

Geschichten aus dem Ölsumpf



Die Gegengewichte der Kurbelwelle des Traction 11 CV

1. Veranlassung

Anlässlich der von mir 1981 durchgeführten Motorrevision an meinem 11 Legere bekam ich eine Kurbelwelle von einem DS 19-Motor zu Gesicht. Der Kurbeltrieb der beiden Motoren 11 CV und DS 19 ist im Wesentlichen identisch. Auffallend und nicht zu übersehen waren die um ca. 50% grösseren Gegengewichte an der DS 19-Kurbelwelle (Abbildung 1). Was ist der Grund? Die von 50 mm (11 CV) auf 54 mm (DS 19) Durchmesser vergrößerten Zentralzapfen bedingen keine Änderung der Gegengewichte. Mit den DS 19-Schrägpleueln, welche gegenüber den Tractionpleueln 76 Gramm mehr Drehmasse haben, können die um ca. 300 Gramm schwereren Gegengewichte auch nicht erklärt werden. Ich beschloss, der Sache auf den Grund zu gehen.

2. Zusammenfassung

Die rotierenden Massen einer Kurbelwelle können durch geeignete Gegengewichte zu 100% ausgeglichen werden. Die Gegengewichte müssen den um die Kurbelzapfen exzentrisch angeordneten Massen entgegenwirken. Man erreicht dadurch weniger Lager- und Zapfenabnutzung, eine bessere Schmierung der Lagerstellen, ein leiseres Motorgeräusch und eine längere Lebensdauer der Maschine. Dieser Massenausgleich ist bei der DS 19-Kurbelwelle bestens erfüllt. Hier sind die angeschraubten

Gegengewichte so dimensioniert, dass sich die rotierende Kurbelwelle nicht durchbiegt. Im Bereich des Kurbeltriebs unterscheidet sich die DS 19-Kurbelwelle nur durch dickere Zentralzapfen von der 11er-Kurbelwelle. Wangen, Kurbelzapfen und Zylinderabstände sind identisch. Bei der 11 CV-Kurbelwelle sind die angeschraubten Gegengewichte zu klein. Die rotierende Kurbelwelle möchte sich durchbiegen. Dadurch werden die Hauptlager unnötig beansprucht, die Schmierung ist schlechter und das Betriebsgeräusch lauter. Eine Berechnung zeigt den Unterschied zwischen der DS 19 und der 11er-Kurbelwelle. Die Abmessungen zur Herstellung von Stahlgegengewichten für einen 100%igen Drehmassenausgleich sind in diesem Bericht enthalten. Das Ergebnis ist ein auffallend ruhiger Motorlauf. Drei gänzlich unterschiedliche Personen haben das Laufgeräusch meines revidierten Motors folgendermassen beschrieben: „Das ist jetzt einmal ein Motor der ganz ruhig läuft.“

1. Ein Zollbeamter (Grenzwächter) der tagtäglich Motorlärm ausgesetzt ist.
2. Eine ältere Dame, welche an meiner stehenden Traction vorbeiging.
3. Ein Garagist, welcher Tractions regelmässig repariert. Mit meinem 100% Drehmassenausgleich Motor bin ich in 4 Jahren 26.000km gefahren.



3. Durchbiegung der Kurbelwelle ohne Gegengewichte

Dass sich besagte Kurbelwelle ohne Gegengewichte beim Rotieren durchbiegt, kann auch ohne Berechnung klargemacht werden (Abbildung 2).

Auf Massen ausserhalb der Kurbelwellenrotationsachse wirken Fliehkräfte. Die beim Rotieren entstehenden resultierenden Fliehkräfte liegen alle in der Kröpfungsebene der Kurbelwelle (in der Zeichnungsebene von Abbildung 2). Auf die mittleren beiden Kurbelzapfen wirken die Fliehkräfte auf die eine Seite s und auf die äusseren beiden Kurbelzapfen auf die andere Seite t . Dadurch verbiegt sich die Kurbelwelle wie in Abbildung 2 dargestellt.

4. Berechnung des Drehmassenausgleichs

Man denke sich die Kurbelwelle in Teilmassen aufgeteilt (Abbildung 3):

- Teilmasse $i=1$ Kurbelzapfen mit Pleuedrehmasse
- Teilmasse $i=2$ Gerade Wangen
- Teilmasse $i=3$ Schräge Wangen
- Teilmasse $i=4$ Gegengewichte

Auf jede Teilmasse i wirkt eine Fliehkraft F_i .

$$F_i = m_i \cdot r_i \cdot \omega \cdot \omega$$

m_i = Teilmasse

r_i = Radius zum Teilmassenschwerpunkt

ω = Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle

Die Fliehkräfte F_1 im Abstand a_1 bilden ein Kräftepaar ($F_1 \cdot a_1$) welches im Gegen-Uhrzeigersinn auf die Kurbelwelle wirkt. Dieses Kräftepaar bewirkt eine Durchbiegung wie in Abbildung 2 dargestellt. Im gleichen Sinn wirken die Kräftepaare 2 und 3. Entgegen den Kräftepaaren 1 bis 3 bewirken die Fliehkräfte F_4 eine Verdrehung im Uhrzeigersinn. Die Drehmassen sind ausgeglichen, wenn die Summe der Kräftepaare 1 bis 3 im Gleichgewicht ist mit dem Kräftepaar 4.

Weil die Winkelgeschwindigkeit ω und auch die Dichte (wenn man vernachlässigt, dass Gegengewichte und Kurbelwelle nicht aus demselben Werkstoff gefertigt sind) für alle Teilmassen konstant sind, müssen wir nur noch die Volumina der Teilmassen betrachten.

Für 100% Drehmassenausgleich muss sein:

$$\text{Summe } (V_i \cdot r_i \cdot a_i) = 0, \quad i = 1 \text{ bis } 4$$

V_i = Volumen der Teilmasse i

a_i = Abstand der Fliehkräfte F_i

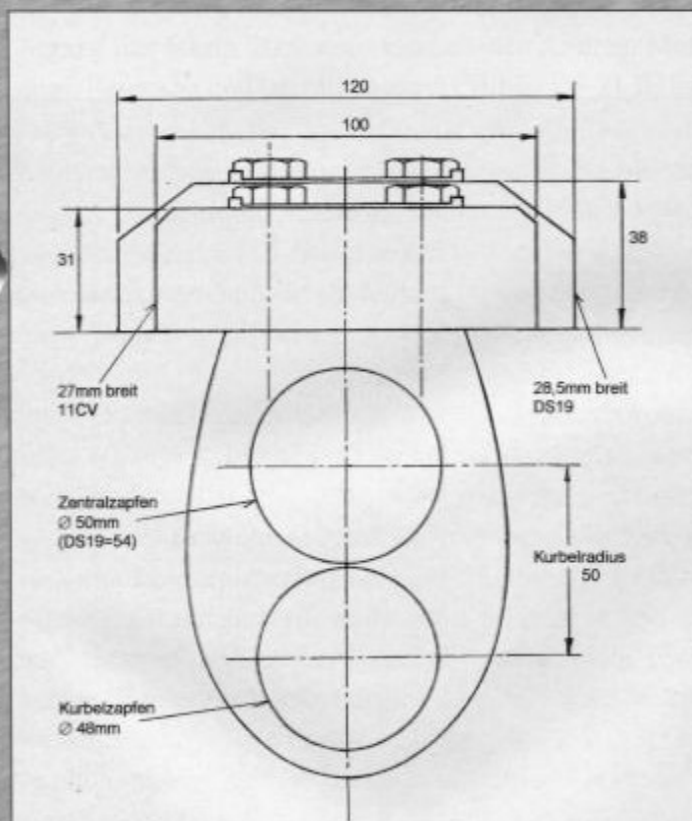
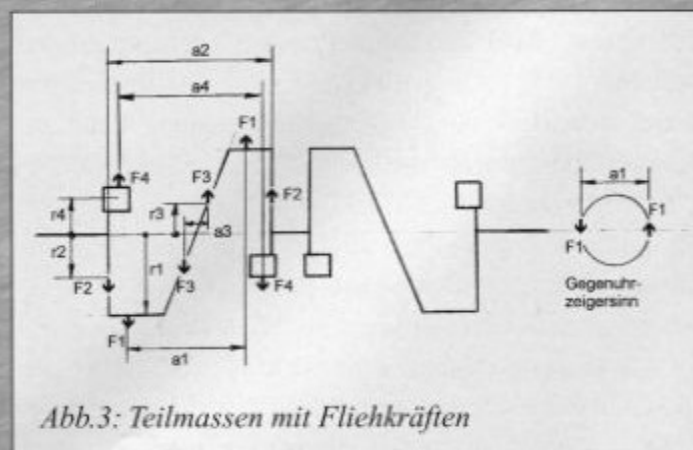
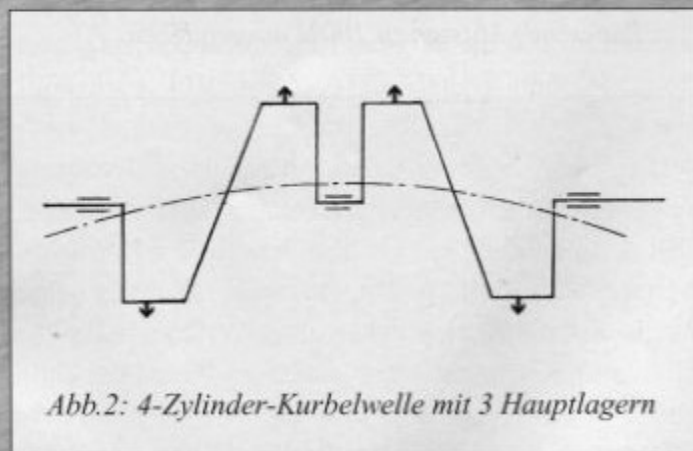


Abb.1: Original-Gegengewicht 11CV und grösseres Gegengewicht DS 19



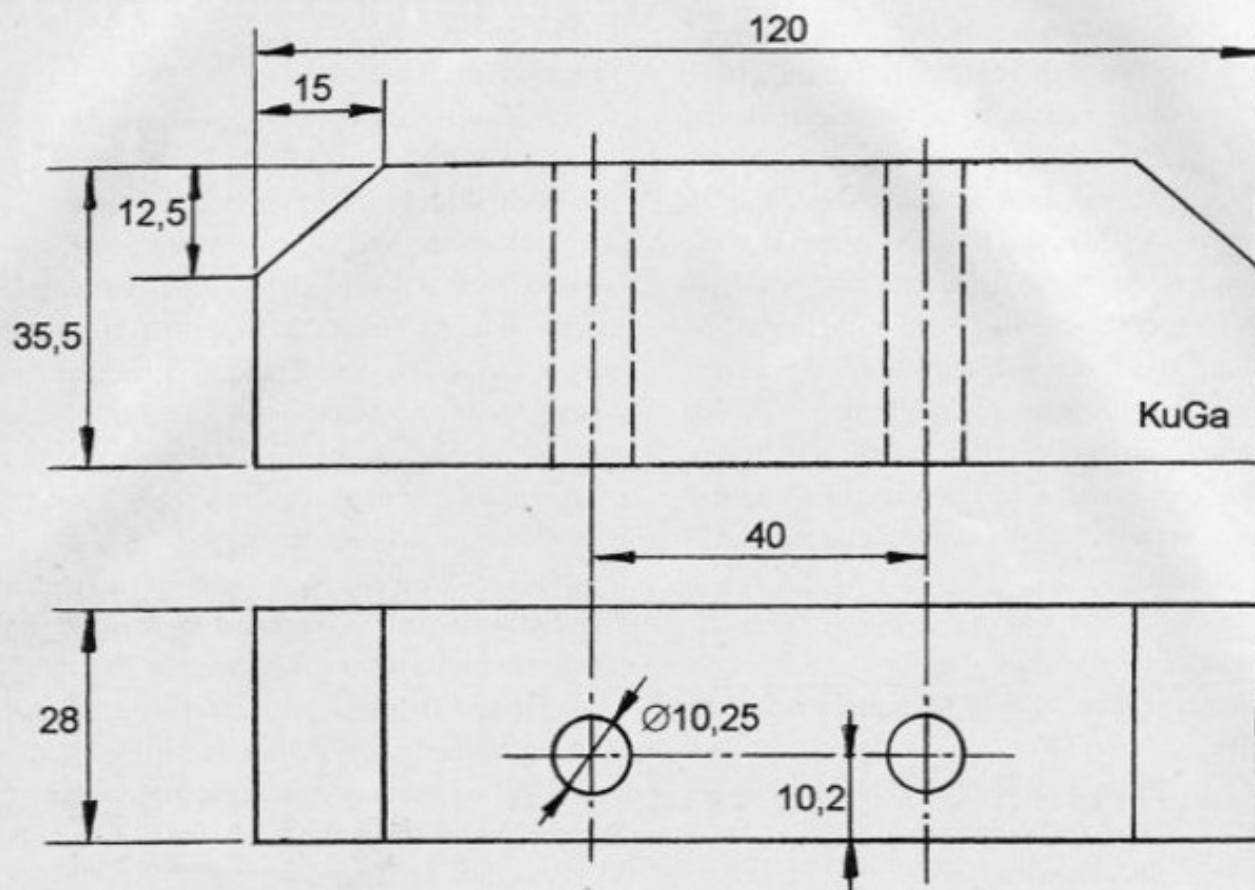


Abb.4: Stahl-Gegengewichte für die 11 CV-Kurbelwelle mit DS 19-Schrägpleueln
Rotierende Massen zu 100% ausgeglichen

Die zahlenmässige Auswertung zeigt, dass diese Bedingung für die DS19 Kurbelwelle mit genügender Genauigkeit erfüllt ist. Die DS19-Kurbelwelle wird sich daher unter Fliehkrafteinwirkung nicht durchbiegen.

Dass sich die 11 CV-Kurbelwelle um mehr als das Hauptlagerspiel durchbiegt, wird durch die Praxis bestätigt.

Bei zwei stark abgenutzten 11er-Kurbelwellen waren die mittleren Hauptlagerzapfen in Richtung Kröpfung um 0,04mm mehr abgenutzt als quer zur Kröpfung.

Vermutung: Beim Auslegen der 11 CV-Gegengewichte wurde die Pleuelldrehmasse nicht berücksichtigt.

5. Stahl-Gegengewichte für 100% Drehmassenausgleich im 11 CV Motor

Die Originalgegengewichte sind sowohl beim 11er wie beim DS19 aus Grauguss (billigster Werkstoff) gefertigt. Da bei einer 11er-Motorrevision vernünftigerweise DS 19-Schrägpleuel mit geteilten Lager-schalen eingebaut werden, sind die Stahlgegengewichte nach Abbildung 4 nur „exakt“ für Schrägpleuel gültig. Die grössere Dichte von Stahl gegenüber Grauguss ist berücksichtigt.

6. Auswuchten

Die Gegengewichte dürfen nur an der ausgebauten Kurbelwelle gewechselt werden. Drei Auswucht-

gänge sind erforderlich (dynamisch auf Auswuchtmaschine):

1. Komplette Kurbelwelle mit angeschraubten neuen Gegengewichten.
2. Kurbelwelle kompl. mit Schwungrad.
3. Kurbelwelle kompl. mit Schwungrad und Kupplung

7. Weitere Massnahmen

Für ein leiseres Motorgeräusch müssen auch die Lagerspiele, Steuerkette, Ventiltrieb, Vergaser und Zündeneinstellung in Ordnung sein.

Kurt Gasser

E Mail: kurt.gasser@mowag.ch