

Verbesserung der Motorschmierung am 11CV Traction Avant

1981 habe ich meinen 11CV-Motor revidiert. Dabei habe ich ca. 90 Stunden allein für die Ölpumpe aufgewendet: Recherchen, Bau von Vorrichtungen, Berechnungen, Messungen.

1 Wie viel Öldruck braucht ein Motor?

Anlässlich einer von der BP (Schweiz) AG anfangs 80er-Jahre organisierten Informations- und Fachtagung mit dem Thema „Möglichkeiten der Energieeinsparung im Fahrzeugmotor“, schreibt P.D. in einem Bericht über Leichtlauföl:

Der Öldruck wird in den engsten Schmierpalten der Gleitlager selbst bei Leerlaufdrehzahl auf Werte bis 500 bar aufgebaut. **Dabei ist es völlig belanglos, ob das Öl mit 1 oder 2 bar in das Lager eintritt. Das Öl muss nur da sein, nach dem Anlassen möglichst schnell.**

Fahrzeug	Reparaturhandbuch	Motoröl	Öltemperatur °C	Motordrehzahl U/min	Öldruck bar
11CV	Citroën TA 1948+1951	SAE 20	65 20	2000...3000 1)	2...2,25 2,3...2,5
DS19	Citroën Nr.465, 1957	SAE 20	55...65	2000 1)	3,5 2)
ID19	Bucheli Nr.59	SAE 20	60	2000 1)	3,5 2)
ID20...DS23	Bucheli Nr.217/218	20W40/50	60	2000	3,8 3)
D	Citroën Nr.583 I	20W40/50	60	2000	3,8
D Limousinen	Bedienungsanleitung Citroën 1973	20W40/50	60...65	4000 1000	4...5 0,55
D Breaks	Bedienungsanleitung Citroën 1974	20W40/50	60...65	4000 1000	4...5 0,55

Öldrucke der wassergekühlten Citroën-Motoren 1934...1975

- 1) Mit Vorrichtung MR 1811 an ausgebaute Ölpumpe gemessen, Pumpendrehzahl = halbe Motordrehzahl
- 2) nach DS19-Bucheli-Reparaturanleitung Nr.53 und ID19-Bucheli Nr.59:
Seitenspiel der Pumpenzahnräder max. 0,05 mm (**weniger Spiel >> weniger Verluste!!!**)
Längsspiel der Pumpenwelle 0,03 bis 0,1 mm
- 3) Ein Öldruckschalter erleuchtet eine Kontrolllampe, wenn der Druck auf 0,475 bar absinkt und erlöscht diese wieder, wenn der Druck auf **ausreichende 0,6 bar** angestiegen ist.

Die Öldrucke der Nachfolgemotoren der Traction und auch der Motoren anderer Marken liegen über 3 bar. Um das Öl nach dem Anlassen möglichst schnell an den Schmierstellen zu haben scheint ein etwas höherer Öldruck die Motorlebensdauer zu erhöhen.

2 Vergleich der Ölpumpen 11CV und DS/ID19

Bei gleicher Pumpendrehzahl 1000/min erreichen die beiden Pumpen mit Motoröl SAE20 bei 60 bis 65°C gegen eine 2,8mm-SOLEX-Düse (Vorrichtung MR 1811) verschiedene Drücke. Die 11er-Pumpe 2 bar und die DS-Pumpe 3,5 bar. Bis auf die Überdruckregulierschraube sind die beiden Pumpen äusserlich nahezu identisch. Die DS-Pumpe ist 10mm länger. Das Innere der beiden Zahnradpumpen scheint gleich zu sein: Gleicher Zahnrad-Ø, gleiche Zahnradbreite, gleiche Zähnezahl! Warum erreicht die DS/ID19-Pumpe bei gleichen Bedingungen einen höheren Druck?

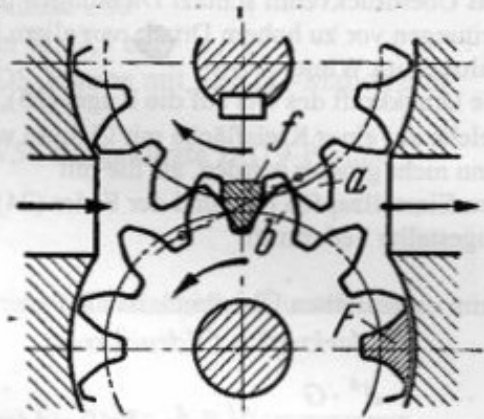
Erklärung: Durch eine genauere Fertigung wurden die Bauteile der DS-Pumpe mit weniger Spiel hergestellt, weniger Ø-Spiel und weniger Seitenspiel (der Zahnräder) als bei der 11er-Pumpe. Nur in den Bucheli-Reparaturanleitungen Nr.53 und 59 konnte ich einen Hinweis auf das Seitenspiel finden. Die Seiten- und Ø-Spiele meiner Pumpen habe ich nicht kontrolliert. Dass bei weniger

Spiel, also bei einem höheren Wirkungsgrad der Druck grösser wird, kann auch aus den Berechnungsformeln für Zahnradpumpen ersehen werden.

3 Theorie zur Zahnradpumpe und Vorrichtung MR 1811

Mit nur zwei Gleichungen (1) und (2) können die wesentlichen Vorgänge beschrieben werden.

Pumpengleichung	$Q=2 \cdot z \cdot f \cdot b \cdot n \cdot \lambda$	(1)
Q	cm^3/min	Fördermenge
z	$= 10$	Zähnezahl eines Rades
f	$\approx 0,22 \text{ cm}^2$	Zahnquerschnittsfläche senkrecht zur Drehaxe, Höhe durch Kopfkreis des Gegenrades begrenzt.
b	$= 2,5 \text{ cm}$	Zahnradbreite
n	U/min	Pumpendrehzahl
λ		Liefergrad, Wirkungsgrad (Pumpen mit wenig Spiel erreichen $\lambda=0,9 \dots 0,95$)



Die mit unseren Pumpen, für die Bedingungen MR 1811, maximal möglichen Fördermengen können wie folgt berechnet werden:

$$Q_{\max} = 2 \cdot 10 \cdot 0,22 \text{ cm}^2 \cdot 2,5 \text{ cm} \cdot 1000 / \text{min} \cdot 1 = 11000 \text{ cm}^3 / \text{min} = 11 \text{ lt} / \text{min}$$

Den Zusammenhang zwischen Druck und Fördermenge, für die Messvorrichtung MR 1811, zeigt der Energiesatz für strömende Flüssigkeiten nach Bernoulli:

Energiesatz	$\frac{p}{\gamma} = \frac{c^2}{2 \cdot g} \cdot 1,25$	(2)
-------------	---	-----

$p = 2 \text{ bar}; 3,5 \text{ bar}$	Druck vor der Düse bei Pumpendrehzahl 1000/min bei 11CV; DS19
$\gamma = 0,84 \text{ p} / \text{cm}^3$	Spezifisches Gewicht des Öls 20W40 bei 65°C nach ASEOL
$c =$	Strömungsgeschwindigkeit in der Düse
$g = 981 \text{ cm} / \text{s}^2$	Fallbeschleunigung
1,25	beinhaltet zusätzlich zur Strömungsenergie 25% Energieverlust wegen schroffem Übergang beim Eintritt in 280er-Düse

$c = Q / A$	(3)
-------------	-----

$$A = (0,28 \text{ cm})^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0,0616 \text{ cm}^2 \quad \text{Düsenquerschnittsfläche}$$

(3) eingesetzt in (1) und aufgelöst nach Q:

Fördermenge	$Q = A \cdot \sqrt{\frac{p \cdot 2 \cdot g}{\gamma \cdot 1,25}}$	(4)
-------------	--	-----

11CV-Pumpe	$Q_{11} = 0,0616 \text{ cm}^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 2 \cdot 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}{0,84 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3} \cdot 1,25}} = 119 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 7130 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 7,1 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$
------------	---

DS/ID19-Pumpe	$Q_{19} = Q_{11} \cdot \sqrt{\frac{3,5 \text{ bar}}{2 \text{ bar}}} = 7,1 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \cdot 1,32 = 9,4 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$
---------------	---

Die DS19-Pumpe fördert 32% mehr als die 11CV-Pumpe

Wirkungsgrad 11CV-Pumpe

$$\lambda_{11} = \frac{7,1 \text{ lt/min}}{1 \text{ lt/min}} = 0,65 = 65\%$$

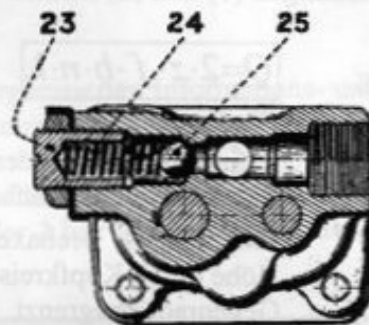
Wirkungsgrad DS/ID-19-Pumpe

$$\lambda_{19} = \frac{9,4 \text{ lt/min}}{1 \text{ lt/min}} = 0,85 = 85\%$$

4 Das Überdruckventil

Das Überdruckventil schützt Dichtungen und Leitungen vor zu hohem Druck, vor allem beim Kaltstart im Winter.

Die Druckkraft des Öls auf die Kugel (25), welche auf einer Kreisfläche mit $\varnothing 8\text{mm}$ wirkt, kann nicht grösser werden, als die mit dem Einstellzapfen (23) und der Feder (24) eingestellte Federkraft.



Beim eingestellten Überdruck ist die Federkraft im Gleichgewicht mit der Öldruckkraft.

Federkraft = Öldruckkraft

$$\frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_w} \cdot \Delta l = A_a \cdot p_a \quad (5)$$

$d = 1\text{mm}$

Federdrahtstärke

$D = 8,5\text{mm}$

Mittlerer Windungsdurchmesser

$n_w = 12$

Anzahl federnde Windungen

$L_u = 40\text{mm}$

ungespannte Federlänge

$\Delta l = 7\text{mm}$

Zusammendrückung der Feder (24)
an meiner 11CV-Pumpe war die Feder 7mm zusammengedrückt

$G = 8300 \text{ kp/mm}^2$

Gleitmodul des Drahtmaterials

$A_a = (0,8\text{cm})^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0,503\text{cm}^2$ auf dieser Fläche drückt das Öl auf die Kugel (25)

(5) aufgelöst nach p_a ergibt Formel für den eingestellten Überdruck:

$$p_a = \frac{(1\text{mm})^4 \cdot 8300 \text{ kp/mm}^2}{8 \cdot (8,5\text{mm})^3 \cdot 12} \cdot \frac{7\text{mm}}{0,503\text{cm}^2} = 1,96 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \approx 2\text{bar}$$

Bei meiner 11CV-Pumpe war der Überdruck also auf 2 bar eingestellt. Die Überdruckventilfeder der untersuchten DS19-Pumpe habe ich nicht ausgebaut und nicht ausgemessen.

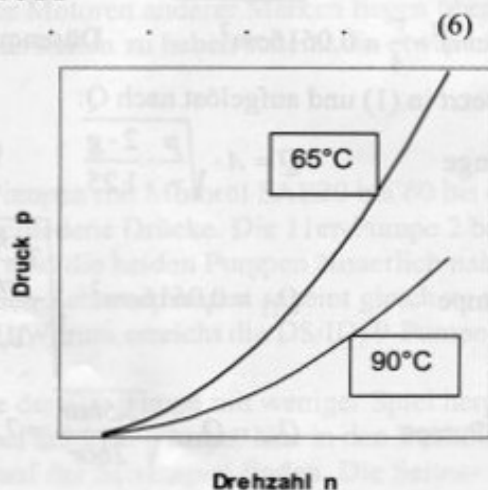
5 Druckmessungen mit der Vorrichtung MR 1811

(1) eingesetzt in (3) ergibt c proportional n.

(6) eingesetzt in (2) ergibt p proportional n^2

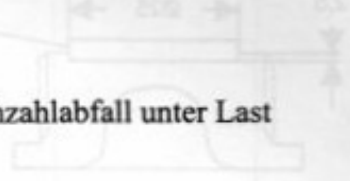
Der Druck ist also proportional zum Quadrat der Drehzahl. D.h. wenn für eine konstante Öltemperatur die Drücke bei verschiedenen Drehzahlen gemessen werden, und die Messpunkte als Druck über der Drehzahl in ein Diagramm eingetragen werden, dann liegen die Messpunkte auf einer quadratischen Parabel.

Die Messungen mit der Vorrichtung MR 1811 dienen nicht nur zum Einstellen des Überdruckventils. Diese Messungen liefern die wichtigsten Informationen über den Zustand der Pumpe.



6 Öldruckmeseinrichtung MR 1811 bestehend aus:

1. Support MR 3503, selbst gebautes Triebwerkgestell
2. Ölwanne, die Original-Ölwanne wird verwendet
3. Pumpensupport, selbst angefertigte Befestigungstraverse
zur Fixierung der Pumpe an der Ölwanne
4. Abflussrohr, selbst gebaut mit Manometeranschluss und Solexdüse 280
5. Manometer, erste Messungen an 11CV-Pumpe mit Manometer bis 2,5 bar
Messungen an DS-Pumpe mit FESTO-Manometer
6. Elektrische Heizplatte und alte Pfanne
7. Motoröl je ca. 4 lt: 20W50 für 11CV- und DS19-Pumpe, 15W50 für gekürzte DS19-Pumpe
8. Temperaturmessfühler
9. Bohrmaschine als Pumpenantrieb
10. Drehzahlmesser; Drehzahlen im Leerlauf gemessen,
bei Temperaturen unter 68°C erfolgte Drehzahlabfall unter Last



7 Messbereiche und ausgemessene Pumpen

- Öltemperatur: 12°C (ungeheizter Bastelraum im Winter) bis 91°C
- Pumpendrehzahlen: 735/min bis 2500/min
- Drei Pumpen: Original 11CV-Pumpe, Original DS19-Pumpe, DS19-Pumpe 10mm gekürzt
- Überdruckventil vorgefundene „Original“-Einstellung und ganz verschlossen

8 Ergebnisse der Druckmessungen

Das nachfolgende Diagramm „Ergebnisse der Druckmessungen an Ölpumpen“ zeigt deutlich die Überlegenheit der DS19-Pumpe. Mit der 11CV-Pumpe werden bei verschlossenem Überdruckventil höchstens 2,4 bar erreicht. Die DS19-Pumpe schafft einen Druck von 4 bar. Das Überdruckventil meiner DS19-Pumpe ist offensichtlich auf 4 bar eingestellt, wie das nachfolgende Diagramm zeigt. Mit dieser Einstellung habe ich die DS19-Pumpe in meinen 11CV-Motor eingebaut.

9 Anpassen der DS19-Pumpe für den 11CV-Motor

Zerlegung der DS19-Pumpe nach 11CV-Reparatur-Handbuch, Reparatur Nr. 103/13 oder nach DS19-Reparatur-Handbuch Nr. 465, Arbeitsgang Nr. 714/21. Das Antriebsritzel nicht mit einem Abzieher abziehen wegen Zahnbeschädigung. Besser ist das Ritzel am ganzen Umfang durch eine Büchse abstützen und die Pumpenwelle mit einem Dorn ausschlagen.

Tragrohr unten und Pumpenwelle oben 10 mm kürzen durch abdrehen. Siehe Abbildung Hauptabmessungen.

Gekürzte DS19-Pumpe wieder zusammenbauen. Sie passt jetzt in die 11CV-Ölwanne.

10 Flankierende Massnahmen

Weitere Massnahmen zur Verbesserung der Motorschmierung und deren Überwachung:

10.1 Rotierende Massen der Kurbelwelle zu 100% ausgeglichen

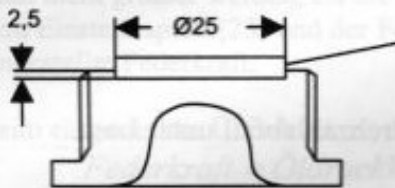
Siehe Veröffentlichungen in: CTAC-Mitteilungen 1/2003
CVC-Veteran 2.2003
JOURNAL TRACTION Nr.4 2003 Traction Norvège

10.2 Hauptlagerspiel auf 0,06mm eingestellt

Nach umfangreichem und sehr zeitaufwendigem Ausmessen der Aufnahmebohrungen und Lagerschalen der Hauptlager, und auf verschiedene Durchmesser geschliffene Zentralzapfen, und Unterlegen der Hauptlagerschalen wurde ein Hauptlagerspiel von ca. 0,06mm erreicht. Eine Zusammenfassung dieser Arbeit wurde veröffentlicht in CTAC-Mitteilungen 5/1993.

10.3 Eingebaute Instrumente zur Überwachung der Motorschmierung

- Manometer:** Druckabnahme vor der Steigleitung zum Zylinderkopf
Instrument im Armaturenbrett
- Öldruckschalter:** Auf der rechten Motorseite befindet sich der Hauptölkanal auf Anlasserhöhe. Der Kanal ist vorn und hinten mit einer 6kt-Schraube SW23 verschlossen. In die hintere Verschlusschraube kann der Öldruckschalter eingebaut werden.
Kontrolllampe im Armaturenbrett
- Öltemperaturfühler:** Fühler im hinteren Bereich der Ölwanne, Instrument im Armaturenbrett
- Magnet im Ölablassstopfen:**



Vertiefung gefräst 2,5xØ25
Magnet (zum Aufhängen von Zeichnungen)
anziehende Seite des Magneten gegen das Öl
eingeklebt mit Loctite 241

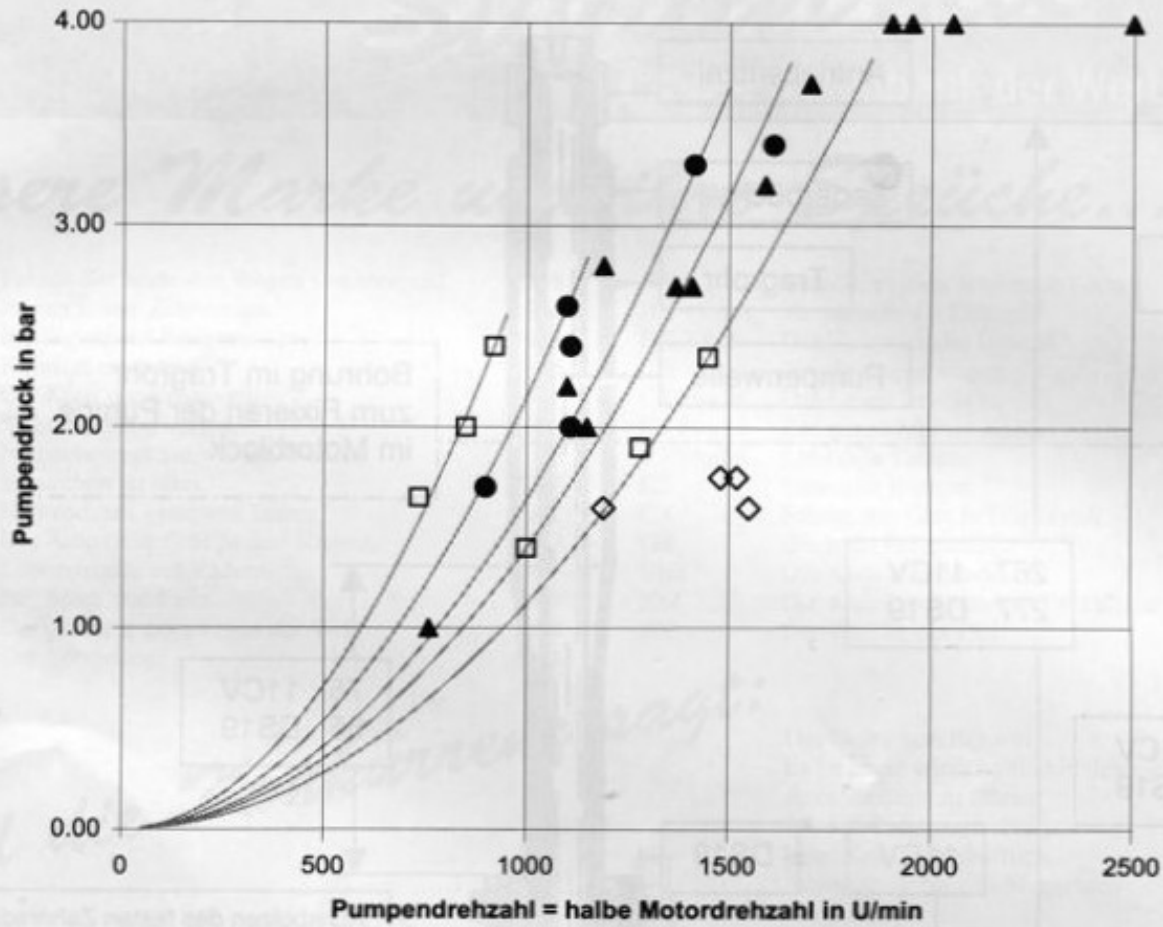
11 Praxiserfahrungen

Nach einem Jahr, während dem nahezu die gesamte Freizeit für Motorrevisionsarbeiten draufging, baute ich den Motor wieder ein. Ich bin gefahren, gefahren und nochmals gefahren. Leider kann ich über das Zusammenspiel von Drehzahl, Öltemperatur und Öldruck nichts Konkretes berichten, weil ich nichts protokolliert habe. Rund um die Motorschmierung funktionierte einfach alles bestens. Mit meinem revidierten und mit DS19-Pumpe ausgerüsteten Motor bin ich in vier Jahren 25000 km gefahren. Wegen Getriebeschaden und anderer Projekte/Prioritäten steht meine Légère seither. Der Motor lief derart ruhig, dass sich die Leute umdrehten! Das tiefe Motorgeräusch ist wahrscheinlich vor allem auf den 100%-Drehmassenausgleich und das gleichmässige Hauptlagerspiel zurückzuführen. Ich verwendete stets preisgünstiges, legiertes Mehrbereichsöl 15W40. Mittlerer Ölverbrauch war 0,5 lt/1000km. Ölwechsel machte ich jeweils nach 3000 km. Am Ablassmagneten hatte sich jeweils ein Fettigel gebildet. Nach dem Verstreichen auf weissem Papier waren die mikroskopisch kleinen Abriepteile von Auge nicht erkennbar.

12 Höhere Lebensdauer durch höheren Öldruck

Jedes Mal, wenn ein Motor kalt angelassen wird dauert es eine kurze, gefährliche Zeitspanne bis Öldruck und Schmierfilm aufgebaut sind. Dies hat ca. 90% aller Abnutzungen zur Folge. Daher sind diejenigen Demonstrationen, wo man vorführt wie ein lange stillgestandener Motor sofort anspringt, möglichst zu unterlassen. Das Betätigen des Handhebels bei der Traction-Benzinpumpe ist gar nicht schlau. Das Gegenteil ist gut für einen lange stillgestandenen Motor: Zündung NICHT einschalten. Mit Anlasser Motor drehen. Dabei wird Öl an Schmierstellen gepumpt und Schmierfilme können bei tiefer Drehzahl aufgebaut werden. Die Aufbauzeitspanne kann mit dem 60 % höheren Druck der DS19-Pumpe verkürzt werden. Zusätzlich wird im Fahrbetrieb die Kühlung verbessert, weil 32 % mehr durchströmendes Öl auch mehr Wärme abführt.

Ergebnisse der Druckmessungen an Ölpumpen



11CV-Pumpe
Überdruckventil in Origineleinstellung

n (U/min)	p (bar)	T (°C)
1190	1.6	29
1480	1.75	27
1520	1.75	25
1550	1.6	13

11CV-Pumpe Überdruckventil verschlossen

n (U/min)	p (bar)	T (°C)
735	1.65	12
850	2	12
920	2.4	12
1000	1.4	60
1280	1.9	60
1450	2.35	60

DS19-Pumpe original

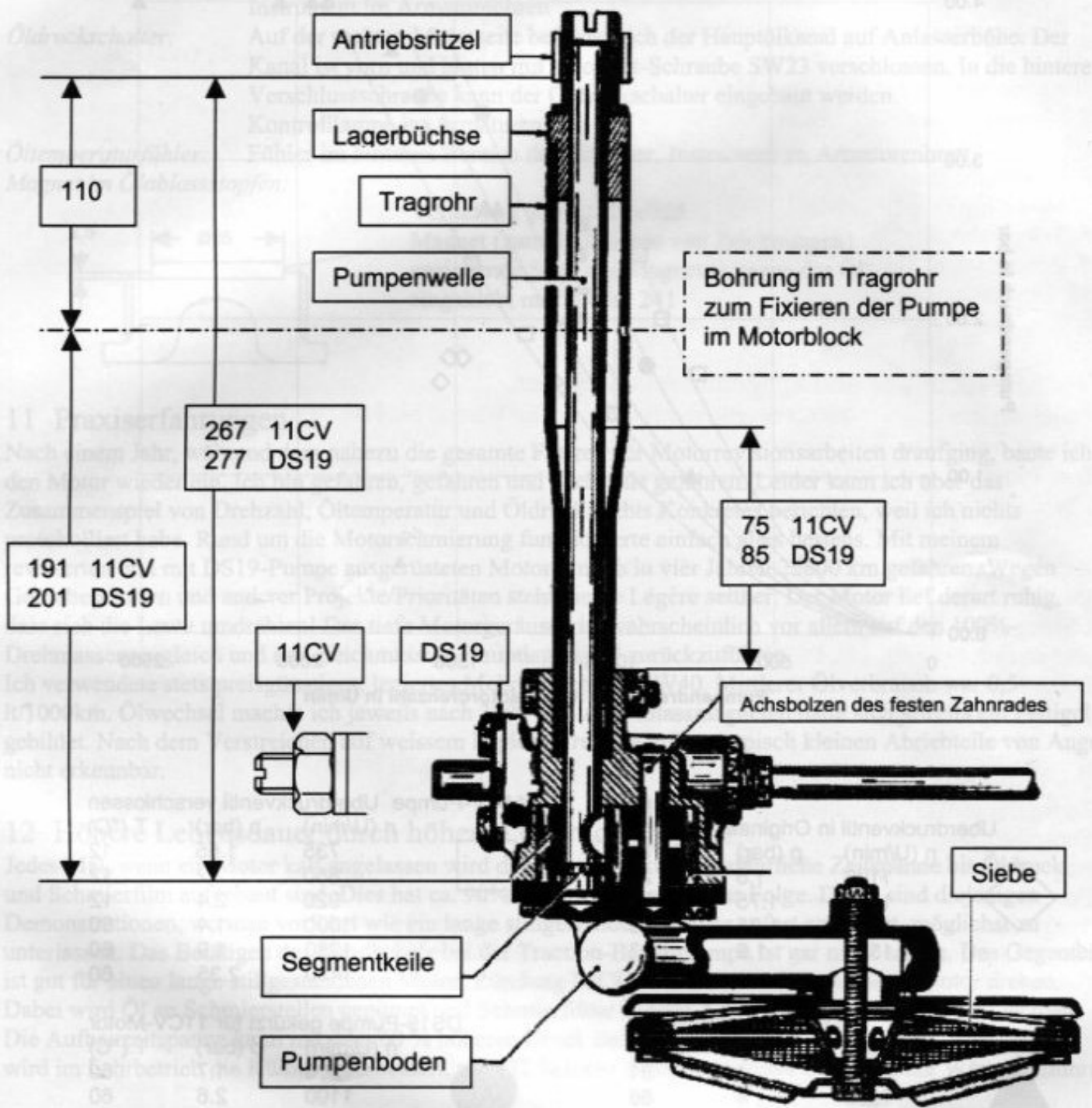
n (U/min)	p (bar)	T (°C)
2050	4	91
1950	4	66
1900	4	64
2500	4	45
1590	3.2	75
1150	2	74
760	1	69
1190	2.8	68
1700	3.7	63
1410	2.7	61
1370	2.7	51
1100	2.2	50

DS19-Pumpe gekürzt für 11CV-Motor

n (U/min)	p (bar)	T (°C)
900	1.7	60
1100	2.6	60
1110	2.4	70
1110	2	80
1415	3.3	80
1610	3.4	90

KuGa
Druckmessungen.xls

10.3 Eingebaute Instrumente zur Überwachung der Motorschmierung
 Ergebnisse der Druckmessungen an Ölpumpen
 Druckschwäche vor der Steigung des Zylinderkopfs



Hauptabmessungen der Pumpen 11CV und ID/DS19