



## TECHNIK KURBELWELLE

### Allgemein

Mehr Leistung durch mehr Drehmoment und/oder mehr Drehzahl? Leistung ist gleich dem Drehmoment mal der Drehzahl, bei welcher dieses Drehmoment abgegeben wird. Wodurch erzielen Rennmotoren also derart hohe Leistungen? Das geht nur, indem das Drehmoment oder die Drehzahl, bei welcher das Drehmoment anliegt, erhöht wird.

$$P = M_d \cdot (r)$$

P Leistung (kW)  
 $M_d$  Drehmoment (Nm)  
 (r) Drehzahl (rad/s)

Wer anhand seines Rollers diese Formel nachrechnen möchte, muss noch die Maßeinheiten auf einen Nenner bringen. Die Formel gilt dann, wenn die Drehzahl in der eigenwilligen Dimension rad/s angegeben wird. Dabei muss man wissen, dass eine Minute 60 Sekunden, und eine Umdrehung 6,28 rad sind. Geht man vom maximalen Moment von 15 Nm bei 6000 U/min aus, beträgt die Leistung hier

$$P = 15 \text{ Nm} \cdot 6000 \text{ U/min} \cdot 1 \text{ min}/60 \text{ s} \cdot 6,28 = 9420 \text{ Nm/s}$$

1 Nm/s = 1 Watt ist, 1000 Watt = 1 Kilowatt, damit hat der hier beschriebene Vespa Motor bei 6000 U/min eine Leistung von 9,4 kW \* 1,36 = 12,8 PS.

Das Drehmoment ergibt sich mehr oder weniger aus dem Hubraum. Dem Drehmoment sind nach oben hin feste Grenzen gesetzt, den pro Kolbenhub kann bestenfalls das komplette Zylindervolumen mit frischem Benzin-Luftgemisch gefüllt und verbrannt werden (Aufladung durch Turbo, Lachgas oder ähnliches mal beiseite gelassen). Wir können lediglich zusehen, dass wir durch gute Abstimmung aller Komponenten eine bestmögliche Füllung des Zylinders erreichen und dass wir den Hubraum so groß wie möglich machen. Und das geht nur durch mehr Hub und mehr Bohrung. Mehr Hub gibt's durch Langhubwellen, mehr Bohrung durch Tuning-Zylinder. Die Drehzahl der Drehmomentabgabe stellt die andere Größe dar, womit sich die Leistung anheben lässt. Wird diese verdoppelt, verdoppelt sich auch die Leistung. Rennmotor drehen deshalb so hoch, weil sie in der gleichen Zeit mehr Zylinderfüllungen verbrennen sollen. Wichtig ist es, den Motor dann auch durch leichtere Gewichte und härtere Gegendruckfeder auch so hoch drehen zu lassen, denn im Drehzahlkeller findet man bei einem Drehzahlmotor kaum Leistung.

### Die Kurbelwangen – der passende Typ

Für optimale Zylinderfüllung bei hohen Drehzahlen muss das Gemisch so rasch wie möglich durch die Überströmkanäle strömen, und das geht am besten wenn der Druck im Kurbelgehäuse beim Öffnen der Überströmkanäle möglichst hoch ist. Da dieser Druck umso höher ist, je kleiner das Verhältnis vom Volumen des Kurbelgehäuses zwischen oberster und unterster Kolbenstellung ist, versucht man, das Totvolumen (Luftvolumen im Kurbelgehäuse) so klein wie möglich zu halten. Das erreicht man unter anderem durch Kurbelwellen mit vollen Kurbelwangen, die das Kurbelgehäuse so gut wie möglich ausfüllen. Man kann allerdings das Spiel mit der Totraumbeseitigung auch übertreiben, denn es gibt ein optimales Maß für die Vorverdichtung. Ist dies überschritten, überwiegen negative Effekte und man reduziert die Leistungsfähigkeit des Motors, statt sie zu steigern. Neben der Vollwangenwelle kann man sich im Tuningbereich aus einer Vielzahl an anderen Wellentypen bedienen, die jeweils für einen gewissen Einsatzzweck optimiert sind.

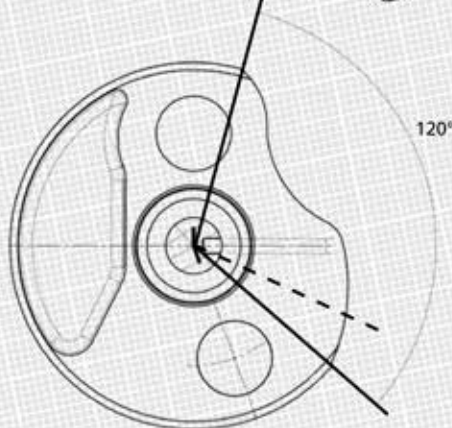
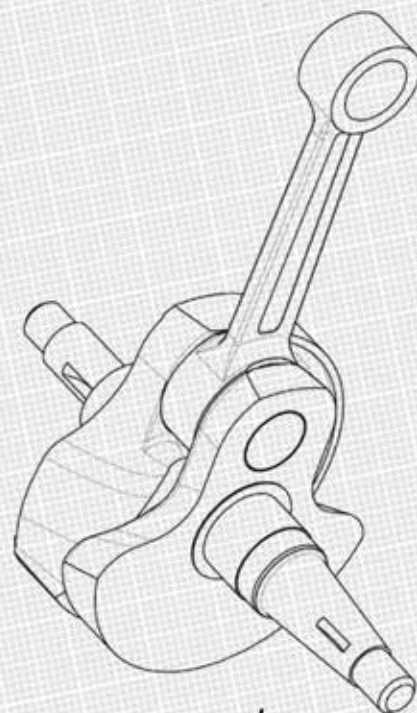
Strömungsoptimierte Lippen- und Glocken- (oder auch Pilz-) wellen eignen sich - als Weiterentwicklung der Vollwangenwelle - für Motoren mit Direkt- oder Membraneinlass. Die Form der Wangen behindert den einströmenden Gasfluss nicht unnötig und schafft mehr nutzbares Gehäusevolumen. Die Vorverdichtung sinkt dadurch leicht, mehr Frischgas kann einströmen und ein höherer Füllungsgrad wird erreicht. Dieses Zusammenspiel ermöglicht ein breiteres Drehzahlband und die erreichbare Leistung steigt.

Drehschieberfahrer hingegen greifen gerne auf Renn-Rennlippen- oder Langhubwellen zurück. Rennwellen besitzen neben einer deutlich verlängerte Einlasszeit, die sich positiv auf den Füllungsgrad auswirkt, auch strömungsgünstig angepasste und polierte Kurbelwangen, die Verwirbelungen und Strömungsabrisse reduzieren. Die neueren Rennlippenwellen für Drehschiebermotoren weisen zudem die gleichen Vorteile auf, wie Membran-Lippenwellen.

Hochwertige Wellen zeichnen sich durch eine feine Wuchtung (siehe Infokasten rechts) und hohe Rundlaufgenauigkeit – also kein ‚Schlag‘ in einer Richtung – aus (= gerichtete Welle). Das macht sie besonders laufruhig.

Polierte Wangen oder Pleuel bieten geringeren Strömungswiderstand.

Für High-End Smallframe Motoren werden Kurbelwellen mit Lima-Wangen Ø von 87mm (statt 82mm original) angeboten. Diese bieten mehr Sicherheit gegen Verdrehen, da hier mehr Material über dem Bolzen ist und somit das Pressmass höher gewählt werden kann. Allerdings muss das Kurbelgehäuse auf 88mm ausgespindelt werden.



original Einlasszeit, z.B. 95°





## Voll die Wucht

Wenn bei uns im Katalog der Begriff „gewuchtet“ verwendet wird, bedeutet dies „12 Uhr gewuchtet“ bzw. „statisch gewuchtet“. Das Pleuelaugel pendelt bei frei und waagrecht aufgehängter Welle bei 12 Uhr (oben) aus. Alle rotierenden Massen sind hier durch Ausgleichsbohrungen zu 100% gewuchtet. Kolben, Ringe, Bolzen etc. sind die „hin- und hergehenden“ translatorischen Massen. Das Gesamtsystem lässt sich leider nie 100%ig wuchten, daher gibt es auch keine vibrationsfreien 1-Zylinder Motoren. Das hat zu tun mit Beschleunigen und Abbremsen in den Totpunkten und mit der Exzentrizität der Massen dazwischen.

Dynamisch wuchten würde bedeuten, dass das Gesamtsystem samt Kolben und Welle gewuchtet würde. Leider ist der Aufwand in der Praxis nicht machbar. Tatsächlich versucht man, Kolben und Welle gut aufeinander abzustimmen, beschrieben durch den „Wuchtfaktor“. Er beschreibt das Gewichtsverhältnis von rotierenden zu oszillierenden (translatorischen) Massen. Ein Wert von etwa 40% bringt erfahrungsgemäß gute Ergebnisse.

Gute Dienste zum Überprüfen bzw. Bearbeiten der Wucht leistet der Wuchtbock NIK, Art.-Nr. 15199005

## Der Hub

Längerer Hub wird dadurch erzielt, dass der Hubzapfen weiter von der Kurbelwellen-Drehachse entfernt angeordnet ist. Diesen Effekt erzielt man z.B. auch mit einem Exzenterzapfen. 1 mm mehr Entfernung zur Achse bedeuten dabei 2mm mehr Hub. Der Kolben wandert dann um 1mm über den oberen Totpunkt hinaus, und 1mm unter den unteren Totpunkt. Damit der Kolben mit dem Kopf nicht zusammenstößt, muss man eine 1mm stärkere Fuß- oder Kopfdichtung einbauen. Außerdem sollte das Kolbenhemd unten etwas gekürzt werden, um beim unteren Totpunkt nicht mit dem Gehäuse zu kollidieren. Die Steuerzeiten verändern sich in jedem Fall.

**Ausgleich durch Fußdichtung:** Auslasszeiten werden länger, Überströmzeiten werden deutlich länger. Wenn der Auslass noch durch Fräsen zusätzlich etwas angehoben wird, optimiert man den Motor für höhere Drehzahlen.

**Ausgleich durch Kopfdichtung:** Auslass- und Überströmzeiten werden nur leicht verlängert – wobei sich die Überströmzeit stärker verändert als die Auslasszeit (=weniger Vorauss). Optimierung für mehr Drehmoment bei mittleren Drehzahlen.

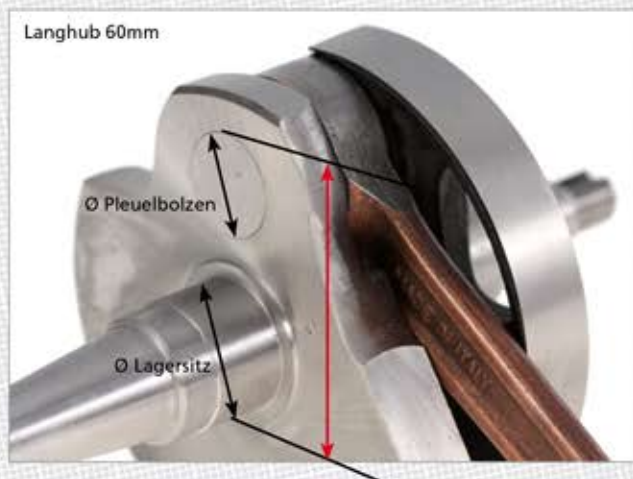
Exzenterzapfen DRT für Smallframe  
Art.-Nr. 4043AD179



Original 57mm



Langhub 60mm



Unterschied zwischen einer original Hubwelle und einer Langhubwelle (z.B. Vespa PX200): Der Pleuelbolzen sitzt um 1.5mm weiter außen. OT und UT zusammengerechnet ergibt das 3mm mehr Hub für die Vespa. Ausgeglichen wird mit passenden Fuß- oder Kopfdichtungen. Dadurch ändern sich aber auch die Steuerzeiten, was berücksichtigt werden muss.

Den Hub einer Kurbelwelle kann man ganz einfach ausmessen: Man misst den Abstand Pleuelbolzen außen zu Lagersitz außen. Davon zieht man je die Hälfte von Ø Pleuelbolzen und Lagersitz ab und hat so den schlecht messbaren Abstand Mittelpunkt zu Mittelpunkt. Der gemessene Wert \*2 ergibt den Hub.

## Dichtungen/Spacer:



Spacer POLINI 177  
Art.-Nr. 90783010



Dichtung Zylinderfuß  
Art.-Nr. 92800



Dichtung Zylinderfuß  
Art.-Nr. 13097800



Dichtung Zylinderkopf  
Art.-Nr. 90782300

Fortsetzung auf Seite 350



## Technik – Kurbelwelle

### Mehr Bohrung oder mehr Hub?

Langhub ist die aufwändigere aber hinsichtlich Mehrleistung auch die bessere Methode, den Hubraum zu erweitern, denn 5% mehr Hubraum (erreichbar durch 5% mehr Hub) bedeuten 5% Quadratmillimeter mehr Fensterfläche, wenn man die Steuerzeiten unverändert ließe. Also steigen Hubraum und Fensterfläche im gleichen Verhältnis an. Im Gegensatz dazu erreicht man mit 5% mehr Hubraum durch Veränderung der Bohrung (erreichbar mit 2,46% mehr Bohrung, weil die Bohrung quadratisch in die Hubraumberechnung eingeht) nur 2,46% mehr Fensterfläche. Das ist auch der Grund, warum Grand Prix Hochleistungs-Zweitakter meistens Quadrathuber sind (Hub-Bohrungsverhältnis in etwa gleich).

Wir Rollerfahrer müssen allerdings auf der Basis von Serienmotoren tunen, und können den Hubraum und das Hub-Bohrungsverhältnis nicht frei wählen. Mehr Bohrung erreicht man ganz einfach und preiswert durch Zylindertausch, daher ist dieses auch der am häufigsten gegangene Weg. Auch wenn man sich dadurch leider nur einen Kurzhuber baut. Sehr lange Steuerzeiten von Auslass und Überstrom und damit hohe Leistung, werden jedoch nur durch mehr Weg des Kolbens erreicht. Allerdings werden dem möglichen Mehrhub durch die Verschraubung rund um das Kurbelgehäuse enge Grenzen gesetzt und man muss das Gehäuse bearbeiten, d.h. ausspindeln um einer Langhubwelle genügend Platz im Durchmesser zu bieten. Da bei exzentrischen Langhubwellen die kritische Kolbengeschwindigkeit von 20m/s durchaus erreicht werden kann, sollte hier auch bei der Vergaser- und Zündungseinstellung äußerst genau gearbeitet werden. Wer sich jedoch die Mühe macht und zusätzlich die Steuerzeiten des Zylinders optimal anpasst, wird mit einem sehr potenten Motor belohnt und Leistungen von über 40PS/40Nm sind durchaus möglich.

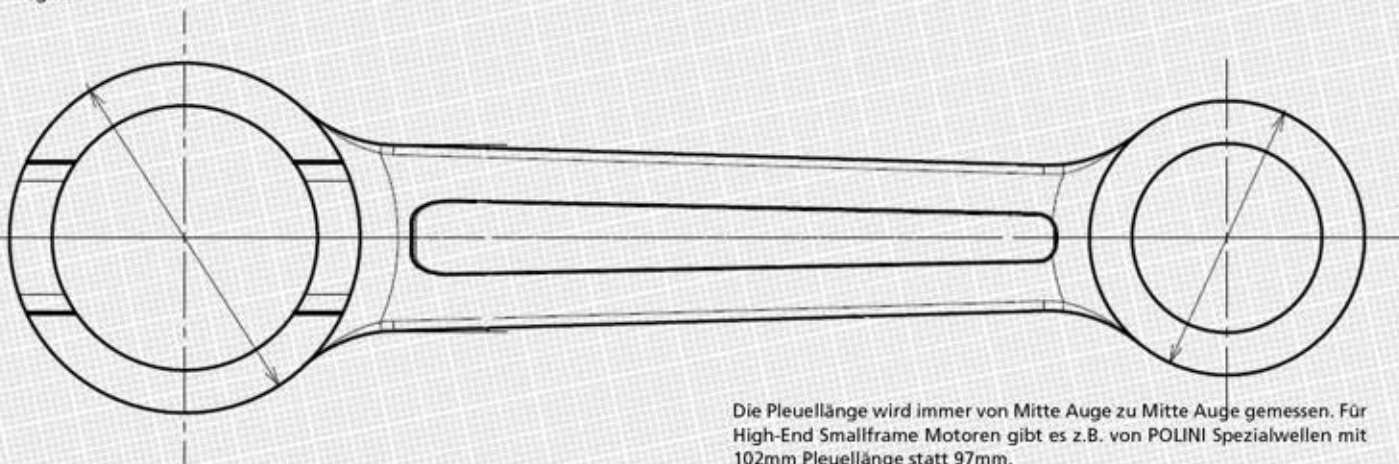
### Das Pleuel

Ein längeres Pleuel verändert zwar nicht den Hub, aber trotzdem muss der Zylinder entsprechend hochgesetzt werden. Das längere Pleuel hat den Vorteil, dass es bei halbem Hub weniger schräg steht und der Kolben somit weniger Seitenkraft auf die Zylinderwand ausübt und dadurch weniger Reibung entsteht. Dieser Vorteil wird allerdings mit einem drastisch höheren Kurbelgehäusevolumen erkauft: Es steigt um den Wert der von der Innenkante der Fußdichtung eingeschlossenen Fläche, mal ihrer Höhe.

Auch bei einem Langpleuel verändern sich die Steuerzeiten. Jedoch nur leicht, weil die Kolbenerhebungskurve sich etwas ändert.

Da die Kurbelwangen durch den Pleuelzapfen zusammengehalten werden ist hier ein möglichst hohes Pressmaß wünschenswert um ein Verdrehen der beiden Wangen zu vermeiden. Der Pleuelzapfen, auf dem das Pleuel samt Lager sitzt wird mit hohem Druck in die beiden Wangen der Welle gepresst. Sind die Bohrungen in den Wangen zu groß oder der Durchmesser des Zapfens zu klein, kann die Pressverbindung nicht genügend Festigkeit aufbauen und gibt nach. Hier kann es zu kapitalen Motorschäden kommen. Deshalb wird bei stärkeren Motoren oft dazu übergegangen, die Pleuelzapfen mit den Wangen zu verschweißen um ein Verdrehen von vornherein auszuschließen.

Man unterscheidet zwischen Standard-Pleuel und poliertem Messer-Pleuel, die strömungsoptimiert sind.



Die Pleuellänge wird immer von Mitte Auge zu Mitte Auge gemessen. Für High-End Smallframe Motoren gibt es z.B. von POLINI Spezialwellen mit 102mm Pleuellänge statt 97mm.

Messer Pleuel



Standard Pleuel



Pleuelsatz inkl. Pleuelzapfen und Anlaufscheiben





Bei älteren Vespa-Modellen wurden zur Reibungsminimierung Messingbuchsen als Pleuellager verbaut. Durch hohe Ölanteile im Gemisch und sehr niedrige Drehzahlen konnte man damit früher durchaus zuverlässig fahren. Da moderne Motoren jedoch höhere Drehzahlen erreichen und auch weniger Öl beigemischt wird, werden heutzutage oben und unten am Pleuel in der Regel Nadellager eingesetzt. Diese halten höhere Drehzahlen aus und werden bei Rennwellen auch noch durch zusätzliche Schmierbohrungen oder Schlitze mit Gemisch versorgt. Das schützt zuverlässig davor, dass ein Lager „trocken“ läuft, zu heiß wird und auf Kolbenbolzen oder Pleuelbolzen fest frisst. Bei hochwertigen Silberlagern ist der Lagerkäfig versilbert, was zu weniger Reibung und Verschleiß und damit einer längeren Lebensdauer führt.

#### Konus, Lager und Wellendichtringsitz bei der Smallframe

Bei den Smallframe-Kurbelwellen unterscheidet man grundsätzlich zwischen drei Varianten:

Die älteren Smallframe-Modelle (V50/PV/ET3) sind serienmäßig mit einer Kurbelwelle mit „spitzem“ **Konus** (Wellendichtring-Ø 19mm, Lagersitz-Ø 20mm) ausgestattet, auf dem das Lüfterrad sitzt. Allerdings ist dieser nicht besonders strapazierfähig und kann deshalb bereits bei leichtem Tuning abscheren. Wesentlich stabiler hingegen der **Konus** des Nachfolgermodells: Die Kurbelwelle der PK XL besitzt einen **stumpfen Konus** mit 20mm Wellendichtringsitz (der Lagersitz-Ø bleibt gleich), der sich nicht nur optimal für alle Tuningzwecke eignet, sondern auch die ideale Basis für eine Umrüstung auf elektronische Zündung darstellt. Die Wellen mit 51mm Hub (original auf PK125XL/ETS verbaut) besitzen den **stabilsten Aufbau** mit einer nochmals verstärkten Wellendichtringaufnahme (24mm) und einem 25mm Lagersitz. Perfekt für ambitionierte Tuningprojekte. Allerdings können sie in originalen V50 und PK50 Gehäusen nur in Verbindung mit Umrüstkörper und Wellendichtring verbaut werden.

Kurz gesagt gibt es 3 Größen von Wellendichtringsitz und 2 Lagersitzgrößen bei Smallframe Vespa.

