

Leistung = PS, aber wie wird das ermittelt?

Immer wieder wird über Leistung, Drehmoment und Drehzahl, sei es als Prospektangabe oder gemessener Prüfstandswert, diskutiert. Viele Leute kennen den Zusammenhang und die Hintergründe aber nicht. Daher möchte ich hier ein wenig Licht ins Dunkel bringen, getreu dem Motto: golfVIGTI.com-Leser wissen mehr 😊

Dennoch erhebt dieser Beitrag keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder vollständige Korrektheit denn ich schreibe hier nichts aus irgendwelchen Lehrbüchern ab oder so, sondern eben das was ich mal irgendwo gelernt habe.

Also, auf gehts:

Um das Ganze besser zu verstehen müssen erst mal ein paar physikalische Größen erläutert werden, die wir im weiteren Verlauf noch brauchen: Wichtig ist hier das die Kraft in Newton [N] und das Drehmoment in Newtonmeter [Nm]?

Die Kraft [Newton, N]

Newton ist die physikalische Einheit für die Kraft. In der Berufsschule hieß es noch 100gr (also eine Tafel Schokolade) sind 1 Newton. Als Faustformel zum merken ganz gut, aber nicht sonderlich genau.

Die genaue Umrechnung lautet: 1 Kilogramm [kg] * Erdbeschleunigung [=1g]

1g sind $9,81\text{m/s}^2$, somit ergibt sich $1\text{ N} = 1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$

Somit ist 1 Kilogramm [kg] = 9,81N (also rund 10N, womit wir wieder bei 100g Schokolade wären was ungefähr 1N ergibt)

Naja, lange Rede, kurzer Sinn: Die Masse in kg wird mit 9,81 multipliziert um auf die Kraft Newton zu kommen!

Wichtig ist, dass wir hier von einer Kraft reden! Was uns interessiert ist aber das Drehmoment.

Das Drehmoment [Newtonmeter, Nm]

Das Drehoment ist Kraft * Hebelarm

Das heißt um auf „Newton-Meter“ zu kommen, ist die Kraft die an einem Hebel von 1 Meter länge wirkt, relevant!

Zur Erläuterung: Wenn man seine Radschrauben mit 100Nm anziehen will, braucht man eine Kraft von 100 N (10,2kg) an einem 1 Meter langen Hebel. Wenn der Hebel (Drehmomentschlüssel) nun länger ist (z.B. 2 Meter) brauche ich nur noch einen Kraft von 5,1kg aufzuwenden.

Oder anders: Ziehe ich trotzdem mit 10,2kg (=100N) an einem 2 Meter langem Hebel, erfährt die Radschraube ein Drehmoment von 200Nm!

Noch ein Beispiel gefällig? Wenn der Hebel 1 Meter lang ist und ich mich aufs Ende setzte und ich (nach einer mind. 1 Jahr andauernde Fastenkur) nur noch 80kg wiege, würden an der Schraube 784,8Nm ankommen!

Wichtig ist hier die Differenzierung von Kraft und Moment! Stellen wir uns wieder den Hebel

von 1 Meter vor der mit 100N belastet wird. Entlang des Hebels zum Drehpunkt hin ist die wirkende Kraft unterschiedlich (steigend), das Drehmoment aber immer gleich!

Dies ist so, da es Newtonmeter (-> Newton*Meter) sind, die anliegende Kraft also immer auf die Kraft die an einem Hebel von 1 Meter wirkt/wirken würde "normalisiert"

-> Also: Drehmoment ist das wirkende Moment im Drehpunkt

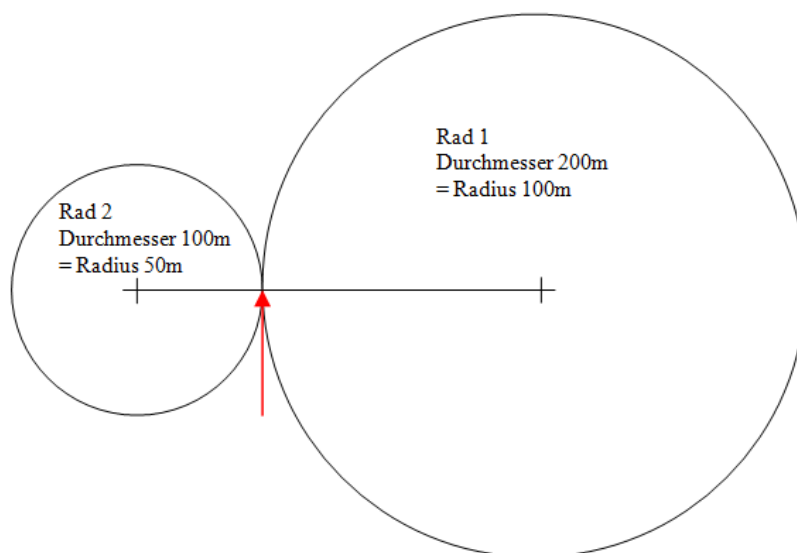
Das ganze lässt sich wieder rumdrehen. Machen wir es mal Praxisbezogen. Das Raddrehmoment am GTI liegt angenommen bei 250Nm. Wenn das Rad nun einen Durchmesser von 50cm hat wäre der Radius 25cm, was 0,25m sind. Also ist die Kraft an der Kontaktfläche zum Asphalt die uns nach vorne Treibt = 1000N (ca. 102kg)

Interessant ist auch ein anderes Beispiel, nämlich das Getriebe...ich hoffe nur das führt jetzt nicht zu weit:

Die Skizze zeigt zwei Zahnräder (hier nur ohne Zähne 😊) Das große Rad ist 200m groß, das kleine 50m (wird also nicht im Auto verbaut sein!) Das große Rad treibt das Kleine an. Das Drehmoment wird über eine Welle mittig eingeleitet und liegt bei 200Nm. Egal wie groß das Rad 1 nun ist, das Drehmoment ist an jedem Punkt 200Nm, die Kraft aber ist unterschiedlich! Der rote Pfeil markiert den Kontaktpunkt wo die Kraft auf Rad 2 übertragen wird. Die Kraft an diesem Punkt beträgt also 2N ($200\text{Nm} / 100\text{m Hebelarm} = 2\text{N}$)

Für das kleinere Rad 2 ist die Kraft am Berührungspunkt logischerweise ebenfalls 2N, das Drehmoment was darüber erzeugt wird aber nur 100Nm, da der Hebelarm kleiner ist ($2\text{N} * 50\text{m Hebelarm} = 100\text{Nm}$)

Nur mal so nebenbei: dafür dreht sich das Rad 2 aber viel schneller (doppelt so schnell wie Rad 1). Ihr könnt ja mal überlegen wo dieses Prinzip am Auto angewandt wird und erkennt sicherlich einige zusammenhänge, z.B. warum man so schlecht im 6. Ganz anfahren kann, dafür später aber im 6. ganz schnell wird 😊 Allerdings wird im PKW-Getriebe normalerweise nicht Übersetzt, sondern zum Schluss meist ~1:1 gefahren. Aber es kommen noch einige andere Übersetzungen mit ins Spiel (Differential, Rad,...)



Leistung [kW]

Ok, also die Leistung wurde ja Allgemeinen in "Pferdestärken [PS]" angegeben. Seit einiger Zeit gilt Kilowatt [kW] als die zu verwendende SI-Einheit.

Die Umrechnung ist:

$$1 \text{ PS} = 0,735499 \text{ kW oder}$$

$$1 \text{ kW} = 1,359622$$

(Achtung! PS bitte nicht in "Horsepower [hp]" übersetzen! 1hp = 1,013870 PS, bzw 1PS = 0,986320 hp. SI-Einheiten kann man nicht einfach "übersetzen"!)

Aber auch die kW-Angabe muss ja irgendwo her kommen. Dabei hilft der Motorenprüfstand, aber auch der misst keine kW! Der Prüfstand kann lediglich das Drehmoment [Nm] ermitteln. Aber noch mal zurück zu unseren kW. Wenn man die Kilowatt mal ein wenig aufdröseln wird's eigentlich recht schnell klar!

$$1 \text{ Kilowatt [kW]} \text{ sind } 1000 \text{ Watt [W]}$$

$$1 \text{ Watt [W]} = 1 \text{ Newtonmeter pro Sekunde [N*m/s]}$$

So, nun aber zurück zu unserer Motorleistung!

Der Motorprüfstand kann wie gesagt nur das Drehmoment in Newtonmeter [Nm] messen und jetzt wissen wir ja auch wie sich das zusammensetzt.

Wir wollen aber die Leistung wissen und dazu brauchen wir folgende Formel:

$$\text{Leistung } P \text{ in kW} = 2 * \pi * n * M$$

$$2 * \pi \text{ ist klar, sind } 6,283$$

n ist die Drehzahl in 1/min

und M das Moment in Nm

um Schlussendlich auch kW zu kommen muss man aber noch die Drehzahl 1/min in 1/sec umrechnen (also durch 60 teilen) und noch mal durch 1000 Teilen um von den Watt auf Kilowatt zu kommen.

Man kann auch die vereinfachte Formel nehmen, kommt das gleiche raus!

$$P = M * n / 9550$$

Beispiel: Ein Motor gibt bei 5200 1/min 280Nm ab.

$$P = 2 * \pi * n * M \Rightarrow 2 * \pi * 5200 \text{ 1/min} * 280 \text{ Nm} / 60 / 1000 = 152,5 \text{ kW}$$

$$P = M * n / 9550 \Rightarrow 280 \text{ Nm} * 5200 \text{ 1/min} / 9550 = 152,5 \text{ kW}$$

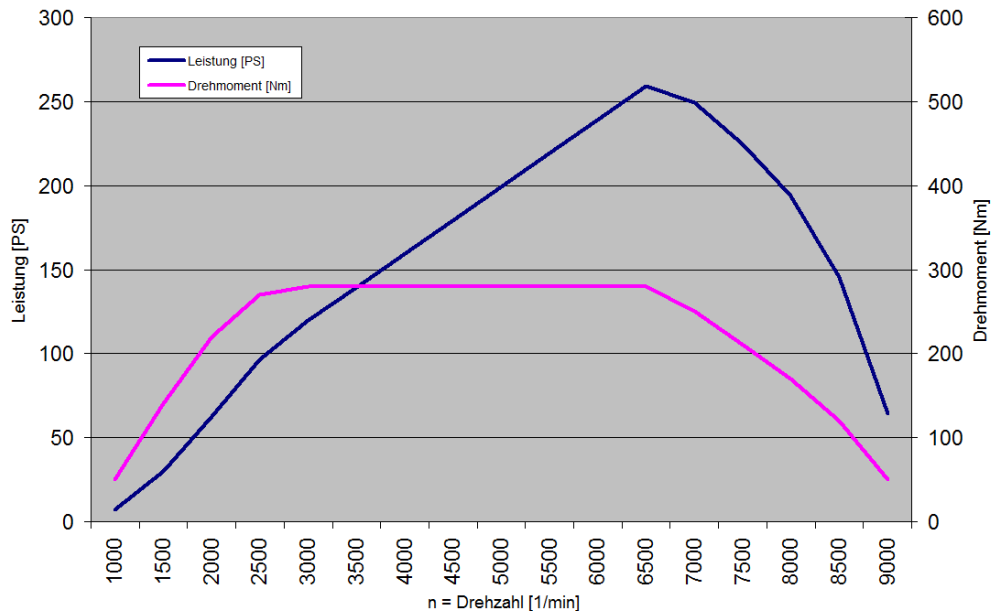
Das schöne ist das man mit der Formel und einem gegebenen Drehoment (was ja z.B. ein Prüfstand misst) und der entsprechenden Drehzahl (wird ebenfalls gemessen) die Leistung ermitteln kann.

Interessant ist, dass die Maximalleistung nicht beim maximalen Drehmoment anliegt. Das liegt daran, dass ja noch die Drehzahl mit eingeht und so ein niedrigeres Drehmoment bei höherer Drehzahl mehr Leistung ergeben kann!

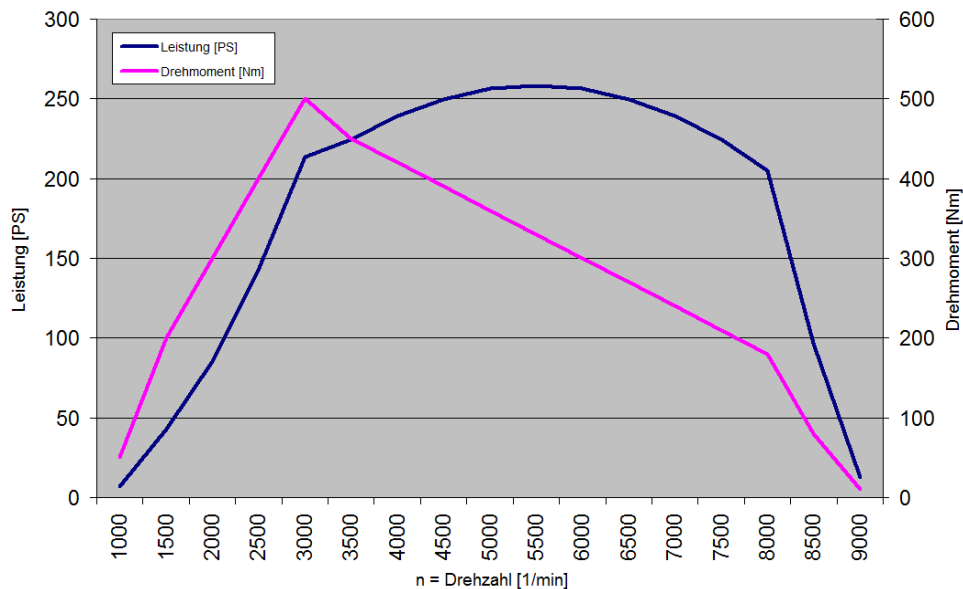
Mit Excel kann man das wunderbar ausprobieren.

Hier mal 3 unterschiedliche Kurven. In allen 3 Fällen ist die Leistung ~ 260 PS nur eben bei unterschiedlichen Drehzahlen! Die "Diagramme" sind nur zur Verdeutlichung und rein fiktiv, auch wenn das erste an den 6er GTI angelehnt ist! Bitte keine Diskussionen ob so ne Kurve überhaupt möglich ist oder nicht, ich hab extra was Extremes gemacht!

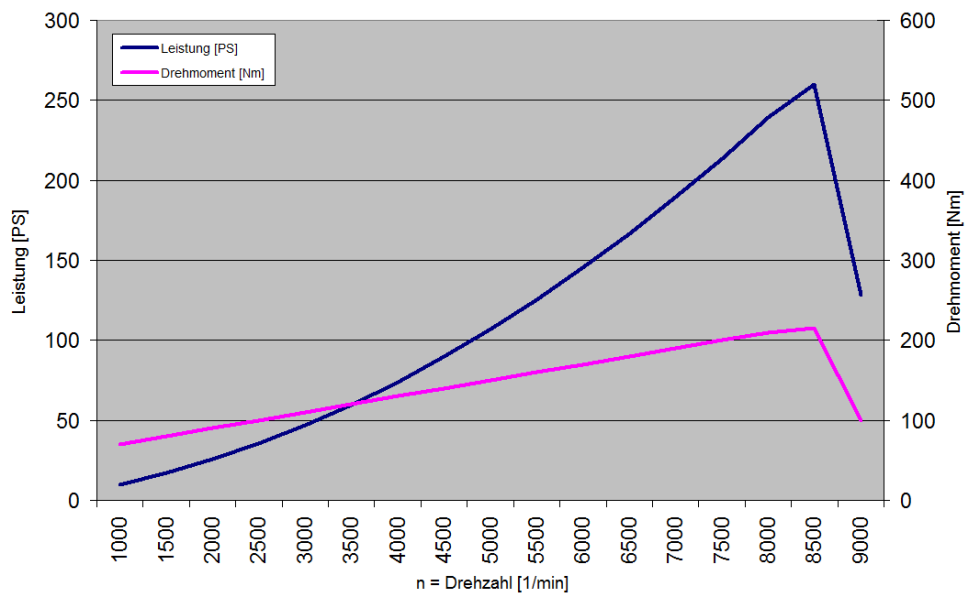
Beispiel 1: Das Drehmoment ist über einen großen Drehzahlbereich konstant, die Leistung steigt. 280Nm bei 6500 1/min = 260PS



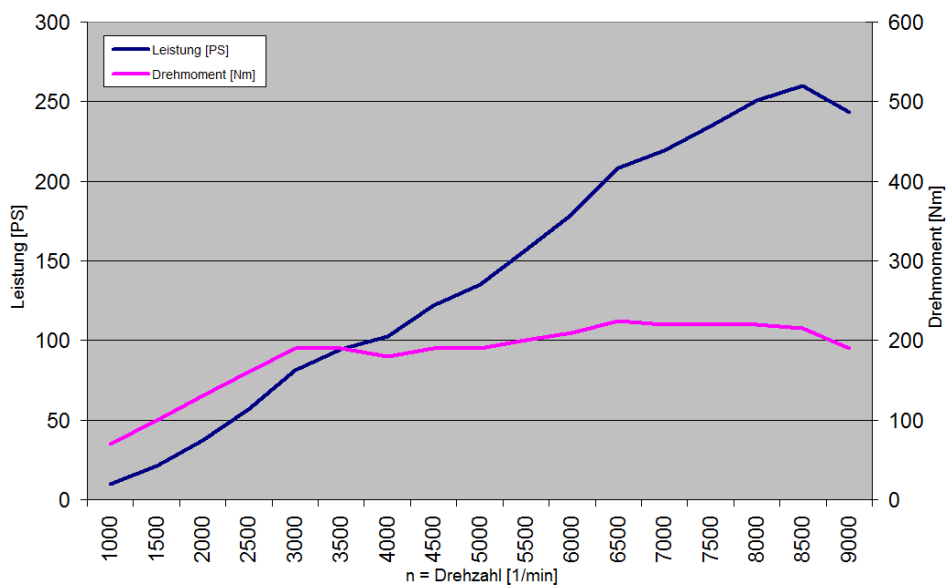
Beispiel 2: Stark ansteigendes Drehmoment mit Maximalwert bei 3000 1/min mit darauffolgendem Abfall. Die Maximalleistung von 260 PS liegt aber erst später an (5500 1/min)!



Beispiel 3: Hier steigt das Drehmoment nur ganz langsam, das maximale Drehmoment von 215Nm wie auch die Maximalleistung (wieder 260PS) liegen erst bei 8500 1/min an!



Als reales Beispiel mal der Honda S2000. Interessant ist dieses Fahrzeug weil die maximale Leistung von ~260PS erst bei 8500 1/min anliegt.



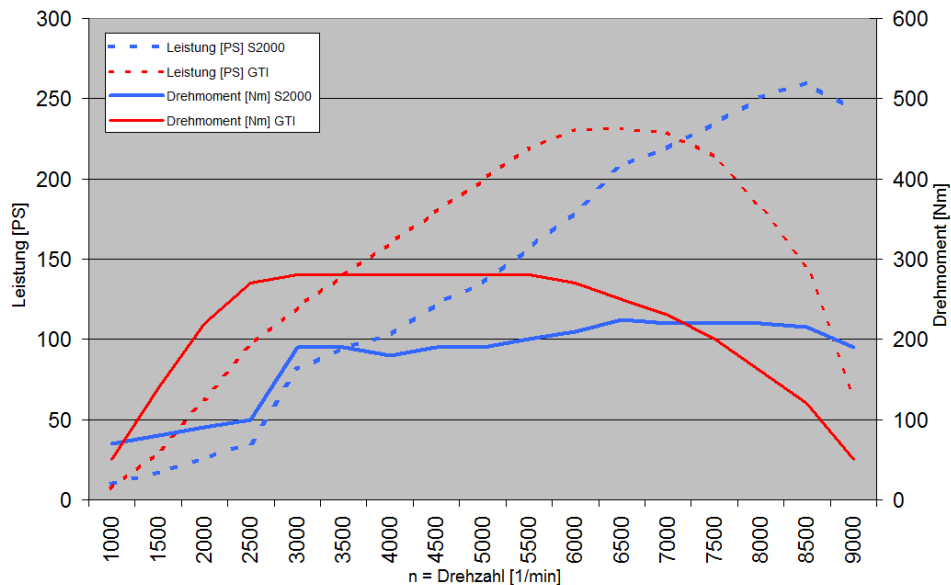
Nominal hat der S2000 mit 260PS gut 30PS mehr als der GTI. Aber was sagt das jetzt über das Beschleunigungsverhalten im Vergleich aus?

Ohne genau das Gewicht zu kennen welches beschleunigt werden muss ist es auch eher Kaffeefahrtleserei, aber ich kann sagen dass der Honda ähnlich schwer ist, also vernachlässigen wir das mal.

Wenn man sich nun den Drehmomentverlauf ansieht und davon ausgeht das bei einer Beschleunigung von 0 auf 100km/h aus dem Stand der erste, zweite und dritte Gang benutzt wird und auch ein entsprechendes Drehzahlband durchfahren wird (man bewegt sich also nicht nur auf dem maximalen Drehmoment!)

Wenn also der GTI immer von 3000 1/min auf 7000 1/min hochbeschleunigt, liegt ein Drehmoment von mindestens 230Nm an, überwiegend sogar 280Nm

Beim Honda lediglich ~210 Nm, maximal 225Nm während er irgendwo zwischen 5000 1/min und 8500 1/min dreht.



Der Vergleich GTI vs. S2000 ist jetzt nur als Beispiel zu sehen, aber man erkennt dennoch wie wenig im Prinzip die reine „PS“-Angabe aussagt. Auch das maximale Drehmoment lässt nicht zwingend auf die Performance des Fahrzeuges schließen, vielmehr ist der der gesamte Drehmomentverlauf und natürlich das Gewicht das es zu bewegen gilt!

Die Leistungsmessung

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Leistungsmessung an sich.

Wie man sich sicherlich gut vorstellen kann, hat ein Verbrennungsmotor bei hohen Außentemperaturen (t) aufgrund des niedrigeren Sauerstoffgehaltes und schlechteren Zylinderfüllung weniger Leistung als bei niedrigen Temperaturen. Ebenso spielt der Luftdruck (p) eine große Rolle, denn er beeinflusst ebenfalls die Zylinderfüllung. Auch die Luftfeuchtigkeit kann eine Rolle spielen, wird aber nicht berücksichtigt, wie wir im späteren Verlauf sehen.

Um die zwangsläufig unter unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen gemessenen Leistungen besser vergleichen zu können, muss diese normalisiert werden.

Dazu wird die gemessene Leistung korrigiert und so rechnerisch auf vorher festgelegte Normwerte kalkuliert.

Dazu werden normalerweise zwei verschiedenen Korrekturformeln angewandt, entweder nach DIN 70020 oder nach EWG 80/1269

Bei der DIN 70020 wird die Leistung auf den Bezug 1013 mbar und 20 Grad C korrigiert. Der Korrekturfaktor k errechnet sich dabei wie folgt:

$$k = (1013/p) * ((273+t)/273+20)^{0,5}$$

Wie wir sehen wird hier, für alle Motoren gleich, nach Luftdruck und Temperatur korrigiert. Allerdings sind diese Einflüsse bei Saugmotoren anders ausgeprägt als bei Turbomotoren und beim Diesel wieder anders als beim Otto.

Hier setzt die Korrektur nach EWG 80/1269 an. Als Bezug dient nicht nur der Luftdruck (p) von 990 mbar und die Lufttemperatur (t) von 25 Grad C, sondern je nach Motortyp wird noch mit zwei Exponenten (x und y) unterschiedlich korrigiert:

$$K = k1 * k2$$

$$k1 = (990/p)^x$$

$$k2 = ((273+t)/(273+25))^y$$

Für die Exponenten x und y gilt bei den Motoren:

Ottomotor (Sauger) x = 1,2 y = 0,6

Dieselmotor (Sauger) x = 1,0 y = 0,7

Turbodiesel x = 0,7 y = 1,5

Wie man sieht ist das alles nicht so einfach und jetzt auch keine 100%ig genaue Wissenschaft!

Der Prüfstand an sich hat sicherlich Messtoleranzen und selbst die EWG-Korrektur kann nicht alles erschlagen.

Auch wenn hier nach Otto, Diesel und Turbodiesel unterschieden wird, so kann man doch davon ausgehen das z.B. ein 900ccm 3-Zylinder-Smartdieselmotor anders auf veränderte Umgebungsbedingungen reagiert als nen V12-Turbodieselrennmotor vom Audi R10.

Man sollte sich da also wegen 5PS rauf oder runter nicht unbedingt schlagen. Wenn man es so genau braucht, muss man auf einen reinen Motorenprüfstand mit konditionierten Umgebungsbedingungen gehen und auch da gibt es gewisse Messtoleranzen (~1% bei guten Prüfständen)

Verfasser: r@bbit

