



Einige Überlegungen zu E10

Es fällt auf den ersten Blick schwer, die Auswirkungen eines vergrößerten Ethanolanteils im Kraftstoff einzuschätzen. Hier sollen einige Überschlagsrechnungen helfen. Es werden nur allgemein zugängliche Tabellenwerte verwendet. Die getroffenen Annahmen sind vereinfacht.

Tabellenwerte

Für eine stöchiometrische Verbrennung kann man den Luftbedarf angeben:

$$\text{Luftbedarf}_{\text{Benzin}} = 14.7 \frac{\text{kg Luft}}{\text{kg Benzin}} \quad \text{Luftbedarf}_{\text{Ethanol}} = 9 \frac{\text{kg Luft}}{\text{kg Ethanol}}$$

Die Dichten von Benzin, Ethanol und Luft sind bekannt (Für Luft wird hier der Wert für 20°C und Normaldruck verwendet. Es wird auch vorausgesetzt, daß immer das gleiche Wetter herrscht. Das ist für die folgenden Rechnungen nicht immer ganz genau, der Fehler bleibt aber klein)

$$\text{Dichte}_{\text{Benzin}} = 750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Dichte}_{\text{Ethanol}} = 790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Dichte}_{\text{Luft}} = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Luftbedarf für die stöchiometrische Verbrennung

Damit kann man den Luftbedarf für die stöchiometrische Verbrennung auch in Volumeneinheiten angeben

$$\text{Luftbedarf}_{\text{Benzin}}^V = \text{Luftbedarf}_{\text{Benzin}} \times \frac{\text{Dichte}_{\text{Benzin}}}{\text{Dichte}_{\text{Luft}}} = 9 \frac{\text{m}^3 \text{Luft}}{\text{l Benzin}}$$

$$\text{Luftbedarf}_{\text{Ethanol}}^V = \text{Luftbedarf}_{\text{Ethanol}} \times \frac{\text{Dichte}_{\text{Ethanol}}}{\text{Dichte}_{\text{Luft}}} = 5.804 \frac{\text{m}^3 \text{Luft}}{\text{l Ethanol}}$$

Und jetzt kann man den Luftbedarf für verschiedene Anteile von Benzin und Ethanol berechnen

$$\text{Luftbedarf}(E) = \frac{(100 - E) \times \text{Luftbedarf}_{\text{Benzin}}^V + E \times \text{Luftbedarf}_{\text{Ethanol}}^V}{100}$$

Graphisch dargestellt :

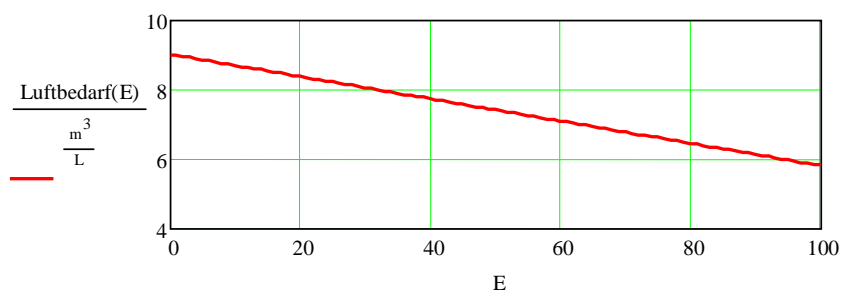


Abbildung 1 Luftbedarf für eine stöchiometrische Verbrennung von Benzin mit unterschiedlichem Ethanolanteil

Und für Gemische von 0% bis 10% Ethanol in Benzin :

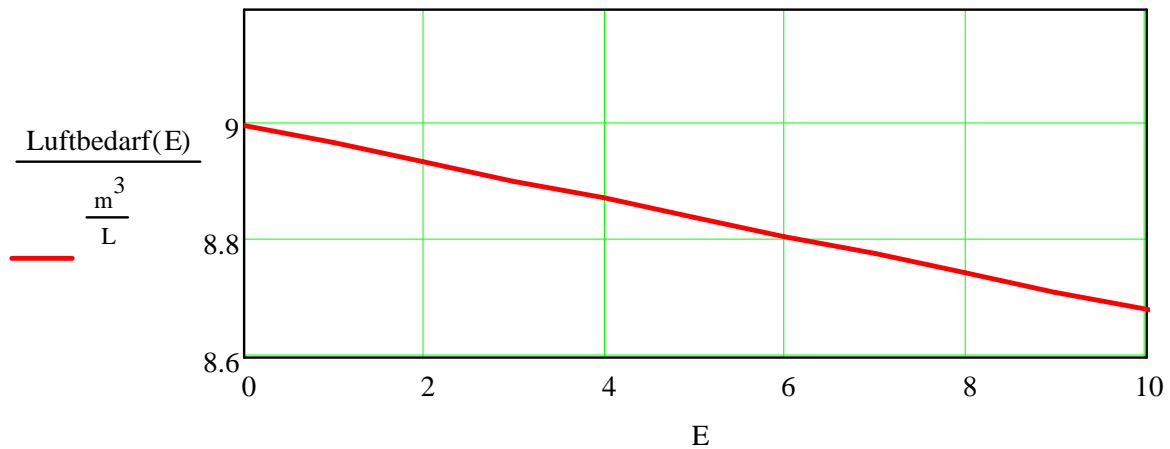


Abbildung 2 Luftbedarf für eine stöchiometrische Verbrennung von Benzin mit unterschiedlichem Ethanolanteil

Was für Auswirkungen hat das in der Praxis ?

Wenn man einen Vergaser mit E0 also alkoholfreiem Kraftstoff auf $\lambda = 1$ einstellt und dann ethanolhaltigen Kraftstoff tankt, wird sich das Verbrennungsluftverhältnis ändern.

$$\lambda_{E0} = \frac{\text{Luftbedarf}(E = 0)}{\text{Luftbedarf}(E = 0)} = 1$$

$$\lambda_{E5} = \frac{\text{Luftbedarf}(E = 0)}{\text{Luftbedarf}(E = 5)} = 1,018$$

$$\lambda_{E10} = \frac{\text{Luftbedarf}(E = 0)}{\text{Luftbedarf}(E = 10)} = 1,037$$

Oder, wieder in einer Graphik ausgedrückt :

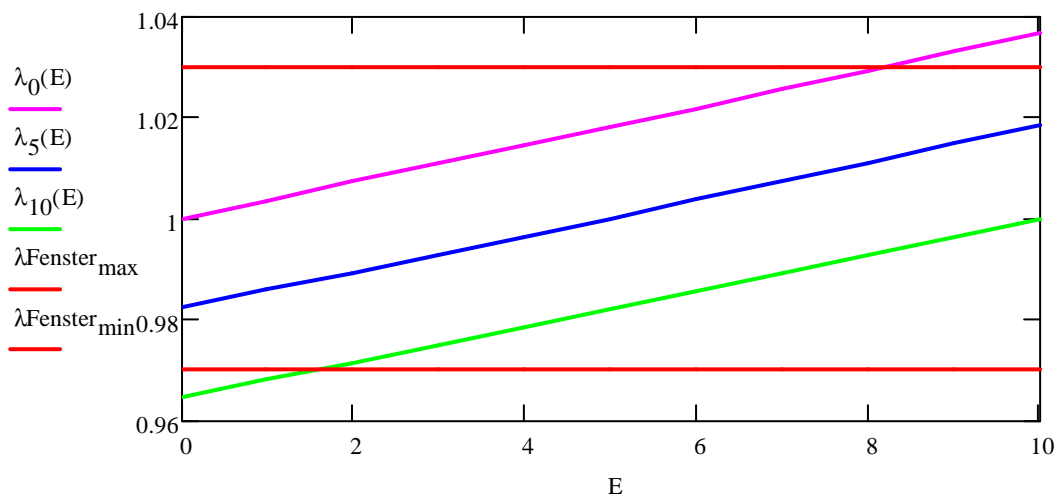


Abbildung 3 Verbrennungsluftverhältnis bei verschiedenen Kraftstoffkombinationen

Das Bild zeigt alle möglichen Kombinationen. Die grüne Gerade z.B. zeigt, daß ein Vergaser, der mit E10 auf $\lambda = 1$ eingestellt, mit E5 ein λ von 0,98 und bei E0 einen Wert von $\lambda = 0,965$ erreicht.

Dazu sind zwei Grenzwerte eingezeichnet : Die Eingreifgrenzen der Lambdasonde in geregelten Motoren.

$$\lambda_{max}^{Fenster} = 1,03 \text{ und } \lambda_{min}^{Fenster} = 0,97$$

In den Extremfällen dieser Rechnung ändert sich das Verbrennungsluftverhältnis also so weit, daß eine Regelung versuchen würde, die Abweichung auszugleichen. Die ungefähren Grenzen für optimalen Kraftstoffverbrauch und optimales Drehmoment zeigt das nächste Bild. Über den Schadstoffausstoß in den verschiedenen Betriebsbereichen sagen diese Bilder nichts.

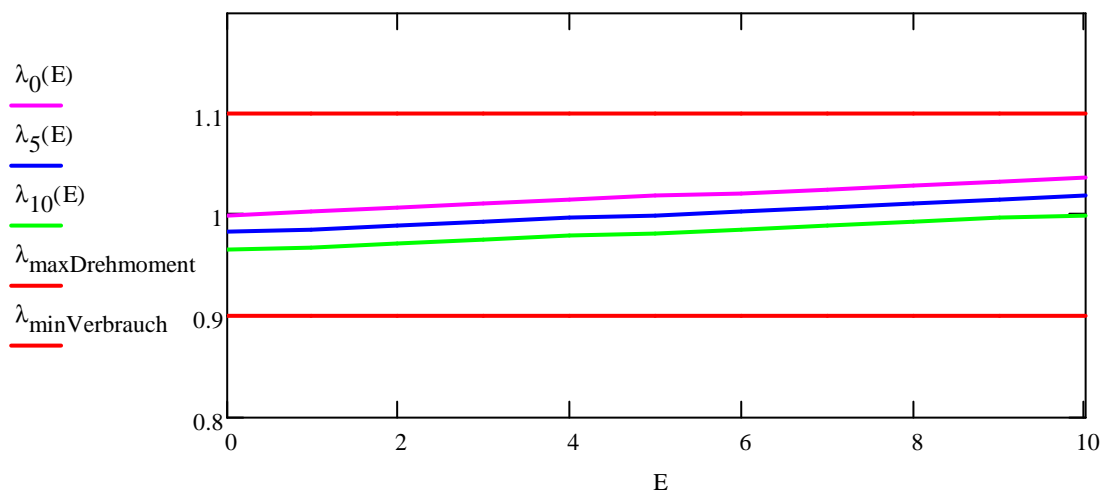


Abbildung 4 Verbrennungsluftverhältnisse und Grenzwerte für optimales Drehmoment und geringsten Verbrauch

Die folgenden Abschätzungen zeigen, daß andere Effekte eine viel größere Rolle spielen.

Einfluß von Luftdruck und Höhe

Der Luftdruck ist von der Höhe abhängig. Eine grobe Faustregel sagt daß 8 Höhenmeter 1 mbar Druckunterschied machen. Genauer lässt sich das mit der barometrischen Höhenformel berechnen :

$$p(h) = 1013.25 * \left(1 - \frac{0.065h}{288.15}\right)^{5.225} \times hPa$$

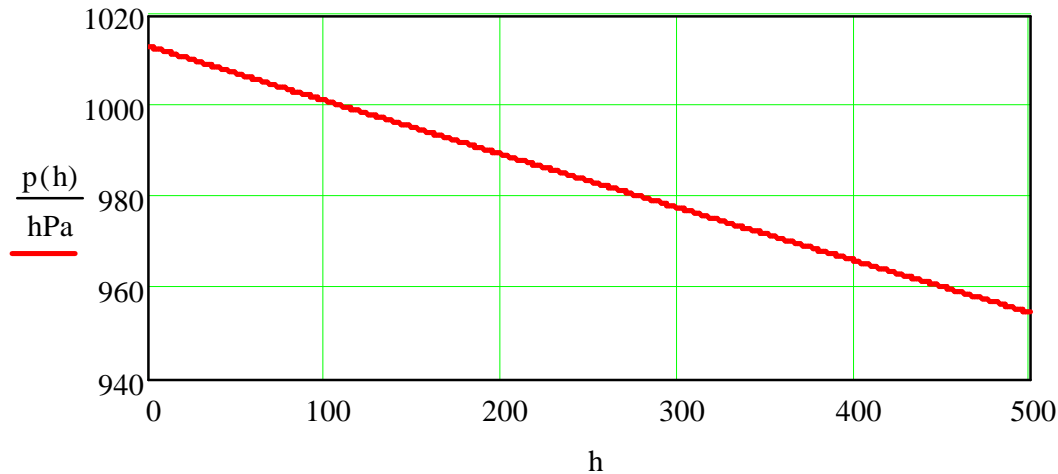


Abbildung 5 Darstellung des Luftdruckverlaufs für Höhen von 0 bis 500 m mit der barometrischen Höhenformel

Stellt man einen Vergaser auf 0 Höhenmeter , z.B. in Bremerhaven auf $\lambda = 1$ ein und fährt dann nach München (518 m über NN) ändert sich das Verbrennungsluftverhältnis deutlich. Umgekehrt, Einstellen in München, dann nach Bremerhaven fahren, passiert natürlich das Gegenteil. Nennen wir das Verbrennungsluftverhältnis wenn die Einstellung auf 0 m über NN erfolgte λ_0 und λ_{500} , wenn der Vergaser auf 500 m über NN eingestellt wurde.

$$\lambda_0 = \frac{p(0m)}{p(h)} \quad \lambda_{500} = \frac{p(500 m)}{p(h)}$$

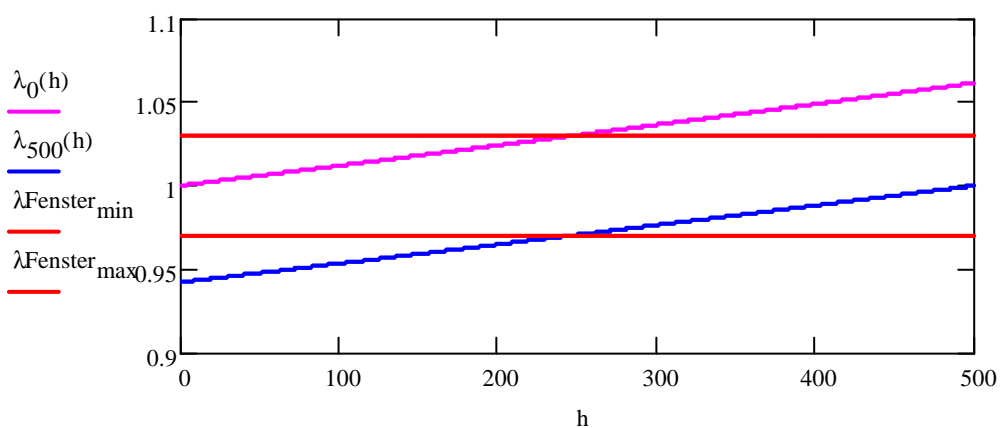


Abbildung 6 Einfluss der Höhe über NN auf das Verbrennungsluftverhältnis

Wie man leicht sieht, werden die Regelgrenzen der Lambdasonde hier schon viel deutlicher überschritten.

Die Luftdruckunterschiede durch normales Wetter sind kleiner. 990 mbar bei niedrigem und 1030 mbar bei hohem Luftdruck würden Werte von

$$\lambda = \frac{990}{1030} = 0,9611 \quad \text{oder} \quad \lambda = \frac{1030}{990} = 1,0404$$

ergeben. Die Regelgrenzen $\lambda_{max}^{Fenster} = 1,03$ und $\lambda_{min}^{Fenster} = 0,97$ würden aber schon wieder überschritten

Energieinhalt und Leistung

In den einschlägigen Tabellen und Datenblättern findet man für die Reaktionsenthalpien von Benzin und Alkohol die Werte

$$H_{Benzin} = 42 \frac{MJ}{kg} \quad \text{und} \quad H_{Ethanol} = 26,9 \frac{MJ}{kg}$$

Mit den Dichten

$$Dichte_{Benzin} = 750 \frac{kg}{m^3} \quad \text{und} \quad Dichte_{Ethanol} = 790 \frac{kg}{m^3}$$

kann man auch das wieder auf das jeweilige Volumen umrechnen

$$HV_{Benzin} = H_{Benzin} \times Dichte_{Benzin} = 31,5 \frac{MJ}{l}$$

$$HV_{Ethanol} = H_{Ethanol} \times Dichte_{Ethanol} = 21,25 \frac{MJ}{l}$$

Und damit zu einer gegebenen Luftmenge den Energieinhalt

$$\text{Für Ethanol: } \frac{HV_{Ethanol}}{Luftbedarf_{Ethanol}} = 3,66 \frac{kJ}{l \text{ Gemisch}}$$

$$\text{Für Benzin: } \frac{HV_{Benzin}}{Luftbedarf_{Benzin}} = 3,51 \frac{kJ}{l \text{ Gemisch}}$$

Für beliebige Gemische :

$$HVF(E) = \frac{(100 - E) \times HV_{Benzin} + E \times HV_{Ethanol}}{(100 - E) \times Luftbedarf_{Benzin} + E \times Luftbedarf_{Ethanol}}$$

Graphisch dargestellt :

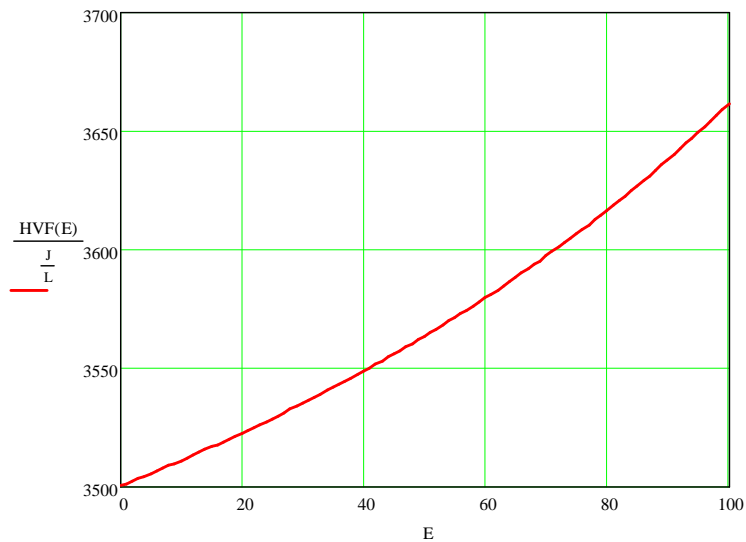


Abbildung 7 Auf das Volumen bezogener Energieinhalt verschiedener Gemische von Benzin und Ethanol bei gegebener Luftmenge

Die Leistung eines Motors hängt von Hubraum, Drehzahl, Zahl der Zylinderfüllungen pro Umdrehung und dem Energieinhalt des Kraftstoff-Luftgemisches ab. Davon ist leider nur ein Teil als mechanische Arbeit nutzbar.

$$Leistung = \text{Hubraum} \times \text{Drehzahl} \times \text{Füllungen} \times \frac{HV_{\text{Kraftstoff}}}{\text{Luftbedarf}_{\text{Kraftstoff}}}$$

Für einen Viertaktmotor der in jeder zweiten Umdrehung seine Zylinder füllt, mit 1000 cm^3 Hubraum und 1000 Umdrehungen pro Minute ergibt sich

$$\text{Für Ethanol : } Leistung_{\text{Ethanol}} = 30.5 \text{ kW}$$

$$\text{Für Benzin : } Leistung_{\text{Benzin}} = 29.17 \text{ kW}$$

Erstaunlich scheint auf den ersten Blick, daß die Leistung mit Ethanol höher ist. Das wird durch den geringeren Luftbedarf erklärt. Bei feststehender Luftmenge kann mehr Kraftstoff verbrannt und mehr Leistung erzeugt werden.

Der Unterschied ist so gering, daß er nicht ins Gewicht fällt.

Für alle Gemische von Ethanol und Benzin ergibt die graphische Darstellung

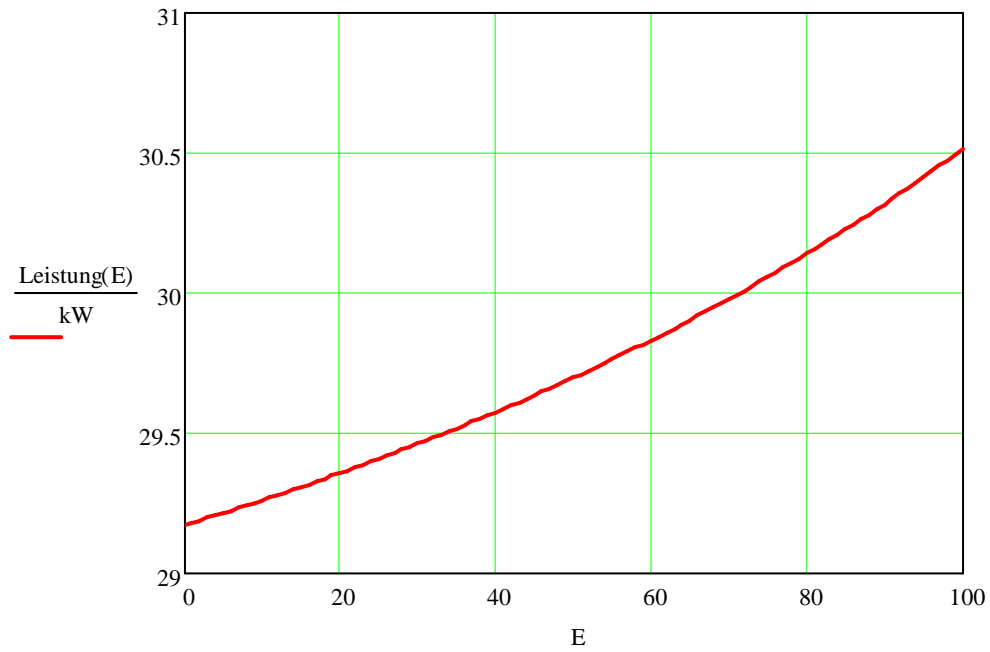


Abbildung 8 Motorleistung eines gegebenen Motors mit verschiedenen Benzin-Ethanol-Gemischen

Für E = 0% bis E= 10%

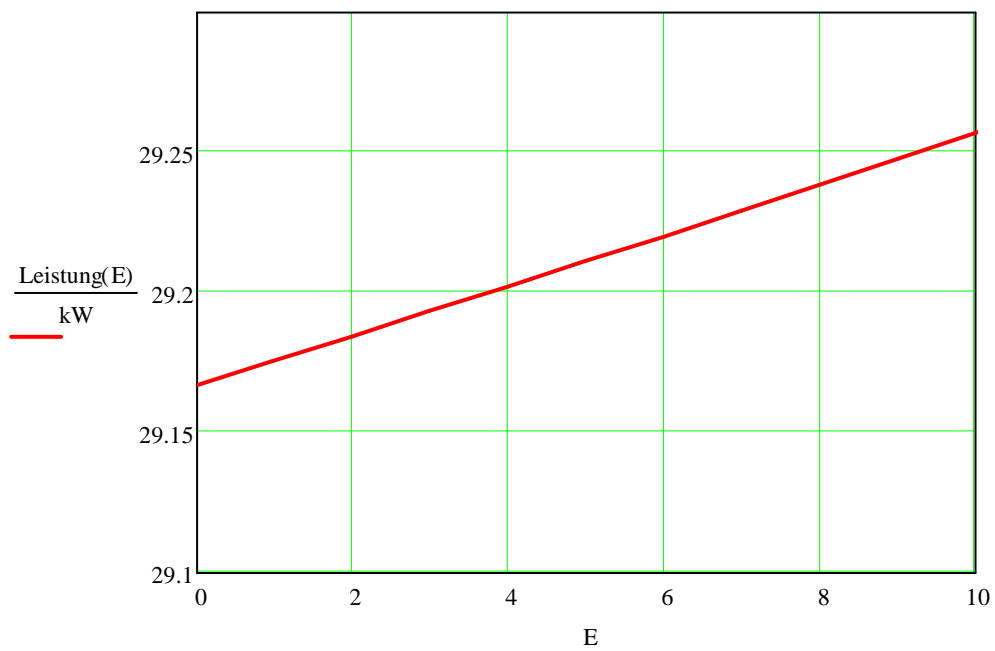


Abbildung 9 Motorleistung eines gegebenen Motors mit Benzin-Ethanol-Gemischen bis 10% Ethanol

Auswirkung von E10 auf Dichtungen

Jeweils fünf Ringe aus Nitrilbutylkautschuk wurden für 100 Tage unter verschiedenen Bedingungen gelagert. In Luft (in der Schublade), Wetter (am Erbsenspalier) In Wasser, in Brennspritus, in Superkraftstoff (E5) und Superkraftstoff E10. Danach wurden die Ring gewogen. Die E10 – Ringe waren am schwersten. Sowohl im Durchschnitt als auch in den Einzelmessungen

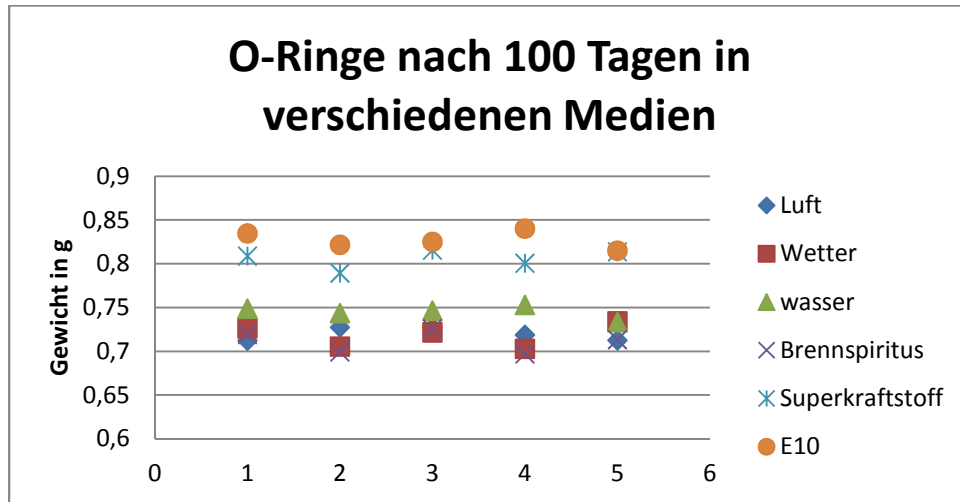


Abbildung 10 Gewichte von Proben nach 100 Tagen in verschiedenen Medien

Gewichte von O-Ringen nach 100 Tagen in verschiedenen Medien in g						
	Luft	Wetter	wasser	Brennspritus	Superkraftstoff	E10
Durschnitt	0,7198	0,7184	0,7453	0,71116	0,80584	0,82758
Standardabweichung	0,00663	0,01211	0,00665	0,01111	0,00960	0,00900

Jeweils ein Ring wurde über 24 Stunden bei 60°C getrocknet. Die Differenz war beim E-10-Ring am größten

O-Ringe trocknen Gewichte in g			
	vorher	nachher	Differenz
Luft	0,7218	0,7184	0,0034
Wetter	0,726	0,7222	0,0038
Wasser	0,7488	0,7218	0,027
Spiritus	0,6985	0,6492	0,0493
Super	0,8248	0,6634	0,1614
E10	0,8211	0,6518	0,1693

Die graphische Darstellung ist noch deutlicher.

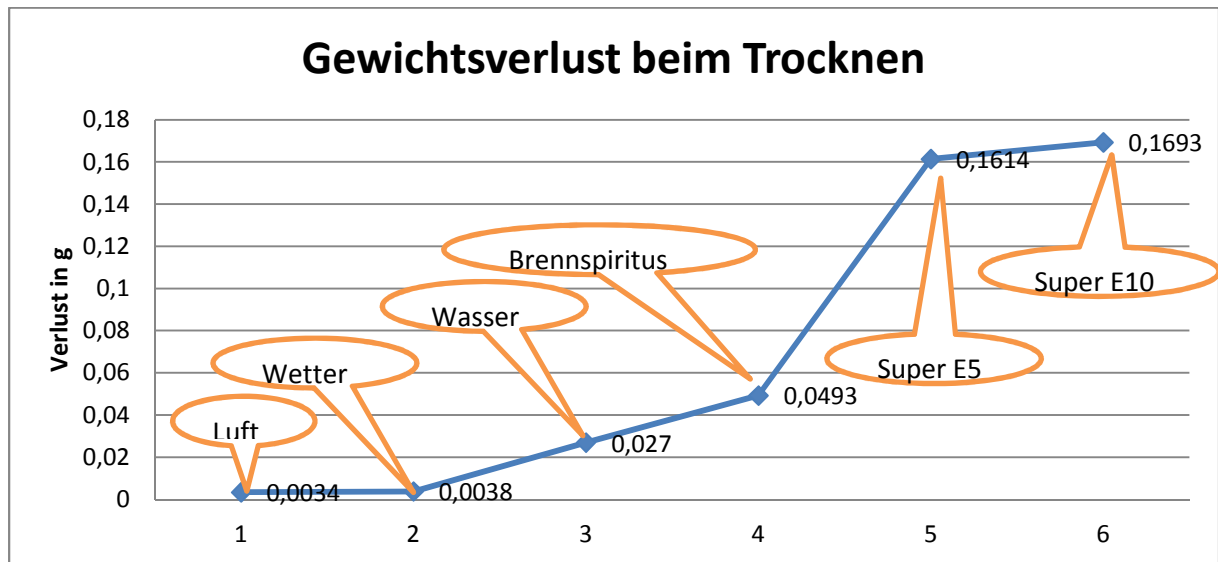


Abbildung 11 Gewichtsverlust einiger Proben nach Trocknung

Festigkeitsverluste

Butylkautschukringe wurden in verschiedenen Medien gelagert. Anschließend auf einer Zugprüfmaschine zerrissen. Die mittlere Bruchdehnung dient als Maß für die Belastung des Materials. Es ist kein nennenswerter Unterschied zwischen E5 und E10 feststellbar.

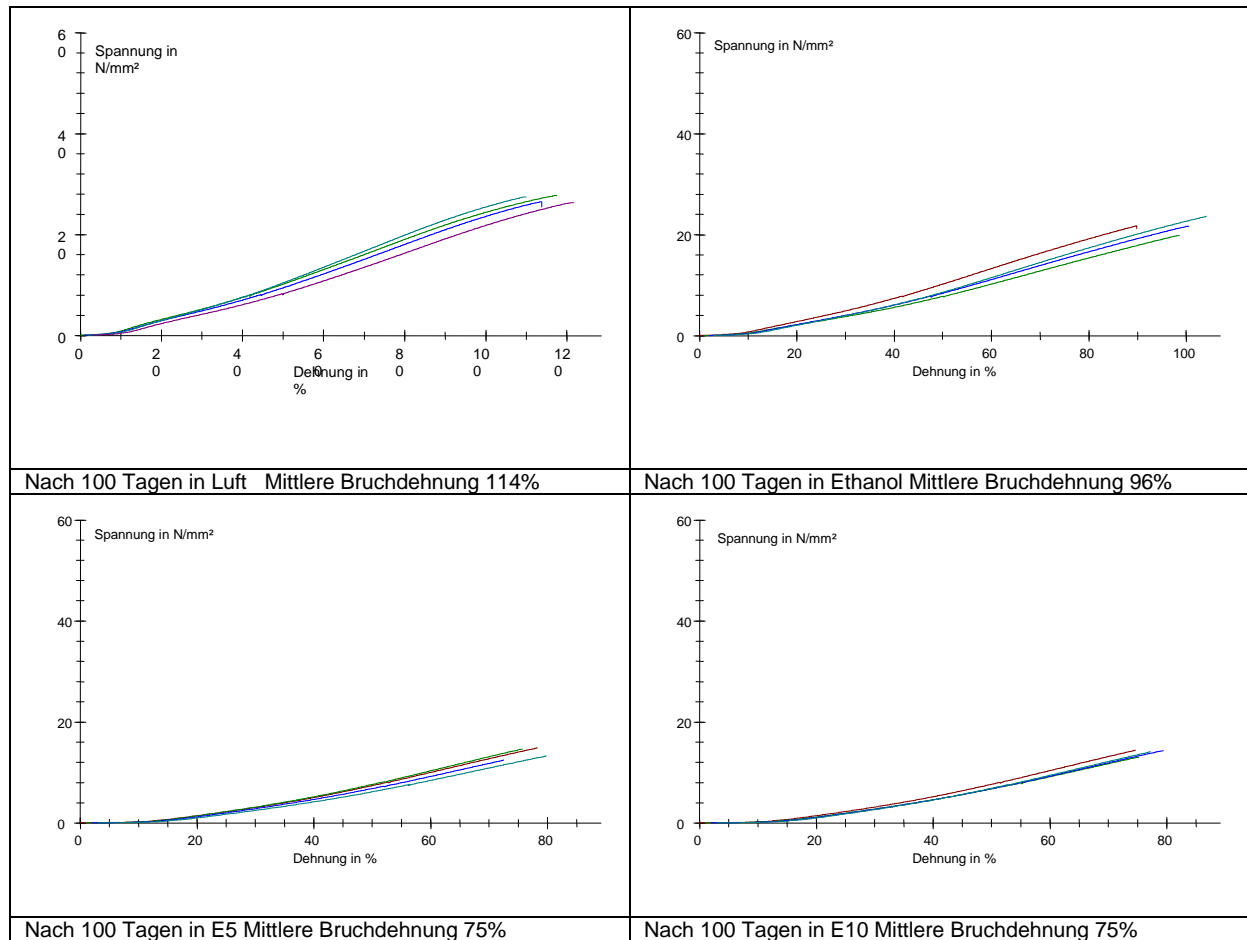


Abbildung 12 Spannungs/Dehnungsmessungen an Butylkautschukringen nach 100 Tagen in verschiedenen Medien

Zusammenfassung

Die Auswirkungen der Ethanolbeimischung auf die Gemischbildung im Motor wurde in Beispielrechnungen geprüft. In einem Motor mit λ -Regelung würde die Regelung auf den Wechsel von E0 zu E10 gerade eben reagieren. Die festgestellten Unterschiede sind kleiner als die Einflüsse durch Wetter und Höhenunterschiede.

Die unterschiedlichen Gasvolumen von Benzin und Ethanol wurden nicht berücksichtigt. Das Quellverhalten und der Einfluss von ethanolhaltigem Kraftstoff auf Butylkautschuk wurde in einfachen Versuchen untersucht. Ein höherer Ethanolgehalt führt zu größerem Aufquellen des Materials. E5 und E10 verringern die Bruchdehnung deutlich. Ein Unterschied von E5 zu E10 ist nicht nachzuweisen.

Schlussfolgerung :

Es ist nicht zu erwarten, daß in der Praxis ein Leistungsverlust oder Überhitzung infolge mageren Gemisches auftritt.

Wegen der Quellwirkung von ethanolhaltigem Kraftstoff scheint es nicht empfehlenswert, alkoholfreies Super+ und E10 im Wechsel zu tanken.