

Magnetische Einflüsse auf Kraftstoffmoleküle

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. **Philippe Leick** *

10. August 2014

Zusammenfassung

Kann mit dem simplen Hinweis, gängige Kraftstoffe seien unmagnetisch, eine Wirkung von magnetischen Feldern auf Verbrennungen bereits ausgeschlossen werden?

Das drastische Beispiel eines Froschs, der in einem starken Magnetfeld zum Schweben gebracht wurde, zeigt, dass die Antwort nicht ganz so einfach ist. Denn genau wie der an sich „unmagnetische“ Frosch sind Kraftstoffe diamagnetisch, von magnetischen Feldern geht also eine kleine, aber nachweisbare Wirkung auf die Moleküle aus. Um makroskopische Veränderungen herbeizuführen, müssen die magnetischen Effekte aber gegen die allgegenwärtige thermische Unordnung ankommen. Eine quantitative Abschätzung zeigt schnell, dass hierzu mehrere Größenordnungen fehlen.

Einleitung

Der folgende Beitrag ist als Ergänzung zu einem Artikel im Skeptiker [11] bzw. einem Vortrag auf der Skepkon 2014 [10] gedacht. Darin wird im Zusammenhang mit magnetischer Kraftstoffbehandlung oder „Aktivierung“ zwar zugestanden, dass von magnetischen Feldern eine reale Wirkung auf Kraftstoffmoleküle ausgeht, das Ausmaß dieser Wirkung gegenüber der allgegenwärtigen thermischen Unordnung aber als vollkommen vernachlässigbar abgeschätzt. Die Schlussfolgerung ist, dass der Idee einer magnetischen Kraftstoffbehandlung – trotz zahlreicher auf diesem Feld erteilter Patente – jegliche Plausibilität fehlt.

Aufgrund ihrer Popularität ist die magnetische Kraftstoffbehandlung dennoch bereits mehrfach systematischen Tests unterworfen worden. Die Ergebnisse sind wenig überraschend: Eine Kraftstoffersparnis konnte nicht festgestellt werden. Dennoch ist zu befürchten, dass magnetische Kraftstoffbehandlung, ganz ähnlich wie die magnetische Wasserbehandlung, in gewissen Kreisen nie wirklich ausser Mode kommen wird. Zu verheißend sind scheinbar einfache „Lösungen“ die vom Anwender keinerlei Änderungen seines Verhaltens einfordern.

* e-mail: philippe.leick@web.de

Ohne Beleg sind auch quantitative Aussagen nichts anderes als mehr oder weniger vertrauenswürdige Behauptungen. Ziel dieses Beitrages ist es daher, die Grundlagen der vorgenommenen Abschätzungen transparent und nachvollziehbar darzulegen. Unweigerlich sind dafür gewisse Vorkenntnisse in Mathematik und Physik erforderlich, das Niveau dürfte den ersten beiden Semestern eines Physikstudiums entsprechen. Kritik, Anregungen und Vorschläge für Ergänzungen sind willkommen.

Magnetisches Orientieren von Kraftstoff-Molekülen

Diamagnetismus

Diamagnetismus ist eine universelle Eigenschaft der Materie, die sich allerdings nur bemerkbar macht, wenn die einzelnen Moleküle, aus denen sie besteht, kein permanentes magnetisches Moment aufweisen – d.h. wenn sie nicht vom wesentlich stärkeren Paramagnetismus überlagert wird. In einem äußeren magnetischen Feld¹ \mathbf{B} verändert sich das Bewegungsmuster der Elektronen leicht, so dass ein magnetisches Moment \mathbf{M} induziert wird:

$$\mathbf{M} = \frac{\chi_V}{\mu_0} \mathbf{B} \quad (1)$$

Die Magnetisierung bezieht sich dabei auf die Stoffmenge und kann pro Volumen- (Index V), Massen- oder Stoffmengeneinheit (M , pro mol) angegeben werden. Gemäß der Lenzschen Regel, nach denen äußere Felder eine ihnen entgegen gesetzte Reaktion hervorrufen, ist die diamagnetische Suszeptibilität immer $\chi < 0$. Außer bei Supraleitern, die mit $\chi_V = -1$ als „ideale Diamagnete“ betrachtet werden können, ist die Suszeptibilität meist sehr gering.

Die makroskopische Magnetisierung setzt sich zusammen aus den induzierten magnetischen Dipolmomenten der einzelnen Moleküle (Index m , Molekülmasse M_m):

$$\mathbf{m} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \mathbf{B} \quad \text{mit} \quad \chi_m = \frac{\chi_V}{\rho} M_m. \quad (2)$$

¹Streng genommen sind magnetische *Flussdichte* \mathbf{B} und *Feldstärke* \mathbf{H} zu unterscheiden. Im allgemeinen Fall ist $\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{M}$, wobei \mathbf{M} die Magnetisierung des Materials ist. Im Interesse einer einfachen Lesbarkeit wird im Folgenden aber einfach von \mathbf{B} als „dem Magnetfeld“ gesprochen.

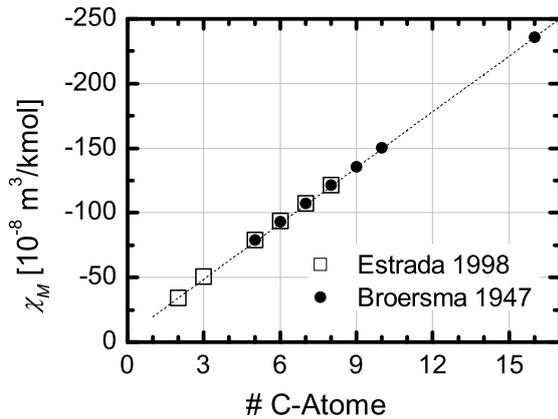


Abbildung 1: Über die Zahl der Kohlenstoffatome n aufgetragene molare Suszeptibilität von Alkanen C_nH_{2n+2}

In den üblichen Tabellen finden sich kaum Werte für die Suszeptibilität von Kohlenwasserstoffen. Eine Recherche hat jedoch geeignete Quellen aufgetan [4, 5], in denen einige typische Bestandteile von Kraftstoffen aufgelistet sind. Zu beachten ist, dass auch in neuerer Literatur noch häufig das cgs-Einheitensystem verwendet wird und selbst bei der dimensionslosen auf das Volumen bezogenen Suszeptibilität eine Umrechnung in das SI-System erforderlich ist: $\chi_V^{SI} = 4\pi\chi_V^{cgs}$. Für einige Alkane sind die molaren Suszeptibilitäten in Abb. 1 aufgetragen.

Im Folgenden werden die Gleichungen hergeleitet, die für eine Abschätzung der relevanten Effekte erforderlich sind. Am Beispiel des n-Dodekans², einem wesentlichen Bestandteil von Dieselkraftstoff, werden die Effektstärken quantifiziert. Seine Suszeptibilität kann zu

$$\chi_m = \frac{\chi_M}{N_A} = -2.98 \cdot 10^{-33} \text{ m}^3 \quad (3)$$

interpoliert werden (Abb. 1). In einem Magnetfeld führt dies zu einer potentiellen Energie des Moleküls von

$$V = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B} = -\frac{\chi_m}{\mu_0} B^2, \quad (4)$$

die aufgrund des Vorzeichens von χ immer positiv ist und mit steigender Feldstärke B zunimmt. Das Molekül „sucht“ also Orte mit geringem Feld – es wird aus dem Magnetfeld herausgedrückt.

Die stärksten kommerziell verfügbaren Permanentmagnete (auf Basis von Neodym-Legierungen) erreichen Feldstärken um 1 T. Für Magnete, die um Kraftstoffleitungen anzubringen sind, entspricht diese auch den höchsten Werten aus den Katalogen einschlägiger Anbieter. Mit der Suszeptibilität von Dodekan und $B = 1$ T kann nun die potentielle Energie berechnet werden. Der resultierende Wert

²Der Präfix n- kennzeichnet das unverzweigte Isomer eines Alkans.

Tabelle 1: Vergleich der magnetischen und thermischen Energien ($T = 300$ K) für ein $C_{12}H_{26}$ -Molekül in einem Feld der Stärke $B = 1$ T. Für die letzte Zeile wurde eine Umrechnung in Höhe h im Schwerfeld der Erde (potentielle Energie ghM_m) durchgeführt.

$V = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B}$	$\frac{1}{2}k_B T$	Einheit
$2.37 \cdot 10^{-27}$	$1.85 \cdot 10^{-21}$	J
$1.48 \cdot 10^{-5}$	11.5	meV
0.00085	660	m

ist sehr gering, wie ein Vergleich mit der potentiellen Energie des Moleküls im Schwerfeld der Erde zeigt. Die magnetische Energie entspricht der potentiellen Energie, die das Molekül gewinnt, wenn es um gerade einmal 0.85 mm angehoben wird.

Für sich alleine genommen ist der berechnete Wert der Energie des induzierten Dipols im Magnetfeld aber noch nicht sehr aussagekräftig. Sinnvoll ist ein Vergleich mit der typischen Energie der thermischen Unordnung – pro Freiheitsgrad im Mittel $1/2k_B T$. In einem Gas ist die mittlere kinetische Energie der umherfliegenden Moleküle $3/2k_B T$, da den drei Raumrichtungen drei Freiheitsgrade entsprechen. Hinzu kommen ggf. noch Freiheitsgrade für Rotation und Schwingungen der Moleküle. Ein Vergleich ist – für Raumtemperatur und in verschiedenen Einheiten – in Tabelle 1 zusammengestellt. Offensichtlich liegt das Verhältnis der Energien bei etwa 1:800 000, es kann daher die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die magnetischen Kräfte nicht gegen die thermische Unordnung ankommen und vollkommen vernachlässigt werden können. Mit jedem Stoß zwischen zwei Molekülen geht Ordnung bzw. Struktur verloren – und diese Stöße sind um ein vielfaches energiereicher bzw. heftiger als die magnetischen Effekte, die auf Kraftstoffmoleküle wirken.

Wie ist es nun möglich, dass diamagnetische Kräfte einen Frosch zum Schweben bringen, auf ein Einzelmolekül aber keinen (messbaren) Einfluss haben? Die Suszeptibilitäten von Wasser als „Hauptbestandteil“ des Froschs und Kohlenwasserstoffen unterscheiden sich nicht stark voneinander. Einen ersten Teil der Antwort liefert die verwendete Feldstärke. Im Experiment von Berry & Geim [3] wurde mithilfe supraleitender Spulen die enorme Feldstärke von 16.5 T erreicht, der Grundeffekt war also um einen Faktor $16.5^2 \sim 270$ Mal stärker. Dann handelt es sich beim Frosch um ein makroskopisches Objekt, in dem sich die Kräfte aufaddieren, die auf die einzelnen Moleküle wirken, während die Bedeutung der Stöße durch das umgebende Gas schwindet. Zuletzt kommt es auch nicht nur darauf an, dem Frosch ausreichend magnetische Energie mitzugeben, das Magnetfeld muss außerdem ausreichend starke Gradienten aufweisen, in dem der Frosch gegen die Schwerkraft nach oben ge-

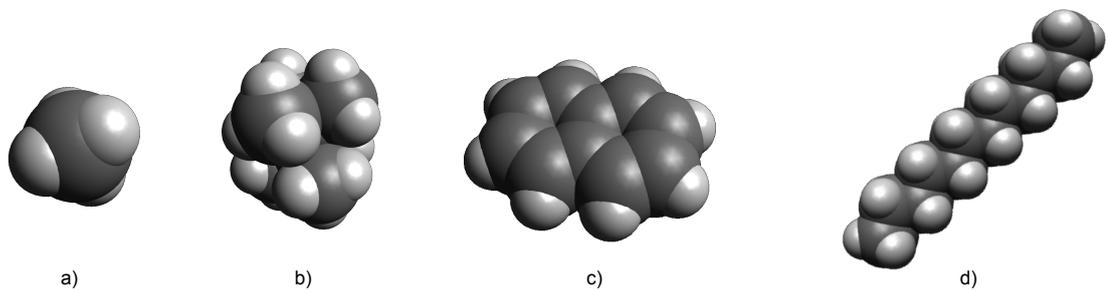


Abbildung 2: Auswahl an Kraftstoffmolekülen: a) Methan CH_4 , b) das besonders verzweigte Isomer iso-Oktan C_8H_{18} , c) das aromatische Molekül Naphtalin C_{10}H_8 , d) das unverzweigte Isomer n-Dodekan $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$.

drückt werden kann. Die Größe des Gebietes, in dem stabile Levitation möglich war, betrug knappe 20 mm.

Ausrichtung magnetischer Dipole im Magnetfeld

When fuel flows through the [...] fuel booster, the hydrocarbons change their orientation and molecules of hydrocarbon change their configuration. This has the effect of ensuring that the fuel actively interlocks with the oxygen, producing a more complete burn in the combustion chamber [19].

So oder ähnlich klingen die Werbeversprechen diverser Anbieter von Magneten für die Kraftstoffleitungen. Gängige Kraftstoffe sind Gemische aus unterschiedlichsten Kohlenwasserstoffen, bei Benzin eher leichtflüchtige, bei Diesel eher schwerflüchtige Moleküle. Bei manchen Molekülen kann man sich tatsächlich vorstellen, dass sie sich in einem äußeren Feld ausrichten können, Beispiele wären das unverzweigte bzw. „linienförmige“ Isomer n-Dodekan oder aromatische Moleküle, deren charakteristischer Kohlenstoffring eine Ebene bildet (Abb. 2). Bei anderen Molekülen, etwa dem Isomer iso-Oktan, einem wesentlichen Bestandteil von Benzin, welches der Oktanzahl ihren Namen gegeben hat, ist die Form eher die eines „Klumpens“, an dem keine Vorzugsrichtung zu erkennen ist. Dies hält manche Anbieter aber nicht einmal davon ab, Magnete für Gasheizungen zu propagieren [14], obwohl beim sehr symmetrischen Methanmolekül – dem Hauptbestandteil von Erdgas – nicht zu erkennen ist, wie es sich ausrichten oder orientieren soll.

Auf magnetische Momente wirkt in einem äußeren Magnetfeld ein Drehmoment

$$\tau = \mathbf{m} \times \mathbf{B}, \quad (5)$$

welches für isotrope diamagnetische Moleküle allerdings verschwindet, da nach Gl. 2 das induzierte magnetische Mo-

ment stets parallel zum anregenden äußeren Feld ist. Für anisotrope Moleküle wie das bereits betrachtete n-Dodekan ist allerdings vorstellbar, dass die Magnetisierbarkeit χ nicht in jeder Richtung gleich ist. Für unverzweigte langkettige Alkane [15] sowie aromatische Moleküle [4] gibt es dafür aus der Literatur tatsächlich Anzeichen sowie Abschätzungen der Größenordnung des Effektes. In solchen Fällen wirkt tatsächlich ein Drehmoment auf das Molekül (Abb. 3):

$$\tau = \frac{\chi_{\perp} - \chi_{\parallel}}{\mu_0} \cdot B^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \sin 2\alpha \frac{\Delta\chi}{\mu_0} \cdot B^2 \quad (6)$$

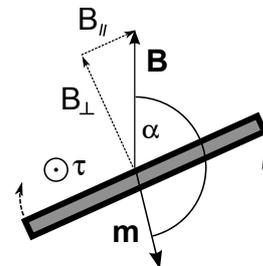


Abbildung 3: Orientierung eines „langkettigen“ Moleküls im Magnetfeld, hier mit $|\chi_{\parallel}| \ll |\chi_{\perp}|$ illustriert.

Für die Orientierungen $\alpha = 0^\circ$, 180° und $\alpha = \pm 90^\circ$ verschwindet dieses Drehmoment, so dass sich das Molekül im Gleichgewicht befindet. Je nach Vorzeichen von $\Delta\chi = \chi_{\perp} - \chi_{\parallel}$ ist eines dieser Gleichgewichte stabil und das andere labil. Nach einer Auslenkung aus der Gleichgewichtslage ist das Molekül also bestrebt, sich zur nächstgelegenen stabilen Gleichgewichtsposition zurückzudrehen. Anschließend oszilliert seine Orientierung um dieses Gleichgewicht. Die Bewegungsgleichung 6 ist die eines *anharmonischen Oszillators*. Eine geschlossene analytische Lösung kann deshalb nicht angegeben werden. Für kleine Auslenkungen um

den stabilen Gleichgewichtspunkt ($\alpha = 0^\circ$ für $\chi_{\parallel} \geq \chi_{\perp}$) kann jedoch (in Bogenmaß) die Taylor-Näherung $\sin 2\alpha \approx 2\alpha$ verwendet werden, die Bewegungsgleichung vereinfacht sich dann zu der des harmonischen Oszillators. Dessen Schwingungsperiode ist bekannt:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\mu_0 I}{|\chi_{\perp} - \chi_{\parallel}| B^2}}, \quad (7)$$

wobei I das Trägheitsmoment des Moleküls ist. Eine numerische Rechnung zeigt, dass die harmonische Periode eine gute Näherung ist und die tatsächliche Periode erst bei großen Anfangsauslenkungen davon signifikant abweicht (Abb. 4). Gegenüber der numerischen Lösung wird durch die harmonische Näherung die Schwingungsperiode unterschätzt, da die Rückstellkräfte begrenzt sind und in der Nähe des labilen Gleichgewichtes sogar wieder abnehmen.

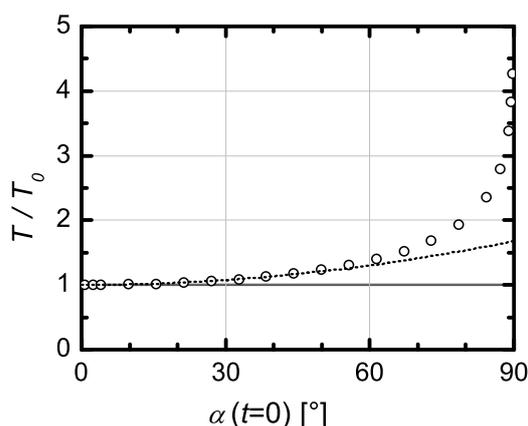


Abbildung 4: Vom Autor numerisch berechnete Schwingungsperiode des anharmonischen Oszillators (Gl. 6) für verschiedene Anfangsauslenkungen. Die gestrichelte Linie zeigt eine Näherung erster Ordnung ($T - T_0$)/ $T_0 \propto \alpha^2(t=0)$.

Für das n-Dodekan-Molekül kann das Trägheitsmoment anhand seiner Masse von 0.17 kg/mol und Länge von $L = 13.7 \text{ \AA}$ geschätzt werden³ – für einen idealen dünnen Stab ist $I = M_m L^2/12$. Im günstigsten Fall kann angenommen werden, dass das längliche Molekül nur entlang seiner Längsachse ein magnetisches Moment aufbauen kann, dann wäre für $\Delta\chi$ der Wert aus Gl. 3 zu verwenden. Die Schwingungsperiode würde dann nach Gl. 7 $T_0 = 27 \text{ ns}$ betragen – eine scheinbar kurze Zeit.

Reicht die magnetische Kraft also aus, zwischen zwei Stößen die Moleküle immer wieder neu auszurichten? Wiederum ist der Wert für die Oszillationsperiode mit zwei

³Abbildung 2 wurde mit dem quelloffenen Programm AVOGADRO [7] erstellt, mit dem auch die Molekülformen und Größen berechnet wurden.

Größen aus der kinetischen Gastheorie zu vergleichen. Zum Einen ist Energie in den Rotationsfreiheitsgraden der Moleküle gespeichert, die Moleküle drehen sich also ohnehin ständig um die eigene Achse. Zum Anderen ist die „Ausrichtezeit“ mit der Zeit zwischen zwei Molekülstößen zu vergleichen. Für die Periode der Molekülrotation ist die kinetische Energie der Rotation mit der mittleren thermischen Energie pro Freiheitsgrad gleichzusetzen:

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}k_B T \quad \Rightarrow \quad T_{rot} = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k_B T}} \quad (8)$$

Die Häufigkeit von Stößen zu berechnen ist etwas trickreicher. In [9] findet sich für sphärische Moleküle (Durchmesser D) die Abschätzung

$$f_S^{(1)} \sim \pi N D^2 v_{rms} = \pi N D^2 \sqrt{\frac{3k_B T}{M_m}}, \quad (9)$$

wobei v_{rms} die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle und N ihre Konzentration ist. Die Anwendung ist hier aber problematisch, da die Kraftstoff-Moleküle nicht rund und die wesentlichen Stoßpartner Luftmoleküle sind.

Ein anderer Weg, die Stoßrate abzuschätzen, besteht darin, die „effektive Oberfläche“ A des Moleküls zu berechnen. Der umgebende Gasdruck ist dann das Ergebnis von Stößen auf dieser Oberfläche⁴:

$$f_S^{(2)} = \frac{1}{2} N A \sqrt{\frac{2k_B T}{\pi M_S}} \quad (10)$$

Mit einem Querschnittsdurchmesser von 2.5 \AA und der Masse der Stoßpartner (M_S , Luftmoleküle, im Mittel 28.8 g/mol) kann die Stoßrate nach Gl. 10 berechnet werden. Die Ergebnisse sind – für Umgebungsbedingungen von 1 bar und 300 K – in Tabelle 2 zusammengefasst. Da die Dodekan-Moleküle deutlich langsamer sind als die umgebenden, leichteren Luftmoleküle, ist der Fehler durch Vernachlässigung der Eigengeschwindigkeit der Dodekan-Moleküle gering.

Fazit: In der Zeit, die ein n-Dodekanmolekül⁵ benötigt, um sich im Magnetfeld zu orientieren, stößt es gut 90 mal mit Luftmolekülen zusammen und dreht sich ca. 1250 mal

⁴Es gibt zahlreiche Methoden, um zu einer derartigen Abschätzung zu kommen. Die Ergebnisse unterscheiden sich nicht stark voneinander, d.h. der Zahlenfaktor innerhalb der Wurzel liegt immer in der Größenordnung von 1. Für Gl. 10 wird nur eine Geschwindigkeitskomponente betrachtet und anhand der kinetischen Gastheorie für jeden Abstand x zu einer ebenen Bezugsfläche A berechnet, welcher Anteil der Moleküle die Fläche innerhalb eines Zeitintervalls erreicht. Dieses Zwischenergebnis ist dann über alle x zu integrieren. Stöße zwischen den Molekülen werden vernachlässigt.

⁵Für andere Kohlenwasserstoffe liegen die Ergebnisse in der gleichen Größenordnung, da die molaren Suszeptibilitäten mit der Molekülgröße skalieren.

Tabelle 2: Vergleich von Ausrichte-, Rotations- und Stoßzeit eines n-C₁₂H₂₆-Moleküls

T_0	27 ns
T_{rot}	22 ps
$T_S^{(2)}$	284 ps

um die eigene Achse. Auch aufgrund der im vorherigen Abschnitt belegten „Heftigkeit“ der Stöße kann daher eine Orientierung der Moleküle im Magnetfeld ins Reich der Legendes verwiesen werden. Und selbst wenn eine Orientierung möglich wäre, würde sie nach kürzester Zeit wieder verschwinden.

Es bleibt anzumerken, dass für die vorhergehende Rechnung einige äußerst großzügige Annahmen gemacht wurden. Es wurde davon ausgegangen, dass ein starkes Magnetfeld direkt am Ort der Verbrennung wirkt. Tatsächlich vergeht einige Zeit zwischen dem Durchgang durch die Kraftstoffleitungen, wo die Magnete üblicherweise montiert werden, und der Verbrennung, insbesondere bei modernen Konzepten wie Common Rail, die größere Reservoirs von unter Druck gesetztem Kraftstoff vorsehen. Auch eine Abschirmung des Magnetfeldes durch Kraftstoffleitungen aus Stahl, wie beim Diesel aufgrund der hohen Drücke üblich, wurde nicht betrachtet. Für die Umgebung wurden Standardbedingungen angenommen. Im Brennraum sorgen aber höhere Drücke und Temperaturen für deutlich erhöhte Stoßraten und -energien. Zuletzt bleibt die Frage nach der Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität. Gerechnet wurde unter der „günstigen“ Annahme, dass das Molekül nur in einer Richtung magnetisierbar ist ($\Delta\chi = \chi_m$). Realistischer erscheint nach [15] für eine gleichmäßige Mischung aus n-C₁₆H₃₄ und n-C₁₇H₃₆ eher ein Wert um $\Delta\chi \sim \chi_m/13$, wobei χ_m der „isotrope“ Mittelwert der Suszeptibilitäten ist. Die (äußerst geringen) magnetischen Kräfte wirken dabei derart, dass die Hauptkette des Moleküls sich senkrecht zum Magnetfeld orientieren möchte. Die abgeschätzte Schwingungsperiode T_0 erhöht sich dadurch um einen Faktor ~ 3.6 .

Nicht unerwähnt soll noch bleiben, dass die magnetische Behandlung des Kraftstoffs meist zu einem Zeitpunkt stattfindet, in dem dieser noch flüssig ist. Eine quantitative Abschätzung wird durch den flüssigen Aggregatzustand deutlich erschwert. Es bleibt jedoch dabei, dass die magnetischen Kräfte nicht gegen die thermische Unordnung ankommen, und es kommt hinzu, dass die langkettigen Moleküle in einer Flüssigkeit gar nicht den Platz haben, um sich im Magnetfeld auszurichten.

Zuletzt bleibt festzustellen, dass einer der Hauptakteure der Verbrennung nicht dia-, sondern paramagnetisch ist. Es handelt sich um das Sauerstoffmolekül O₂. Aufgrund seiner um Größenordnungen höheren Suszeptibilität erfährt es wesentlich stärkere magnetische Kräfte als die Kraftstoffmo-

leküle. Ebenso werden während des komplexen Reaktionsverlaufs der Verbrennung weitere paramagnetische Radikale entstehen. Diese Umstände werden jedoch seltsamerweise in keiner Werbebroschüre der Anbieter magnetischer Kraftstoffbehandlung erwähnt.

Ausrichtung elektrischer Dipole im Magnetfeld

If the flowing liquids move through a magnetic field which extends vertically to the direction of flow, the effect of the Lorentz power takes place, i.e. bipolar molecules are being electrostatically charged [6].

Eine andere mögliche Art der Orientierung im Magnetfeld betrifft Moleküle, die ein permanentes *elektrisches* Dipolmoment \mathbf{p} aufweisen. Wenn ein Magnetfeld quer zur Strömungsrichtung angelegt wird, wie in den Patenten von Hagans [6, s. Zitat oben] und Kita & Kulish [8] vorgeschlagen, wirkt auch in diesem Fall ein Drehmoment auf die Moleküle:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}), \quad (11)$$

wobei \mathbf{v} die Strömungsgeschwindigkeit ist. Auf die mit der Strömung bewegten Ladungen q wirkt die Lorentzkraft $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, und da in Molekülen mit permanentem elektrischen Dipolmoment die elektrische Ladung nicht symmetrisch verteilt ist, resultiert daraus ein Drehmoment. Für die meisten Kohlenwasserstoffe ist die Bedeutung dieses Effektes aber vernachlässigbar, da das permanente elektrische Dipolmoment der Moleküle gering ist. In der symmetrischen C-C Bindung kommt es naturgemäß zu keiner Ladungsverschiebung, und auch das elektrische Dipolmoment der C-H Bindung ist gering. Darüber hinaus ist auch das Kettenglied -CH₂- symmetrisch.

Eine nennenswerte Ausnahme ist Ethanol C₂H₆O, welches mittlerweile in einer Konzentration von 5–10 % Benzin zugesetzt wird und ein beträchtliches permanentes Dipolmoment von $p = 1.69$ D aufweist ⁶.

Für eine realistische Strömungsgeschwindigkeit um 0.1 m/s (basierend auf einem angenommenen Verbrauch von 5 l/h und einer Leitung mit 4 mm Durchmesser) in den Kraftstoffleitungen lässt sich das Drehmoment nun berechnen. Der resultierende Wert ist knapp 500 mal geringer als das maximale „diamagnetische“ Drehmoment nach Gleichung 6, wobei für die Abschätzung $\sin 2\alpha = 1$ gesetzt und für Ethanol $\chi_M = -42.2 \cdot 10^{-8}$ m³/kmol [4] sowie $|\Delta\chi| \sim \chi_m$ verwendet wurde. Auch wenn gerade die letzte Abschätzung für Ethanol unrealistisch ist (eher ist $|\Delta\chi| \ll \chi_m$ anzunehmen, aber Zahlenwerte konnten in der

⁶ $\mathbf{p} = q\mathbf{r}$, wobei r der Abstand der Ladungen $\pm q$ ist. Einheit: 1 Debye = 0.208 eÅ = 3.34 · 10⁻³⁰ C · m

Literatur nicht gefunden werden) zeigt sie doch, dass die Orientierung elektrischer Dipole im Magnetfeld noch viel unbedeutender ist als die im vorherigen Abschnitt betrachtete Orientierung induzierter magnetischer Dipole.

Ortho- und Parawasserstoff

In einer weiteren Argumentationslinie versuchen die Verfasser magnetischer Kraftstoffbehandlungen, eine Verbindung zu Ortho- und Parawasserstoff herzustellen. Selbst bei der renommierten *Society of Automotive Engineers* (SAE), deren technische Veröffentlichungen eigentlich durch ein gut funktionierendes Peer-Review-System geprüft werden, haben sich entsprechende Arbeiten eingeschlichen [1]. Deutlich mehr Paper dieser Art [17, 13] finden sich in unbedeutenden Journals.

Tatsächlich gibt es zwei „Sorten“ des Wasserstoffmoleküls H_2 , die sich durch die Orientierungen der Spins der Atomkerne (Protonen) unterscheiden. In einem Fall sind die Spins der beiden Atomkerne parallel (Orthowasserstoff), im anderen entgegengesetzt bzw. antiparallel (Parawasserstoff). Der Grundzustand ist Parawasserstoff, da Orthowasserstoff um 0.08 kJ/mol bzw. 0.83 meV pro Molekül energiereicher ist. Bei Raumtemperatur ist diese Energiedifferenz gegenüber der thermischen Unordnung ($1/2k_B T$) unbedeutend, so dass „gewöhnlicher“ Wasserstoff im thermodynamischen Gleichgewicht ein Gemisch im Verhältnis 3:1 Ortho- zu Parawasserstoff ist. Das Verhältnis kommt dadurch zustande, dass für Orthowasserstoff dreimal mehr Zustände möglich sind, da für den Kernspin von 1 drei unterschiedliche Orientierungen (0, ± 1) der z -Komponente zulässig sind. Bei sehr tiefen Temperaturen besteht Wasserstoff im thermodynamischen Gleichgewicht hingegen fast ausschließlich aus der Para-Variante.

Para- und Orthowasserstoff unterscheiden sich vor allem durch ihre Wärmekapazitäten bei niedrigen Temperaturen. Von technischer Bedeutung ist das Vorkommen der beiden „Sorten“ vor allem bei der Herstellung von flüssigem Wasserstoff. Durch Stöße oder Absorption von Photonen kommt es so gut nie zu Übergängen zwischen den beiden Zuständen, sie werden in der Quantenmechanik als „streng verboten“ bezeichnet. Deshalb kann die Zusammensetzung eines Gemischs auch abseits des thermodynamischen Gleichgewichtes über Monate hinweg stabil bleiben.

Diatomischer Wasserstoff ist die einzige Substanz, für die der Unterschied zwischen den beiden Kernspin-Isomeren ausführlich untersucht worden ist. Prinzipiell ähnliches Verhalten zeigen aber auch andere polyatomische Moleküle wie Wasser [16] oder auch organische Substanzen, die als Kraftstoffe in Frage kommen. Die Kerne der Kohlen- oder Sauerstoffatome sind daran allerdings unbeteiligt, da ihr Kernspin gleich Null ist. Der Effekt basiert ausschließlich auf der Ausrichtung der Spins der Wasserstoffkerne,

selbst wenn diese chemisch nicht direkt aneinander gebunden sind, und wird bei zunehmender Molekülgröße immer unbedeutender.

Die Ausrichtung der Kernspins hat kaum einen Einfluss auf die Struktur der Elektronenwolke, die für die chemischen Eigenschaften verantwortlich ist. Dass sie einen Einfluss auf Verbrennung oder andere chemische Reaktionen hätte, ist daher vollkommen unplausibel, und auch eine diesbezüglich durchgeführte Literaturrecherche hat ausschließlich Patente und Veröffentlichungen von sehr dubioser Qualität zutage gefördert.

Ein Beispiel ist die Arbeit von Patel, Rathod & Patel [13], in der Versuche zur magnetischen Kraftstoffbehandlung beschrieben werden:

Hydrogen occurs in two distinct isomeric forms one is para which is normally occurs in fuels, second is ortho which achieved by applying magnetic field. [...] In the para Hydrogen molecule, which occupies the anti-parallel rotation, the spin state of one atom relative to another is in the opposite direction, therefore it is diamagnetic. In the ortho molecule, which occupies the parallel rotational levels, the spin state of one atom relative to another is in the same direction, therefore, it is paramagnetic. When the fuel passes through a magnetic field, created by the strong permanent magnets, due to that magnetic field hydrocarbon change their orientation and convert from para state to ortho state as shown in Fig.5. In ortho state inter molecular force is considerably reduced and increase space between hydrogen. This hydrogen of fuel actively interlocks with oxygen and producing a more complete burn in the combustion chamber. The magnetic field helps to disperse oil particles and to become finely divided. Figure.5 shows the schematic view of para state and ortho state of Hydrogen of clusters of hydrocarbons changed with the influence of magnetic field and they are more dispersed.

Im hier wiedergegebenen Absatz (inklusive des fehlerhaften Englischs) sowie der zugehörigen Abbildung 5 finden sich zahlreiche haarsträubende Behauptungen, die auch durch Nachprüfen bei den angegebenen Quellen nicht plausibler werden.

- Wie im vorherigen Absatz beschrieben, besteht – bei Raumtemperatur – Wasserstoff zu drei Vierteln aus dem Ortho-Isomer. Auch bei anderen Molekülen wird die Ortho-Form überwiegen, da die Energiedifferenzen sehr klein sind und bei höherem Gesamtkernspin mehr Zustände für die z -Komponente des Spins möglich sind.

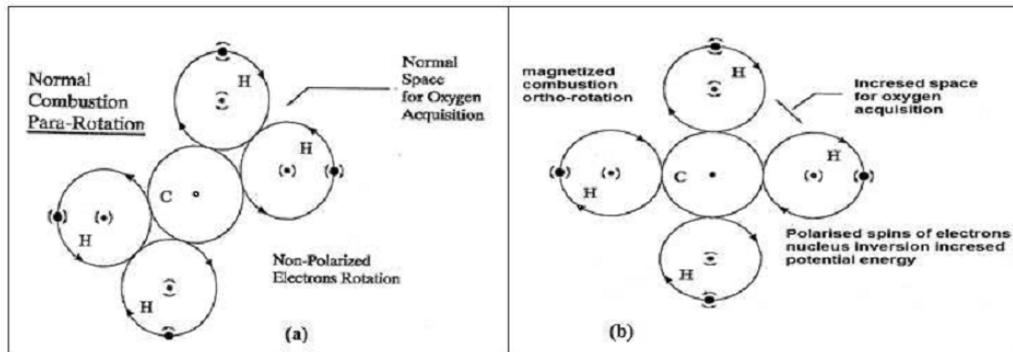


Abbildung 5: Illustration zu Para- und Ortho-H₂ aus [17, 13]

- Selbst starke Magnetfelder *alleine* können keinen Übergang zwischen den Para- und Ortho-Zuständen hervorrufen. Zwar spielen magnetische Kräfte dafür durchaus eine entscheidende Rolle, stattfinden kann der Übergang allerdings nur an der Oberfläche spezieller Katalysatoren [12].
- Molekularer Wasserstoff ist immer diamagnetisch. Entscheidend dafür sind nicht die Kern-, sondern die Elektronenspins, die antiparallel sein müssen, da beide Elektronen sich im gleichen bindenden Molekülorbital befinden. Der Beitrag der Atomkerne ist deutlich geringer, da das Verhältnis des Kern- zum Bohrschen Magneton dem umgekehrten Verhältnis der Massen entspricht – also $\sim \mu_N/\mu_B = m_e/m_p \approx 1/1835$.
- Die Para- und Orthozustände des Wasserstoffs haben nichts mit der Orientierung der Moleküle zu tun, und wie im vorherigen Abschnitt gezeigt wurde, vermögen selbst stärkste Magnetfelder es nicht, einzelne Moleküle auszurichten.
- Molekularer Wasserstoff spielt bei der Verbrennung langkettiger Kohlenwasserstoffe zwar eine gewisse Rolle, entsteht aber nur kurzzeitig als Zwischenschritt der komplexen Reaktion.

Beim Betrachten der Abbildung 5 entsteht der Eindruck, dass die Autoren das Konzept der Spinisomere von Wasserstoff ebenso gründlich missverstanden haben wie die molekulare Bindung. In der Darstellung – es soll sich wohl um ein Methan-Molekül handeln – sind rund um die Wasserstoffkerne einzelne, kreisförmige Elektronenbahnen mit Spin parallel oder antiparallel zum jeweiligen Kernspin eingezeichnet, obwohl Para- und Orthomoleküle sich nur durch die Anordnung der Kernspins unterscheiden. In *atomarem* Wasserstoff unterscheidet man tatsächlich zwischen zwei Zuständen mit gleicher oder ungleicher Ausrichtung von Kern- und Elektronenspin und spricht dabei von der Hyperfeinstruktur des Wasserstoffs. Sie ist für die in der Radioastronomie sehr bedeutende 21-cm-Linie verantwortlich.

Wenn das Wasserstoffatom sich hingegen an ein anderes Atom bindet, teilen zwei Elektronen – eines vom Wasserstoff, eines vom Bindungspartner – sich das gleiche, bindende Molekülorbital. Aufgrund des Pauli'schen Ausschließungsprinzips müssen die Spins dieser Elektronen daher entgegengesetzt sein und sich zum Gesamtspin Null addieren. Mehrere Möglichkeiten für die Wechselwirkung von Kern- und Elektronenspin gibt es also nicht.

Fast putzig erscheint schlussendlich die Vorstellung, Sauerstoff würde an speziellen „Andockstellen“ die Kohlenwasserstoffmoleküle angreifen. Die Realität ist deutlich komplexer, mit vielen einzelnen Zwischenschritten [18]. Am Anfang steht meist ein Zerfall der komplexen Kraftstoffmoleküle in einfachere Bruchstücke; bei ausreichend hohen Temperaturen und Drücken kann dies selbst in Abwesenheit von Sauerstoff geschehen [2].

Wie in vielen anderen Darstellungen stimmen Abstände und Größenverhältnisse in Abb. 5 nicht. Die einzelne Atome erscheinen darin noch als getrennte Einheiten. Im Vergleich zur Realität (Abb. 2 gibt die Größenverhältnisse besser wieder) wird ihnen zu viel Platz zugestanden und so der Eindruck erweckt, eine chemische Reaktion könnte durch mehr Platz in den Zwischenräumen erleichtert werden.

Zur Verteidigung der zitierten Arbeiten kann angeführt werden, dass ihr Ziel keine umfassende theoretische Abhandlung ist, sondern der Bericht über Versuchsreihen an Prüfandsmotoren. Mit magnetischer Behandlung, die über Elektromagnete [1] oder Permanentmagnete [13, 17] appliziert werden kann, werden geringere Verbräuche und teilweise verringerte Abgasemissionen festgestellt. Leider sind die Versuchsreihen nur sehr dürftig beschrieben, insbesondere fehlt das Testprotokoll. Es ist daher völlig unklar, wie lange die Motoren unter den jeweiligen Versuchsbedingungen gelaufen sind und ob einheitliche Startbedingungen sichergestellt wurden. Es kann nicht einmal ausgeschlossen werden, dass die Motoren für die erste Messung (ohne Magnetfeld) hochgefahren wurden und gleich im Anschluss die zweite Messung (mit Magnetfeld) durchgeführt wurde. Bei

der zweiten Messung wäre dann der Motor warm und die verbesserten Verbräuche und Emissionen alles andere als überraschend.

„Wenn es nicht explizit im Paper steht, wurde es nicht gemacht“ – nach dieser Faustregel kann angenommen werden, dass weder eine statistische Absicherung der Versuche stattgefunden hat noch die Motoren vor dem Versuch sorgfältig und einheitlich konditioniert wurden.

Nomenklatur

Symbol	Bedeutung
N_A	Avogadro-Konstante
k_B	Boltzmann-Konstante
μ_0	magnetische Permeabilität des Vakuums
μ_N	Kernmagneton
μ_B	Bohr'sches Magneton
m_p	Masse des Protons
m_e	Masse des Elektrons
e	Elementarladung

Literatur

- [1] A. ABDEL-REHIM, A. und A. A.A. ATTIA: *Does Magnetic Fuel Treatment Affect Engine's Performance?* SAE Technical Paper, 2014-01-1398, 2014.
- [2] ADAM, A., P. LEICK, G. BITTLINGER und C. SCHULZ: *Visualization of the evaporation of a diesel spray using combined Mie and Rayleigh scattering techniques.* Experiments in Fluids, 47(3):439–449, 2009.
- [3] BERRY, M.V. und A.K. GEIM: *Of flying frogs and levitrons.* European Journal of Physics, 18:307–313, 1997.
- [4] BROERSMA, S.: *Magnetic Measurements on Organic Compounds.* Doktorarbeit, TH Delft, 1947.
- [5] ESTRADA, E.: *Modelling the diamagnetic susceptibility of organic compounds by a sub-structural graph-theoretical approach.* Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions, 94(10):1407–1410, 1998.
- [6] HAGANS, F.: *Device for treating liquids.* US Patent 6,599,419, 2003.
- [7] HANWELL, M.D., D.E. CURTIS, D.C. LONIE, T. VANDERMEERSCH, E. ZUREK und G.R. HUTCHINSON: *Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform.* Journal of Cheminformatics, 4(17), 2012.
- [8] KITA, R.J. und P.A. KULISH: *Electromagnetic device for the magnetic treatment of fuel.* US Patent 5,829,420 A, 1998.
- [9] KITTEL, C. und H. KROEMER: *Physik der Wärme.* R. Oldenbourg Verlag, 3. Auflage, 1993.
- [10] LEICK, P.: *Skepikon-Vortrag 2014.* <http://blog.gwup.net/2014/06/20/benzinspar-mythen-jetzt-als-video-von-der-skepikon-2014/>. Zugriff: 02.08.2014.
- [11] LEICK, P.: *Kraftstoffsparen durch „magisches Zubehör“ fürs Auto – Übersicht und physikalische Hintergründe.* Skeptiker, 3, 2014.
- [12] MISONO, M. und P.W. SELWOOD: *Extrinsic Field Acceleration of the Magnetic Parahydrogen Conversion.* Journal of the American Chemical Society, 91(6):1300–1303, 1969.
- [13] PATEL, P.M., G.P. RATHOD und T.M. PATEL: *Performance and Emission Analysis of Single Cylinder Diesel Engine under the influence of Magnetic Fuel Energizer.* IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 11(2):34–39, 2014.
- [14] SCS SCHNEIDER GMBH: *Produktbroschüre Ecojet.* http://www.ecojet.com/wp-content/uploads/2014/04/scs_schneider_gmbh_broschuere_ecojet.pdf. Zugriff: 02.08.2014.
- [15] SHAO, H.H., H. GANG und E.B. SIROTA: *Magnetic-field induced orientation and anisotropic susceptibility of normal alkanes.* Physical Review E, 57(6):6265–6268, 1998.
- [16] TIKHONOV, V.I. und A.A. VOLKOV: *Separation of Water into its Ortho and Para Isomers.* Science, 296:2363, 2002.
- [17] UGARE, V., N. BHAVE und S. LUTADE: *Performance of Spark Ignition Engine under the Influence of Magnetic Field.* International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering, 1(3):36–43, 2013.
- [18] WARNATZ, J., U. MAAS und R.W. DIBBLE: *Verbrennung: Physikalisch-Chemische Grundlagen, Modellierung und Simulation, Experimente, Schadstoffentstehung.* Springer Verlag, 3. Auflage, 2001.
- [19] XANDER FUEL ACTIVATOR. <http://xanderfuelactivator.com/how-xander-works/>. Zugriff: 02.08.2014.