

Unterdruckverstellung

Die Unterdruckverstellung ist eine **last¹**abhängige Zündverstellung und ist eine Schlüsselkomponente des Zündsystems, mit einem großen Einfluss auf die Motorleistung. Die Unterdruckverstellung wirkt vor allem bei geringer Last und im Teillastbetrieb im unteren und mittleren Drehzahlbereich bei geschlossener oder teilweise geöffneter Drosselklappe.

Im Teillastbetrieb ist das Benzin Luftgemisch oft magerer und die Zylinderfüllung geringer, dadurch brennt das Gemisch deutlich langsamer. Damit der maximale Verbrennungsdruck trotzdem zum richtigen Zeitpunkt nach OT entsteht, muss die Verbrennung deutlich früher beginnen. Der Motor läuft dadurch sparsamer, kühler und sauberer.

Bei hoher Last oder Vollgas ist die Drosselklappe weit geöffnet. Der Unterdruck fällt stark ab, die Unterdruckregelung wird zurückgenommen.

Die Regelung erfolgt bei klassischen Fahrzeugen über eine Membrandose (Unterdruckdose) am Zündverteiler und verschiebt den Zündzeitpunkt zusätzlich zur Fliehkraftverstellung in Richtung Frühzündung.

Es gibt Unterdruckdosen für Frühverstellung und Unterdruckdosen für Spätverstellung. Bei einer Frühdose erhöht der Unterdruck den Frühzündungsanteil. Bei einer Spätdose wirkt der Unterdruckanteil in die Gegenrichtung und reduziert den Frühzündungswinkel beziehungsweise verschiebt den Zündzeitpunkt Richtung spät.

Es gibt zwei typische Bauarten für den Anschluss einer Unterdruckdose, die sich auf das Regelverhalten auswirken:

Ported Vacuum, der Unterdruckanschluss liegt knapp oberhalb der Drosselklappe.

- im Leerlauf kaum Unterdruck,
- bei leicht geöffneter Drosselklappe Unterdruck,
- typische Lösung für viele Verteiler mit Unterdruck-Frühverstellung.

Die Unterdruckverstellung regelt vor allem im Fahrbetrieb, nicht unbedingt im Leerlauf.

Manifold Vacuum, der Anschluss liegt direkt im Ansaugkrümmer.

- im Leerlauf hoher Unterdruck,
- bei Volllast geringer Unterdruck,
- kann bereits im Leerlauf zusätzliche Frühzündung erzeugen.

Beim Jaguar V12 H.E. wird der Unterdruckanschluss am Ansaugkrümmer verwendet, aber zusätzlich über Ventile reguliert, z.B. im Kaltlauf. Daher sind die Kurven Maximalkurven, die der Definition der Dose folgen und das Regelverhalten des Unterdrucksystems ist nicht berücksichtigt².

Ein dichtes Unterdrucksystem und eine funktionierende Regelung sind die Voraussetzung für die korrekte Funktionsweise der Unterdruckverstellung.

¹ nicht Drehzahl!

² <https://www.jagweb.com/aj6eng/vacuum.php>

Funktion der Druckdose

Die Membran verdreht über eine Zugstange bei steigendem Unterdruck die Kontaktplatte des mechanischen Unterbrechers oder elektronischen Signalaufnehmers in Richtung Frühzündung, wenn der Unterdruck abfällt, nimmt sie diese Zusatz-Frühzündung wieder zurück.

Das ist wichtig, weil bei hoher Last:

- die Zylinderfüllung größer ist,
- der Verbrennungsdruck steigt,
- die Klopfneigung zunimmt,
- zu viel Frühzündung gefährlich wäre.

Die Unterdruckverstellung verhindert Klopfen nicht durch zusätzliche Frühzündung unter Last, sondern gerade dadurch, dass sie bei hoher Last Zündung zurücknimmt.

Die meisten Verstell Dosen sind in Zoll Quecksilbersäule, also inHg³, angegeben. Der Vakuumcode ist normalerweise direkt auf der Dose eingeprägt oder aufgedruckt und folgt diesem Schema:

1. die erste Zahl gibt an, bei welchem Unterdruck die Verstellung beginnt.
2. die zweite Zahl gibt, bei welchem Unterdruck die maximale Verstellung erreicht wird,
3. die letzte Zahl gibt den Gesamtvorschub in Grad an.

Eine Unterdruckdose mit den Werten 5-15-12 beginnt bei 5 inHg, erreicht ihre maximale Verstellung bei 15 inHg und liefert 12° Verteilerverstellung, entsprechend 24° Kurbelwellenverstellung.

Es wichtig die korrekten Parameter für die Unterdruckdose zu kennen, üblicherweise finden sich Angaben im Werkstatthandbuch.

³ inHg = inch of mercury = Zoll Quecksilbersäule

Simulation der Frühverstellung per Unterdruck

Der Unterdruck im Ansaugkrümmer erreicht im Leerlauf ca. 17–20 inHg Unterdruck.

Dokumentierte Messungen ergaben für einen

- pre-H.E. etwa 18–20 inHg,
- an einem 1982er V12 H.E. 19 inHg,
- an einem späteren V12 17 inHg.⁴

Diese Werte sind allerdings Messwerte aus der Praxis und keine allgemeingültige Jaguar-Prüfvorgabe.

Für eine Variante des H.E.-Systems nennt die Jaguar-Systembeschreibung einen geregelten Unterdruck am Verteiler von 11 ± 1 inHg.

Die Unterdruckreglung des V12 begrenzt den vorhandenen Saugrohrunterdruck von etwa 18–20 inHg auf ungefähr 10–12 inHg an der Verteilerdose.

Um die Auswirkungen der Verstellung per Unterdruck für diese Verteiler zu visualisieren, habe ich diese Verstellkurve simuliert und zu den Kurven der Fliehkraftverstellung hinzugefügt.

Für die Simulation der Unterdruckverstellung wurden die Werte in der folgenden Tabelle eingesetzt, die bei einem Benzin Saugmotor in den verschiedenen Lastbereichen in der Praxis auftreten könnten.

Diese Werte beziehen sich auf Saugrohr-/Manifold-Unterdruck.

Lastzustand	typische Drehzahl	Saugrohr-Unterdruck inHg
Starten / sehr niedrige Drehzahl	Anlasserdrehzahl	ca. 0–3
Leerlauf, warmer Motor	ca. 650–900 U/min	ca. 16–22
leichtes Rollen / Teillast / Landstraße	ca. 1.500–3.000 U/min	ca. 12–20
gleichmäßige Autobahnfahrt, geringe Last	ca. 2.000–3.500 U/min	ca. 10–18
leichte Beschleunigung / Steigung	ca. 1.500–3.500 U/min	ca. 5–12
starke Beschleunigung	beliebige Drehzahl	ca. 2–6
Vollgas / hohe Last	beliebige Drehzahl	ca. 0–2
Schubbetrieb, Drosselklappe geschlossen	z. B. 1.500–4.000 U/min	ca. 20–25

Bei Ported-Vacuum-Anschlüssen können insbesondere im Leerlauf deutlich andere Werte anliegen.

Es wurden drei Diagramme für:

- den 36DE12 Verteiler mit Unterdruckdose 5-8-7R⁵,
- den 36DM12 Verteiler mit einer Unterdruckdose 6-10-8 (pre-H.E.) und
- den 36DM12 Verteiler mit der Vakuumdose 5-15-12 (H.E.)

⁴ <https://forums.jag-lovers.com/t/v12-engine-idle-vacuum/133071/10>

⁵ Quelle: <https://www.britishvacuumunit.com/lucas-distributor---to-unit-.html>

der EU-Modelle erstellt. Die gezeigten Werte gelten nur für diese Motortypen, andere Motorkonfigurationen verwenden abweichende Konfigurationen.

Die Bezeichnung der ersten Unterdruckdose zeigt bereits, dass die Unterdruckverstellung des 36DE12 anders verlaufen wird, da es sich um eine Spät-/Retard Version handelt.

Die Unterdruckverstellung ist keine reine Drehzahlfunktion. Die folgenden Diagramme ordnen angenommenen Last-/Unterdruckzuständen bestimmte Drehzahlbereiche zu, um die Gesamtwirkung darzustellen.

Dabei gilt:

Vollastkurve = statische Zündung + Fliehkraftverstellung

Teillastkurve = statische Zündung + Fliehkraftverstellung $\pm$ Unterdruckanteil

Für die Simulationen wurden die Werte der Dosen laut Herstellervorgaben als maximale Verstellung berücksichtigt und nicht die Werte am Ansaugkrümmer.

Bei Fröhndosen ist der Unterdruckanteil positiv, bei Spätdosen negativ.

Hier das Diagramm für einen frühen V12 mit einem OPUS-System:

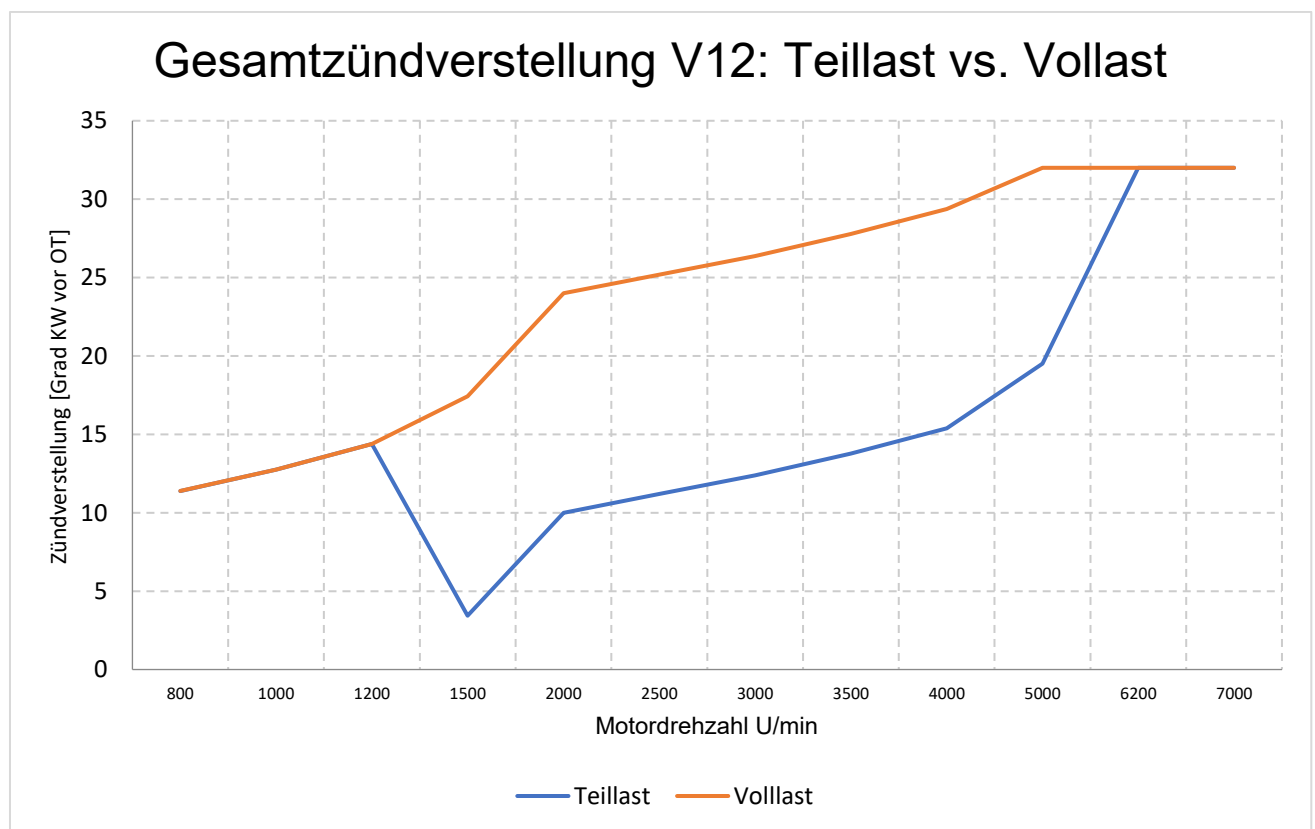


Abbildung 1 Simulierte Fröhverstellungskurve für den 36DE12 mit 10 Grad statischer Zündung und Spätverstellung der Unterdruckdose⁶

⁶ Siehe Ottomotorensteuerung für Young- und Oldtimer, Robert Bosch GmbH, Seite 328

Dieses Diagramm zeigt die simulierten Werte für einen pre-H.E. Motor mit CEI-System:

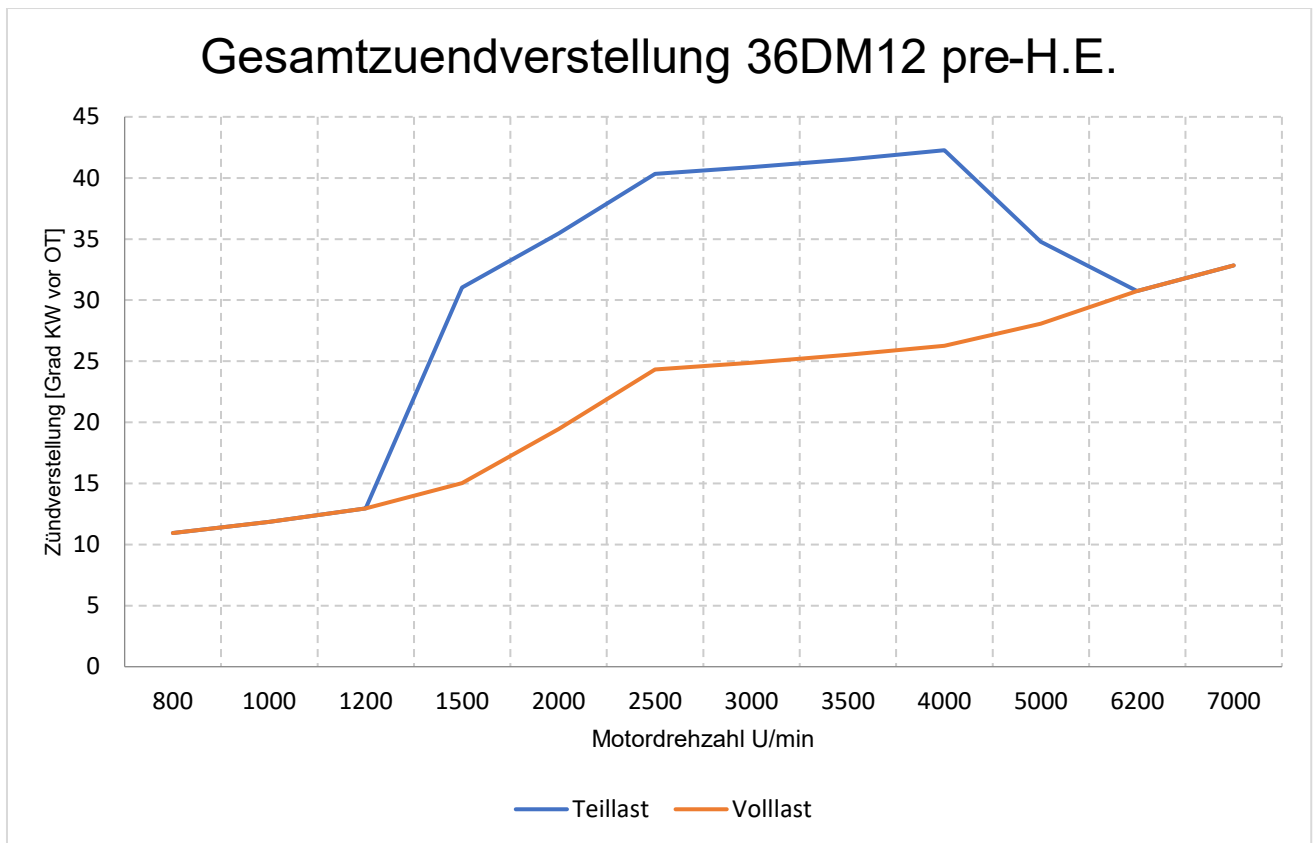


Abbildung 2 Simulierte Frühverstellungskurve für den 36DM12 pre-H.E. mit 10 Grad statischer Zündung

Dieses Diagramm zeigt die simulierten Werte für einen H.E. Motor:

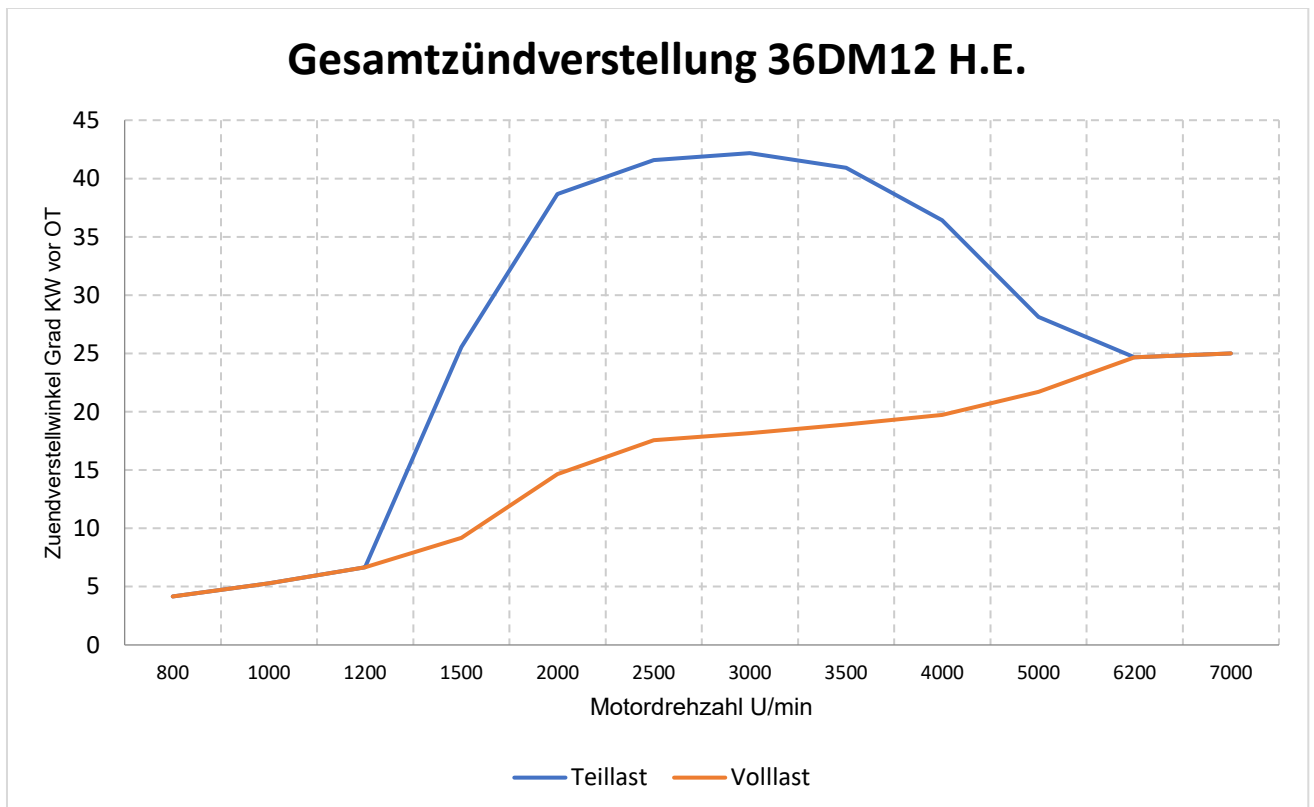


Abbildung 3 Simulierte Frühverstellungskurve für den 36DM12 H.E. mit 4 Grad statischer Zündung

Fazit

Die Unterdruckverstellung ist keine isolierte Zusatzfunktion, sondern ein wesentlicher Bestandteil der gesamten Zündkennlinie. Sie ergänzt die drehzahlabhängige Fliehkraftverstellung lastabhängig und sorgt dafür, dass der Motor im Teillastbetrieb mit der notwendigen Frühzündung läuft, während bei hoher Last zu große Frühzündungswerte vermieden werden.

Gerade nach jahrzehntelanger Betriebszeit sollte die Unterdruckdose deshalb nicht nur auf Dichtheit, sondern auch auf ihre tatsächlichen Verstellwerte geprüft werden. Typische Fehler sind Undichtigkeiten, verhärtete Membranen, schwergängige Mechanik oder falsch kalibrierte Ersatzdosen. Bereits kleine Abweichungen können das ursprüngliche Regelverhalten deutlich verändern.

Nur eine zum Verteiler und Motortyp passende Unterdruckdose, die Anfangswert, Endwert und maximale Verstellung korrekt einhält, stellt das Zusammenspiel aus statischer Zündung, Fliehkraftverstellung und Unterdruckverstellung wieder her.

Eine instand gesetzte oder korrekt kalibrierte Dose kann daher spürbar zu besserer Fahrbarkeit, sauberem Lauf und angemessener Leistung beitragen.