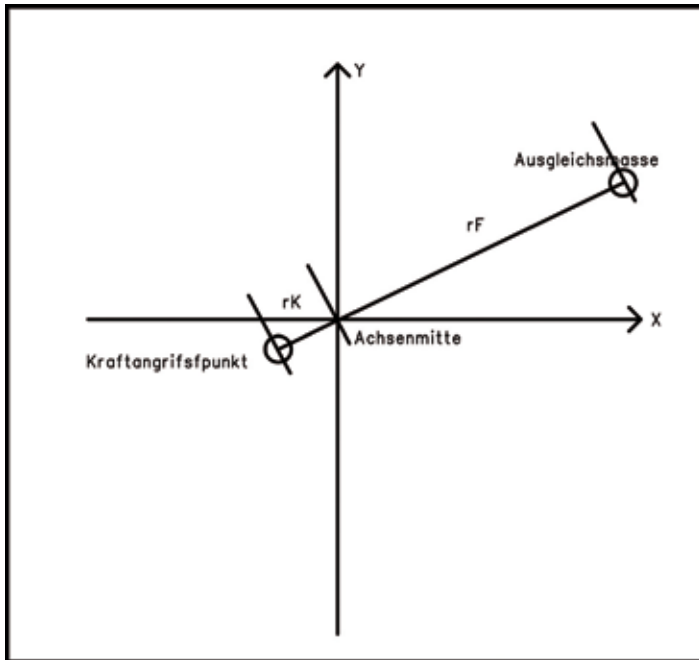


# Pendeln: Modernes Auswuchten von Rädern

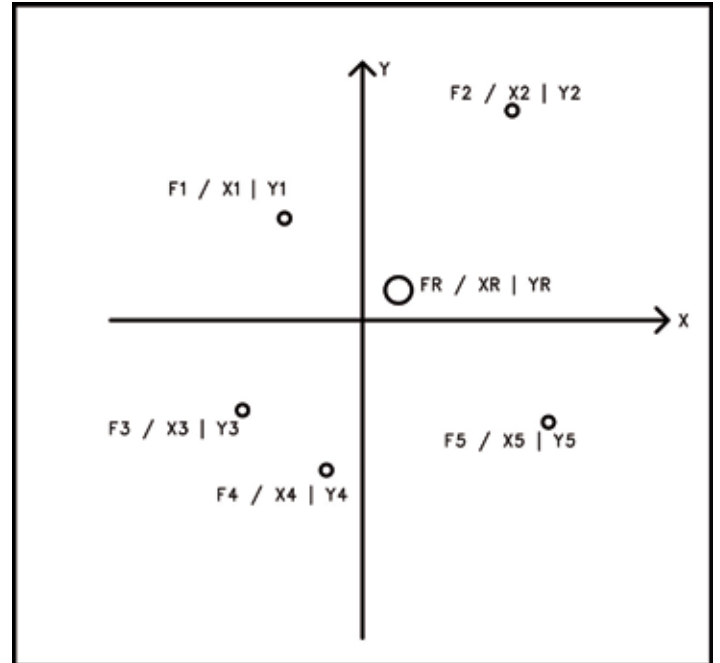
Zum Auspendeln (statischem Auswuchten) von Motorradrädern wird normalerweise eine horizontale, leicht drehbar gelagerte Achse verwendet. In der Ruheposition des Rades muss das Ausgleichsgewicht dann an der höchsten Stelle angebracht werden. Wie es bemessen werden muss, verrät die Methode nicht. Bei der folgenden Beschreibung trenne ich nicht sauber zwischen Kraft und Masse, die Küchenwaage tut das auch nicht, und die Physiker mögen uns verzeihen. Ich habe mir eine Vorrichtung ausgedacht, bei der mit einer Messung - bestehend aus 3 Ableisungen - sowohl Lage/Stellung als auch Masse des Ausgleichsgewichts bestimmt werden kann. Ob die Welt so was braucht, muss jeder selbst beurteilen.

Die Methode ist eigentlich erst durch das Aufkommen ausreichend genauer Waagen zu kleinem Preis und dem Einsatz von Rechenhilfen (Smartphone) praktikabel geworden, die für die Berechnung notwendigen Gleichungen sind zwar nicht kompliziert, aber mit einem Taschenrechner oder gar auf Papier doch sehr lästig. Möglicherweise wird die Methode schon längst angewendet, ich habe aber (Sommer 2017) keine Hinweise darauf gefunden. Das Rad ist dabei auf einer senkrecht montierten Achse gelagert und der Kraftangriffspunkt der ganzen Anordnung (Rad + Achse mit Dreibein) wird bestimmt. Liegt er in der Mitte der Achse, gibt es nichts zu tun. Liegt er außermittig, muss in der Verlängerung der Strecke Kraftangriffspunkt - Achsenmitte das Ausgleichsgewicht angebracht werden. Das Moment, sich aus dem Abstand des Kraftangriffspunktes zu Achsenmitte multipliziert mit der Gesamtkraft ergibt, muss gleich dem, das sich aus dem Abstand der Achsenmitte zur Gewichtposition (sprich Felge) multipliziert mit der Ausgleichsgewichtskraft, sein.



Dabei ist  $r_K$  der Abstand des Kraftangriffspunktes von der Achsenmitte,  $r_F$  ist der Felgenradius. Die Ausgleichsmasse an der Felge ist dann Radgesamtmass  $\cdot r_K / r_F$ . der Kraftangriffspunkt wird durch sie in die Achsenmitte geschoben.  
Bestimmung des Kraftangriffspunktes: Wird irgendein Gegenstand auf mehreren Punkten gelagert, an denen die Auflagekraft

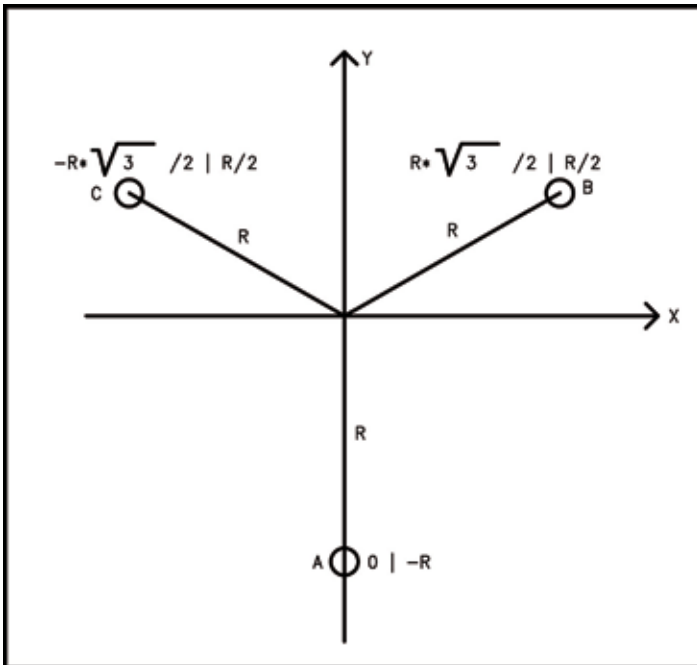
gemessen wird, kann der Kraftangriffspunkt (Schwerpunkt) bestimmt werden.



Am Punkt  $X_1|Y_1$  wird die Kraft  $F_1$  gemessen .... an  $X_5|Y_5$  die Kraft  $F_5$ . Die Gesamtkraft ist dann  $F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$ . Die X-Koordinate ist  $X_R = (X_1 \cdot F_1 + X_2 \cdot F_2 + X_3 \cdot F_3 + X_4 \cdot F_4 + X_5 \cdot F_5) / F_R$ . Die Y-Koordinate ist  $Y_R = (Y_1 \cdot F_1 + Y_2 \cdot F_2 + Y_3 \cdot F_3 + Y_4 \cdot F_4 + Y_5 \cdot F_5) / F_R$ . Man sieht, dass der Einfluss eines Punktes auf die Koordinaten des Kraftangriffspunktes mit der Größe seiner Kraft zunimmt. Ist die Kraft Null, hat er keinen Einfluss. Um die Position des Punktes bestimmen zu können, reichen 3 Stellen aus, die nicht auf einer Geraden liegen dürfen. Wo die Punkte liegen, ist ansonsten egal.



Ich habe mich für ein Dreibein mit gleichlangen Schenkeln im Abstand von je  $120^\circ$  entschieden. Im Koordinatensystem liegt es wie in der Skizze gezeigt.



A, B und C bezeichnen die Punkte. R ist die Schenkellänge, die Koordinaten der Punkte ergeben sich aus der Geometrie. Die Achsenmitte liegt im Koordinatenursprung 0 | 0. Um hier im Text das Wurzelzeichen nicht durchschleppen zu müssen, wird für C und B für die X - Koordinate-K bzw.  $+K = R \cdot \sqrt{3} / 2$  verwendet. Die Koordinaten ergeben sich also zu: A:  $X=0, Y=-R$ ;  $X=K, Y=R/2$ ;  $X=-K, Y=R/2$ .

Werden an den Punkten A, B und C die Kräfte  $F_a, F_b$  und  $F_c$  gemessen, ist die Gesamtkraft  $FR = F_a + F_b + F_c$ .

Die Koordinaten des Kraftangriffspunkts:

$$XR = (F_a \cdot 0 + F_b \cdot K - F_c \cdot K) / FR$$

$$YR = (-F_a \cdot R + F_b \cdot R/2 + F_c \cdot R/2) / FR$$

$$XR = (F_b - F_c) \cdot K / FR \quad YR = (R \cdot (F_b - F_c) \cdot \sqrt{3} / 2) / FR$$

$$YR = R \cdot (F_b/2 + F_c/2 - F_a) / FR$$



Der zur Berechnung der Ausgleichsmasse notwendige Abstand von  $XR, YR$  von der Achsenmitte ist  $RN = \sqrt{XR^2 + YR^2}$ . Das Ausgleichsgewicht  $Ma$ :  $Ma = FR \cdot RN / rF$  (FR: Gesamtkraft, RN Abstand  $XR, YR$  von der Achsenmitte,  $rF$ : Felgenreadius). Die Position des Gewichts ist der Schnittpunkt der Verlängerung des Kraftangriffspunkts durch die Achsenmitte mit der Felge. Das Gewicht des Dreibeins spielt keine Rolle. Es erhöht die Gesamtkraft FR. In den Gleichungen für  $XR$  und  $YR$  steht FR im Nenner, bei der Berechnung von  $Ma$  im Zähler. FR kürzt sich also heraus.



Realisierung: Anstatt die Kräfte an 3 Punkten zu messen, wird die Kraft immer an demselben Punkt ermittelt und das Rad zwischen durch um je  $120^\circ$  so weitergedreht, das nacheinander die Kräfte an den Punkten A, B und C ermittelt werden. Das Rad wird zwischen 2 Kegeln mittig auf der Achse, die senkrecht auf dem Dreibein steht, gehalten. Zwei Beine ruhen auf Klötzen, das dritte auf der Waage, so dass die Achse senkrecht steht.

Beide Räder wiegen bei meiner G15CS mit Reifen unter 14kg, so dass eine Waage mit 5kg-Bereich ausreichend ist. Die Genauigkeit der Waage spielt keine große Rolle, allerdings müssen die Messungen reproduzierbar sein.

Die erste Waage vom Kaufmarkt war in der Beziehung Schrott, bei gleicher Belastung um die 4kg hat sie nach Entlasten und Wiederbelasten einige zig Gramm anders angezeigt. Bei der jetzt verwendeten liegen diese Werte im max. 2-Grammbereich. Die Nachkommastelle dieser Waage ist allerdings nicht ernstzunehmen.

Wenn der Bereich nicht ausreicht, müsste es möglich sein, das Bein, das auf die Waage drückt, zu verlängern und die Kraft-Eingabewerte entsprechend zu verändern. Habe das allerdings nie ausprobiert. Wenn einem das ganze Berechnungstheater zu blöd ist, müsste es auch möglich sein, das Rad soweit zu drehen, bis ein Maximum des Gewichts gefunden ist. Genau gegenüber sollte dann ein Minimum sein. Und an dieser Stelle muss dann das Gleichgewicht angebracht werden.

Es errechnet sich aus der halben Differenz von Maximum und Minimum multipliziert mit dem Verhältnis von Dreibeinlänge durch Felgenreadius. Habe das allerdings auch nie ausprobiert und kann es hier im Urlaub auch nicht auf die Schnelle machen. Bei einem wie auch immer ausgependelten Rad muss die Waage an jeder Stelle dasselbe anzeigen.

Die „APP“: Um nicht immer den Laptop in die Werkstatt mitnehmen zu müssen, habe ich eine Möglichkeit gesucht, die Berechnung auf dem Mobiltelefon zu machen, und habe tatsächlich einen Pascal - Compiler gefunden, mit dem sog. apk - Dateien produziert werden können. Aus einer apk - Datei kann auf einem Android-Telefon durch Anklicken eine APP generiert werden, die dann aufgerufen werden kann.

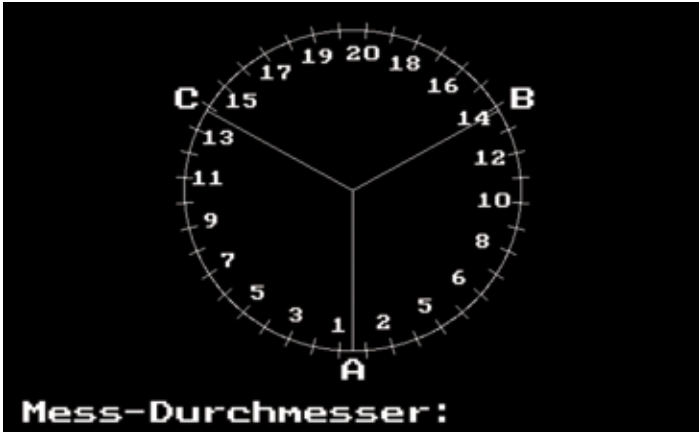
Die Bedienung des Programms ist eingabezeilenorientiert, angeklickt kann nichts werden. Vielleicht gibt es in unseren Reihen jemand, der sich mit dem neumodischen Kram besser auskennt, für ihn wäre es dann mit diesen Informationen ein Leichtes, etwas Zeitgemäßes zu produzieren.

**Name des Programms: RAD4.APK**

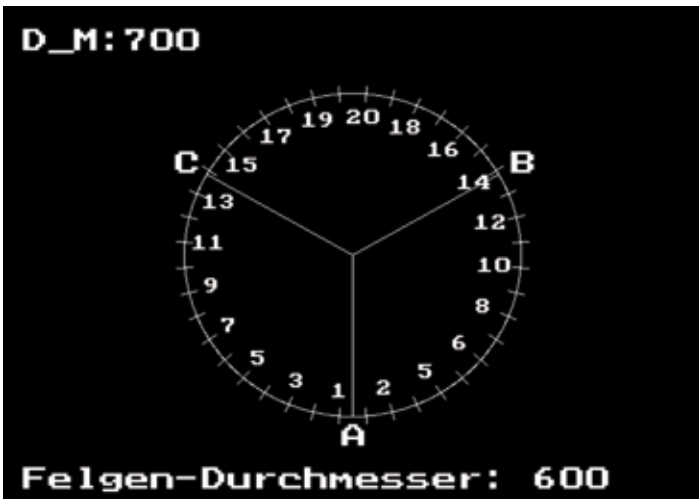
Das Programm benötigt folgende Informationen: Geometrie des Dreibeins - es wird nach dem Durchmesser gefragt, also doppelter Abstand Mitte - Auflagepunkte. Durchmesser des Rads an der Stelle, wo das Ausgleichsgewicht angebracht werden muss, also in der Regel Felgendurchmesser.

Dann die Kräfte an den Punkten A, B und C. Die Werteingabe erfolgt über die Tastatur, Dezimalstelle kann mit einem PUNKT eingegeben werden. Ungültige Eingabezeichen werden ignoriert,

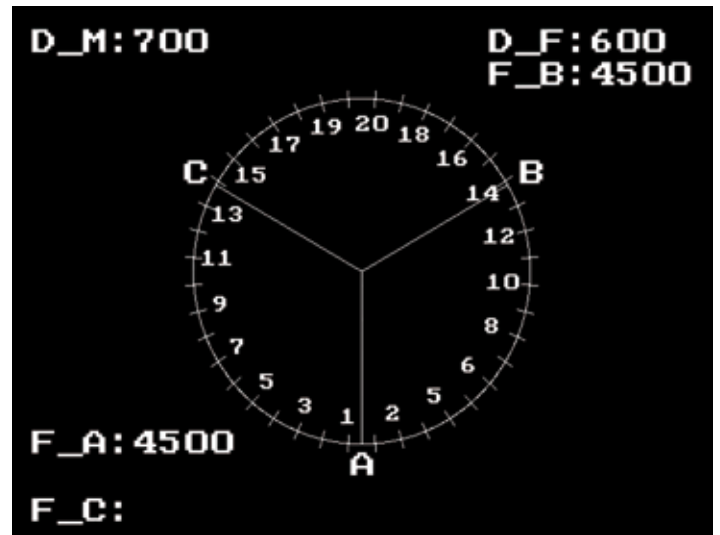
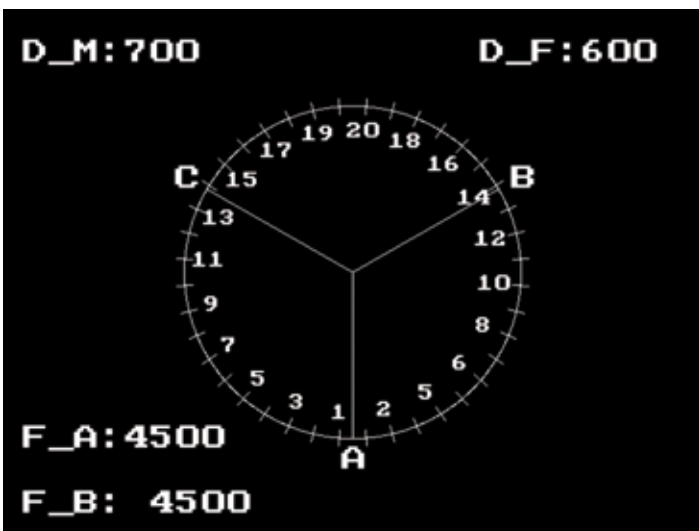
Korrektur mit der Zurück-Taste möglich, Eingabe bestätigen mit der grünen Enter - Taste. Fehler sind bei seltsamen Eingaben nicht auszuschließen, dann einfach zumachen und neu starten. Einheiten sind egal, rauskommt, was reinkommt, für die Längen empfehle ich mm und die Kräfte Gramm (eigentlich Pond)



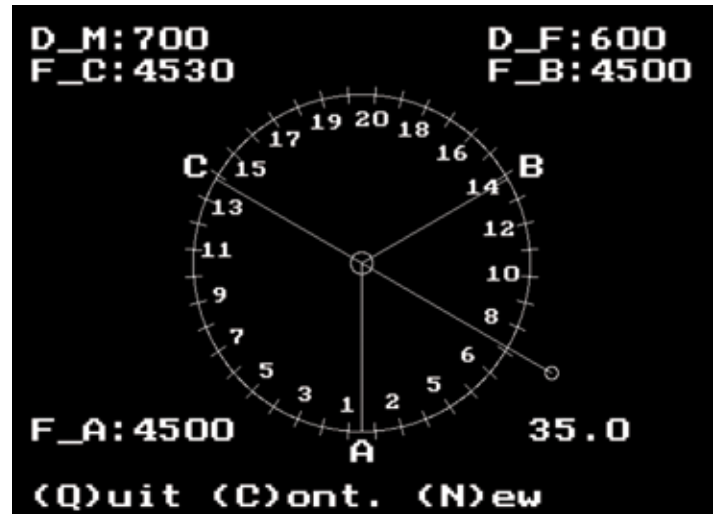
Nach Aufruf des Programms wird nach dem Mess-Durchmesser gefragt. Damit ist die Geometrie des Dreibeins (s. o.) gemeint. Mess-Durchmesser ist bereits eingegeben, steht oben links (D\_M: 700), es wird nach dem Felgendurchmesser gefragt, im Bild ist der Wert 600 eingegeben aber noch nicht bestätigt. Das Rad am besten so drehen, dass das Ventil (A) über der Waage



steht. Waage ablesen und Wert bei Abfrage F\_A: eingeben. Rad im Uhrzeigersinn um 120° drehen, Ventil steht dann am Bein C, der ehemalige Punkt B des Rads auf der Waage. F\_B ablesen. F\_A bereits eingegeben, F\_B in Eingabe, Felgendurchmesser D\_F oben rechts, F\_A unten links. Rad im Uhrzeigersinn um 120° drehen. Ventil steht dann am Bein B, der ehemalige Punkt C des Rads auf der Waage.



F\_C ablesen und eingeben. Rad im Uhrzeigersinn um 120° drehen. Ventil steht wieder auf der Waage.



Fertig, alle eingegeben Werte sind zur Kontrolle noch sichtbar. Unten rechts die Masse des Ausgleichgewichts, der Strich vom Zentrum ausgehend mit dem Kreis am Ende zeigt die Position des Gewichts. Meine Räder haben 40 Speichen, so dass man sich an den kleinen Zahlen im Kreis orientieren kann. In diesem Zustand verlangt das Programm nach den Zeichen q, c, oder n. q wie quit: Programm beenden. c wie continue: Neue Kraftwerte eingeben, die Durchmesser bleiben erhalten. n wie neu: Neue Durchmesser und Kraftwerte eingeben.

Matchen: Wollte ich mal ausprobieren, dann konnte ich den Reifen nicht mehr auf der Felge verdrehen und hab's aufgegeben.

Zunächst nur die Felge mit Schlauch auf die Einheit. Alle Kräfteingabewerte notieren. Das Programm zeigt dann auf die Stelle, wo das Ausgleichsgewicht hinkommen sollte. Wert egal, wenn sehr klein, kein Matchen notwendig. Die Stelle anzeichnen.

Dann den Mantel montieren. Er muss auf dem Felgenhorn sitzen, also aufpumpen. Bei der Kraftwerteeingabe die Werte der Felge an der entsprechenden Position abziehen. Damit wird in diesem Gang nur der Mantel gemessen. Die Position des Gewichts am Mantel anzeichnen und ihn so verdrehen, dass die Marke am Mantel gegenüber der an der Felge steht. Danach die endgültige Messung machen.

Bericht/Bilder/App-Entwicklung/Copyright: Ludwig v. Zech

