

Die optimale Medikation unter Berücksichtigung des Weber–Fechnerschen Gesetzes

Norbert Südland*
Otto–Schott–Straße 16
D–73431 Aalen /Württemberg

2003–2005

Zusammenfassung

Obwohl das Weber–Fechnersche Gesetz schon lange bekannt ist, gibt es immer wieder Unklarheit über das Auffinden der optimalen Medikation für jeden einzelnen Patienten. Besonders bezüglich des richtigen Reduzierens und Absetzens von Medikamenten, die über einen längeren Zeitraum eingenommen wurden, herrscht Unklarheit. Dieser Artikel soll Orientierung geben.

Medikamente beeinflussen die komplizierten Regelkreise des Organismus ähnlich wie ein Fahrzeuglenker ein Auto. In Abhängigkeit von der gegebenen Situation ist es daher sinnvoll, die Medikation in der Krise zu erhöhen und bei Besserung wieder zu erniedrigen. Dabei kommt es zu Komplikationen, wenn „Vollgas“ oder eine „Vollbremsung“ in Sachen Medikation vorgenommen wird.

1 Das Weber–Fechnersche Gesetz

1.1 In Worten

Die Arbeiten von Weber (1804–1891) und Fechner (Gründer der Psychophysik beziehungsweise Neurophysiologie, 1801–1887) ergeben eine logarithmische Skalierung bei der Nervenempfindung. Daraus folgt auch für die Helligkeits– oder Lautstärke–Empfindung des Menschen der subjektive Eindruck, dass eine Verdopplung und anschließende Vervierfachung eines Signals äquivalente Verstärkungen seien.

1.2 Konsequenz für die Lautstärke–Messung

Als Konsequenz wird die Lautstärke von Schall technisch in *Phon* gemessen, einer logarithmischen Einheit, die nach DIN 45 630¹ eine gemittelte Gewichtung der Empfindungen von Testpersonen

*E–Mail: Norbert.Suedland@t-online.de

¹vgl. [MS1998], Versuch 9, Seite 9/5

darstellt. Meßtechnisch werden *Dezibel* [dB] wie folgt² ermittelt:

$$z \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 10 \log \left(\frac{p_2^2}{p_1^2} \right) = 20 \log \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad (1)$$

Hierbei ist:

z : Maßzahl zur Dezibel-Einheit,

I_1 : Referenz-Intensität; bei Verwendung der Einheit [dB(A)] nach DIN 45 633³ mit genormter Bezugskurve als sinnvoller Kompromiß für die Geräteanzeige,

I_2 : Intensität unbekannter Maßzahl,

p_1 : zu I_1 gehörender Schalldruck,

p_2 : zu I_2 gehörender Schalldruck.

1.3 Konsequenz für die Helligkeits-Messung

In der Physik wird die Helligkeit noch nicht nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz gemessen, sondern als Vielfaches der Helligkeit einer Normlichtquelle. Aus diesem Grunde erscheint eine Verdopplung der Zahl der Normlichtquellen dem menschlichen Auge stets als vergleichbare Steigerung.

1.4 Bestimmung der Tonhöhe in der Musik

1.4.1 Akustischer Eindruck

Auch in der Musik wird eine Frequenz-Verdopplung ebenfalls stets als gleiches Intervall empfunden. Die Frequenzverdopplung (Schwingungszahl-Verhältnis 2 : 1) heißt in der europäischen Musiktradition *Oktave*.

1.4.2 Ansatz für gleichmäßige Unterteilung der Oktave

Eine gleichmäßige Unterteilung der Oktave muss sich wegen des Weber-Fechnerschen Gesetzes an gleichen *Frequenzverhältnissen* und nicht an gleichen *Frequenzdifferenzen* orientieren.

1.4.3 Europäische Musiktradition

Die mathematische Ausdrucksweise wird durch den Logarithmus des zugehörigen Frequenzverhältnisses gegeben, wobei in der europäischen Musiktradition mittlerweile die Einheit *Cent* eingeführt wurde, um Intervall-Abstände objektiv zu bestimmen:

$$1 \text{ Cent} := 2^{\frac{1}{1200}} \quad (2)$$

²vgl. [MS1998], Versuch 9, Seite 9/3

³vgl. [MS1998], Versuch 9, Seite 9/5

100 Cent werden wie folgt berechnet:

$$100 \text{ Cent} = (1 \text{ Cent})^{100} = 2^{\frac{1}{12}} \quad (3)$$

Dies ist gerade ein europäischer *Halbton* in der gleichschwebenden Stimmung. Eine Oktave hat somit 1200 Cent. Ein gegebenes Frequenzverhältnis $\frac{f_2}{f_1}$ wird wie folgt in Cent umgerechnet:

$$1200 \frac{\log\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{\log(2)} \text{ Cent.} \quad (4)$$

Da alle Logarithmen zueinander proportional⁴ sind, kommt es in der Rechenregel (4) nur darauf an, dass *jeweils derselbe*⁵ Logarithmus im Zähler wie im Nenner verwendet wird.

1.4.4 Argumentatives Umgehen des Logarithmus

Da Musiker nicht immer die Logarithmen-Rechnung beherrschen, hat sich folgender Rechenweg eingebürgert, der das Wort „Logarithmus“ vermeidet:

Musikalische Intervalle werden *addiert*, indem ihre Schwingungszahlen⁶ *multipliziert* werden.

1.5 Allgemeines Rechenschema zum Weber–Fechnerschen Gesetz

Was in der Musik möglich ist, ist eventuell generell bei der Diskussion der nervlichen Empfindungen möglich, nämlich die Vermeidung des Wortes „Logarithmus“.

Es ergibt sich folgender Ansatz zur mathematischen Beschreibung des Weber–Fechnerschen Gesetzes:

$$\text{Ma\ss} = 2^{\text{Intervallfaktor} \frac{\log\left(\frac{I_{\text{aktuell}}}{I_{\text{Schwelle}}}\right)}{\log(2)}} = \left(\frac{I_{\text{aktuell}}}{I_{\text{Schwelle}}}\right)^{\text{Intervallfaktor}} \quad (5)$$

Dabei ist I_{Schwelle} die niedrigste noch wahrnehmbare Intensität, die sogenannte *Schwelldosis*⁷. Ist I_{aktuell} kleiner als I_{Schwelle} , so nehmen die Nerven keinen Reiz wahr. Das Ma\ss in Gleichung (5) ist also für $I_{\text{aktuell}} \geq I_{\text{Schwelle}}$ verwendbar. Für den Intervallfaktor muss vereinbart werden, welche Maßzahl als Verdopplung der Intensität gelten soll. In der Musik (4) entsprechen 1200 Cent einer Frequenzverdopplung.

In der Pharmakologie sind die Intensitäten I_{aktuell} und I_{Schwelle} durch die Menge (in mg) des Wirkstoffs pro Zeiteinheit (z.B. pro Tag) gegeben. Die Schwelldosis I_{Schwelle} liegt individuell bei jedem Patienten auf einem anderen Wert.

⁴vgl. [Rot1954], § 4.4, Seite 25–26

⁵also jeweils zur gleichen Basis

⁶also ihre Frequenzverhältnisse

⁷Achtung: bei [Bäu1994], Abschnitt 3.3.3., Seite 64 wird dieser Begriff *anders* verwendet!

2 Ausschleichen eines Medikaments

2.1 Prinzip

Soll die Dosis eines Medikaments kontinuierlich reduziert werden, so ergibt sich für ein gleichmäßiges Nachlassen der Wirkung die Notwendigkeit, die Dosis (in mg/Tag) *jeweils* um denselben Faktor zu erniedrigen.

Als erstes Rechenbeispiel wird daher eine jeweilige Verringerung auf die Hälfte besprochen. Es ergeben sich folgende Dosierungen als Vielfache der ursprünglichen Dosis I_0 :

Schritt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dosis	I_0	$\frac{I_0}{2}$	$\frac{I_0}{4}$	$\frac{I_0}{8}$	$\frac{I_0}{16}$	$\frac{I_0}{32}$	$\frac{I_0}{64}$	$\frac{I_0}{128}$	$\frac{I_0}{256}$	$\frac{I_0}{512}$	$\frac{I_0}{1024}$

Die angegebene Tabelle wird unter dem Stichwort *Ausschleichen*⁸ in den Lehrwerken der Medizin abgehandelt.

2.2 Missverständnisse

Eine Reduktion auf $\frac{I_0}{2}$ und eine weitere Reduktion auf Null führen dagegen zu einer starken Störung der Gesundheit, da die Reduktion auf Null erst dann gefahrlos durchgeführt werden kann, wenn die Schwellendosis I_{Schwelle} bereits unterboten ist. Liegt die aktuelle Dosis noch über der Schwellendosis, so kann um einen Faktor reduziert werden, der sich als verträglich herausgestellt hat.

Durch Absetzen⁹ der Medikation kann jederzeit geprüft werden, ob die Schwellendosis schon unterschritten war:

- Kommt es zu einem *Rückschlag*, so muss dieser durch eine kurzfristig erhöhte Dosis abgefangen werden, wobei ein Ausschleichen beginnen kann, sobald sich eine Besserung eingestellt hat.
- Bleibt der Rückschlag aus, so wurde die Schwellendosis experimentell bestimmt, wodurch langfristig die Tabellenwerke der Pharmakologen korrigiert werden können.

Da Versuche am Menschen in Deutschland nicht zulässig sind, können pharmakologische Tabellenwerke auch fehlerhaft oder lückenhaft sein. Jeder Patient hat freilich die Möglichkeit, in einem wohlüberlegten Selbstversuch zu prüfen, ob die Angaben über die Schwellendosis bei seinem Medikament auch inhaltlich zutreffen.

Ein Medikament sollte grundsätzlich erst abgesetzt¹⁰ werden, wenn der Eindruck entstanden ist, dass die eingenommene Dosis wirkungslos ist.

⁸also einem exponentiellen Abnehmen mit *gleichbleibender* Halbwertszeit

⁹= abruptes Weglassen

¹⁰= abrupt weggelassen

2.3 Empfehlung

Folgende Reduktion wird empfohlen, die in etwa ein exponentielles Ausschleichen darstellt, wobei hier mit 1000 mg/Tag begonnen wird:

Schritt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{\text{Dosis}}{\text{Tag}}$ [mg]	1000	750	500	375	250	200	150	100	75	50	37.5
Schritt	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$\frac{\text{Dosis}}{\text{Tag}}$ [mg]	25	20	15	10	7.5	5.0	3.75	2.5	2.0	1.5	1.0

Die angegebene Reihe kann mit einem *Tablettenteiler*¹¹ und durch mehrere Tabletten verschiedener Dosis vorgenommen werden.

Die vorgenommene Empfehlung kann und sollte individuell variiert werden, insbesondere die Klärung der Frage, nach welcher Zeit ein weiterer Reduktionsschritt vorgenommen wird.

3 Steuerung von Regelkreisen

3.1 Ingenieurkunst

In der Ingenieurkunst ist das Steuern von Regelkreisen nichts Unbekanntes. Auch Steuerprogramme können geschrieben werden, in denen etwa eine Pumpe in Abhängigkeit vom Füllstand in Gang gesetzt oder wieder abgeschaltet wird.

Das Merkmal einer jeden Steuerung von Regelkreisen ist die Beachtung der sogenannten *Totzeit*, also der Reaktionszeit des Geräts auf die Steuerung. Die Zeitabstände, in denen Steuerimpulse gesendet werden, dürfen dabei nicht kürzer sein als die Totzeit selbst.

Erfolgt die Steuerung schneller als es die Totzeit zulässt, so kommt es zu Systemschwingungen, also einer Übersteuerung des Systems, die nie optimal verläuft.

3.2 Steuerung eines Autos

Bei der Steuerung eines Autos ist die Reaktionszeit des Fahrers in aller Regel größer als die Totzeit des Fahrzeugs. Der Fahrer kann und sollte also immer schnellstmöglich reagieren.

Die Handbremse oder Feststellbremse ist grundsätzlich während der Fahrt vollständig zu entriegeln, das Gaspedal darf im Leerlauf nicht durchgetreten werden. In der Fahrschule wird eine an die Verkehrsverhältnisse angepasste Fahrweise eingeübt.

3.3 Medikation eines Menschen

Noch komplizierter als die Steuerung eines Fahrzeugs im Straßenverkehr ist die Medikation eines Menschen. Die Totzeit des Organismus kann dabei durchaus deutlich größer sein als die Einnahmezeit von Medikamenten. Die Verdauung kann bis zu mehreren Stunden in Anspruch nehmen. Besonders Retard¹²-Tabletten besitzen eine große Totzeit.

¹¹gibt's in jeder Apotheke

¹²Durch den Aufbau der Tablette wird der Wirkstoff kontinuierlich über längere Zeit abgegeben.

Bezogen auf die korrekte Reduktion von Medikamenten folgt daher:

- Mehr als eine einzige Änderung der Medikation pro Tag ist zu schnell¹³.
- Medikation ist zur Gegensteuerung im Akutfall sinnvoll und hilfreich, auf Dauer dagegen so sinnlos wie eine angezogene Handbremse während der Fahrt.
- Stellt sich nach Medikation Besserung des Zustands ein, so kann mit dem gezielten Ausschleichen begonnen werden.
- Auch für manche Mediziner ist die Mathematik des Ausschleichens zu hoch, so dass ungünstigere Methoden der Reduktion oder gar des Absetzens angewandt werden.

4 Schlussbemerkung

Diese Studie ist der Versuch, der großen Unkenntnis in Sachen Ausschleichen einer Medikation auf konstruktivem Wege zu begegnen.

Für Anregungen und Verbesserungsvorschläge ist der Verfasser dankbar.

5 Dank

Der Verfasser dankt Herrn Dipl.–Psych. Matthias Seibt für Korrektur.

Literatur

- [Bäu1994] Bäuml J.: *Psychosen aus dem schizophrenen Formenkreis*, Springer–Verlag Berlin etc., (1994)
- [MS1998] Möllmann K., Stoll B.: *Versuchsanleitungen zum Physik–Praktikum für Mediziner und Zahnmediziner*, Universität Ulm, Studienjahr 1998/99, (1998)
- [Rot1954] Rothe R.: *Höhere Mathematik*, Teil I, B.G.Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 14. Auflage, (1954)

¹³Ausnahme mag hier die direkte Injektion in die Vene sein.