Theoretischer Widerstandsverlauf über linear ansteigende Geschwindigkeiten laut Lehrbuch und vernünftigen Verständnis:

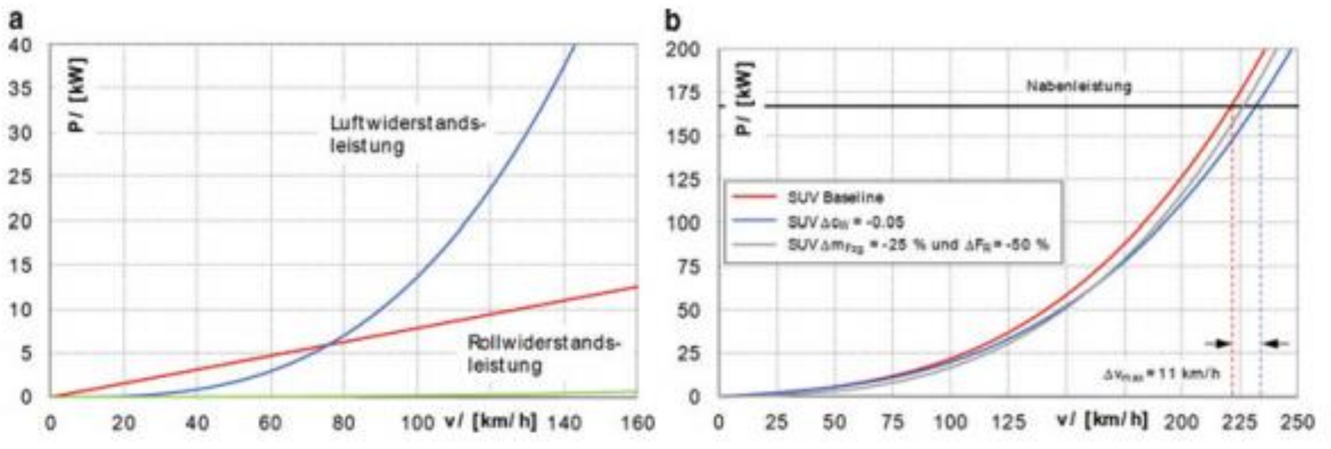


Abb. 2.7 Fahrwiderstände eines Geländewagens (**a**) und Gesamtfahrwiderstand (**b**), aufgetragen über der Fahrgeschwindigkeit. (Schütz in [52])

Der normalerweise als konstant angenommene Rollwiderstand besitzt einen kleinen linearen Anteil. Gleichzeitig besitzt er einen konstanten Anteil.
Der Windwiderstand ist allein schon aus der Bildungsgleichung offensichtlich quadratischer Natur:
Zusätzliche Steigungswiderstände seien vernachlässig, weil angenommen werden kann, dass auf ebener Fahrbahn beschleunigt und ausgerollt wird.
Zusätzlich kommen noch innere Verluste im Antriebsstrang und in Lagern und etc. durch Reibungen.Wir wollen diesen einfach mit einem Koeffizienten und einem geschwindigkeitslinearen Anteil erschlagen.
Stellt man jetzt nicht die Verlustleistung dar, sondern die Widerstände ($P = F \cdot v$) so ergeben sich in der Theorie:

$$F_{Roll\,1} = f_0 \cdot m \cdot g$$
$$F_{Roll\,2} = f_1 \cdot m \cdot g \cdot v$$
$$F_{Wind} = c_W \cdot A \cdot \frac{\rho_{Luft} \cdot v^2}{2}$$
$$F_{inner} = K_1 \cdot v + K_2$$

Die Gesamtwiderstände sei die Summe aus allen.
Die praktische Leistungsmessung eines Verbrennungsmotors verläuft immer nach dem Prinzip, dass zuerst die am Rad zur Verfügung stehende Leistung gemessen wird (entspricht der Motorleistung abzgl. aller Verluste und Reibungen) und im Anschluss wird durch ein Schlepp- oder Ausrollversuch genau der Anteil gemessen, der zu überwinden ist.
Beispiel:
Das Testfahrzeug wird aktiv beschleunigt. Entsprechend von

$$M_A = M_B + M_{Wind} + M_{Steig} + M_{Roll} + M_{inner}$$

schafft der Motor (M_A) die Widerstände zu überwinden und mit dem festen Reservoir, was ihm zur Verfügung steht ein gewisses M_B hervorzurufen. Die typische Motorkennlinie sorgt, dafür, dass bei manchen Drehzahlen mehr M_B überwunden werden kann und bei manchen weniger.
Während des Ausrollversuches wird ausgekuppelt und M_A fällt somit sofort auf 0. Das Gleichgewicht kann umgestellt werden zu:

$$M_W = \sum\left(M_{Wind}, M_{Steig}, M_{Roll}, M_{inner}\right) = -M_B$$

Mit dem Wissen, dass man eine bestimmte Masse translatorisch beschleunigt und dabei ein bestimmt Trägheitsmoment aller rotierenden Teile in Drehung versetzen muss, ergibt sich für das wirkende M_B

$$M_B = \left(m_{ges} \cdot r_{Rad}^2 + J_{red,Antriebsrad}\right) \cdot \alpha$$

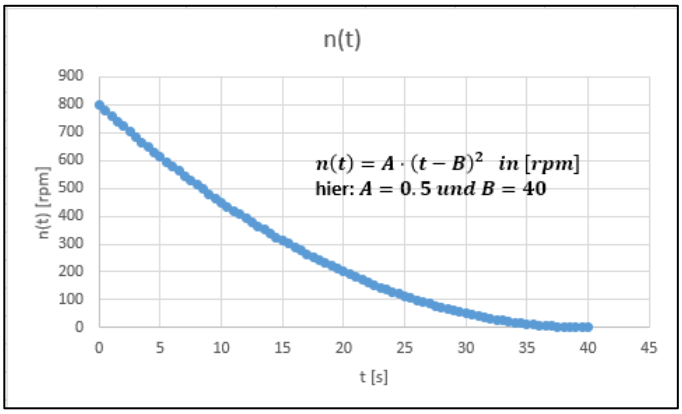
Das Beschleunigungsmoment setzt sich zusammen aus der translatorischen Masse mal dem Radius des Antriebsrades + allem auf das Antriebsrad reduzierten Trägheitsmomenten und dem Produkt deren Summe mit der momentan wirkenden Winkelbeschleunigung α.

Das bedeutet, durch eine Drehzahlmessung während des Ausrollens kann man im Anschluss die Winkelbeschleunigung errechnen (Differenzenquotient oder Ableiten einer Funktionsgleichung) und erhält mit dem Wissen der bewegten Massen automatisch den aufzuwendenden Beschleunigungswiderstand und somit auch die Summe aller angreifenden Widerstände, die eben genau jene Beschleunigung / Verzögerung hervorrufen.
Um am Ende die Motorleistung zu ermitteln, tut man nichts weiter mehr, als das um die Schleppanteile reduzierte Radmoment mit dem ermittelten Schleppmoment zu addieren.
Das ist das Prinzip eines jeden typischen, konventionellen Leistungsprüfstandes.

Nun zum Problem:

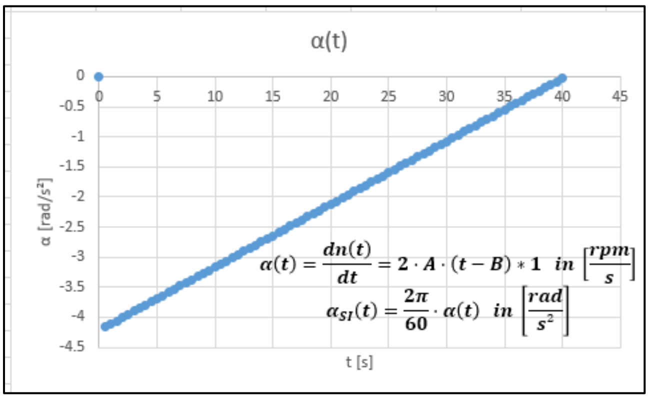
Wir stellten fest, dass der Kraft/Momentverlauf der Widerstände über der Zeit oder einer linear ansteigenden Geschwindigkeit, so wie er in Abbildung 1 aufgezeigt ist, durchaus Sinn macht.

Nun kennen wir aber diesen Verlauf nicht und suchen ihn (reverse engineering). Wir messen also den Drehzahlverlauf beim Ausrollen. Sagen wir es stellt sich ein idealer Geschwindigkeitsverlauf ein von: (warum ideal? Weil der direkt quadratisch ist mit $n[rpm] = A \cdot (t - B)^2 + 0$)



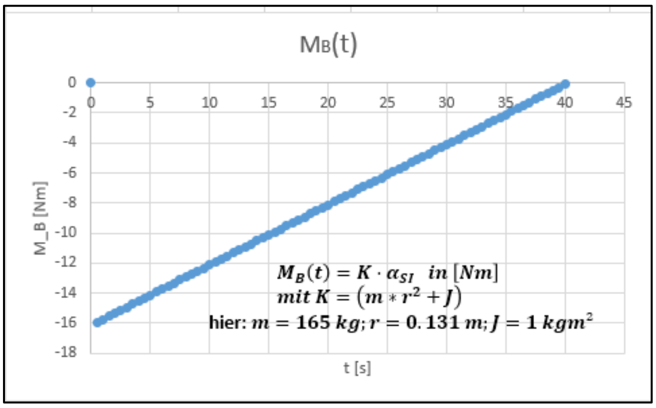
Messwerte	
s	rpm
t	n
0	800
0.5	780.125
1	760.5
1.5	741.125
2	722
2.5	703.125
3	684.5
3.5	666.125
4	648
4.5	630.125
…	…

Nun muss man zunächst in der Zeitdomäne bleiben und diesen Verlauf Ableiten oder aus diskreten Messwerten den Differenzenquotient bilden. Erwartungsgemäß wird sich ein linearer Verlauf einstellen, weil die Stammfunktion davon ja eine quadratische Natur besitzt.



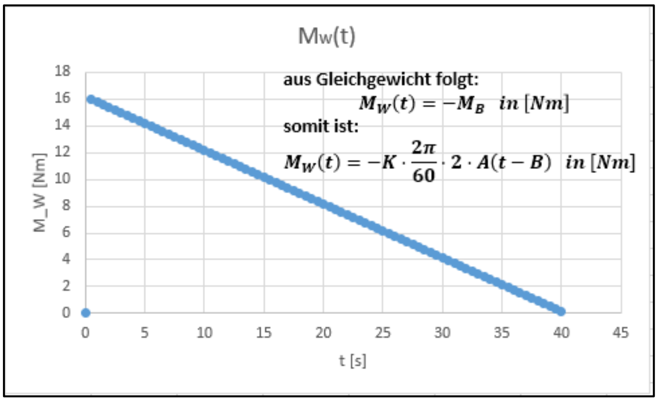
DiffQuo	n-Ablei
rad/s²	rad/s²
acc	acc'
0	-4.18879
-4.16261	-4.13643
-4.11025	-4.08407
-4.05789	-4.03171
-4.00553	-3.97935
-3.95317	-3.92699
-3.90081	-3.87463
-3.84845	-3.82227
-3.79609	-3.76991
-3.74373	-3.71755
…	…

Aus dem oben gelernten ergibt sich somit folglich, dass er (Beschleunigungs-)Widerstandsmoment-Verlauf ebenfalls linear über die Messzeit verlaufen muss.
Überflüssig zu erwähnen, dass damit auch der gemessene Verlauf der Widerstandssummen bekannt ist, ie jenes Verzögerungsmoment hervorruft.



Nm Mb	Nm Mw
0	0
-15.9493	15.94931
-15.7487	15.74869
-15.5481	15.54807
-15.3475	15.34745
-15.1468	15.14683
-14.9462	14.94621
-14.7456	14.74559
-14.545	14.54497
-14.3443	14.34435
…	…

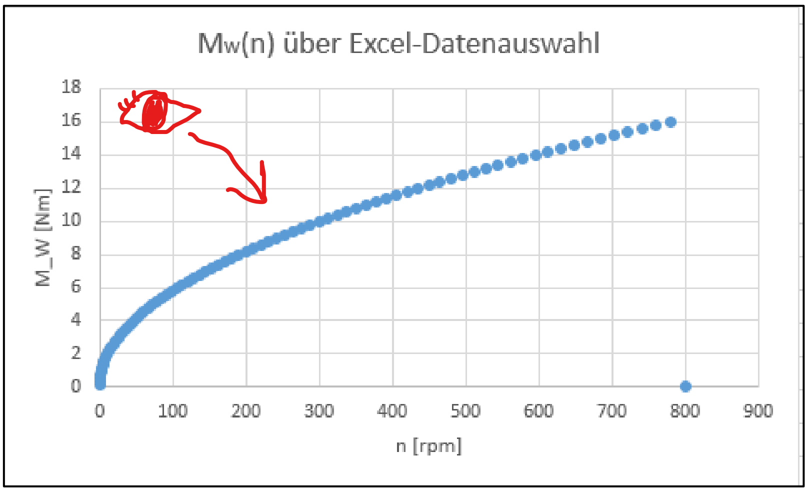
Daraus folgt:



Aus Ingenieurstechnischer Sicht möchte ich diese Verläufe nun aber wieder über der entsprechenden Geschwindigkeit darstellen und nicht als Funktion der Zeit. Um das zu tun, habe ich zwei Möglichkeiten:

a) Ich substituiere die entsprechenden Zeitstempel einfach durch die entsprechende Drehzahl, die zu diesem Zeitstempel gemessen wurde
b) Ich bilde die Umkehrfunktion der Drehzahlbestimmungsgleichung vom Anfang und mache aus $n(t)$ ein $t(n)$. Dann setze ich diese Transformation in die Bestimmungsgleichung für M_W ein und transformiere somit $M_w(t)$ zu $M_w(n)$

In beiden Fällen stellt sich immer der folgende Verlauf ein:



Vom Blickpunkt aus gesehen stellt sich somit nie ein konkaver Verlauf ein, sondern immer nur ein konvexer. Wer kann dabei helfen? Wie komme ich von der Ausrollmessung zu den typischen Verläufen, die ja wirken müssen, aus Abbildung 1. Bedenkt dabei immer die Zeitdomäne und die Geschwindigkeitsdomäne. Das die Geschwindigkeit ja immer nichtlinear mit der Zeit verläuft, ändert das immer die Qualität des Graphen vom F(t)- in ein F(v)-Diagramm. Probiert es flux in Excel aus !! :-)