

1. Auswertung Daten_Studenten.xls

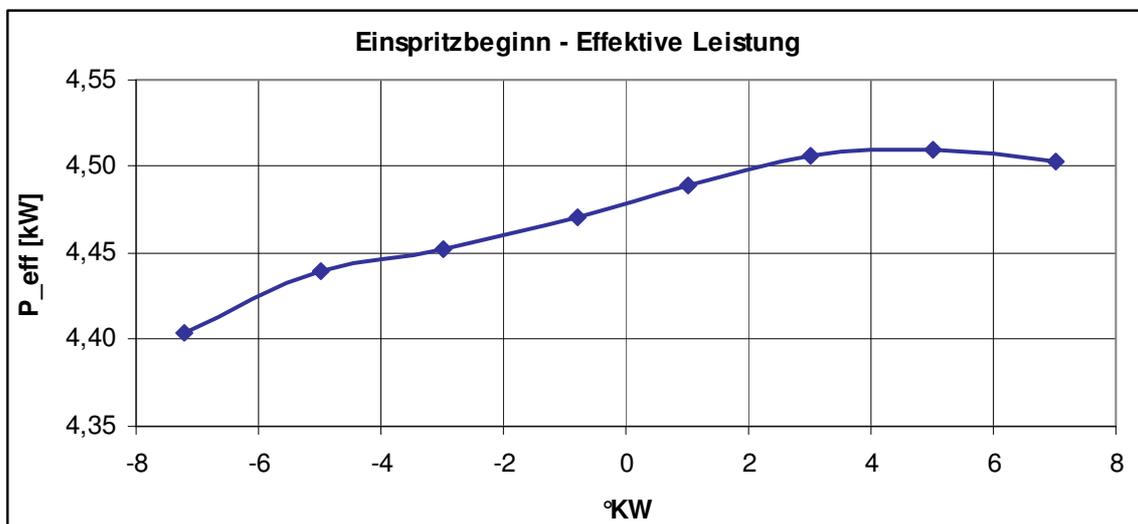
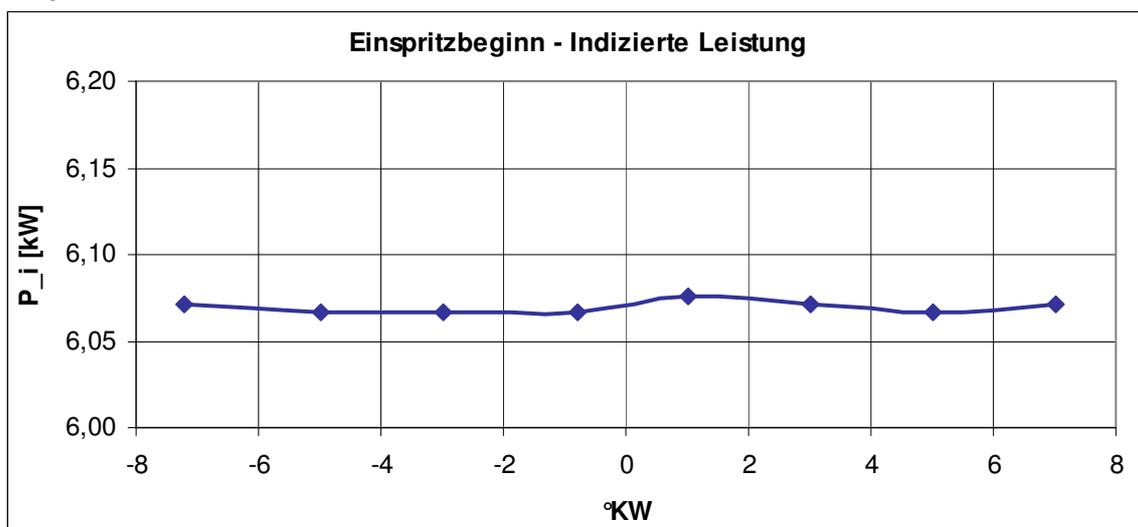
Die indizierte Leistung berechnet sich nach folgender Formel:

$$P_i = 2 \cdot n \cdot p_{mi} \cdot V_H / T_Z$$

Dabei ist n die Drehzahl, p_{mi} der indizierte Mitteldruck, V_H das Hubvolumen und T_Z die Anzahl der Takte pro Arbeitsspiel.

Die Drehzahl n , das Hubvolumen V_H und die Taktzahl T_Z sind konstant, wodurch die indizierte Leistung nur noch eine Funktion von p_{mi} ist. Durch Variation der Kraftstoffmasse wird der indizierte Mitteldruck jedoch annähernd konstant gehalten. Somit ist P_i unabhängig vom Einspritzzeitpunkt.

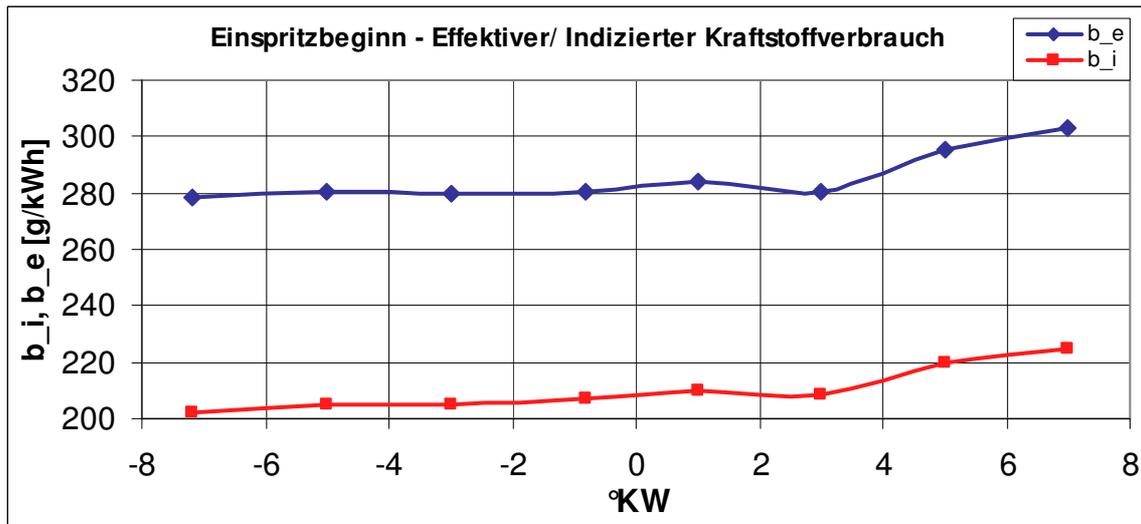
Die effektive Leistung P_e jedoch wird mit späterer Einspritzung tendenziell größer. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass mit früherem Einspritzzeitpunkt auch der Spitzendruck und somit die hydrodynamische Reibung in den Lagern steigt. Die Reibung stellt den bei weitem größten Verlust dar. Somit werden thermodynamische Ursachen für diesen Verlauf von P_e nicht vermutet.



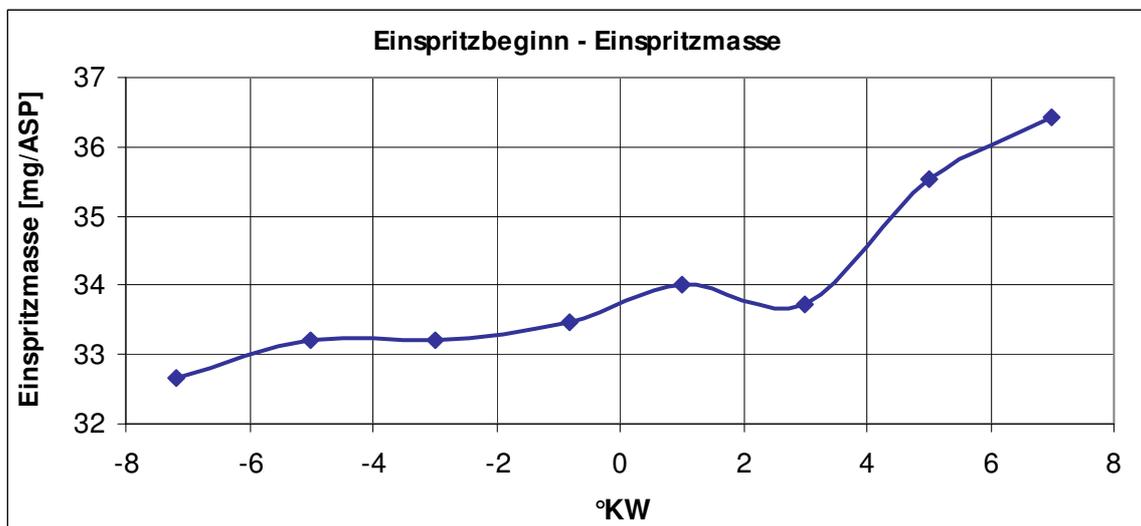
Der effektive Kraftstoffverbrauch b_e und der indizierte Kraftstoffverbrauch b_i berechnen sich nach folgenden Formeln:

$$b_e = \frac{B_e}{P_e} = \frac{m_{Ks}}{\Delta t \cdot P_e} \quad ; \quad b_i = \frac{B_e}{P_i}$$

Bedingt durch Reibungsverluste und Wandwärmeverluste ist der effektive höher als der indizierte Kraftstoffverbrauch. Der Kraftstoffverbrauch ist aufgrund des besseren Wirkungsgrades bei früher Einspritzung geringer.

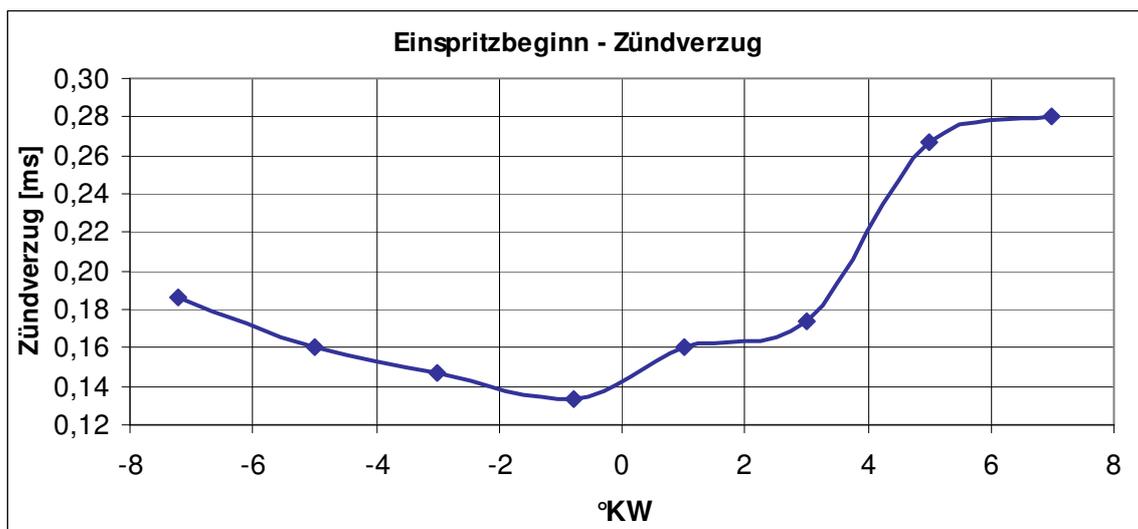


Die Einspritzmasse wird aus oben genannten Gründen erhöht.

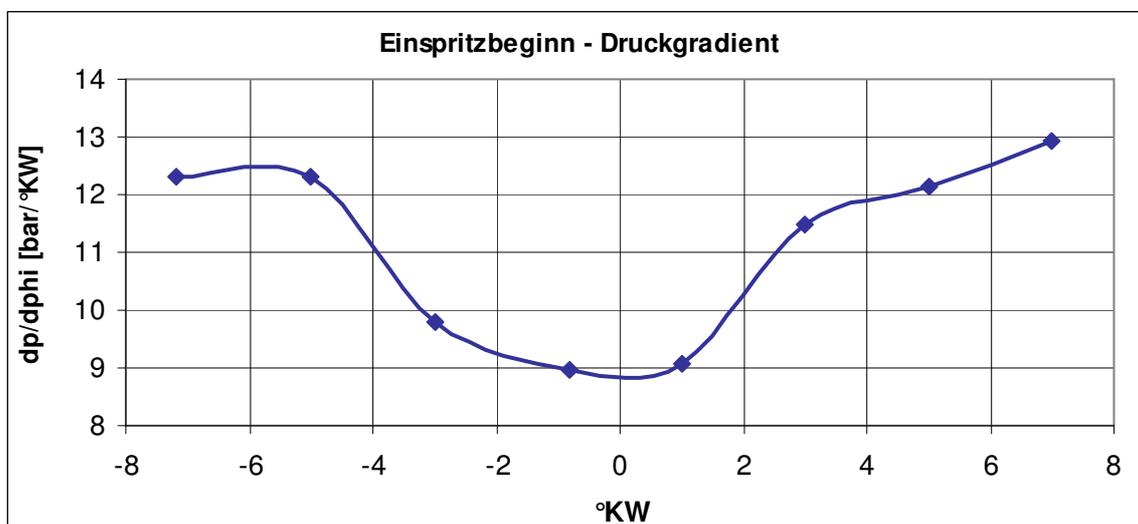


Der Zündverzug berechnet sich aus der Differenz zwischen Brennbeginn und Einspritzbeginn umgerechnet in Millisekunden.

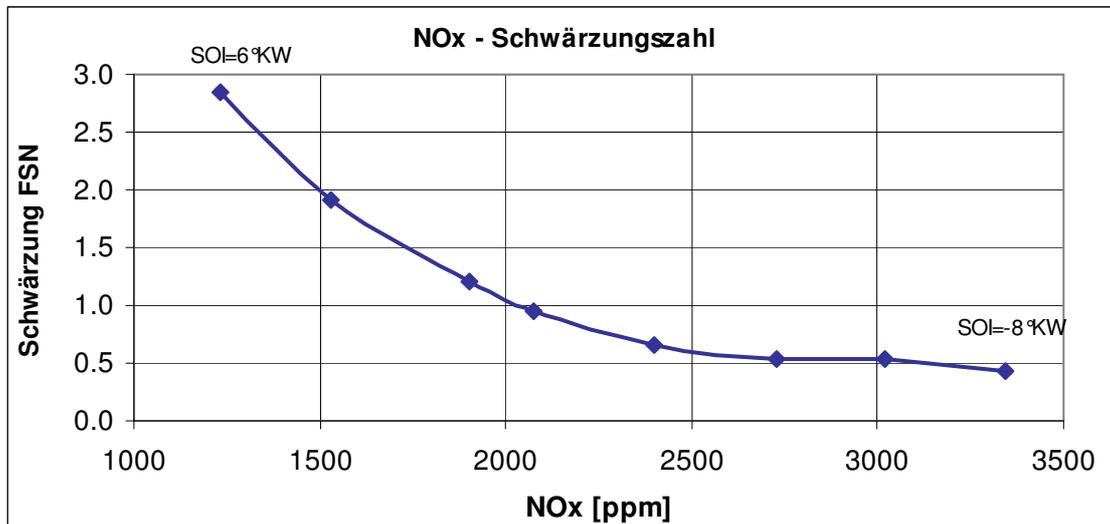
Im Bereich -1°KW vor OT ist der Zündverzug am geringsten, da hier die Temperatur und der Druck ihr Maximum haben. Der Versatz zum OT ist auf thermodynamische Verluste zurückzuführen. Der Anstieg bei früheren Einspritzzeitpunkten ist auf das geringere Druck- und Temperaturniveau zurückzuführen. Dieser Effekt wird bei späteren Einspritzzeitpunkten von einem zusätzlichen überlagert. Durch die erhöhte Kraftstoffmasse wird mehr Kraftstoff verdampft und so die Brennraumtemperatur niedriger. Damit ist der Anstieg zu späteren Einspritzzeitpunkten größer.



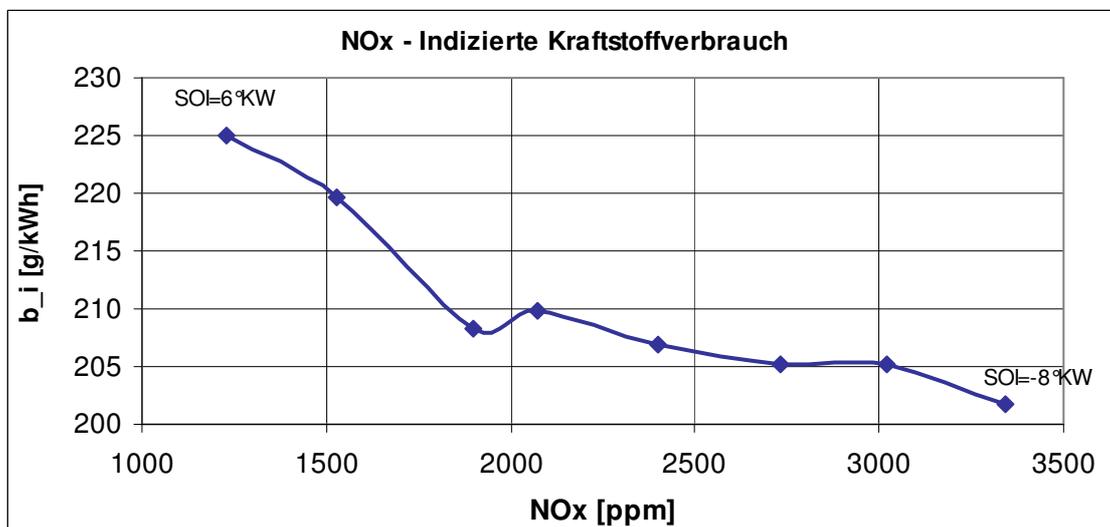
Der Druckanstieg $dp/d\phi$ ist direkt abhängig vom Zündverzug und hat damit einen ähnlichen Verlauf. Wird nach OT eingespritzt wird entgegen dem Druckabfall durch die Bewegung des Kolbens nach unten, der Verbrennungsdruck aufgebaut. Damit ist der Spitzendruck nicht so hoch. Auch der Druckgradient wäre bei dieser Einspritzmasse zu einem früheren Einspritzzeitpunkt noch höher.



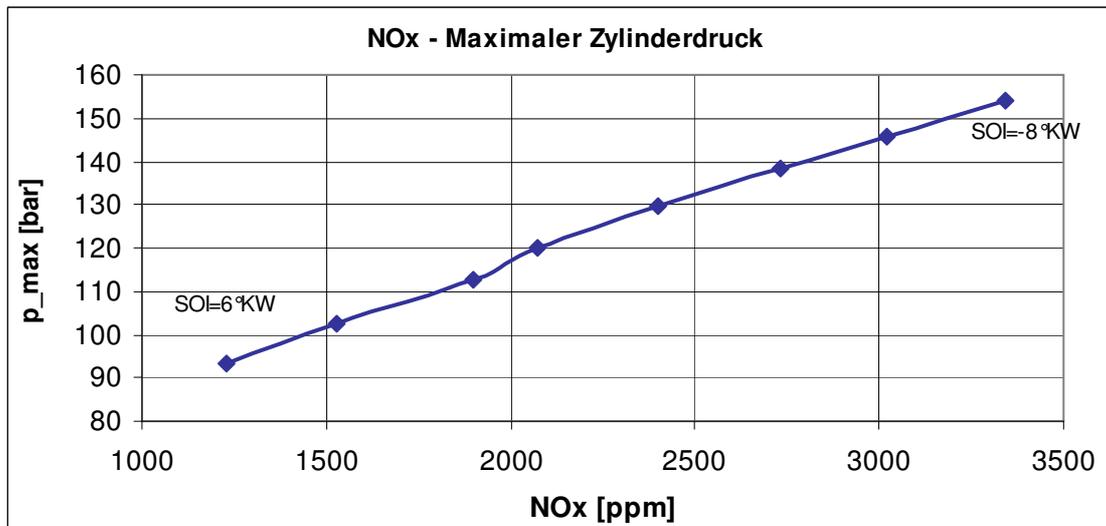
Schwärzungszahl FSN und der NO_x-Anteil sind gegenläufig. Mit späterem Einspritzzeitpunkt gehen die NO_x-Werte aufgrund niedrigerer Brennraumtemperaturen nach unten. Hingegen ist dann auch die Zeit für die Oxidation des Kohlenstoffs geringer was zu einer höheren Schwärzung führt.



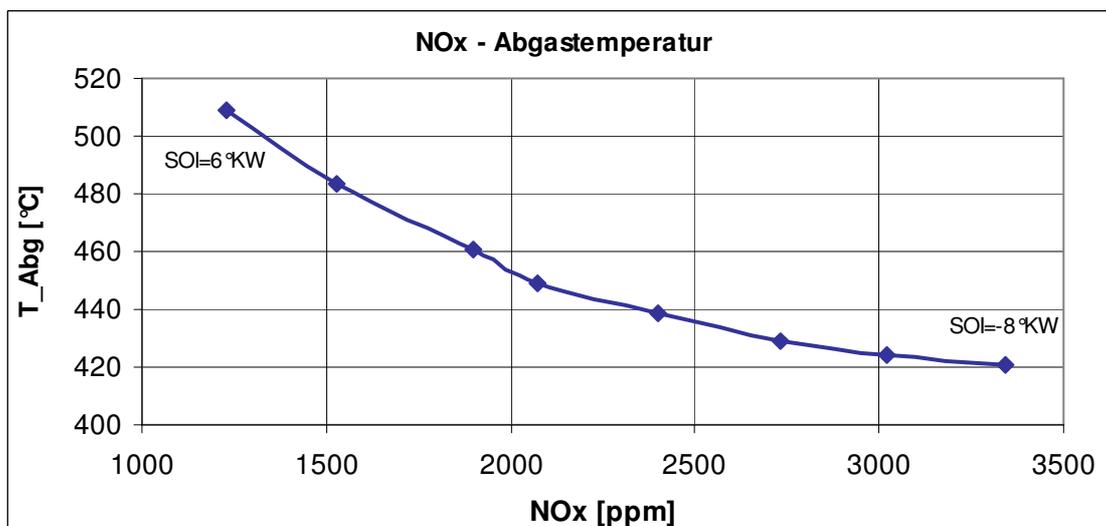
Auch der indizierte Kraftstoffverbrauch und der NO_x-Anteil sind gegenläufig. Der Kraftstoffverbrauch ist aufgrund des besseren Wirkungsgrades bei früher Einspritzung geringer.



Der NO_x – Anteil nimmt mit steigendem maximalen Zylinderdruck zu, da mit höheren Drücken auch höhere Temperaturen entstehen, was wiederum höhere NO_x–Werte nach sich zieht.



Mit fallender Abgastemperatur steigt die NO_x Konzentration. Die Abgastemperatur steigt bei später Einspritzung an, was auf die geringere Zeit für den Wandwärmeübergang zurückzuführen ist.



Wichtigste Erkenntnis aus den Diagrammen ist, dass Ruß und NO_x nicht gleichzeitig beliebig minimierbar sind, sondern abhängige und gegenläufige Größen sind (Stichwort: Zielkonflikt). So kann man entweder ein Optimum beider Größen suchen, oder die Schadstoffe herausfiltern. Da der Einspritzzeitpunkt bei verschiedenen Arbeitspunkten variiert wird, kann nur der zweite Weg eine sinnvolle und wirksame Methode der Emissionsminderung sein.

2. Arbeitsprozessdaten

Die Diagramme zeigen den Druckverlauf, den Verlauf des Raildruckes, die Messwerte der Injektornadel, sowie die Injektorspannung zum einen über den Kurbelwinkel im Bereich von -30° bis 40° um den OT und zum anderen über die Zeit.

2.1 Datei „dv0491“

Die Ansteuerung der Nadel beginnt ca. 8° vor OT mit einem kurzen Verzug beginnt sich die Nadel zu heben und ist ca. 4° vor OT voll geöffnet. Etwa hier beginnt auch die Entzündung des Gases, was am Druckanstieg im Diagramm zu sehen ist. Der Druckverlauf ist stetig und steigt auf ca. 160bar (7° n. OT) an. Gleichzeitig mit dem Öffnen der Nadel und ausströmen von Kraftstoff bricht der Raildruck zusammen und fällt um 150bar ab. Etwa bei Maximalhub ist das Minimum erreicht. Anschließend pendelt dieser sich wieder auf einen Wert ein. Der zeitliche Mittelwert liegt aber trotzdem ca. 80bar unter dem Ausgangsdruck, was auf eine verzögerte Nachförderung aus der Pumpe zurückzuführen ist.

2.2 Datei „dv0494“

In den Diagrammen sind dieselben Verläufe, wie in 2.1 dargestellt. Dabei sind die Verläufe der Injektornadel und des Raildruckes prinzipiell gleich. Die Ansteuerung der Nadel erfolgt aber erst 3° vor OT. Damit wird der Brennbeginn auf 2° nach OT geschoben, d.h. die Verbrennung wird „verschleppt“. Der Druckanstieg ist flacher und es wird nur ein Maximaldruck von 130bar (10° n. OT) erreicht. Das Drehmoment wird geringer sein als im Fall 2.1, da die Einspritzzeit bei gleichem Druck konstant ist, d.h. konstante Kraftstoffmasse.

2.3 Datei „dv0497“

Der Unterschied zu den anderen Dateien besteht wiederum im Einspritzzeitpunkt. Dieser liegt bei ca. 5° nach OT. Damit wird auch der Brennbeginn auf 8° nach OT geschoben. Die Verbrennung ist noch später, als bei 2.2 und es wird nur ein Maximaldruck von 110bar erreicht. Das Drehmoment müsste noch niedriger liegen, da wiederum die Einspritzzeit bei gleichem Druck konstant ist, d.h. konstante Kraftstoffmasse. Der Verlauf des Raildruckes ist ähnlich dem in 2.1 und 2.2 .

Diagramme für Messungen dv0491, dv0494, dv0497
Zylinderdruck, Raildruck, Nadelhub, Injektorspannung über dem Kurbelwinkel

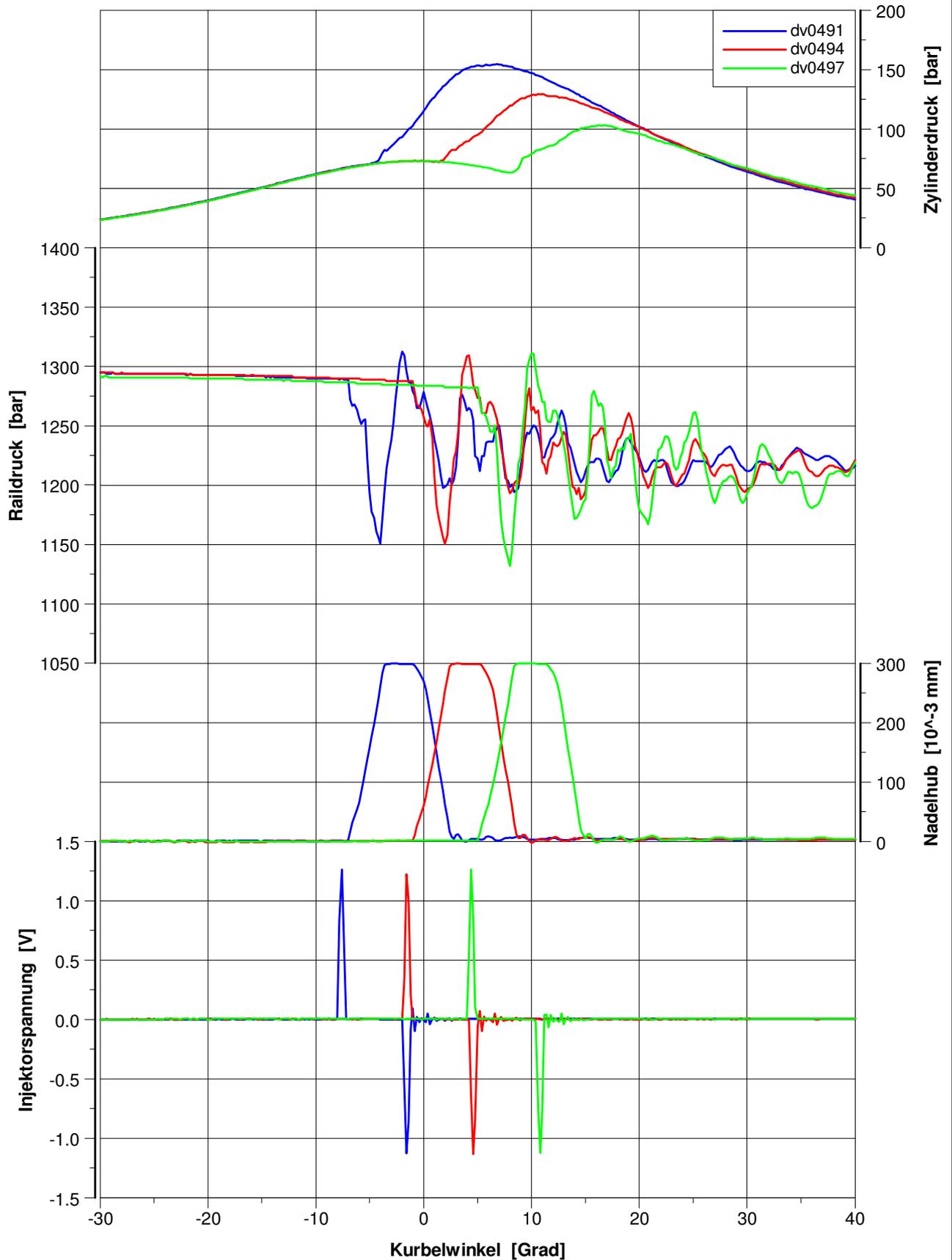
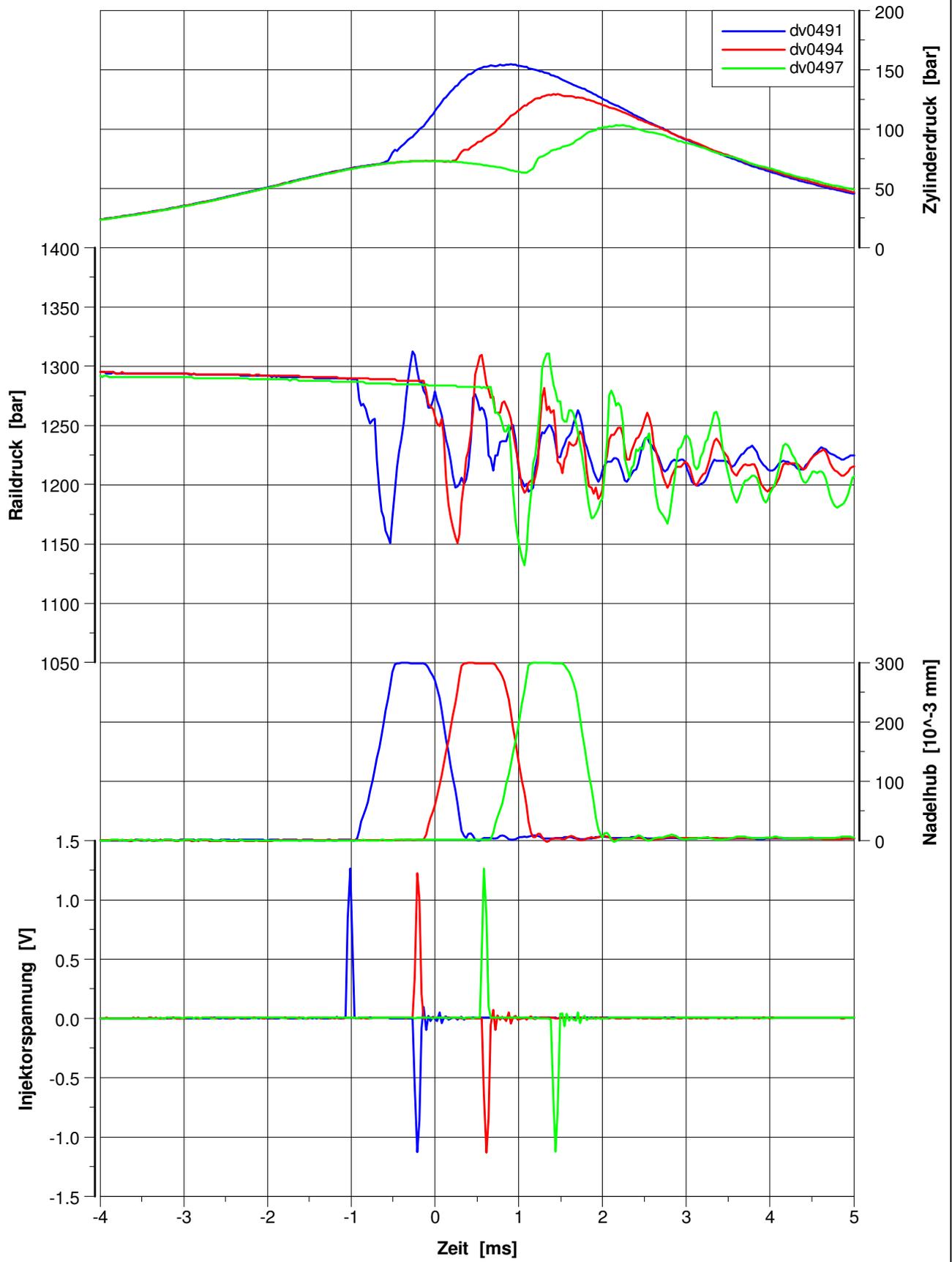


Diagramme für Messungen dv0491, dv0494, dv0497
Zylinderdruck, Raildruck, Nadelhub, Injektorspannung über
der Zeit



3. Dieselmotor Kennfelder

Kennfeld spezifischer Kraftstoffverbrauch und Kennfeld Stickoxidemission

