

4.5 Magnet-Alterung

Provided it is properly made and treated, the life of a modern permanent magnet is to the best of our knowledge infinite. McCaig [26] wird den Beweis vermutlich nicht antreten können – aber auch nicht müssen. Moderne Dauermagnete halten ewig, nur in den ersten Stunden nach ihrer Aufmagnetisierung nimmt ihr Magnetfeld messbar ab. Zu Beginn ihres Lebens sind einige Magnet-Domänen in einem metastabilen (labilen) Zustand; bereits kleine Energieeinwirkungen können den Übergang in eine stabilere Position bewirken. Mit fortschreitender Zeit werden diese Ausgleichsvorgänge aber immer unbedeutender. Um Missverständnissen vorzubeugen: Diese Prozesse werden Nachwirkung oder Alterung (ageing, aging, relaxation, magnetic creep, magnetic viscosity, after effect, time effect) genannt, und nicht Entmagnetisierung. Unter teilweiser oder vollständiger Entmagnetisierung versteht man das erzwungene Verschieben des Arbeitspunktes zu kleineren Flusswerten, wie es bei Laständerung oder externer Feldeinwirkung auftritt. Wenn der vom Hufeisenmagnet angezogene Nagel entfernt wird, nimmt die Flussdichte ab – der Arbeitspunkt rutscht in 2. Quadranten auf der Hystereseschleife (= Entmagnetisierungskurve) nach links unten. Dies ist natürlich keine Alterung. Wenn ein Magnet aber nach 10 Jahren Lagerung 5% seiner Flussdichte verloren hat, obwohl er gar nicht benutzt wurde, dann ist er gealtert. Zwischen diesen Grenzfällen gibt es durchaus eine Grauzone, die etwas von beiden Welten hat.

Die Hauptursachen der Alterung sind Last- und Temperaturänderungen; andere Ursachen spielen bei Tonabnehmermagneten keine Rolle. Reversible Alterungen können durch neues Aufmagnetisieren beseitigt werden; der Magnet ist dann "wie neu". Bei irreversibler Alterung ändert sich jedoch die innere Kristallstruktur, die alten Daten werden nicht mehr erreicht.

Quantitative Aussagen über Alterungsprozesse benötigen hochgenaue Messgeräte und viel Geduld. Prognosen sind immer schwierig, sofern sie sich auf die Zukunft beziehen – das ist bei Aktienkursen nicht anders. Wenn die Flussdichte im ersten Jahr um 0.1% abgenommen hat, und die Messgenauigkeit ist in der gleichen Größenordnung, kann über die nächsten 10 Jahre nichts Genaues vorhergesagt werden. Andererseits ist auch eine Beobachtung über 10 Jahre nicht unproblematisch, denn während der ganzen Zeit müssen eine Reihe von Parametern exakt konstant gehalten werden.

Die ohne äußere Störwirkung ablaufende natürliche Alterung wird durch ein Logarithmus-Gesetz beschrieben:

$$B(t) = B_0 \cdot (1 - k \cdot \lg(t/\tau)) \quad t \text{ darf hierbei nicht zu weit gegen null gehen}$$

$B(t)$ ist hierbei die von der Zeit abhängige Flussdichte, k ist eine Materialkonstante (die auch von der Geometrie und weiteren Größen abhängen kann), und τ ist ein Bezugszeitpunkt, z.B. einen Tag nach der Herstellung. Für $t = \tau$ erhält man $B = B_0$, also die Flussdichte nach einem Tag. $k = 0,01$ würde bedeuten, dass B nach 1000 Tagen um 3% abgenommen hat. Die Abnahme um insgesamt 4% ist nach dieser Formel erst nach 10000 Tagen zu erwarten, und um einen weiteren Prozentpunkt (insgesamt um 5%) ist B erst nach 10^5 Tagen abgefallen – das sind ungefähr 274 Jahre. Die tatsächlichen k -Werte von guten Alnico-Magneten sind noch wesentlich geringer, nach 10 Jahren fehlen typischerweise nur 0,1 ... 1%. Die natürliche Alterung spielt somit bei den statischen Magnetdaten für Tonabnehmer keine Rolle*. Pickup-Guru Bill Lawrence meint: Alnico-5 verliert <5% in 100 Jahren [Billlawrence.com].

* Auswirkungen auf die Permeabilität werden in Kap. 4.10 diskutiert.

Temperaturänderungen führen sowohl zu reversiblen, als auch zu irreversiblen Fluss- und Feldstärkeänderungen. Die reversiblen Änderungen sind mit ca. $\pm 0,5\%$ bei üblichen Temperaturänderungen unerheblich, irreversible Änderungen treten erst oberhalb von $+500^\circ\text{C}$ auf. Einige Autoren sehen diese Grenze allerdings schon bei $+200^\circ\text{C}$; ob das kritisch werden kann, muss jeder Gitarrist selbst entscheiden.

Durch **Laständerungen** im magnetischen Kreis (Kap. 4.6) und durch externe Magnetfelder sind dramatische Änderungen möglich. Da die Hysterese-Schleife zwei verschiedene Äste hat, die nur in unterschiedlicher Richtung durchlaufen werden können, führen die aufeinanderfolgenden Feldstärkeänderungen $-\Delta H$ und $+\Delta H$ nicht wieder zum vorherigen Arbeitspunkt zurück (**Abb. 4.13**). Wenn beispielsweise aus einem Lautsprecher der Magnet entfernt und anschließend wieder eingesetzt wird, ist die Flussdichte und damit der Wirkungsgrad ab diesem Moment reduziert. Bei Tonabnehmern ist aber wegen der großen Luftstrecken eine derartig große Laständerung (ein "Auftrennen" des Magnetkreises) praktisch nicht möglich, sie sind nur sehr kleinen Laständerungen ausgesetzt. Zum einen durch das orts- und richtungsabhängige Erdfeld (ca. $0,5 \text{ Oe} = 40 \text{ A/m}$), zum anderen durch die schwingenden Saiten. Beide Effekte ändern die Flussdichte um weniger als 1 Promille, also praktisch gar nicht. Im Gegensatz hierzu sind die in einem Elektromotor auftretenden Feldänderungen wesentlich größer, und der verliert seine Magnetisierung ja auch nicht. Er wurde allerdings **stabilisiert**, d.h. künstlich gealtert. Diese Prozedur sollte jeder Permanentmagnet durchlaufen.

Beim **Stabilisieren** wird der frisch aufmagnetisierte Permanentmagnet mehrmals einer Feld- und/oder Temperaturänderung unterworfen, welche die Grenzwerte seiner künftigen Belastung betragsmäßig leicht überschreitet. Üblicherweise reichen bereits 10 – 20 Lastzyklen. Hierbei verliert der Magnet zwar (z.B. 1 – 5 %) Flussdichte, wird aber unempfindlicher gegen externe Belastung. Beim Stabilisieren kann die reversible Permeabilität (und damit die Tonabnehmer-Induktivität) geringfügig zunehmen; diese Details werden bei der Magnetodynamik wieder aufgegriffen. (Kap. 4.10). Eine ganz grundsätzliche Überlegung darf nie übersehen werden, wenn man auf Änderungen achten will, die im unteren Prozentbereich liegen: Herstellungsbedingt streuen Magnetparameter wesentlich stärker; $\pm 10\%$ sind nicht die Ausnahme, sondern die Regel.

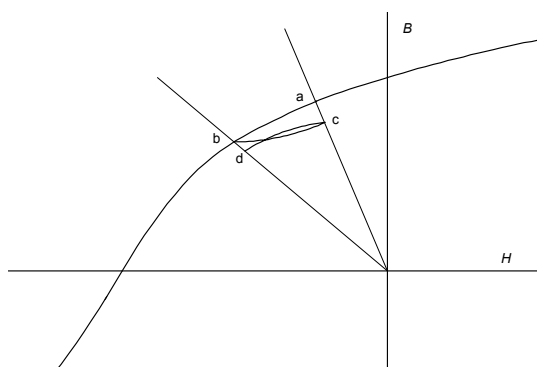


Abb. 4.13: Hysterese-Kurve.

Wird – ausgehend vom Punkt **a** – die Feldstärke bis **b** verringert, und anschließend wieder bis **c** erhöht, so stellt sich eine kleinere Flussdichte ein; **a** ist nicht mit **c** identisch. Eine nochmalige Feldstärkeverringern führt nicht zu **b**, sondern zu **d**. Nach mehreren Durchläufen wird allerdings ein lanzettförmiger Gleichgewichtszustand erreicht, der knapp unter **d-c** liegt. (Vergl. auch Abb. 4.6). Die beiden schrägen Linien stellen Kurven gleicher Last dar (Kap. 4.6).

Aus der Gitarren-Literatur: a) "Fenderähnliche Pickups verlieren bereits nach 2 Jahren merklich an magnetischer Leistung, gibsonähnliche Pickups nach 3 Jahren". Das ist physikalisch nicht begründbar.

b) "Die Magnetisierungswerte von Alnico-2 entsprechen ziemlich genau denen gealterter Alnico-5". Die erzwungene Alterung müsste hierfür zu einer extremen Entmagnetisierung führen, siehe Abb. 4.11.

c) "As time goes on, older magnets lose some of their power. The less power the magnets have, the better the strings can vibrate. So maybe after 30 years, the magnets are at their 'ideal' power, thus producing 'ideal' tone." Gitarrensammler aufgepasst: Die Les-Pauls und Nocasters der 50er Jahre jetzt wegwerfen, all Mag-Power lost!

Lagerung und Handhabung von Dauermagneten erfordern spezielle Fachkenntnisse. Wenn man in Fachzeitschriften auf Fotos beim Pickup-Guru sieht, wie er eine Handvoll Magnete in einer Schublade liegen hat, hofft man natürlich, dass es sich um noch unmagnetisierte Rohlinge handelt, die gleich (hinter dem im Bild sichtbaren Küchentisch?) im superstarken Feld aufmagnetisiert werden. Denn: Wären das fertige Balkenmagnete, die da kreuz und quer aneinander kleben und täglich neu gemischt werden, man dürfte sich über Langzeitkonstanz und Alterung keine großen Gedanken mehr machen (vergl. **Abb. 4.14**).

Dauermagnete halten ihre Polarisation über lange Zeit, sie sind aber nicht unzerstörbar. Extreme Temperaturen, Kraft- oder Feldeinwirkungen können das Permanentfeld dauerhaft schwächen. Man muss nicht gleich befürchten, ein Magnet würde schwächer, nur weil er auf die Tischplatte gefallen ist – man sollte aber mit ferromagnetischen Werkstoffen und anderen Magneten in seiner Nähe Vorsicht walten lassen. Der Arbeitspunkt eines unbelasteten (offenen) Magneten liegt im zweiten Quadranten: Negative Feldstärke, positive Flussdichte. Wenn z.B. durch Einwirkung eines anderen Magneten der Arbeitspunkt unter das "Knie", den Knick der Hysterese-Kennlinie, gedrückt wird, stellt sich nach dem Entfernen des anderen Magneten nicht mehr der alte Arbeitspunkt ein. McCaig [26] berichtet über Fallversuche, bei denen ein Alcomax-III-Magnet aus 1 m Höhe auf einen harten Holzboden fiel; die gemessene Änderung war mit -0,5% viel geringer als typische Produktionsstreuungen. Hingegen kann das Störfeld eines zweiten Magneten im schlimmsten Fall zur völligen Entmagnetisierung führen (-100%).

Folgende Hinweise können beim Umgang mit Magneten hilfreich sein:

- Aufmagnetisierte Dauermagnete am besten nur mit Kurzschluss-Joch (engl. Keeper) versenden. Vor Gebrauch Keeper vorsichtig entfernen.
- Nicht zwei Magnete mit gleichnamigen Polen aufeinanderpressen.
- Sollen sich anziehende Teile getrennt werden, nicht abschieben, sondern abbrechen.
- Die Zylinderwandung eines Zylindermagnets sollte nicht mit Ferromagnetika in Berührung kommen.
- Aufeinanderprallende SmCo- und NFe-Magnete können zersplittern.
- Die Anziehungskräfte starker Magnete sind u.U. unerwartet groß, woraus Quetschverletzungen resultieren können.

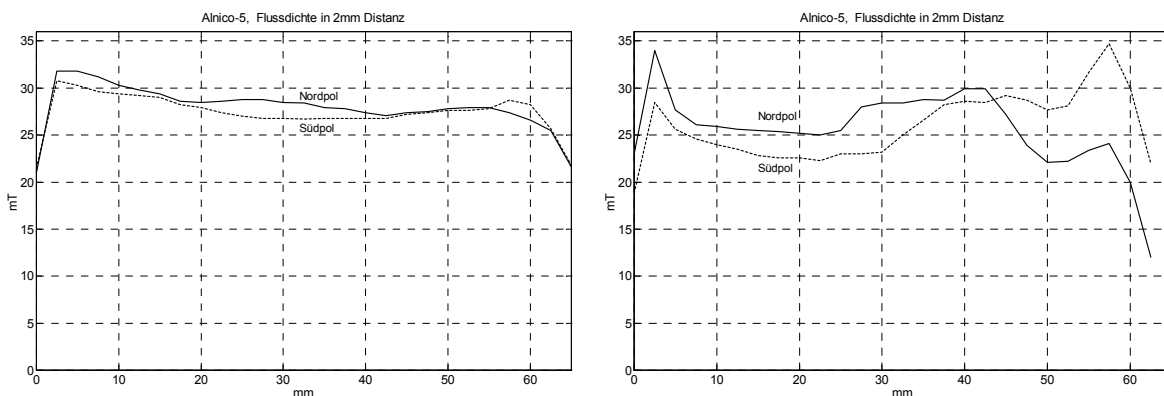


Abb. 4.14: Entlang der Längsseite zweier Humbucker-Balkenmagnete im Abstand $d = 2\text{ mm}$ gemessene magnetische Flussdichte; zwei verschiedene Hersteller.