.2 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck und WGDC-Wert .....	42
11.3 Datalog – Timing Cyl1 *crk.....	43
11.4 Datalog – Rail pressure.....	44
11.5 Datalog – fuel-low-pressure sensor.....	45
11.6 Datalog – IAT in °F .....	46
11.7 Leistungsnachweis – Prüfstandslauf .....	47
12 Endergebnis/Fazit .....	48



13	Abkürzungsverzeichnis.....	49
15	Abbildungsverzeichnis.....	51
14	Tabellenverzeichnis.....	54
15	Literaturverzeichnis .....	55
16	Schlusserklärung .....	56
17	Anhang	



## 1 Sperrvermerk

Die vorliegende Technikerarbeit mit dem Titel: „Optimierung/Leistungssteigerung eines Biturbo Reihensechszylinder Verbrennungsmotors der Marke BMW – N54B30“ enthält vertrauliche Daten der BMW AG.

Die Technikerarbeit darf nur dem Erst- und Zweitgutachter, sowie befugten Mitgliedern des Prüfungsausschusses zugänglich gemacht werden.

Eine Vervielfältigung und Veröffentlichung der Technikerarbeit ist auch in Auszügen nicht gestattet.

Eine Einsichtnahme der Arbeit durch Unbefugte bedarf einer ausdrücklichen Genehmigung des Verfassers.



## 2 Vorwort

Im Rahmen meiner Weiterbildung, zum staatlich geprüften Maschinenbautechniker an der Andreas-Albert-Schule in 67227 Frankenthal, bin ich verpflichtet ein Projekt in Form einer Dokumentation anzufertigen.

Im Folgenden, lesen Sie meine Projektarbeit über die Optimierung - Leistungssteigerung eines Reihen-Sechszylinder Biturbo Verbrennungsmotors der Bayrischen-Motoren-Werke (N54B30).

Besonderer Dank gilt

[Herrn Kristoff](#),

der mir mit seinem Wissen und seiner Erfahrung zur Seite stand und die nötige Software zur Verfügung stellte.

Auch an meinen Betreuungslehrer

[Herrn Tischbein](#)

für die gute Betreuung und die wertvollen Ratschläge die die Dokumentation von überflüssigem Material befreit haben.



### 3 Projektvorstellung

Diese Projektarbeit befasst sich mit einem Reihensechszylinder-Motor der Bayerischen-Motoren-Werke.

Dem N54B30

Dieser Motor soll von einer Leistung von 306 PS auf über 400 PS optimiert bzw. die Leistung gesteigert werden. Der Motor an sich bleibt unverändert. Lediglich an der Ansaugseite, der Abgasseite und der Spritversorgung werden, wenn nötig, Umbauten vorgenommen.

Die Optimierung/Leistungssteigerung soll mithilfe der Anpassung von den spezifischen Kennfeldern geschehen.

#### 3.1 Projektziele:

Gesetzte Teil-Ziele, die zum Erreichen des Hauptziels notwendig sind

- Bauteile wie, Motorinnereien, Motorblock und Zylinderkopf werden nicht verändert, verstärkt oder durch andere Teile als Originalteile ersetzt.
- In der ersten Stufe (Stage 1) wird ermittelt, wieviel Leistung ohne jegliche Abgas- oder Ansaugänderungen erreicht werden kann.
- Zur Vorbereitung auf die zweite Stufe (Stage 2) wird der Strömungsfluss durch Änderung der Abgas- und Ansaugführung optimiert
- In der zweiten und letzten Stufe wird die maximal mögliche Leistung mit Serienmotor und den beschriebenen Umbauten ermittelt.



### 3.2 Meilensteine:

Unerlässliche Punkte, die bei Fehlschlag ein Scheitern des Projektes bedeuten würden

- Ausgangszustandsermittlung
- Stage1-Leistungsnachweis
- Stage2-Leistungsnachweis
- Abgabe der Projektarbeit

### 3.3 Projektabgrenzung

Einschränkungen der Projektarbeit

- Es erfolgt keine Berechnung der Maximalbelastung der Bauteile, da das Fahrzeug „in the loop“ abgestimmt wird. Das bedeutet das Fahrzeug wird in Echtzeit während der Fahrt oder direkt auf dem Prüfstand abgestimmt. Des Weiteren werden parametrisierte „Datalogs“ verwendet um die jeweiligen Zustände aufzeichnen und analysieren zu können.
- Es wird keine detaillierte Ausarbeitung der Kennfelder beschrieben, da dies die Projektarbeit zu umfangreich gestalten würde.
- Die verwendeten Programme werden erklärt, jedoch keine Anleitung dafür erstellt, da diese sehr umfangreich sind.





## 4 Hauptziel

Ziel des Projektes ist es, die Leistung des Motors in mehreren Stufen/Etappen von 306 PS auf über 400 PS zu steigern. Diese Leistung soll der Motor standfest halten können. Hardwareänderungen am Motor sind nicht vorgesehen.

Die jeweilige Leistung ist mit einem Prüfstandlauf und Messfahrtprotokollen belegt und nachweisbar.

Die Standfestigkeit wird auf dem Hockenheimring getestet. Dieser ist sehr anspruchsvoll für den Motor durch seine kurzen Geraden und vielen Kurven.

Abgabetermin: 04.05.2018



## 5 Zeitplan



Abb. 2 Zeitplan  
Dennis Klose



## 6 Parameterverzeichnis

Tabelle 1 Parameterverzeichnis

<u>Value</u>	<u>Min</u>	<u>Max</u>	<u>description</u>
time	1	...	counts the log in seconds from start to end
amb pressure psi	0,13	14,7	ambient pressure in psi
accel ped. pos. %	0%	99,6 %	gaspedal position in %
boost psi	8,7	21	actual boost
boost mean psi	8,7	21	average boost since adaption reset
boost target psi	8,7	21	programmed boost (ECU)
cyl1 timing cor*	0	3	ignition correction of seperate cylindres
cyl2 timing cor*	0	3	„
cyl3 timing cor*	0	3	„
cyl4 timing cor*	0	3	„
cyl5 timing cor*	0	3	„
cyl6 timing cor*	0	3	„
fuel low pressure Sensor psi	60	80	pressure of in tank pump
gear-	1	7	current driven gear
iat *f	32	150	intake air temperature in °F
Lambda bank 1 afr	11	12,5	fuel/air mixture cyl 1-3
Lambda Bank 2 afr	11	12,5	Fuel/air mixture cyl 4-6
load actual	0	170	actual engine load
load req.	0	164	requested engine load
maf req wgdc g/s	15	400	calculated air mass in gram/second
rail pressure psi LL	600	800	gasoline pressure of hpfp in LL mode in psi
rail pressure psi	1300	2700	gasoline pressure of hpfp in psi
rpm	0	7000	rounds per minute of the engine
stft 1 in %	-15	15	Short-time-fuel-trim in %
stft 2 in %	-15	15	controls the amount of intake gasoline
throttle position	3%	82%	controls the air passage for the engine
timing cyl. 1 *crk	0	11,2	driven ignition curve, should raise like stair and be bulbed upside
torque actual value nm	300	750	actual calculated Nm, - decalibrated
torque lim. active	0	4	torque limiter 1=DTC intervenes, 4=speedlimiter
wgdc Bank 1%	25%	100%	Wastegate-duty-cycle, actual wastegate position in %

## 7 N54B30-Optimierungsbeschreibung



Abb. 3 CAD-Teilschnittmodell-N54B30

Der N54B30 der Marke BMW ist ein Reihensechszylindermotor mit Biturbo Aufladung. Biturbo Aufladung bedeutet, dass abgasseitig zwei Turbolader für jeweils drei Zylinder verbaut sind. Durch das Verbauen zwei kleinerer Turbolader, anstatt einem Großen, wird die Motorcharakteristik bewusst in Richtung eines Saugmotors gelenkt. Die Turbolader mit Wastegateregung bauen schnell ihren Solldruck auf („Spool-mode“) und man erreicht ein minimales, fast nicht zu spürendes, Turboloch. Dieser moderne Motor ist kennfeldgesteuert und verfügt über eine Direkteinspritzung durch sogenannte Injektoren (Einspritzdüsen). Des Weiteren besitzt der Motor sogenannte PID-Regler, die die Wastegatestellung anpassen und so den Ladedruck in Echtzeit korrigieren und anpassen. Zusätzlich besitzt der Motor eine variable Ventilsteuerung, die es ermöglicht Öffnungs- und Schließzeitpunkt der Ein- und Auslassventile variabel den Bedingungen anzupassen.

Suboptimal ist jedoch die verwinkelte Abgasführung. Aufgrund von Platzmangel war man gezwungen, direkt nach dem Auslass der Turbolader, einen Bogen zu machen. Dieser beeinflusst das Strömungsverhalten negativ, da jeder Winkel und jeder Bogen eine gewisse Reibung und Verwirbelung in der vorbeiströmenden Luft erzeugt und so den Durchfluss drosselt.



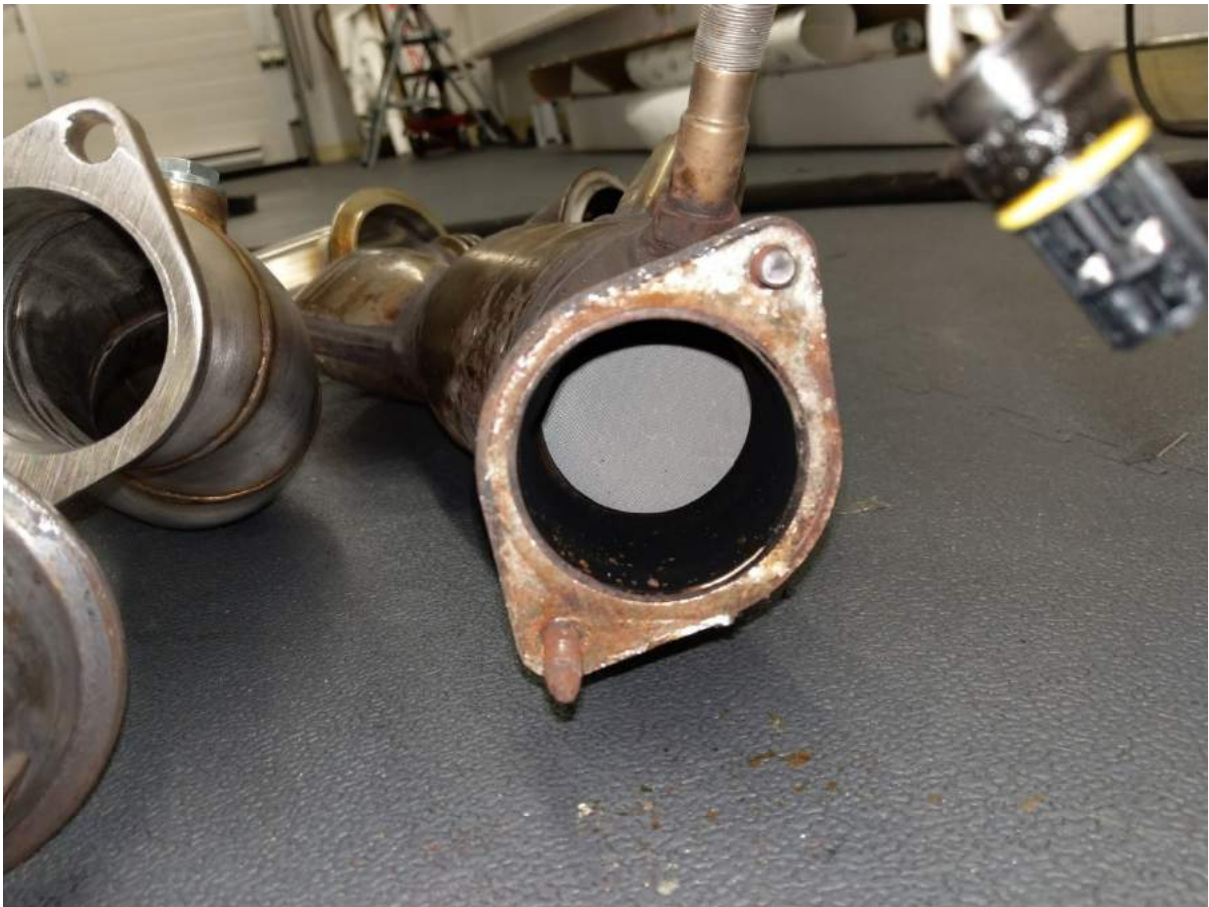
Abb. 4 Downpipes-original-upgrade



Abb. 5 Downpipes-original-upgrade-2

Da das Fahrzeug nicht rein für die Rennstrecke oder Showzwecke benutzt werden soll, lässt sich hier auch nicht viel verbessern da der originale Auspuffstrang beibehalten werden soll. Das Einzige, das sich verbessern lässt, ist das Vergrößern der Abgaskrümmerröhre („Downpipes“) und der Entfall der darin enthaltenen Katalysatoren.

Das dichte Netz der 2000-Zellen behindert die Abgasströmung. Direkt an den Katalysatoren bildet sich so ein Rück- und Hitzestau, den es zu vermeiden gilt, um die Abgastemperatur und die Ansaugtemperatur so niedrig wie möglich zu halten.



*Abb. 6 Downpipes-upgrade-original-Katalysator*

Nach Entfernen der Vorkatalysatoren in den Abgaskrümmerrohren erfüllt das Fahrzeug, in meinem Test, trotzdem die Abgasnorm des TÜVs. Eine standardmäßige AU wurde erfolgreich durchgeführt. Das ist der Tatsache zu verdanken, dass die Hauptkatalysatoren noch vorhanden sind und lediglich die Vorschalldämpfer (Vorkatalysatoren) entfernt wurden.



Abb. 7 Downpipes-upgrade-eingebaut



Abb. 8 Downpipes-original-eingebaut

Um keinen Fehler aufgrund der fehlenden Vorkatalysatoren zu erhalten wurde die Fehlermeldung im Steuergerät unterdrückt. Dies hat keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Fahrzeuges, da diese Sonden nur Monitorsonden sind, die die Funktionalität des Katalysators überprüfen.

Bei der Optimierung der Ansaugseite geht es vor allem darum, die durch den Verdichter komprimierte Luft im Ansaugtrakt direkt nach dem Austritt aus dem Verdichter zu kühlen um den Sauerstoffanteil zu erhöhen.



Abb. 9 Wagner-Ladeluftkühler-Evo2-Competition

Deshalb wird bei „Stage 2“ ein größerer Ladeluftkühler der Marke Wagner (Evo2 Competition) und ein Ladedruckrohr aus Aluminium anstatt dem Original aus Kunststoff verbaut

Im originalen Zustand läuft der Motor mit einem maximalen Ladedruck von 0,8 bar. Nach der Optimierung liegen hier in etwa 1,6 bar an.



Abb. 10 PCV-Ventil-Upgrade

Aufgrund der Erhöhung des Ladedrucks, muss auch die Kurbelgehäuseentlüftung dem erhöhten Druck angepasst werden. Das originale Ventil das hierfür zuständig ist, ist aus Kunststoff. Dieses wird nun durch ein selbst gefertigtes Ventil aus Metall ersetzt, das dem erhöhten Druck standhält.

Zusätzlich werden die originalen Schubumluftventile, die auf dem Ladedruckrohr sitzen, durch ein offenes Blow-Off-Ventil ersetzt. Schubumluftventile funktionieren durch Unterdruck. Während des Beschleunigens wird ein Unterdruck erzeugt, der den Kolben im Inneren anzieht und so das Ventil verschließt. Beim loslassen des Gaspedals (fuel cut off) fällt der Unterdruck ab, durch den Ladedruck wird der Kolben nach außen gedrückt und die überschüssige komprimierte Luft kann durch das Ventil entweichen.

Bei Schubumluftventilen wird die Luft durch Schläuche wieder der Ansaugluft zugeführt. Dies führt dazu, dass die bereits durch Kompression erhitzte Luft, die durch Schmierung der Turbolader immer etwas Öl enthält, der frisch angesaugten Luft zugeführt wird. Dies ist kein optimaler Zustand, da es zu Rückstau auf den Turbolader und zu einer erhöhten Ansauglufttemperatur mit erhöhtem Ölgehalt führen kann.

Deshalb werden die Schubumluftventile durch ein sogenanntes „Open-Blow-Off-Ventil“ ersetzt. Dieses Ventil bietet den Vorteil die überschüssige Ladeluft einfach entweichen zu lassen ohne Sie wieder dem Ansaugtrakt zuzuführen. Das führt dazu, dass selbst bei einem Verbrennungsstopp durch Gaswegnahme, der Turbolader weiterhin frei ausdrehen und die überschüssige komprimierte Luft entweichen kann. Dadurch wird die Belastung der Turbolader gesenkt, da kein Gegendruck mehr durch ein geschlossenes System herrscht.



Des Weiteren werden die Zündkerzen gewechselt. Dabei werden Kerzen mit einem niedrigeren Wärmewert und nur einem Pol verwendet. Der Elektrodenabstand wird, je nach Stage der Optimierung, ebenfalls angepasst. Bei „Stage 2“ wird dieser auf 0,45 mm eingestellt.



Der niedrigere Wärmewert führt dazu, dass der Motor sich nach der Optimierung, trotz schnellerer Zündung, durch diese Kerzen weniger aufheizt. Der Elektrodenabstand wird verringert um die Zündzeit zu verkürzen. So kann bei der Kennfeldoptimierung gezielter abgestimmt werden.

Eine einpolige Zündkerze wird verwendet, um einen immer gleichen Zündfunke zu erhalten und so ideal darauf abstimmen zu können.

Abb. 11 Zündkerzen-upgrade

## 7.1 Software/Tools zur Optimierung

Für die Optimierung der Kennfelder werden spezielle Softwares bzw. Tools verwendet. Im Folgenden werden die Software/Tools aufgeführt, die für diese Zwecke verwendet wurden.



Abb. 12 MHD-Start-Up

Das erste Tool ist eine App Namens „MHD Flasher“, die zum Loggen und auch zum Aufspielen der Motorsoftware verwendet werden kann.

Die App beinhaltet vorgefertigte „Mappings“ und ermöglicht es auch selbstgeschriebene „Maps“ aufzuspielen. Diese App wurde ausschließlich für das Loggen verwendet.

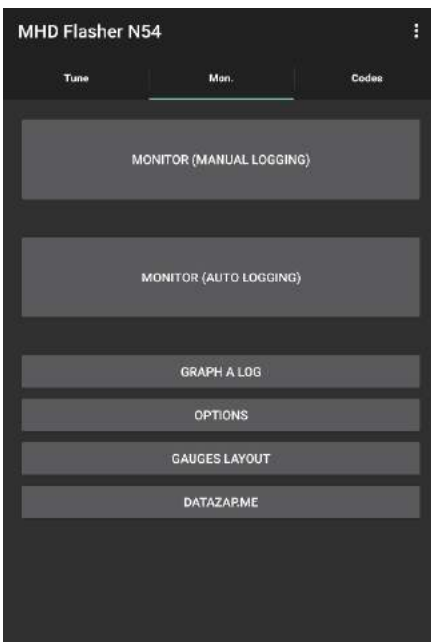


Abb. 13 MHD-Mon.

Über den Reiter „Mon.“ (monitoring), kann in einem weiteren Dialogfeld „Options“ gewählt werden. Hier können nun die verschiedenen gewünschten Parameter gewählt werden, die während der Fahrt aufgezeichnet werden sollen.

Anschließend wird der „Log“ gespeichert und kann dann auf die Website: „[www.datazap.me](http://www.datazap.me)“ hochgeladen werden um einen übersichtlichen interaktiven Graph<sup>1</sup> zu erstellen

---

<sup>1</sup> (siehe S.22, Datalogs-Allgemein)



Zum Auslesen der Motorsoftware wurde ein Programm namens „KSUIT“ verwendet. Programme wie diese sind sehr teuer und kosten oft im vierstelligen Bereich, da Sie viele Übersetzungsdateien von verschiedenen Automobilherstellern enthalten um bei nahezu jedem Fahrzeug die Motorsoftware auslesen zu können.

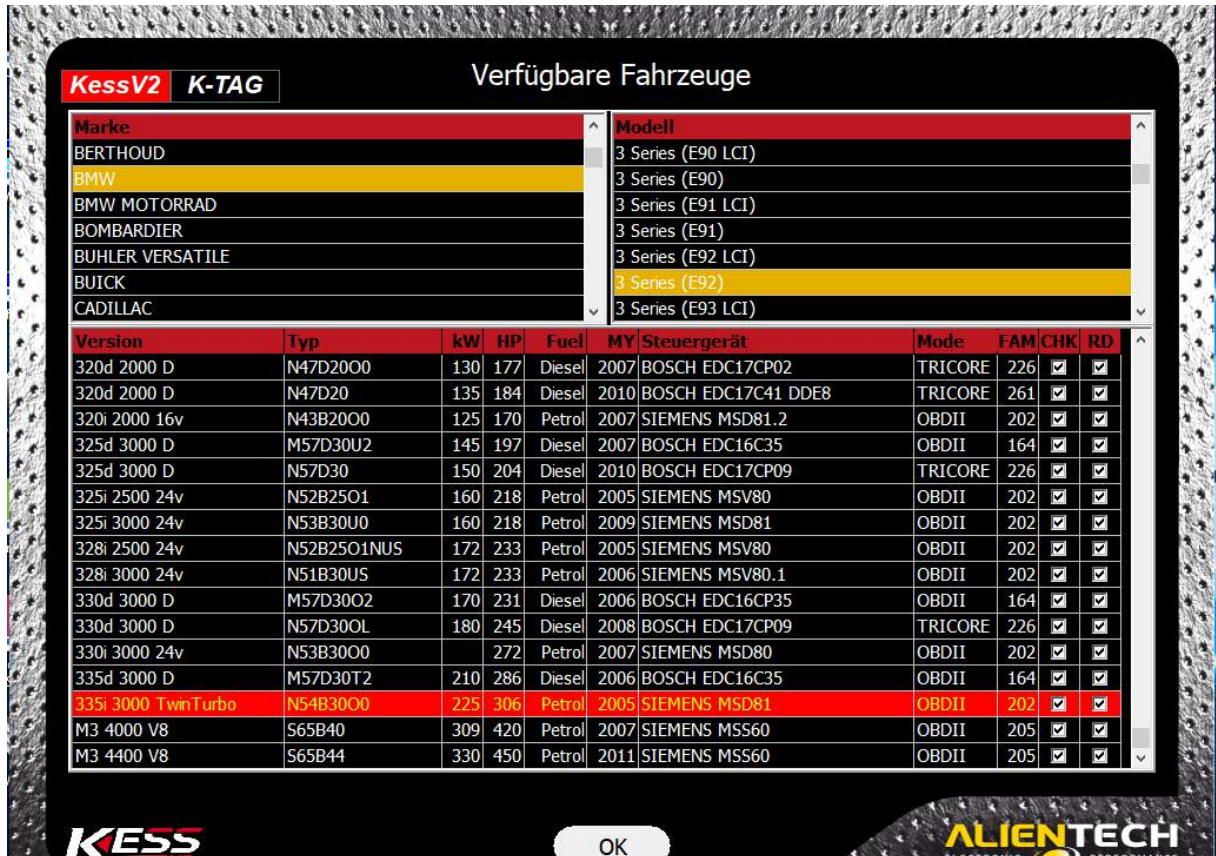


Abb. 14 KSUIT

Nach dem Auslesen über den OBDII-Port des Fahrzeuges, wird diese Datei als „.bin“ Datei gespeichert und als Name mit den letzten 7-Ziffern meiner Fahrgestellnummer versehen. Das dient dazu diese Datei immer als das Original identifizieren zu können.

- A853137.bin
- A853137.log
- A853137.txt



### 7.1.1 Kennfelder

Zum Bearbeiten der Kennfelder wurde das Programm „TunerPro“ verwendet. Dieses ist frei zugänglich und kann im Internet heruntergeladen werden<sup>2</sup>. Mithilfe dieses Programms kann nun die mit dem Programm „KSUIT“ ausgelesene „.bin“ Datei geöffnet und übersetzt werden.

Für die Übersetzung werden sogenannte „.xdf“ Dateien benötigt. Jede „.xdf“ Datei ist für eine bestimmte Hardwareversion des Motorsteuergerätes festgelegt. Das ist damit begründet, dass jedes Motorsteuergerät aus einer unterschiedlichen Hardwareserie, eventuell andere Speicher an einer anderen Position besitzt.

Nachdem die zu bearbeitende „.bin“ Datei mit der passenden „.xdf“ Datei ausgewählt wurde, zeigt das Programm an der linken Seite einen Navigationsbaum an, der es ermöglicht auf die verschiedenen Speicher und Kennfelder zuzugreifen und sie zu bearbeiten.

Im Folgenden ein Auszug aus dem Programm nach dem Laden der benötigten Dateien:

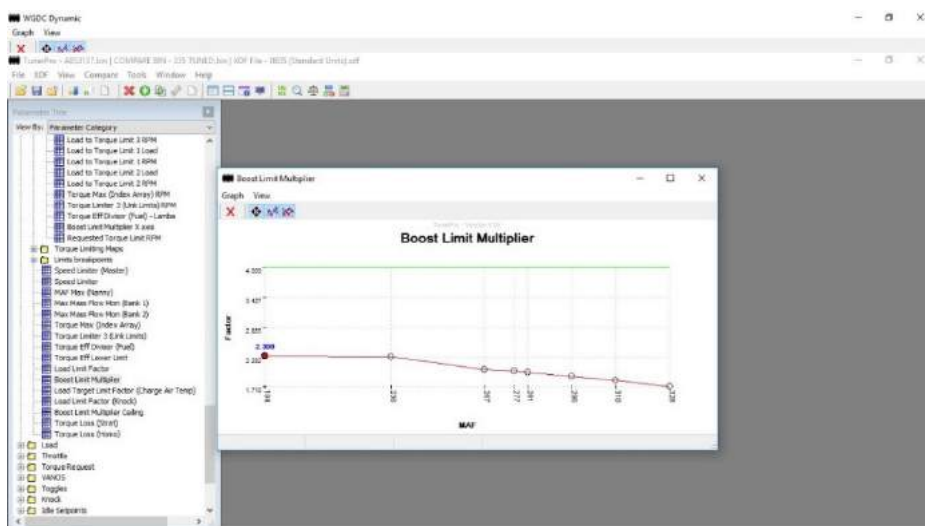


Abb. 15 TunerPro

<sup>2</sup> <http://www.tunerpro.net/downloadApp.htm>

### 7.1.1.1 Fuel Bank 1

Das Kennfeld für die Einspritzung der ersten Bank.

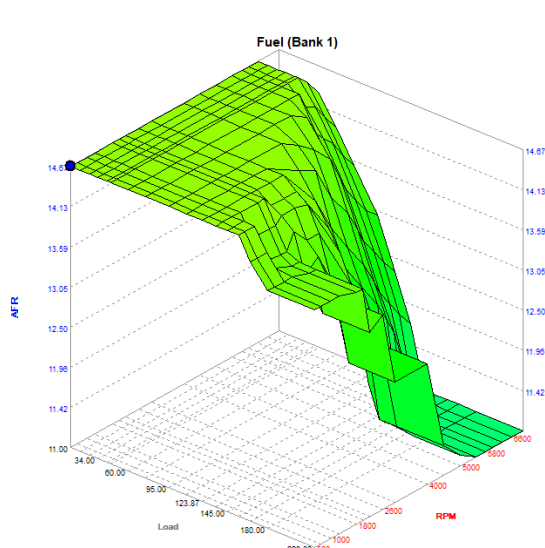


Abb. 16 Fuel (Bank1)-original

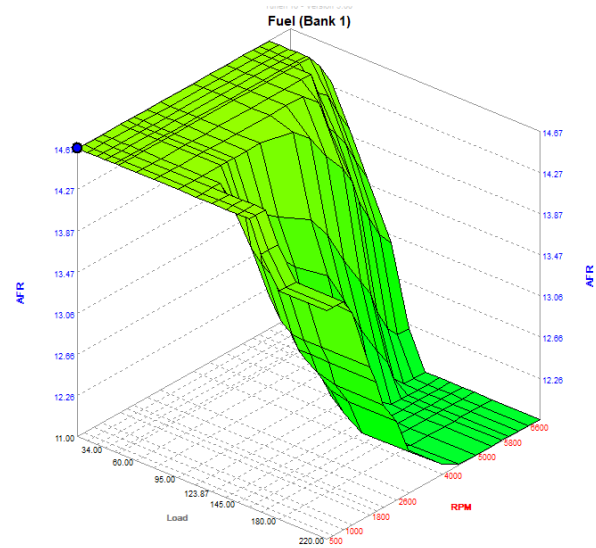


Abb. 17 Fuel (Bank1)-tuned

Die hier gezeigten Kennfelder steuern die Einspritzung anhand der Drehzahl in rpm, der Motorlast „Load“ und dem Benzin-Luftgemisch AFR. AFR ist eine andere Bezeichnung für den Lambdawert. Lambda 1, was der angestrebte Idealwert ist, ist 14,7 in AFR. Dies ist das ideale Mischungsverhältnis von Benzin und Luft. Die Diagramme sind so zu lesen, dass beispielsweise bei einer geringen Motorlast „Load“ und einer geringen Drehzahl wie beispielsweise 500 rpm ein Lambda von 14,7 als Soll programmiert ist.

Ab einer gewissen Last, in Abhängigkeit von der Drehzahl, wird der Motor angefettet. Das bedeutet, dass die AFR bzw. der Lambdawert absichtlich abseits vom Idealwert in Richtung Benzinüberschuss programmiert wird. Das ist notwendig, um den Motor auf die größere Luftmasse vorzubereiten, die durch die immer schneller drehenden Verdichter erzeugt wird so dass dieser nicht abmagert. Ein Benzinüberschuss bedeutet gleichzeitig eine stärkere Kühlung für die Ventile damit diese nicht überhitzen.

In dem rechten, optimierten, Diagramm kann man erkennen, dass noch früher angefettet wird. Dies hängt mit der Erhöhung des Ladedrucks zusammen. Die Verdichter fördern noch früher mehr Luft und benötigen demnach früher mehr Benzin.

Das Benzin hat also nicht nur die Funktion gemischt mit Luft zur Explosion zu führen, sondern auch die Kühlung diverser Motorteile wie z.B. Ein- und Auslassventile, Kolben und Zylinder.

### 7.1.1.2 Fuel Spoolmode

Das Kennfeld für die Einspritzung im Spoolmode.

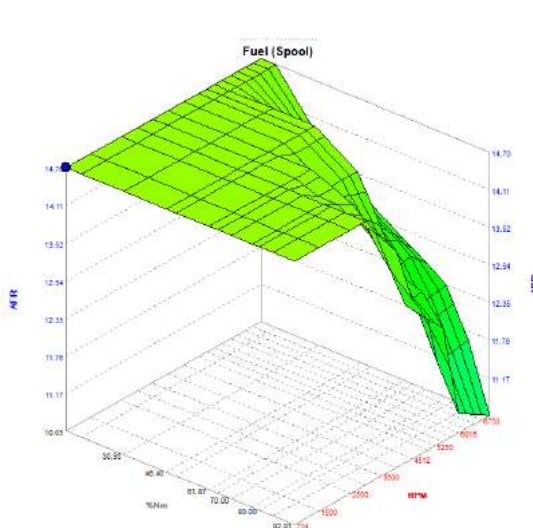


Abb. 18 Fuel (Spool)-ori

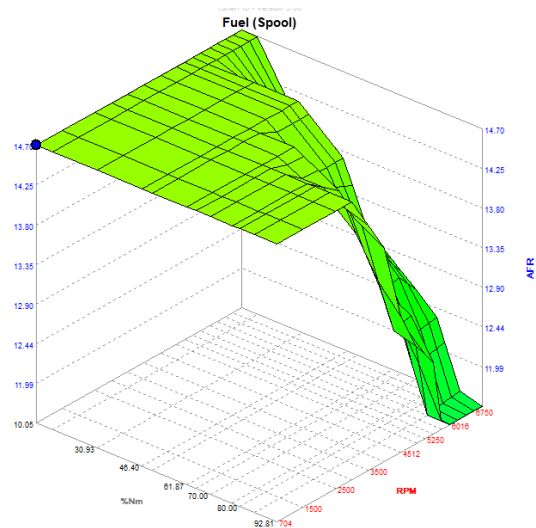


Abb. 19 Fuel (Spool)-tuned

Dies sind die Graphen für die Einspritzung im „Spoolmode“. In der Praxis fährt man nur sehr selten in diesem Modus. Er ist nur dann aktiv, wenn aus dem Stand bzw. sehr langsamer Fahrt, das Fahrzeug mit voller Last beaufschlagt wird. Ab spätestens 3000 rpm, bzw. sobald der Soll-Druck erreicht wurde, wechselt die ECU in den vorher gezeigten Graph. Es ist demnach auch unter 3000 rpm möglich, dass die ECU schon in den vorherigen Graph wechselt. Das hängt von vielen Parametern ab. Bei normaler Fahrt wird dieser Modus nur kurz beim Losfahren aus dem Stand aktiviert.

Aus diesem Grund muss das Kennfeld hier auch nur geringfügig angepasst werden. Der optimierte Graph fällt insgesamt etwas steiler ab, da auch hier etwas früher angefettet wird. Evident wird dies, bei dem früher erreichten niedrigsten AFR-Wert bei 6016 rpm.

### 7.1.1.3 Maximal Torque at Clutch (AT)

Das Kennfeld für die maximal zulässigen „Nm“ an der Kupplung in Abhängigkeit zu der gefahrenen Geschwindigkeit in mph.

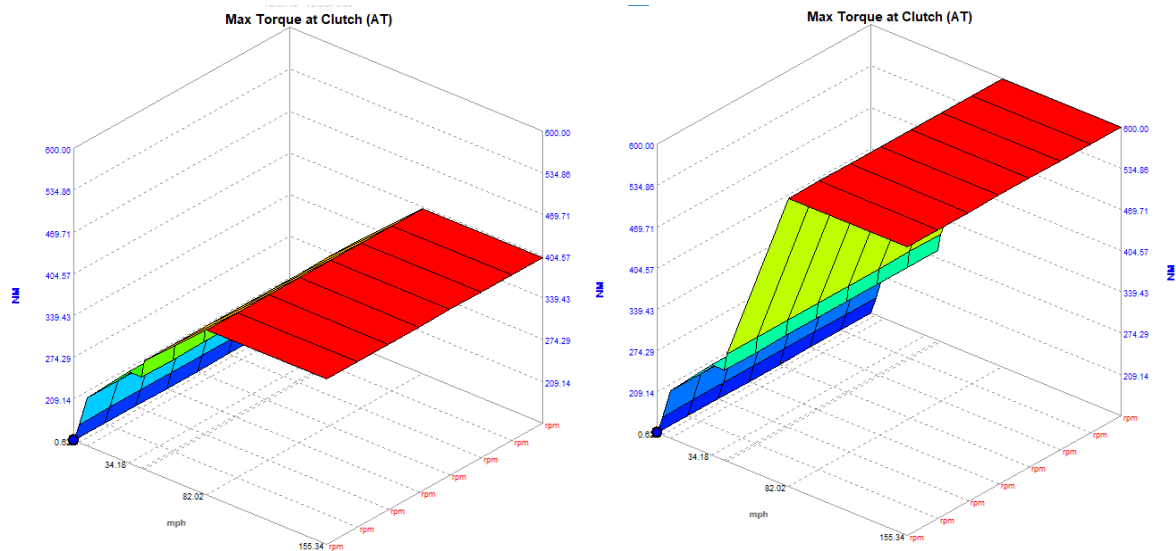


Abb. 20 Max-torque-original-tuned

Wie an den 3D-Graphen zu erkennen ist, wurden die zulässigen „Nm“ angehoben. Dies ist notwendig, da durch die Optimierung mit der Leistung des Motors auch das Drehmoment steigt.

Das hier vorhandene Automatikgetriebe kann bis zu 800 Nm übertragen. Dies geht aus Recherchen hervor, bei denen Fahrzeuge mit über 700 Nm und mehr gefunden wurden. Auch wird dieses Automatikgetriebe bei dem 335d eingesetzt, bei dem aufgrund der Diesel-Technik im originalen Zustand schon 580 Nm anliegen.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> [http://www.treffseiten.de/bmw/info/daten/daten\\_320d\\_325d\\_330d\\_335d\\_coupe\\_09\\_03.pdf](http://www.treffseiten.de/bmw/info/daten/daten_320d_325d_330d_335d_coupe_09_03.pdf)



## 8 Stage 0 - Stock

Bevor es auf den Prüfstand geht wird erstmal ein Log gefahren, um die verschiedenen, durch die Optimierung im späteren Weg mehr beanspruchten Komponenten, zu prüfen.

Anhand einer selbst angefertigten Excel-Tabelle können die „min.“ und „max.“ Log-Werte in diese Tabelle eingetragen werden. Durch eingesetzte Formeln sieht man sofort, welche Werte die Mindestgrenze unter- oder die Maximalgrenze überschreiten.

rail pressure psi LL	600	800	620	652	636	correct!
rail pressure psi	1300	2700	1580	2650	2115	correct!
rpm	0	7000	0	6768	3384	correct!
stft 1%	-15	15	-6,9	15	4,05	correct!
stft 2%	-15	15	-2,3	10,2	3,95	correct!
throttle position	3%	82%	23%	81,10%	52%	correct!
timing cyl. 1 *crk	0	16	0,4	7,9	4,15	correct!

Abb. 21 Teilausschnitt-Testlogtabelle

Wenn alle dem Log entnommenen Werte die Grenzen nicht überschreiten, zeigt die Tabelle in der hinteren Spalte „correct!“ und hinterlegt dieses Feld hellgrün.

rail pressure psi LL	600	800	620	652	636	correct!
rail pressure psi	1300	2700	1580	2750	2165	!correct!
rpm	0	7000	0	6768	3384	correct!
stft 1%	-15	15	-6,9	15	4,05	correct!
stft 2%	-15	15	-2,3	10,2	3,95	correct!
throttle position	3%	82%	23%	81,10%	52%	correct!
timing cyl. 1 *crk	0	16	0,4	7,9	4,15	correct!

Abb. 22 Teilausschnitt-Testlogtabelle 2

Wenn einer der Werte eine Grenze überschreitet, der Schnitt aus min. und max. Wert aber trotzdem noch innerhalb der Toleranz liegt, so zeigt die letzte Spalte ein „!correct!“ und hinterlegt dieses mit einer gelben Warnfarbe, die dem Anwender signalisieren soll dieses Bauteil im Auge zu behalten.





Hier wäre der Druck des „Benzin-rails“ unterhalb der Mindestgrenze. Dies kann dramatische Folgen haben, wenn die Vorförderpumpe im Tank defekt ist und die Hochdruckpumpe dadurch nicht mehr ausreichend mit Benzin versorgt wird. Das würde dazu führen, dass die Hochdruckpumpe trocken läuft und Schaden nimmt.

rail pressure psi LL	600	800	620	652	636	correct!
rail pressure psi	1300	2700	1265	2567	1916	ATTENTION!
rpm	0	7000	0	6768	3384	correct!
stft 1%	-15	15	-6,9	15	4,05	correct!
stft 2%	-15	15	-2,3	10,2	3,95	correct!
throttle position	3%	82%	23%	81,10%	52%	correct!
timing cyl. 1 *crk	0	16	0,4	7,9	4,15	correct!

Abb. 23 Teilausschnitt-Testlogtabelle-3

Sollte ein Wert massiv unter der min. oder max. Grenze liegen so wird ein rotes „ATTENTION!“ ausgegeben das zeigt das etwas defekt ist oder keine Leistung mehr bringt.

## 8.1 Datalogs – Allgemein

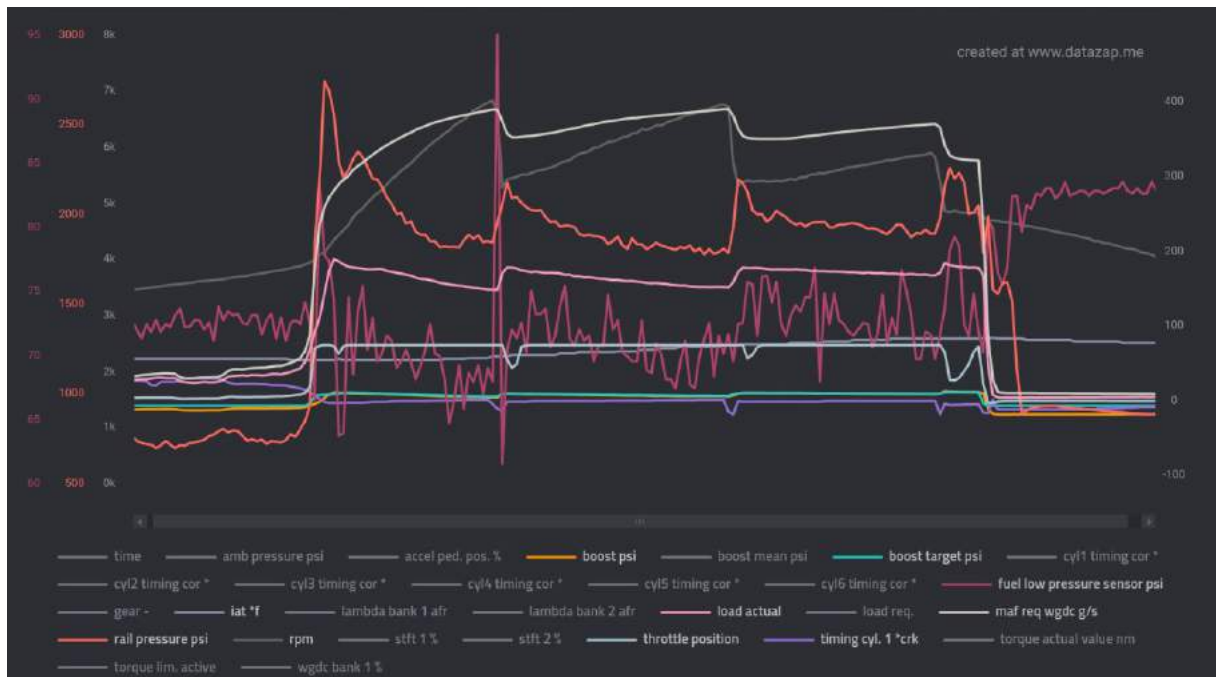


Abb. 24 Datalog-mehrfach-parametriert

Diese sogenannten „Datalogs“ dienen der Überwachung und Aufzeichnung unterschiedlicher Parameter während der Fahrt und ermöglichen eine nachträgliche Analyse der Komponenten. Viele nicht im Idealbereich liegende Parameter fallen dem Fahrer während der Fahrt überhaupt nicht auf, obwohl sie auf Dauer dem Motor schaden könnten.

Beispielsweise eine zu hohe „iat“ durch welche der Motor die Leistung drosselt. Andere führen zum Aufleuchten der Motorwarnleuchte und somit zum Notlaufprogramm des Motors. Dieser schaltet dann bestimmte Zylinder ab und regelt die Einspritzung und Zündung an sein Minimum, um eine bedingte Fahrbarkeit mit möglichst niedriger Belastung zu gewährleisten.

Durch einen „Datalog“ kann genau diagnostiziert werden, **was** den Notlauf **wann** und **warum** ausgelöst hat. Diese Diagnose zeigt dem Anwender, ob etwas defekt oder falsch programmiert ist. In der Abbildung sieht man einen dieser interaktiven „Datalogs“. Durch An- und Abwahl der verschiedenen Parameter, lässt sich der Log anpassen und übersichtlicher gestalten.



Bei einer derartigen Überlagerung von Parametern fällt es schwer, etwas zu erkennen oder einen bestimmten Parameter zu verfolgen.

Im Folgenden, wurde dieser Log für die jeweiligen Bereiche angepasst und dargestellt, um zu zeigen wie präzise sich mit diesen Diagrammen arbeiten, und bestimmte Dinge diagnostizieren lassen.

Die gleichen Diagramme lassen sich auch in Tabellenform anzeigen. So kann leicht der Maximal- und Minimalwert der verschiedenen gemessenen Parameter ermittelt und in die Excel-Tabelle<sup>4</sup> der jeweiligen Stage eingefügt und überprüft werden.

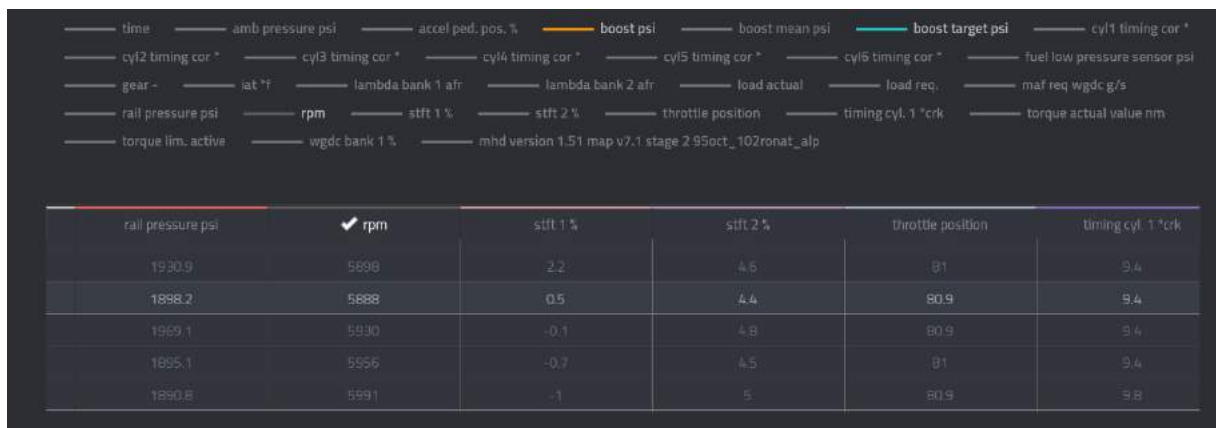


Abb. 25 Datalog-Tabelle

<sup>4</sup> (siehe Anhang, S.7-9)



## 8.2 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck in „psi“ und Soll-Ladedruck in „psi“

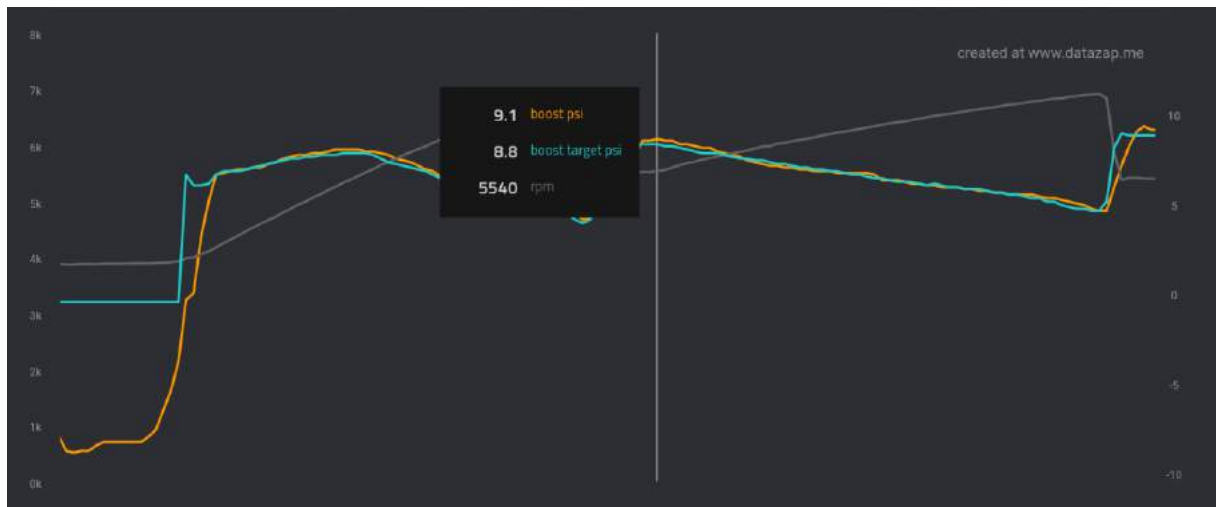


Abb. 26 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st0

Der Vergleich des Soll- und des Ist-Ladedrucks zeigt, dass die Verdichter bei der Serienleistung ihren Soll-Ladedruck (Türkis) erreichen und halten können. Würde hier der Ist-Ladedruck (orange) schon weit unter dem Soll- liegen, wäre man gezwungen an dieser Stelle die Optimierung abubrechen oder neue Verdichter zu kaufen.

In der Motorsoftware ist ein Schutz einprogrammiert, der den Motor ab einem Unterschied von 4 psi mit dem Fehlercode „30FF – Ladedruck zu niedrig“, oder „30FE – Ladedruck zu hoch“ in den Notlauf schickt um Beschädigungen zu vermeiden.

### 8.3 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck und WGDC-Wert

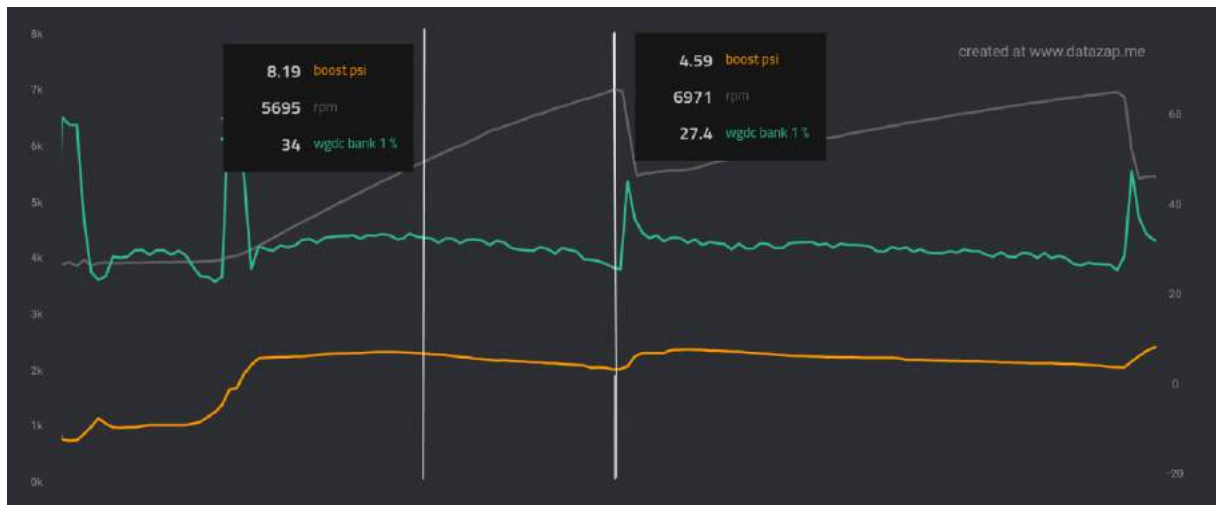


Abb. 27 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st0

Der WGDC-Wert hängt eng mit dem Ist-Ladedruck zusammen. WGDC ist der Prozentsatz des Schließwinkels der Waste-gate Klappe am Turbolader. 0% WGDC sind demnach eine vollständig geöffnete Klappe. 100% WGDC wäre eine komplette Schließung der Klappe.

Man sieht hier am Anfang des Logs einen Ausschlag des WGDC Wertes. Der Wert schießt schlagartig auf 80%. Dies hängt mit dem sogenannten „Spoolmode“ zusammen. Wenn das Gaspedal (throttle) gedrückt wird und der Motor das Signal bekommt so schnell wie möglich zu beschleunigen, läuft er im unteren Drehzahlbereich im „Spoolmode“. Dieser ist dazu da, um schnellstmöglich den Soll-Ladedruck zu erreichen um den Motor mit ausreichend Luft für die Beschleunigung zu versorgen. Der „Spoolmode“ endet spätestens bei 3000 rpm.

Da ein Turbolader vom Abgasstrom angetrieben wird und im unteren Drehzahlbereich davon nicht viel zur Verfügung steht, wird hier bei Vollgas die Waste-gate-Klappe fast komplett geschlossen um den vollen Abgasstrom zur Beschleunigung des Turboladers und somit auch des Verdichters zu verwenden. Ab spätestens 3000 rpm ist der Abgasstrom stark genug und die Klappe muss wieder geöffnet werden, um nicht im „Overboost“ (30FE) zu resultieren.



## 8.4 Datalog – Timing Cyl1 crk\*



Abb. 28 Datalog-timing-cyl1-crk-st0

Der Parameter „timing cyl. 1\*crk“ zeigt die gefahrene Zündkurve an die zum Beispiel durch überhöhte IAT oder fehlendem Sprit unterbrochen werden könnte. In der gezeigten Abbildung sieht man den Idealfall. Zündkurvenunterbrechungen wurden nur beim Gangwechsel aufgezeichnet.

## 8.5 Datalog – Rail pressure

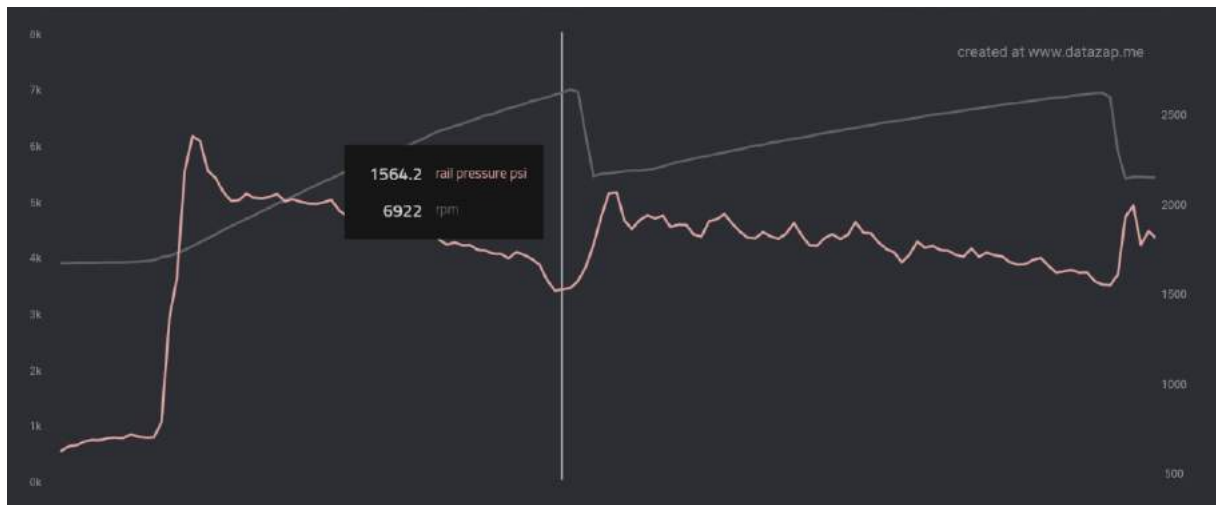


Abb. 29 Datalog-rail-pressure-st0

Der Parameter „rail-pressure“ ist der Druck, den die Hochdruckpumpe an die Injektoren liefert. Hierbei ist wichtig, dass der Druck bei der originalen Map nicht unter 1500 psi fällt. Den niedrigsten Druck hat die HPFP beim höchsten Durchlass. Das bedeutet in dem Moment, in dem der Motor seinen höchsten Belastungspunkt (Load) erreicht. Im Diagramm sieht man, dass der tiefste Druckpunkt am Ende des Drehzahlbandes bei 6922 rpm mit 1564,2 psi liegt. Der Wert liegt nahe an der kritischen Grenze, aber noch oberhalb der 1500psi und ist somit unbedenklich.

Wichtig ist bei der Optimierung darauf zu achten, dass dieser Wert nicht durch den höheren Spritbedarf weiter sinkt.

Die Hochdruckpumpe wird durch die Vakuumpumpe angetrieben, die den Unterdruck für Bremskraftverstärker, Blow-Off-Ventil, Auspuffklappe, Wastegates und Druckwandler bereitstellt.

## 8.6 Datalog – low-pressure-fuel-pump – low-pressure-sensor

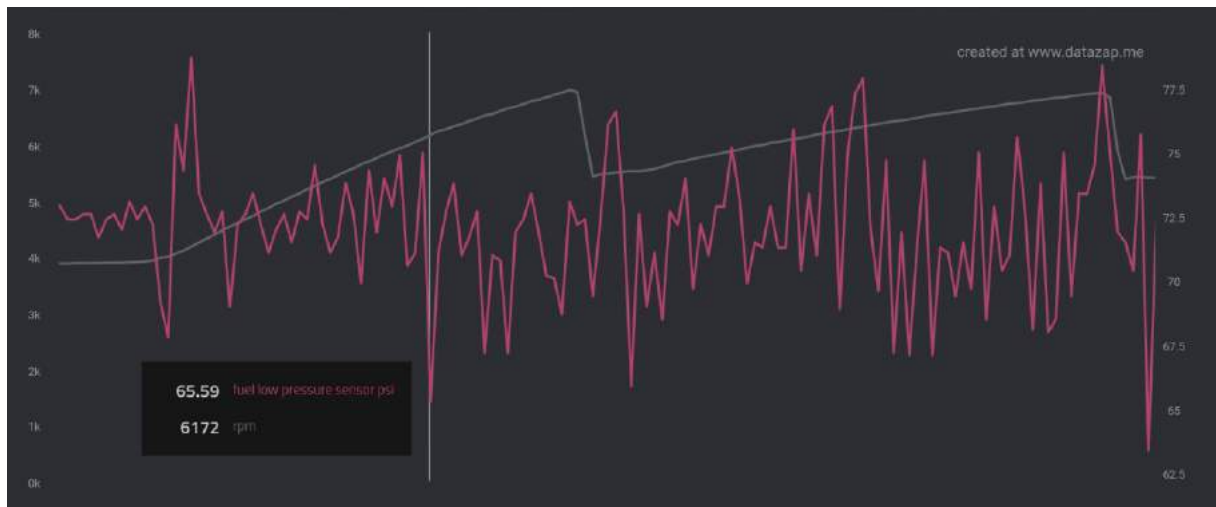


Abb. 30 Datalog-lpfp-st0

Hier sieht man das Verhältnis von Drehzahl zu Kraftstoffniederdruck. Die sogenannte Vorförderpumpe, die für den Kraftstoffniederdruck verantwortlich ist, dient als Vor-speisepumpe für die Hochdruckpumpe. Durch Sie wird eine dauerhafte Versorgung der Hochdruckpumpe gewährleistet, indem Sie durchgehend versucht einen gewissen Druck vor der Hochdruckpumpe zu halten. Je nach Bedarf der Hochdruckpumpe steigert die Vorförderpumpe also ihre Drehzahl und damit ihre geförderte Menge. Hierdurch entsteht der oszillierende Verlauf der Druckkennlinie.

Der Kraftstoffniederdrucksensor sitzt ca. 6 cm vor der Hochdruckpumpe in der Kraftstoffleitung.

Dieser Wert sollte nicht unter 50 psi fallen, was 3,45 bar entspricht, da sonst die Hochdruckpumpe gefahrläuft unterversorgt zu werden.

Das würde sich darin bemerkbar machen, dass der Wert im Diagramm der Hochdruckpumpe unter die 1500 psi Marke sinkt, die Parameter „timing cyl.1 crk.“ und „cyl. x timing cor.“ Ausschläge zeigen und der Motor danach in den Notlauf übergeht.





## 8.7 Datalog – IAT in °F

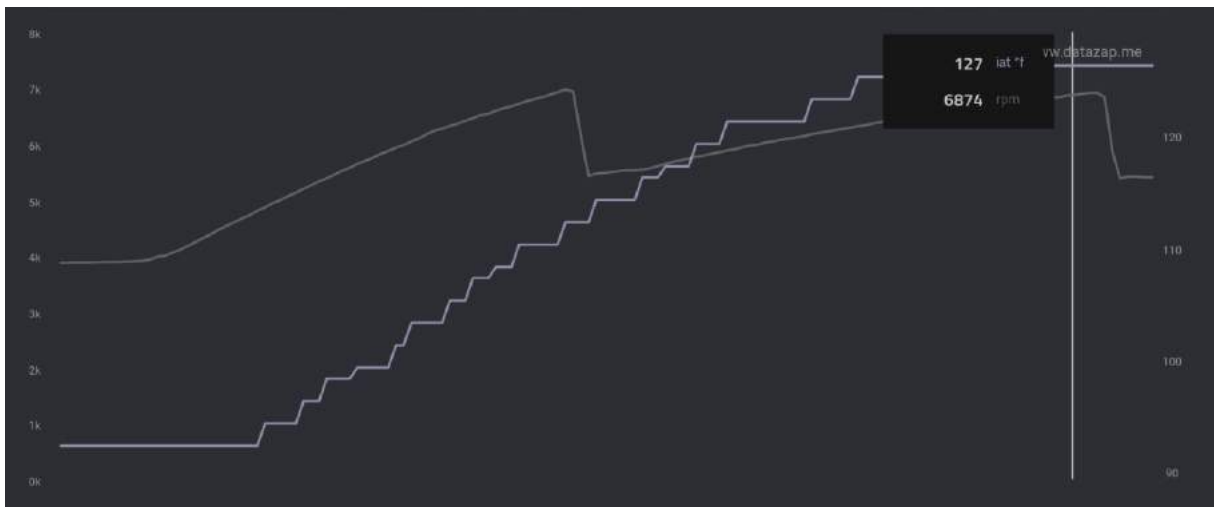


Abb. 31 Datalog-iat-st0

Die IAT in °F steigt den gesamten Log mit an. Das ist darauf zurückzuführen, dass durch das Beschleunigen die immer heißer werdenden Abgase, den Turbolader und somit auch den Verdichter aufheizen. Die somit erhitzte Luft wird durch den Verdichter angesaugt und beim Durchströmen erwärmt.

Des Weiteren wird die Luft im Verdichter komprimiert und im folgenden Luftführungssystem dadurch Druck aufgebaut. Durch das Verdichten der bereits erwärmten Luft erhitzt diese sich weiter.

Um dem entgegen zu wirken werden sogenannte Ladeluftkühler eingesetzt, die durch eine strömungsoptimierte Form, einem größerem Volumen und optimierten Kühlrippen, die komprimierte Luft durch den Fahrtwind wieder abkühlen.



## 8.8 Eingangsmessung – Leistungsprüfstand

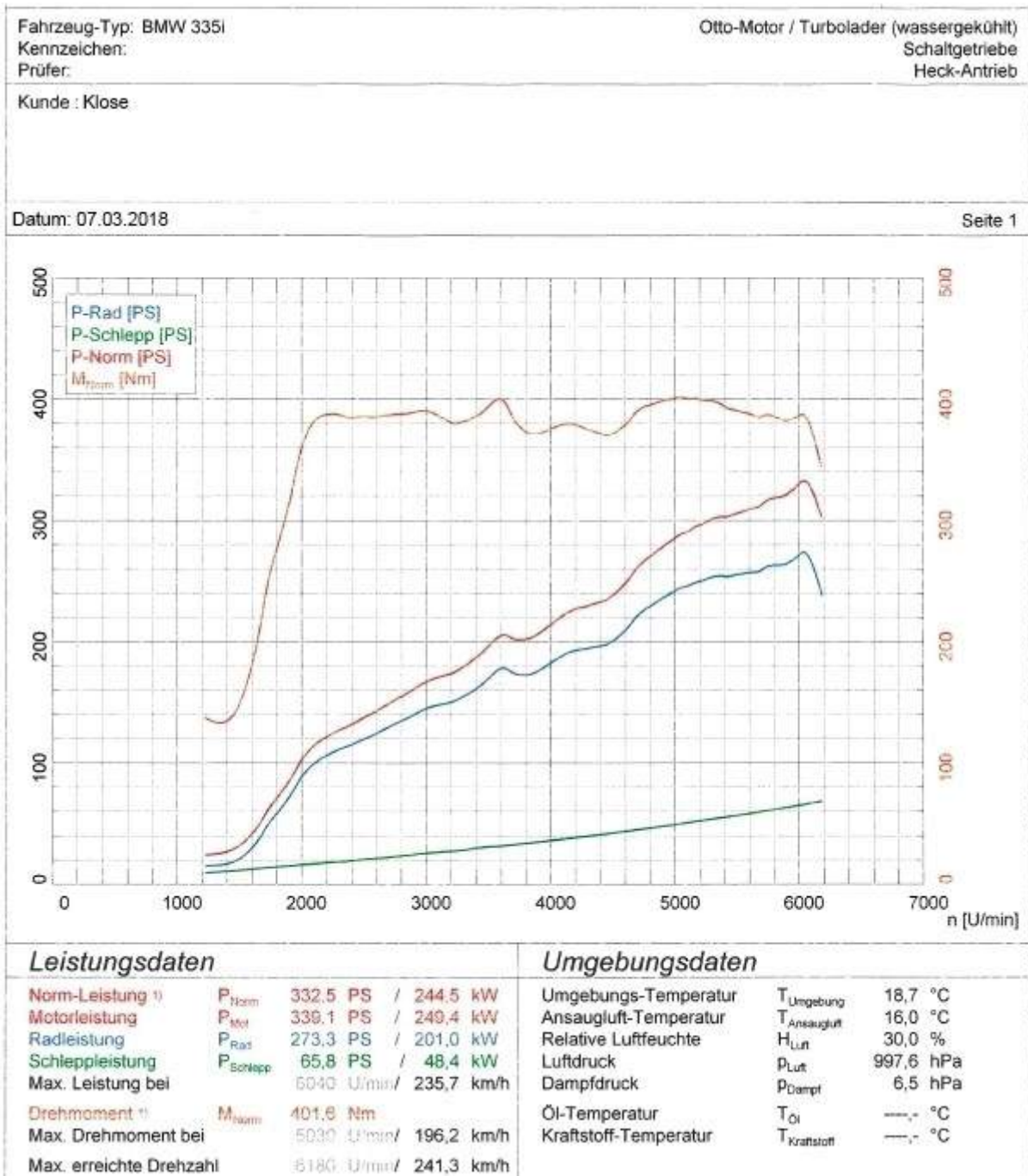


Abb. 32 Leistungsnachweis-st0



## 8.9 Beurteilung der Leistungsmessung

Die erste Leistungsmessung ohne Veränderungen am Fahrzeug ergab eine Leistung von 339,1 PS und 401,6 Nm.

Diese Ausgangsleistung ist schon enorm hoch. Die Streuung der Motoren hängt von der Genauigkeit der Bauteile bei der Fertigung ab. Gerade bei Turboaufgeladenen Motoren kann es schnell zu Streuungen kommen, da hier sehr viele Faktoren mit einfließen.

Beispielsweise die Temperatur der Außenluft. Ein Unterschied in der Außentemperatur von 10 °C ist bei der Leistung deutlich spürbar und messbar. Bei der Messung wurde eine Ansauglufttemperatur von 16 °C gemessen. Je kühler die Luft bei einer Leistungsmessung, desto höher der Sauerstoffgehalt in der Luft und desto höher die Leistung bei der Messung.

So ist es möglich, dass dasselbe Fahrzeug bei einer Messung im Sommer mit 30 °C Außentemperatur und einer Luftfeuchtigkeit von 15 %, nur noch 315 PS Leistung laut Prüfstand hat.



## 9 Stage 1

Bei der ersten Stage werden keine Umbauten vorgenommen. Die Leistung wird von 339,1 PS und 401,6 Nm auf anvisierte 360 PS angehoben.

Diese Stage dient als Sicherheit für das weitere Optimieren. Anhand dieser Optimierung lassen sich durch betrachten der geloggtten Werte in der Excel Tabelle Aussagen über den weiteren Tuning-verlauf treffen.

- Reicht der Druck (rail pressure in psi) der Hochdruckbenzinpumpe?
- Sind Zündwinkelkorrekturen vorhanden (cyl. „x“ timing cor. In °)?
- Steigt die Ansaugtemperatur („IAT °F“) so hoch, dass die Leistung durch Zündkorrekturen zurückgenommen wird?
- Ist der Vorförderbenzindruck („low pressure fuel pump“) ausreichend?
- Wie groß ist der Wastegate-Schließungsgrad („WGDC in %“)?
- Erreichen die Turbolader („boost psi“) ihren Soll-Ladedruck („boost target psi“)?



### 9.1 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck in „psi“ und Soll-Ladedruck in „psi“

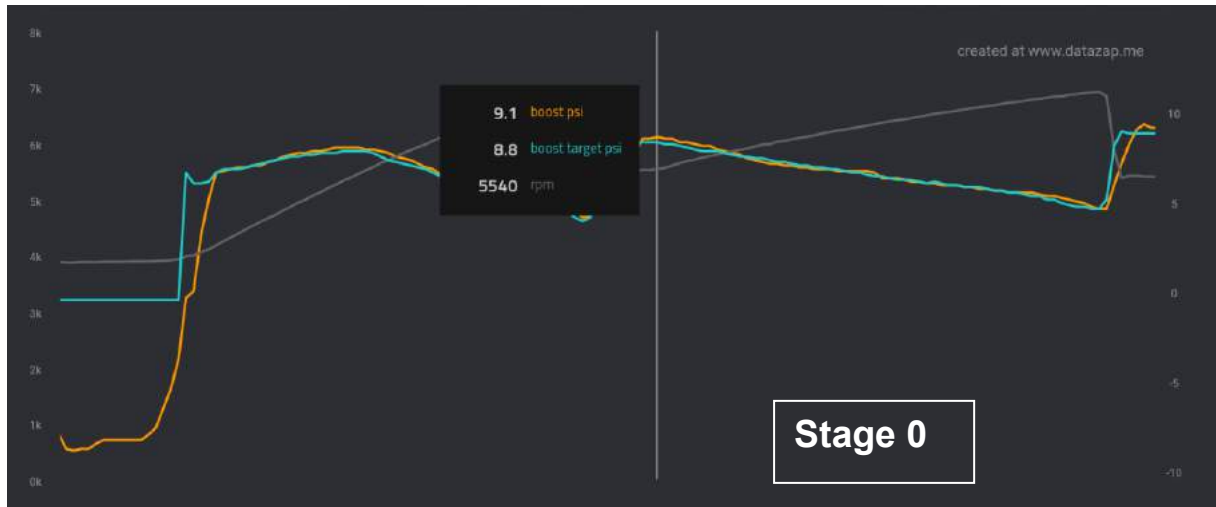


Abb. 33 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st0

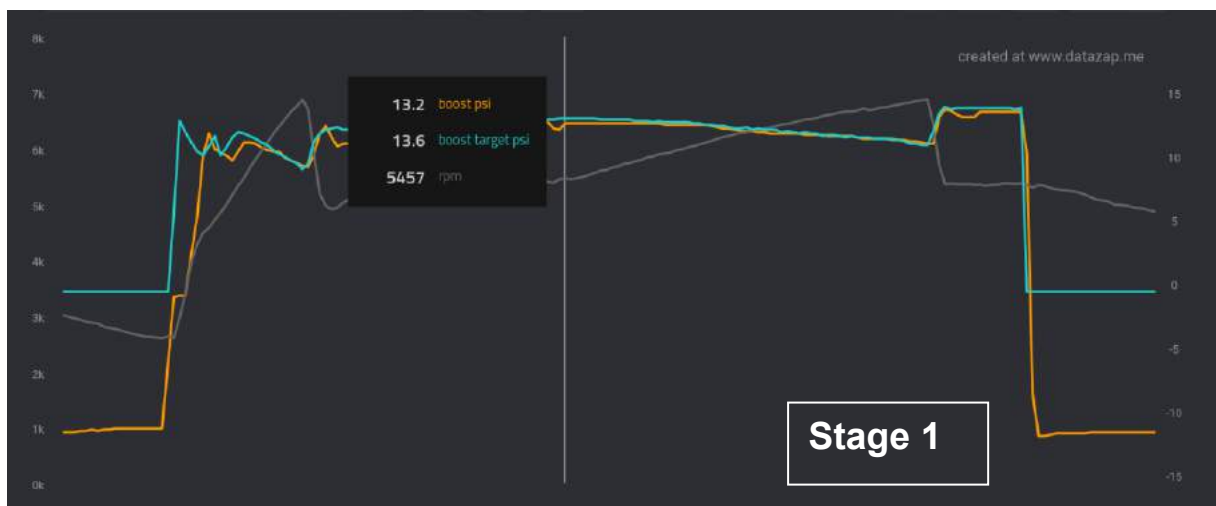


Abb. 34 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st1

Bei der ersten Leistungsstufe wurde der Ladedruck anhand der waste-gate Stellung etwas angehoben wie auf den Diagrammen zu sehen. Von 9,1 psi (0,62 bar) auf 13,2 psi (0,9 bar). Die Wastegateklappe wurde vom PID-Regler länger geschlossen gehalten und der Schließungswinkel korrigiert.

## 9.2 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck und WGDC-Wert

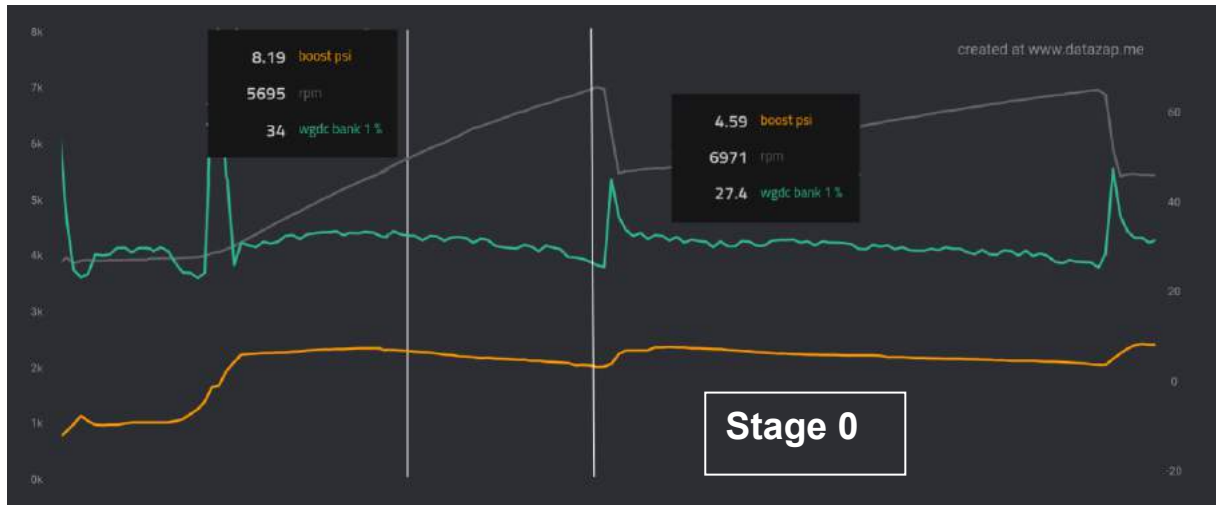


Abb. 35 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st0

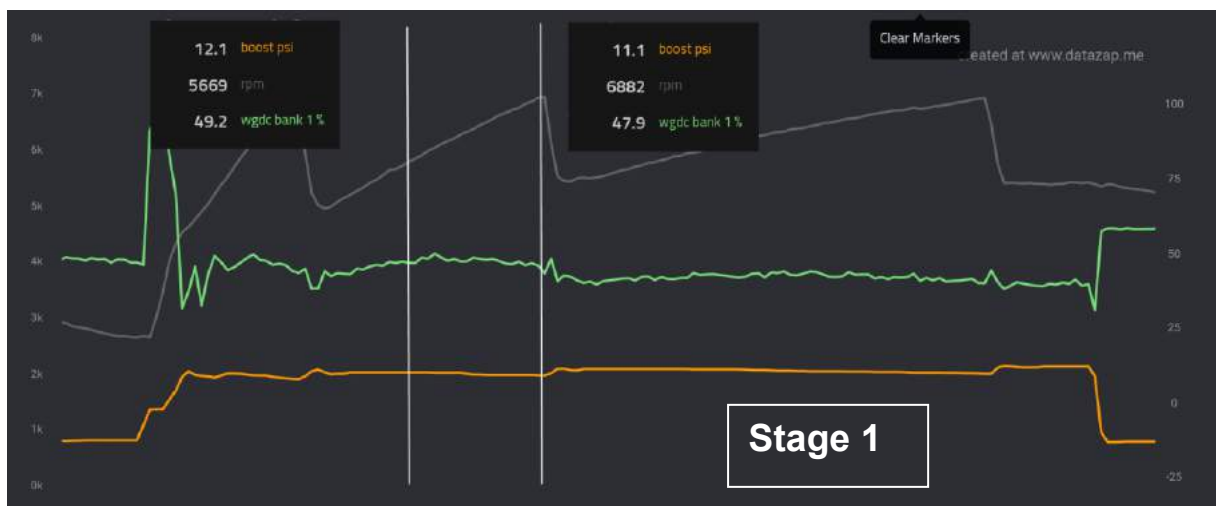


Abb. 36 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st1

Auf diesen Diagrammen kann man die Änderung des „WGDC“ mitsamt dem dadurch erzeugten Ladedruck „boost psi“ analysieren. An der ersten Schnittlinie sieht man die kennfeldgesteuerte Erhöhung des Schließungswinkels von 34 % auf 49 % um einen höheren Ladedruck zu erhalten. Interessant hierbei ist die Wölbung der Parameterkennlinie. Diese zeigt, dass in der Mitte des Drehzahlbandes die Wastegateklappe den größten Schließungsgrad erreicht. Das bedeutet, dass hier der Durchlass am größten ist und die Turbolader hier die größte Belastung haben. Das Ziel bei der Optimierung ist es, den effektiven Mitteldruck des Motors zu erhöhen und bei höheren Drehzahlen, höherem Durchfluss, den Ladedruck aufrecht zu erhalten.

### 9.3 Datalog – Timing cyl. 1 crk



Abb. 37 Datalog-timing-cyl1-crk-st0

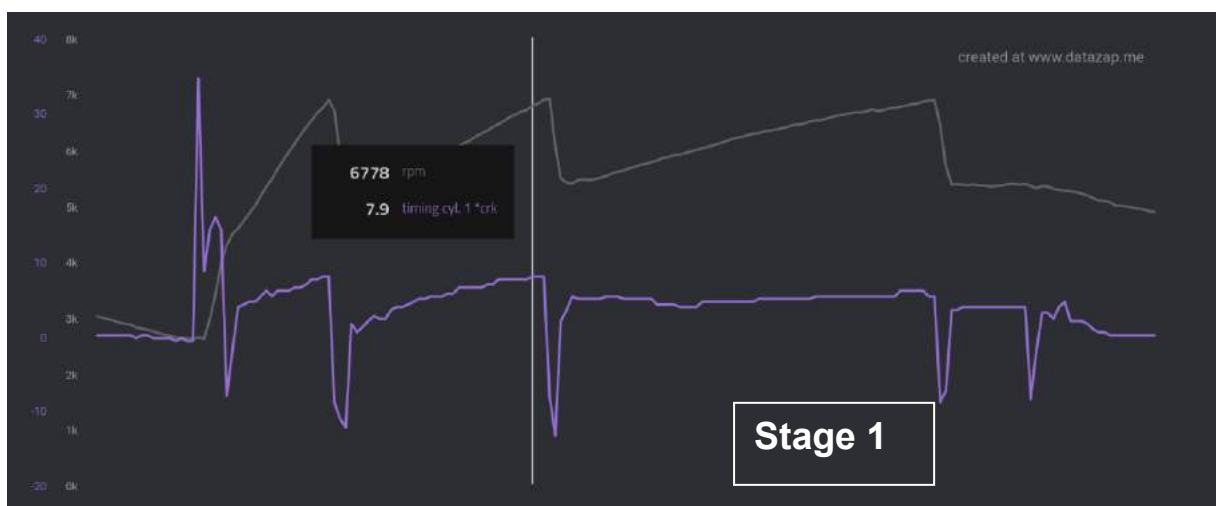


Abb. 38 Datalog-timing-cyl1-crk-st1

Die Zündkurve ist nun deutlich aggressiver. Der treppenartige Anstieg ist ein Anzeichen dafür, dass der Zündwinkel und die anderen, für die Verbrennung notwendigen Parameter, zueinander passen. Wodurch außer bei den Schaltvorgängen keine Zündaussetzer erfolgen. Der Wert zeigt den Zündwinkel in Grad vor dem OT an. Bei der Optimierung wird hier der Zündwinkel solange vorgestellt bis der Klopfsensor anschlägt. Dann wird wieder etwas nachgestellt und man erreicht den frühestmöglichen Zündzeitpunkt und damit die höchste Kompression im Zylinder. Wann ein Motor zu klopfen beginnt, hängt sehr von dem verwendeten Sprit ab. Je höher seine Oktanzahl, desto klopfester. Hier wurde 100 oktanhaltiger Sprit verwendet.



## 9.4 Datalog – Rail pressure



Abb. 39 Datalog-rail-pressure-st0

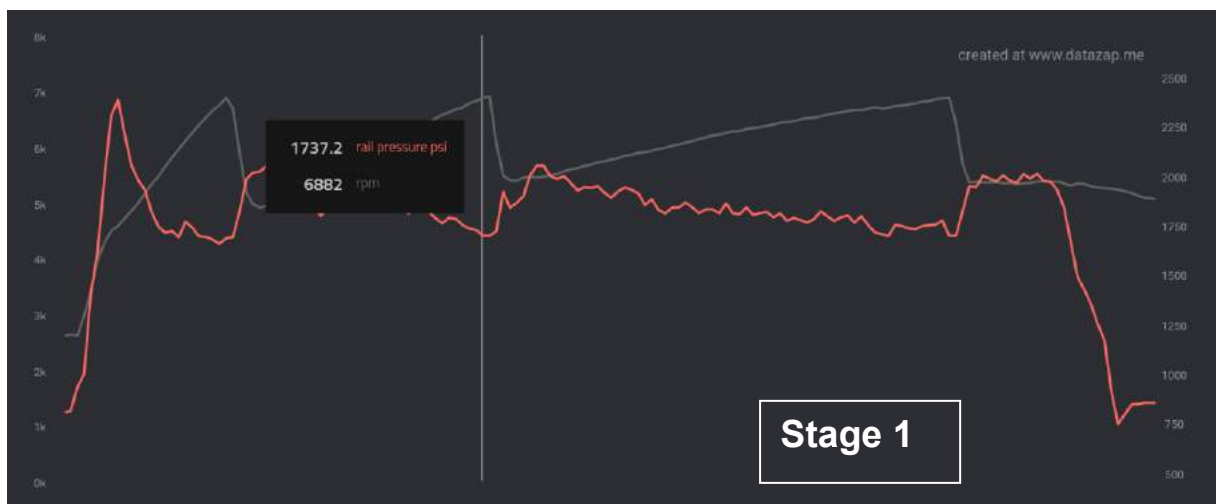


Abb. 40 Datalog-rail-pressure-st1

Der Kraftstoffhochdruck konnte bei der Optimierung angehoben werden und ist nun deutlich über dem Limit und somit unbedenklich für die weitere Optimierung.



## 9.5 Datalog – fuel-low-pressure sensor

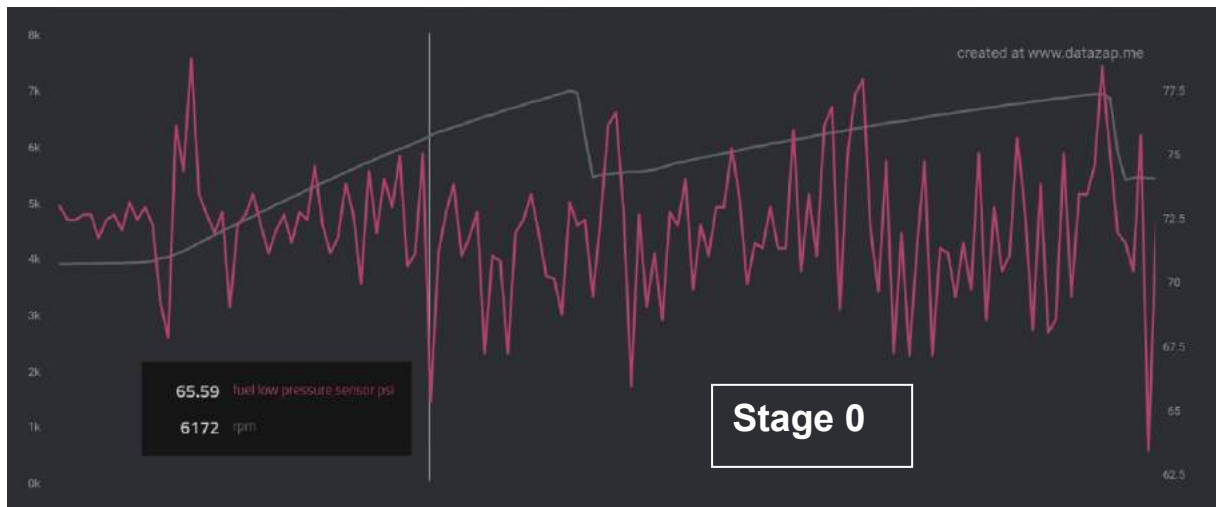


Abb. 41 Datalog-lpfp-st0

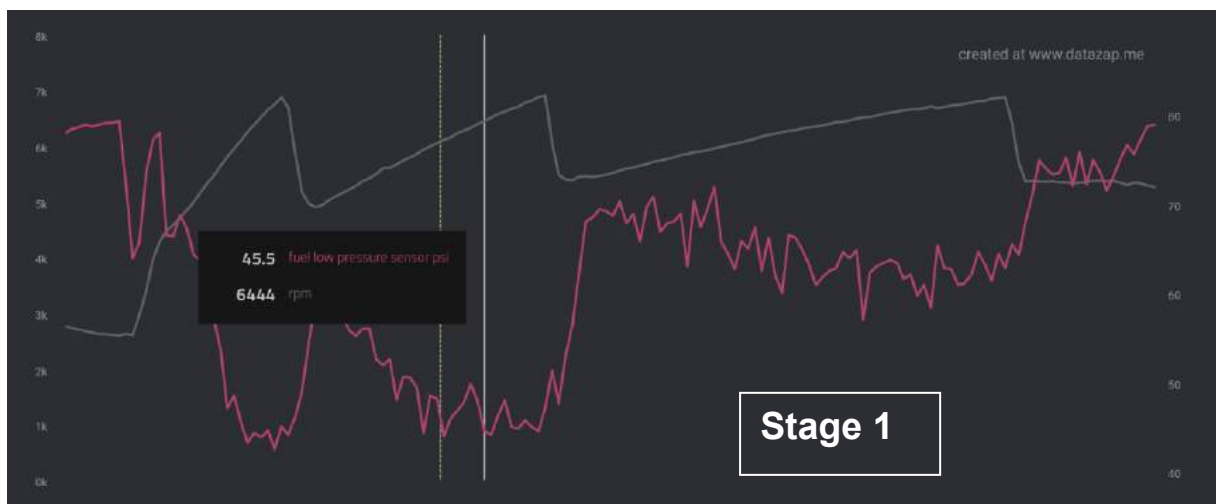


Abb. 42 Datalog-lpfp-st1

Ein schönes Beispiel für den Zweck eines Logs. Der Kraftstoffniederdruck ist unterhalb der kritischen Grenze gesunken. 43,5 psi entsprechen 2,9 bar, das absolute Limit liegt bei 50 psi was in etwa 3,5 bar entspricht.

Während der Fahrt war hiervon nichts zu merken. Ohne diesen Log wäre das erst aufgefallen, wenn es zu spät und die HPFP defekt gewesen wäre. Aus diesem Grund wurde vor weiterem Vorgehen die Vorförderpumpe durch eine neue ersetzt.



## 9.6 Datalog – IAT in °F

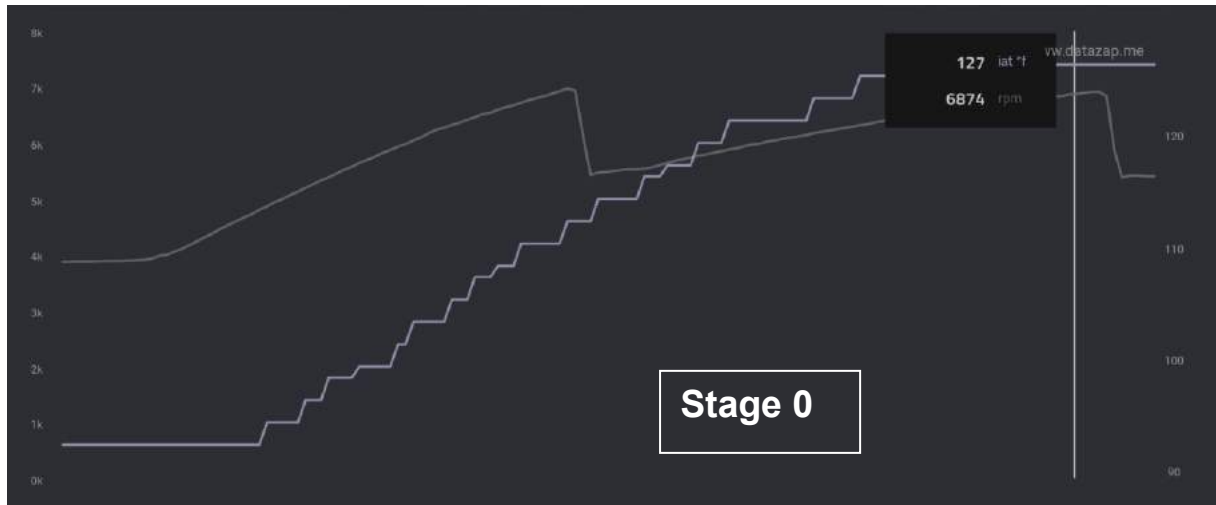


Abb. 43 Datalog-iat-st0

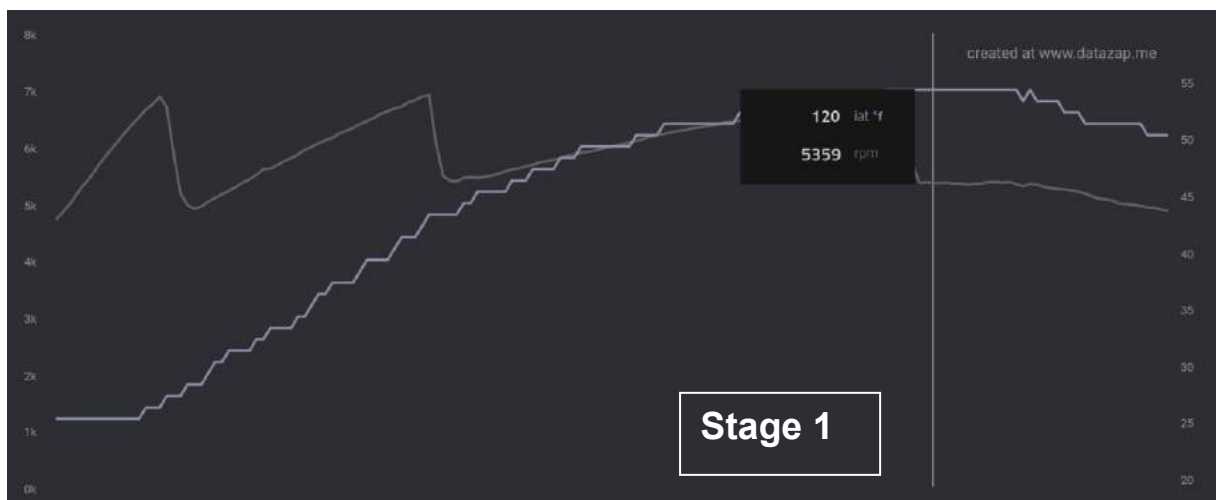


Abb. 44 Datalog-iat-st1

Der Anstieg der „iat“ ist ähnlich hoch wie vor der Optimierung, da bei dem ersten Log von knapp 95 °F gestartet wurde. Aus dem Log wird ersichtlich, dass für weitere Optimierungen ein neuer größerer Ladeluftkühler verbaut werden sollte. Auch wenn für die momentane Optimierung die „iat“ noch passt, ist sie grenzwertig hoch. Da bei der Optimierung die Temperaturen beachtlich steigen werden, durch die Erhöhung des Ladedrucks, ist ein größerer Ladeluftkühler unumgänglich. Nach dem zweiten oder dritten Log hätte die „iat“ hier sehr wahrscheinlich auch die 100 °F überschritten.

## 9.7 Leistungsnachweis – Prüfstandslauf

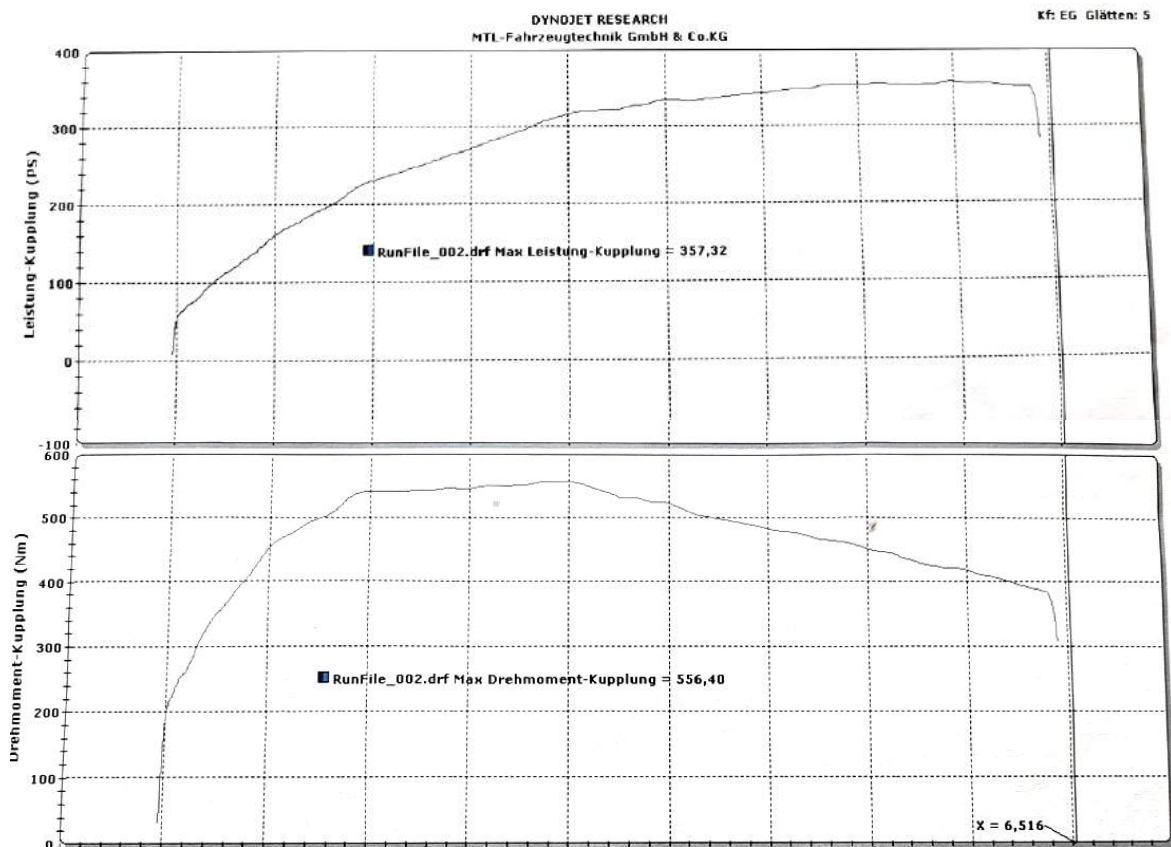


Abb. 45 Leistungsnachweis-st1

Hieraus ergab sich eine maximale Leistung von 357,32 PS und ein maximales Drehmoment von 556,4 Nm. Rein durch Bearbeitung der Kennfelder wurde die Leistung um 51,32 PS und 116,4 Nm gesteigert. Für das Erreichen des gesetzten Ziels ist es jetzt notwendig einige Umbauten vorzunehmen, um eine standfeste Leistung zu erzielen ohne dem Motor zu schaden.



## 10 Stage 2

Um keine Probleme durch eine zu hohe „iat“ zu bekommen, wurde in Folge dessen vor der weiteren Optimierung ein Marken-Ladeluftkühler verbaut.

### Wagner-EVO-2-Competition

Aus mehreren Quellen<sup>5</sup> geht hervor, dass dieser aufgrund seiner Abmaße und seines speziellen Kühlnetzes und der qualitativ hochwertigen Verarbeitung auf dem Prüfstand die besten Ergebnisse erzielt.

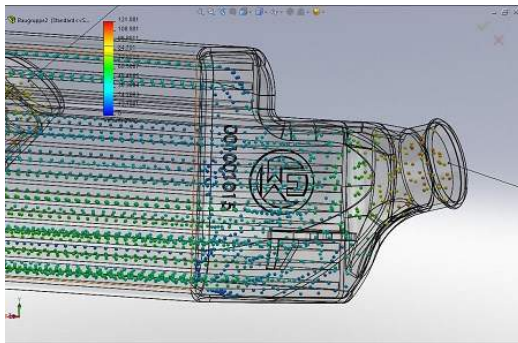


Abb. 46 Durchflussschaubild-LLK



Abb. 47 Wagner-Evo2-Competition LLK

Zusätzlich wurden zur Vorbereitung auf die nächste Stufe, wie bei der Optimierungsbeschreibung erwähnt, einpolige Zündkerzen verbaut, deren Elektrodenabstand leicht verringert wurde.

Bei diesen Zündkerzen herrscht ein konstanter Zündfunke. So kann leichter optimiert werden kann, da der Funke immer an derselben Stelle zündet. Anders als bei einer 3 oder 4 poligen Zündkerze, bei der der Funke quasi zwischen den Polen wechselt und sich somit unterschiedliche Elektrodenabstände ergeben.

---

<sup>5</sup> <http://www.wagner-tuningshop.de/product/bmw/bmw-1er/competition-ladeluftkuehler-kit-evo-2-bmw-e82-e90-200001044.html> (Stand:22.04.2018)



## 10.1 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck in „psi“ und Soll-Ladedruck in „psi“

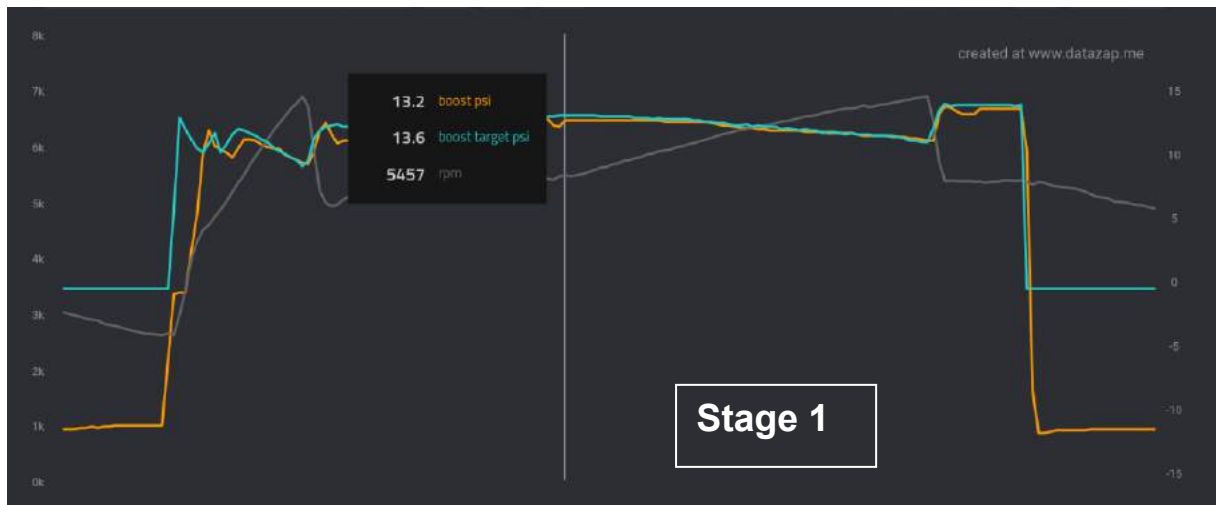


Abb. 48 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st1

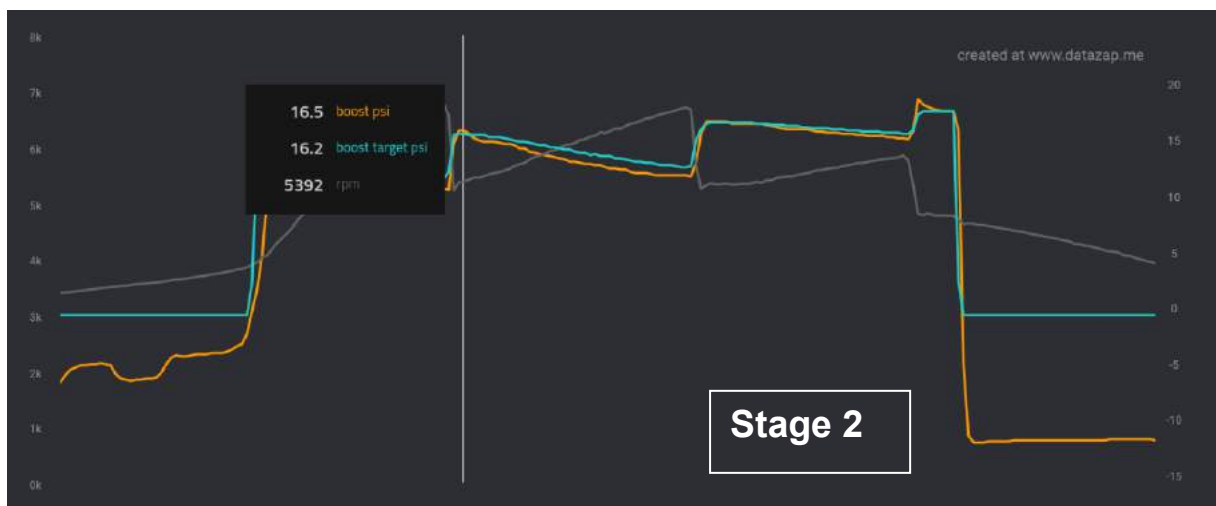


Abb. 49 Datalog-Ist\_Ladedruck-Soll\_Ladedruck-st2

Anhand dieses Logs kann man eindeutig sehen, dass hier die Grenze der originalen Lader fast erreicht wurde. Die „Ist-Ladedruckkennlinie“ liegt leicht unterhalb der programmierten „Soll-Ladedruckkennlinie“. Den Druck jetzt noch weiter zu erhöhen würde die Turbolader vermutlich überdrehen lassen und beschädigen, da diese durchgehend versuchen würden, diesen Druck zu erreichen. Um die Lader nicht durchgehend an ihrer Grenze zu betreiben wurde an dieser Stelle der Ladedruck nicht weiter erhöht.



## 10.2 Datalog – Vergleich Ist-Ladedruck und WGDC-Wert



Abb. 50 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st1



Abb. 51 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st2

Bei diesem Vergleich kann man wieder deutlich sehen, wie durch den höheren Schließungsgrad des WGDC Wertes der Ladedruck steigt. Bei Stage 2 sieht man einen Anstieg des Ladedrucks und eine deutlich aggressivere Kurve.

Die waste-gate Klappe ist nun fast durchgehend mehr als 50% geschlossen und der Ladedruck erreicht knapp 18 psi.



### 10.3 Datalog – Timing Cyl1 \*crk



Abb. 52 Datalog-timing-cyl1-crk-st1



Abb. 53 Datalog-timing-cyl1-crk-st2

Auch bei dieser Leistungsstufe sieht man einen Idealverlauf. Ein treppenartiger Aufstieg und keine außerplanmäßigen Zündaussetzer. Die Zündkurve wurde nur im mittleren Teil etwas angepasst, indem der Zündwinkel leicht, aufgrund des höheren Ladedrucks, zurück genommen wurde, um die Klopfestigkeit beizubehalten.

## 10.4 Datalog – Rail pressure



Abb. 54 Datalog-rail-pressure-st1



Abb. 55 Datalog-rail-pressure-st2

Der Druck des Hochdruckrails sollte bei dieser Leistungsstufe die 1600 psi Grenze nicht unterschreiten. In diesem Fall ließ sich der Druck der HPFP im Vergleich zur vorherigen Stage sogar noch etwas steigern. Von 1737,2 psi auf 1769,2 psi. Somit ist die Spiritversorgung gesichert.



## 10.5 Datalog – fuel-low-pressure sensor

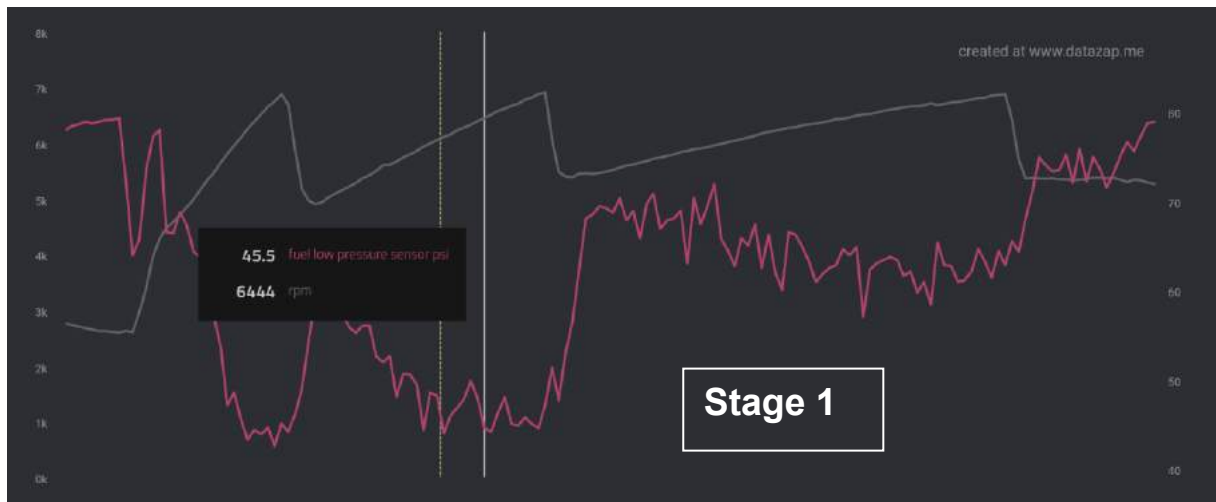


Abb. 56 Datalog-lpfp-st1

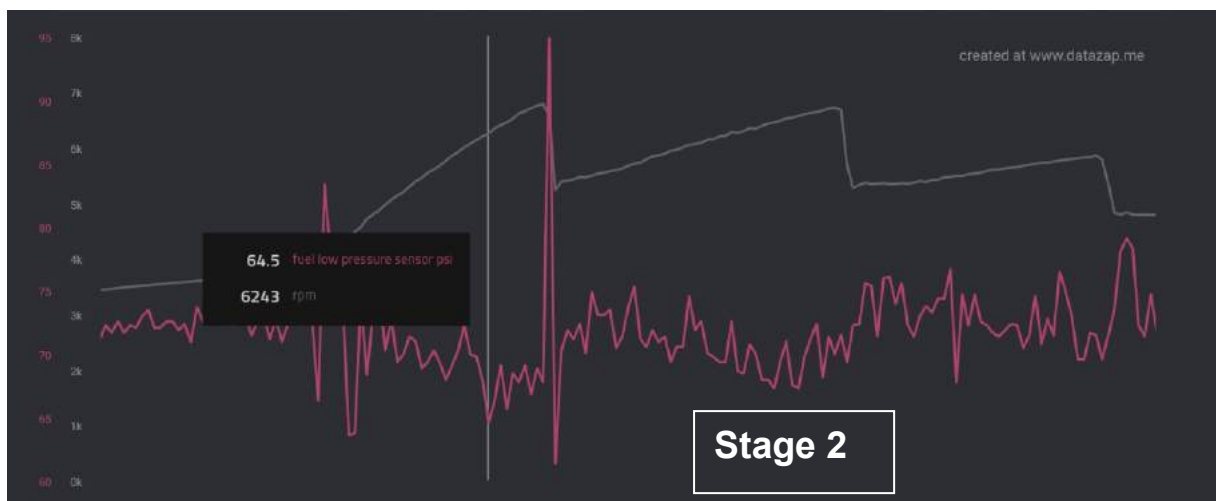


Abb. 57 Datalog-lpfo-st2

Hier ist ein Beispiel für eine voll intakte Vorförderpumpe. Trotz weiterer Leistungssteigerung auf die nächste und letzte Leistungsstufe, bringt diese Pumpe noch über 60 psi. Die vorherige Pumpe hatte zum Vergleich bei Stage 1 nur noch 43,5 psi. Dies ist einer der Fälle, die bei normaler Fahrt nicht aufgefallen wären. Anhand der Logs und der Excel Tabelle<sup>6</sup> konnte reagiert und die Pumpe rechtzeitig ausgetauscht werden.

<sup>6</sup> (siehe Anhang, Seite 8)



## 10.6 Datalog – IAT in °F

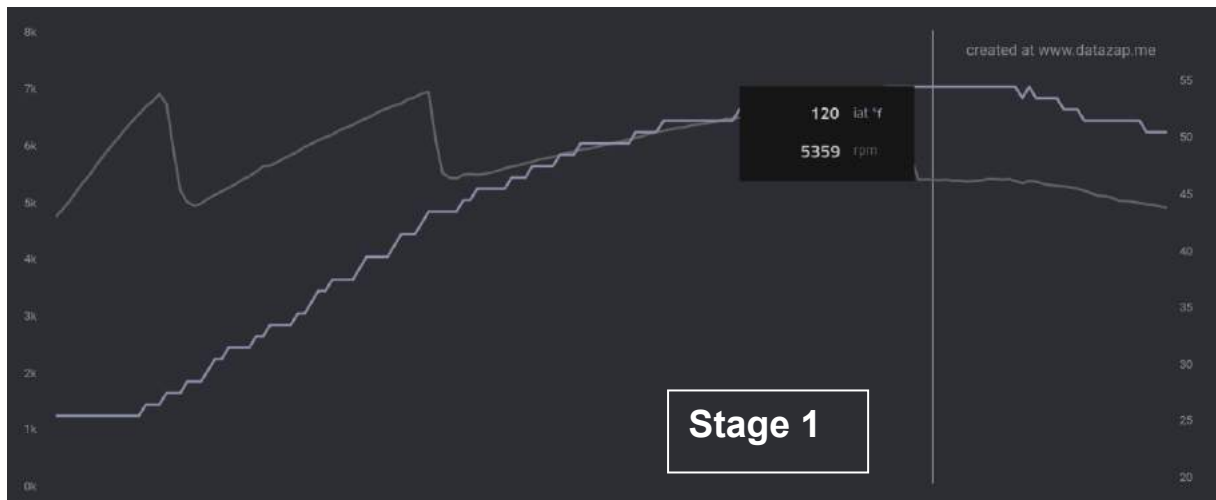


Abb. 58 Datalog-iat-st1

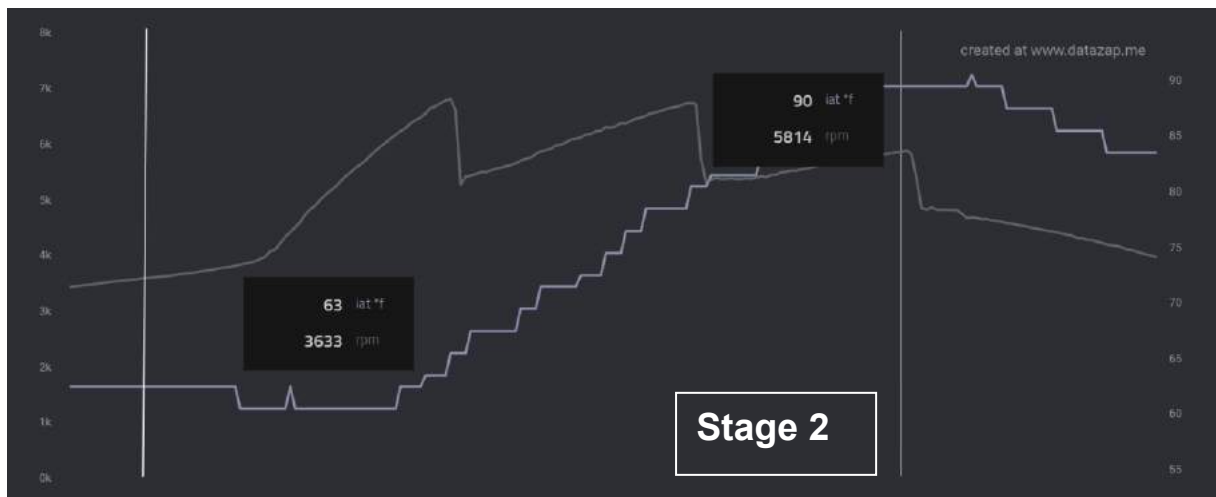


Abb. 59 Datalog-iat-st2

Nachdem der größere Ladeluftkühler eingebaut wurde, kann man erkennen, dass die IAT sich trotz der Steigerung des Ladedrucks, Optimierung des Zündwinkels und der Einspritzmenge und somit Steigerung der Leistung, nicht mehr verändert hat.

Daraus wird ersichtlich, welche Auswirkungen ein größerer Ladeluftkühler auf einen Motor bei der Optimierung hat und dass ein solcher unerlässlich ist.



## 10.7 Leistungsnachweis – Prüfstandslauf

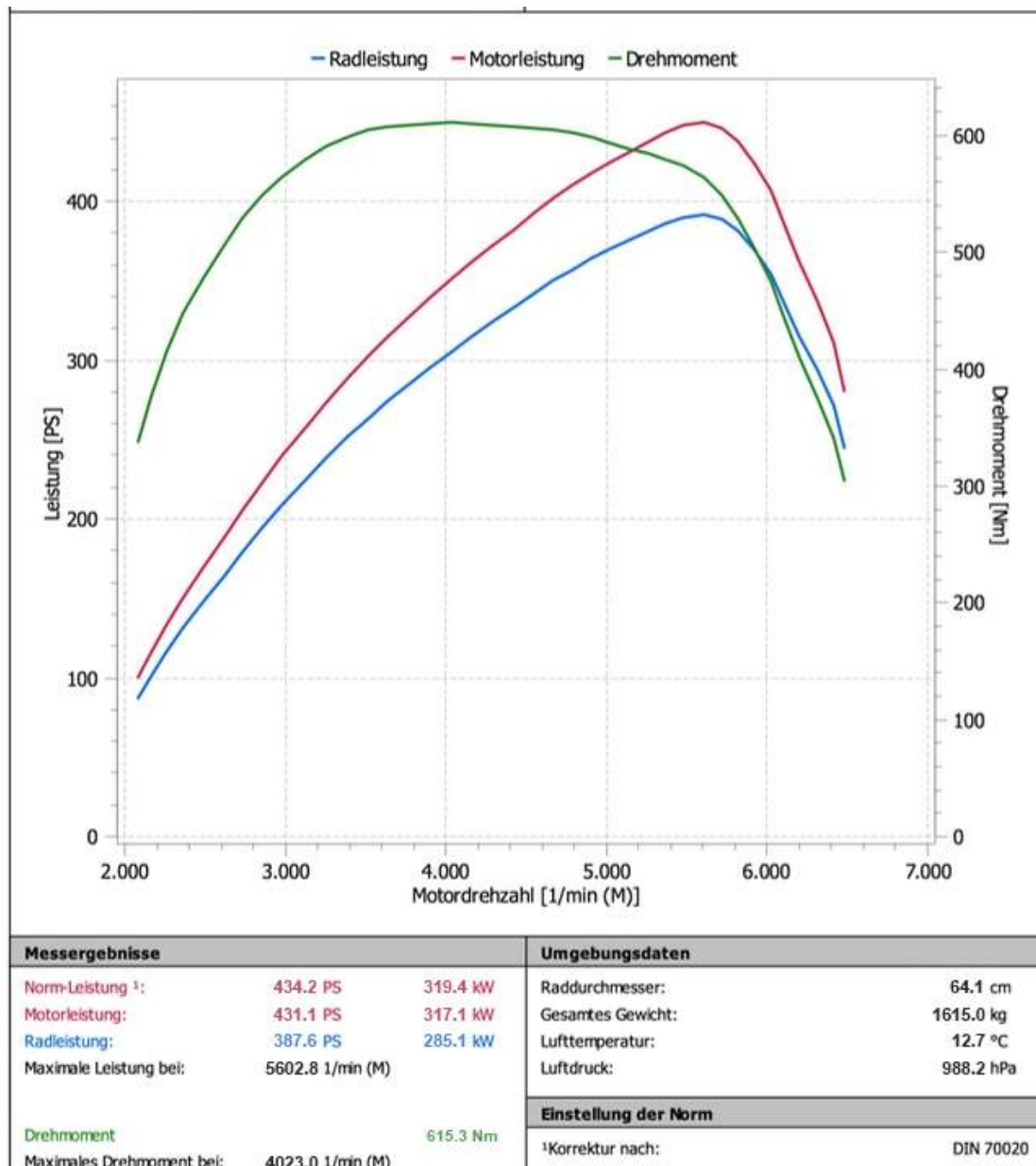


Abb. 60 Leistungsnachweis-st2

Die Leistung konnte von 339,1 PS und einem Drehmoment von 401,6 Nm auf 434,2 PS und 615,3 Nm gesteigert werden. Hier wird ersichtlich wie wichtig die Anhebung der Grenze der zulässigen Nm für das Getriebe war.



## 11 Endergebnis/Fazit

Die Optimierung/Leistungssteigerung eines kennfeldgesteuerten Motors verlangt weit mehr als nur das technische Verständnis über die Funktionsweise. Die verschiedenen Parameter müssen beherrscht und verstanden werden. Kennfelder wie Zündwinkel, Einspritzung und WGDC in Prozent müssen verstanden und beherrscht werden.

Zu all dem benötigt man eine Menge Erfahrung und Konzentration. Die Bearbeitung der Kennfelder ist ohne Erfahrung fast unmöglich.

Das Projekt hat mich persönlich sehr gefordert und meine technischen Kenntnisse über Motoren und deren Kennfelder erheblich gesteigert. Trotz der Schwierigkeiten bei der Informationsbeschaffung und der Aneignung des Wissens, war es ein lehrreiches und anspruchsvolles Projekt, das von Anfang bis zum Ende volle Konzentration und Aufmerksamkeit gefordert hat.

Das gesetzte Ziel wurde auf dem beschriebenen Weg erreicht und sogar unerwartet weit übertroffen. Trotz der großen Abgrenzungen aufgrund des Umfangs ist eine für das Verständnis ausreichende und fachlich anschauliche Dokumentation entstanden, die den Ansprüchen des Technikers gerecht ist.

Im Sinne des Weitblicks dieses Projektes sollte noch erwähnt werden, dass mit größeren Turboladern noch weit mehr Leistung bei diesem Motor erreichbar wäre. Bei Recherchen fanden wir Objekte mit über 500 PS und mehr.

Letztendlich ist es ein standfester und leistungsfähiger Motor, der weit mehr leisten kann als 306 PS und 400 Nm wie er werksseitig angegeben und verkauft wird.

Auch beim Test auf dem Hockenheimring<sup>7</sup> konnte der Motor bestehen. Trotz hoher Außentemperatur von 26 °C wurde das Limit der Ansauglufttemperatur nicht erreicht. Außerdem gab es weder motorseitige Fehler, noch ein Resultieren im Notlauf.

---

<sup>7</sup> (siehe Anhang – XII Bilder Hockenheimring S.10-11)



## 12 Abkürzungsverzeichnis

Folgende Tabelle erklärt die in der Arbeit verwendeten Kürzel in der jeweiligen verwendeten Sprache.

*Tabelle 2 Abkürzungsverzeichnis*

Abb.	Abbildung
accel.	Beschleunigung
afr / air-fuel-ratio	Luft-Benzin-Gemisch
AG	Aktiengesellschaft
amb.	Umgebung
Biturbo	2-Fache Turboaufladung
BMW	Bayrische Motoren Werke
cor.	Korrekturen
crk.	Zündkurve
cyl.	Zylinder
ECU	electronic control unit
H	Relative Luftfeuchte
hpfp / high-pressure-fuel-pump	Hochdruckpumpe
iat	Ansauglufttemperatur
lim.	Limit - Grenze
LL	Leerlauf
lpfp / low-pressure-fuel-pump	Kraftstoffniederdruckpumpe
maf.	Kalkulierte Luftmasse der ECU
max.	maximal
min.	minimal
mot.	Motor
N	Drehzahl
N54B30	Interne Motorbezeichnung
P	Druck
ped.	Pedal



PID-Regler	proportional–integral–derivative controller
pos.	Position
psi	poundforce-per-square-inch / Druck
req.	angefordert
rpm	Umdrehungen pro Minute
stft	Kurzzeitbenzinregelung
T	Temperatur
Tab.	Tabelle
V	Geschwindigkeit
WGDC / waste-gate-duty-cycle	Überdruckventil Auslastungsgrad



## 13 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 CAD-Teilschnittmodell-N54B30 .....	1
Abb. 2 Zeitplan .....	6
Abb. 3 CAD-Teilschnittmodell-N54B30 .....	8
Abb. 4 Downpipes-original-upgrade .....	9
Abb. 5 Downpipes-original-upgrade-2 .....	9
Abb. 6 Downpipes-upgrade-original-Katalysator .....	10
Abb. 7 Downpipes-upgrade-eingebaut      Abb. 8 Downpipes-original-eingebaut	11
Abb. 9 Wagner-Ladeluftkühler-Evo2-Competition .....	11
Abb. 10 PCV-Ventil-Upgrade.....	12
Abb. 11 Zündkerzen-upgrade.....	13
Abb. 12 MHD-Start-Up .....	14
Abb. 13 MHD-Mon.....	14
Abb. 14 KSUIT .....	15
Abb. 15 TunerPro .....	16
Abb. 16 Fuel (Bank1)-original      Abb. 17 Fuel (Bank1)-tuned.....	17
Abb. 18 Fuel (Spool)-ori      Abb. 19 Fuel (Spool)-tuned .....	18
Abb. 20 Max-torque-original-tuned .....	19
Abb. 21 Teilausschnitt-Testlogtabelle.....	20



Abb. 22 Teilausschnitt-Testlogtabelle 2.....	20
Abb. 24 Datalog-mehrfach-parametriert .....	22
Abb. 25 Datalog-Tabelle.....	23
Abb. 27 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st0 .....	25
Abb. 28 Datalog-timing-cyl1-crk-st0 .....	26
Abb. 29 Datalog-rail-pressure-st0.....	27
Abb. 30 Datalog-lpfp-st0.....	28
Abb. 31 Datalog-iat-st0.....	29
Abb. 32 Leistungsnachweis-st0.....	30
Abb. 33 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st0.....	33
Abb. 34 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st1 .....	33
Abb. 35 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st0 .....	34
Abb. 36 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st1 .....	34
Abb. 37 Datalog-timing-cyl1-crk-st0 .....	35
Abb. 38 Datalog-timing-cyl1-crk-st1 .....	35
Abb. 39 Datalog-rail-pressure-st0.....	36
Abb. 40 Datalog-rail-pressure-st1.....	36
Abb. 41 Datalog-lpfp-st0.....	37
Abb. 42 Datalog-lpfp-st1.....	37
Abb. 43 Datalog-iat-st0.....	38





Abb. 44 Datalog-iat-st1.....	38
Abb. 46 Durchflussschaubild-LLK      Abb. 47 Wagner-Evo2-Competition LLK .....	40
Abb. 48 Datalog-Ist-Ladedruck-Soll-Ladedruck-st1 .....	41
Abb. 49 Datalog-Ist_Ladedruck-Soll_Ladedruck-st2 .....	41
Abb. 50 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st1 .....	42
Abb. 51 Datalog-Ist-Ladedruck-WGDC-st2 .....	42
Abb. 52 Datalog-timing-cyl1-crk-st1 .....	43
Abb. 53 Datalog-timing-cyl1-crk-st2 .....	43
Abb. 54 Datalog-rail-pressure-st1.....	44
Abb. 55 Datalog-rail-pressure-st2.....	44
Abb. 56 Datalog-lpfp-st1.....	45
Abb. 57 Datalog-lpfo-st2.....	45
Abb. 58 Datalog-iat-st1.....	46
Abb. 59 Datalog-iat-st2.....	46
Abb. 60 Leistungsnachweis-st2.....	47



## 14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Parameterverzeichnis .....	7
Tabelle 2 Abkürzungsverzeichnis .....	49



## 15 Literaturverzeichnis

Automarken. (18. 04 2018). *Auto-Logos*. Von <http://auto-logos.com/bmw-logo> abgerufen

CYLEX INTERNATIONAL S.N.C. (25. 03 2018). *CYCLEX*. Von <https://web2.cylex.de/firma-home/andreas-albert-schule-1250432.html> abgerufen

Dörksen, H. (20. 04 2018). *Technik Hauptkampus*. Von Hochschule Trier: <https://www.hochschule-trier.de/index.php?id=9939> abgerufen

Hanson, R. (20. 03 2018). *Motorauthority*. Von [https://www.motorauthority.com/news/1030887\\_bmw-acknowledges-n54-engine-turbo-lag-releases-software-update](https://www.motorauthority.com/news/1030887_bmw-acknowledges-n54-engine-turbo-lag-releases-software-update) abgerufen

Kolbenmaschinen Herzog. (26. 04 2018). *Kenngößen und Kennfelder*. Von Kolbenmaschinen Herzog: [https://www.thm.de/me/images/user/herzog-91/Kolbenmaschinen/Kolbenmaschinen\\_3\\_KenngrosenKennfelder.pdf](https://www.thm.de/me/images/user/herzog-91/Kolbenmaschinen/Kolbenmaschinen_3_KenngrosenKennfelder.pdf) abgerufen

N5Tuner. (20. 04 2018). *N5Tuner*. Von [http://n5tuner.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=55\\_56\\_57&products\\_id=355](http://n5tuner.com/index.php?main_page=product_info&cPath=55_56_57&products_id=355) abgerufen

Urotuning. (26. 04 2018). *URO Tuning*. Von <https://www.urotuning.com/Wagner-Competition-EVO2-FMIC-BMW-F2X-F3X-N20-N55-p/200001071.htm> abgerufen

WagnerTuning. (22. 04 2018). *WagnerTuning*. Von <http://www.wagner-tuningshop.de/product/bmw/bmw-1er/competition-ladeluftkuehler-kit-evo-2-bmw-e82-e90-200001044.html> abgerufen

Wiesinger, J. (26. 04 2018). *KFZ-Tech*. Von <https://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/tuning/chiptuning.htm> abgerufen



## 16 Schlusserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Projektarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Ich erkläre weiterhin, dass ich alles gedanklich, inhaltlich oder wörtlich von anderen (z.B. aus Büchern, Zeitschriften, Zeitungen, Lexika, Internet usw.) Übernommene als solches kenntlich gemacht, d.h. die jeweilige Herkunft im Text oder in den Anmerkungen belegt habe. Dies gilt gegebenenfalls auch für Tabellen, Skizzen, Zeichnungen, bildliche Darstellungen usw.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die nachgewiesene Unterlassung der Herkunftsan-gabe als versuchte Täuschung bzw. als Plagiat („geistiger Diebstahl“) gewertet wird. Unkenntnis der in der Wissenschaft gebräuchlichen Regeln gilt nicht als Entlastung.

Ich anerkenne hiermit, dass bei Vorliegen eines Plagiats die Arbeit nicht als selbst-ständige Leistung gewertet wird mit der Folge, dass

1. mein Anspruch auf einen Leistungsnachweis und die Möglichkeit einer Nach-bes-  
serung der Arbeit entfällt:
2. die gesamte Arbeit mit „Ungenügend“ bewertet wird

04.05.2018, *Dennis Klose*

Datum, Unterschrift