

Die Fibonacci-Skalierung mit dem Goldenen Schnitt als Grenzwert und deren Anwendung in Diagnostik und Therapie im Herz-Kreislauf-System des Menschen

1. Problemstellung

Das komplexe System des menschlichen Blutkreislaufs, von *Briggs* und *Peat* /3/ so treffend als „erstaunliches Stück der Ingenieurskunst der Natur“ bezeichnet, besteht bekanntlich aus einem „Versorgungssystem“ (Hochdrucksystem), dem „Entsorgungssystem“ (Niederdrucksystem) und der diese verbindenden Funktionseinheit „Mikrozirkulation“ (Arteriolen, Kapillaren, Venolen), wobei das Herz mehr als eine „zentrale Pumpanlage“ darstellt. Um das Kreislaufsystem in optimaler Zeit und auf kürzestem Weg beliebig nahe an jedem Körperteil zu bringen sowie das totale Blutvolumen niedrig zu halten, verzweigt sich die Blutversorgung bekanntlich zwischen 8 und 30 mal, bevor sie jede Körperstelle erreicht /3/. Während dabei die Venen und Arterien mit ihren Verzweigungen in der Literatur oft als „chaotischer“ Aufbau bezeichnet werden, soll im vorliegenden Beitrag gezeigt werden, daß im menschlichen Herz-Kreislauf-System eine **Ordnungsform** auftritt, der notwendigerweise **Chaos** zugrunde liegt: determiniertes Chaos /3, 9/. Hieraus lassen sich bei Annahme einer *Fibonacci*-Skalierung offensichtlich „Optimalwerte“ für das gesamte Herz-Kreislauf-System ableiten, die die Grundlage für die Diagnostik, jedoch auch für eine Therapie (z. B. QRS-Magnetfeldtherapie, s. Plenarvortrag), bilden sollen.

Es ist das Verdienst von *Mandelbrot*, *West* und *Goldberger* /3, 14/, erkannt zu haben, daß von einer „fraktalen Selbstähnlichkeit“ auch im menschlichen Körper ausgegangen werden muß, daß sich das gleiche komplexe Verzweigungsmuster bei kleineren und immer kleineren Blutgefäßen wiederholt. „Es wurde mir immer klarer, daß Selbstähnlichkeit nicht etwa nur irgendeine uninteressante Eigenschaft ist, sondern ein mächtiges Mittel zum Hervorbringen von Gestalten“ (*Mandelbrot* /3/). Grundlage im Gefäßbaum ist dabei die *Fibonacci*-Skalierung mit ihrem Grenzwert 1,618034... /15/, während analog zur Lunge im Kapillarbereich zwecks Erreichung einer größeren Effizienz, zur Erzielung eines „Gleichgewichts zwischen physiologischer Ordnung und Chaos“ /14/, von einer wesentlichen Skalenverschiebung ausgegangen werden muß.

2. Das Herz-Kreislauf-System des Menschen im Sinne der Selbstähnlichkeit betrachtet

Ein Fundament der Selbstähnlichkeit bildet die berühmteste Skalierung der Welt: die Zahl 1,618034..., die aus der *Fibonacci*-Reihe ⁵⁾ /15/

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, \dots \quad (1)$$

1) Prof. Dr. Fischer AG Chemnitz / Germany

2) Berlin / Germany

3) Klinik Bergfried Saalfeld / Germany

4) University of the West Indies St. Augustine / Trinidad & Tobago

zunehmend als Quotienten-Grenzwert entsteht, wenn die jeweils nachfolgende durch die vorangehende Zahl der Reihe dividiert wird (Beispiel: $55/34 = 1,617647$). Mit ihrem Kehrwert $0,618034\dots$ und ihrem Quadrat $2,618034\dots$ ist auch die Zahl $1,618034\dots$ selbstähnlich. Der Verhältnis-Grenzwert $1,618034$ ⁶⁾ ist der bekannte **Goldene Schnitt** /15/.

Aufbauend auf Arbeiten von *West* und *Goldberger* /14/ zum „fraktalen *Fibonacci*-Lungenbaum“ schlußfolgern *Briggs* und *Peat*, daß „der Körper eine Vernetzung von lauter selbstähnlichen Systemen wie den Lungen, den Gefäßsystemen, dem Nervensystem“ /3/ ist. Es soll deshalb die These formuliert werden, daß die Struktur des aktiven Gefäßsystems im Optimum mit ausreichender Näherung nach einer *Fibonacci*-Skala modelliert werden kann und hierbei der irrationalen Zahl $1,618 \dots$ einschließlich der Zusammenhänge

$1,618^{-1} = 0,618$	$1,618^1 = 1,618$	$0,5 \times 1,618^0 = 0,5$
$1,618^{-2} = 0,382$	$1,618^2 = 2,618$	$0,5 \times 1,618^{-1} = 0,309$
$1,618^{-3} = 0,236$	$1,618^3 = 4,236$	$0,5 \times 1,618^{-2} = 0,191$

im Sinne einer (Natur-)Konstanten eine dominierende Bedeutung zukommt. So ist vom „fraktalen Lungenbaum“ bekannt, daß die Längenverhältnisse in den ersten sieben Generationen der Bronchialröhren in der menschlichen Lunge der *Fibonacci*-Skala folgen, die Durchmesser dieser Röhren sogar bis zu zehn Generationen. Danach tritt eine Änderung dieser Skalierung auf, um eine größere Effizienz in der Lunge zu erzielen /14/.

Die allgemeine Verteilung von Blutvolumen und Blut-Strömungswiderstand im Körpergefäßsystem ist nach /5/ in **Abb. 1** dargestellt.

Aus Abb. 1 lassen sich u.a. folgende **Relationen** ableiten:

- Das Verhältnis der Speicherkapazitäten (Blutvolumina) C des venösen und arteriellen Systems beträgt

$$\frac{C_{\text{venös}}}{C_{\text{arteriell}}} = \frac{63\% + 12\%}{15\% + 3\%} = \frac{75\%}{18\%} = 4,17 \approx 4,236 = (1,618)^3. \quad (2)$$

Offensichtlich sind die venösen und arteriellen Kapazitäten über die Verhältniszahl $4,236 = (1,618)^3$ optimiert.

5) Der italienische Mathematiker *Filius Bonacci* (*Fibonacci*, 1170 – 1250) entdeckte diese Zahlenreihe, die mit ihrem Quotienten-Grenzwert zweier aufeinanderfolgender Zahlen zur berühmtesten Skalierung der Welt, zum „Goldenen Schnitt“, führt. Viele Künstler, wie z.B. *Leonardo da Vinci*, wurden vom „Goldenen Schnitt“ inspiriert. *R. N. Elliot* entwickelte in den 30er Jahren dieses Jahrhunderts auf diesen Grundlagen aufbauend eine Theorie, mit der man Trends- und Trendwenden in Natur und Technik, aber auch auf dem Aktienmarkt, aufzeigen konnte.

6) Als Abkürzung wird nachfolgend $1,618$ vereinbart.

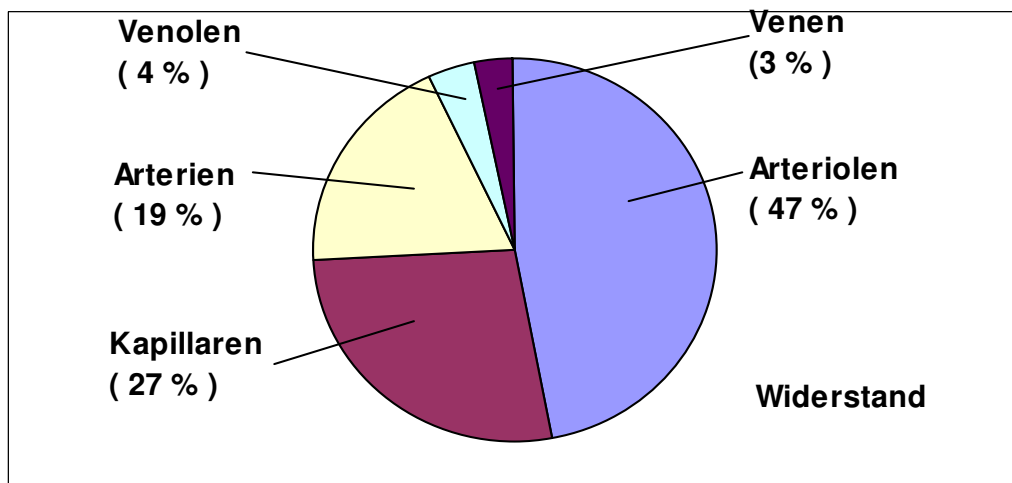
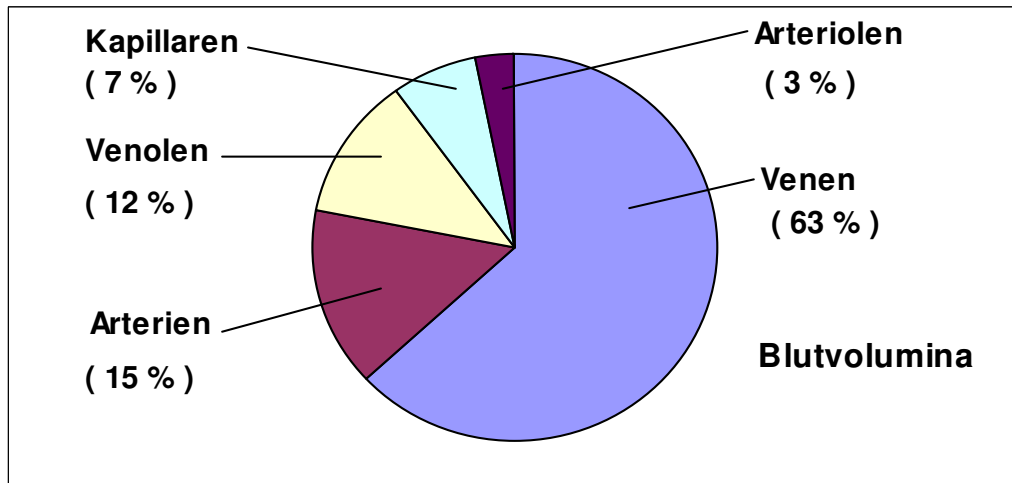


Abb. 1: Verteilung von Blutvolumen und Blut-Strömungswiderstand im Körpergefäßsystem /5/

- Für das Verhältnis von Blut-Strömungswiderstand R und Blutvolumen C des kapillär-venolären Systems erhält man

$$\frac{R_{\text{kapillär,venolär}}}{C_{\text{kapillär,venolär}}} = \frac{31\%}{19\%} = 1,63 \approx 1,618. \quad (3)$$

- Für das kapilläre Widerstands-/Volumenverhältnis folgt aus Abb. 1

$$\frac{R_{\text{kapillär}}}{C_{\text{kapillär}}} = \frac{27\%}{6...7\%} = 4,154 \approx 4,236 = (1,618)^3. \quad (4)$$

Mit 21 Volumenprozenten als maximale O_2 -Sättigung des arteriellen Blutes und ca. 13 Volumenprozenten O_2 im venösen Blut /4/ erhält man für deren Verhältnis und damit für die optimale Sauerstoffausschöpfung in den Kapillaren durch das Gewebe

$$\frac{21 \text{ Vol.\%O}_2}{13 \text{ Vol.\%O}_2} = 1,615 \approx 1,618. \quad (5)$$

Die Optimierung der Sauerstoffentnahme durch das Gewebe über die Zahl 1,618 erscheint als geradezu exemplarisch für die auch funktionell selbstähnliche Strukturierung des Kreislauf-Systems, mehr noch: für die selbstähnliche Einheit von Struktur und Funktion des „kleinen Kreislaufs“, wie der fraktale *Fibonacci-Lungenbaum* zeigt.

Als **Herz-Kreislauf-Normalwerte**, die bei einem (20 bis 30jährigen) Normalprobanden auftreten, werden in der Literatur /4, 6, 12,/ angegeben:

- Herzfrequenz: $70 - 75 \text{ min}^{-1}$ ($\equiv 1,17 \dots 1,25 \text{ Hz}$),
- Atmungsfrequenz: $16 - 18 \text{ min}^{-1}$ ($\equiv 0,27 \dots 0,30 \text{ Hz}$),
- *Traube-Hering-Wellen* als rhythmische Änderungen des arteriellen Blutdruckes: ca. 7 min^{-1} ($\equiv 0,1 \text{ Hz}$),
- Blutdruckwerte: systolisch $P_S = 120 \text{ mmHg}$,
diastolisch $P_D = 75 \text{ mmHg}$.

Aus diesen Normalwerten sollen nachfolgende **Relationen** abgeleitet werden:

- Von *Hildebrandt* /8/ wurde bereits 1960 erkannt, daß zwischen Puls- und Atemrhythmus „koordinative Beziehungen“ /8/ mit einem Norm-Frequenz-Verhältnis von 4 : 1 bestehen und Abweichungen von der Norm nach beiden Richtungen hin bestimmten Funktionsabweichungen im Herz-Kreislauf-System zugeordnet sind. Aus den angegebenen Normalwerten folgt das Verhältnis:

$$\frac{\text{Herzfrequenz}}{\text{Atmungsfrequenz}} = \frac{1,17 \dots 1,25 \text{ Hz}}{0,27 \dots 0,30 \text{ Hz}} = 4,25 \text{ (Mittelwert)} \approx 4,236 = (1,618)^3. \quad (6)$$

- In /8/ wird ebenso darauf verwiesen, daß der Atemrhythmus des Menschen gleichfalls „koordinative Beziehungen“ /8/ zum 10Sekunden-Rhythmus des Blutdruckes, der *Traube-Hering-Wellen*, besitzt. Mit den Normalwerten erhält man

$$\frac{\text{Atmungsfrequenz}}{\text{Blutdruckperiodik}} = \frac{0,27 \dots 0,30 \text{ Hz}}{0,1 \text{ Hz}} = 2,85 \text{ (Mittelwert)} \approx 2,618 = (1,618)^2. \quad (7)$$

- Falls dem Herz-Kreislauf-System eine 1,618-Skalierung zugrunde liegt und sich darauf aufbauende Relationen ergeben, so ist zu erwarten, daß sich im Optimum ein solches Verhältnis auch für die Blutdruckwerte ergibt, das $V_{PS,PD}$ genannt werden soll. Eine Abweichung dieses Verhältnisses von der Norm wird offensichtlich ebenso auf Funktionsabweichungen im Herz-Kreislauf-System zurückzuführen sein (z. B. bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit oder bei Mikrozirkulationsstörungen). In einer nicht veröffentlichten Arbeit der Verfasser wird dieses Verhältnis „relativer peripherer Widerstand RPW_1 “ genannt:

$$V_{Ps,PD} = RPW_1 = \frac{P_S}{P_D} \quad \text{bzw. (mit den Normalwerten)} \quad V_{Ps,PD} = \frac{120\text{mmHg}}{75\text{mmHg}} = 1,6 \approx 1,618. \quad (8)$$

In **Abb. 2** sind Ruheblutdruck-Normalwerte und das daraus abgeleitete Verhältnis RPW_1 in Abhängigkeit vom Lebensalter dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die irrationale Zahl 1,618 das Optimum ist, jedoch mit zunehmendem Lebensalter Abweichungen davon auftreten.

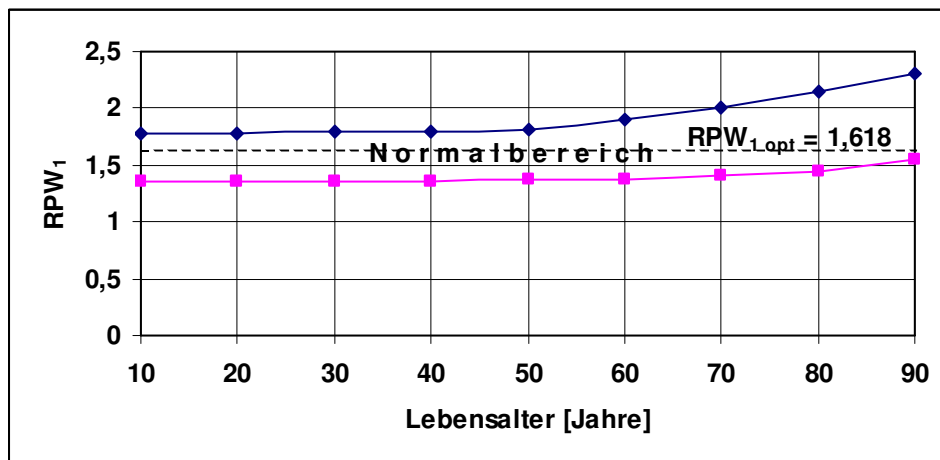
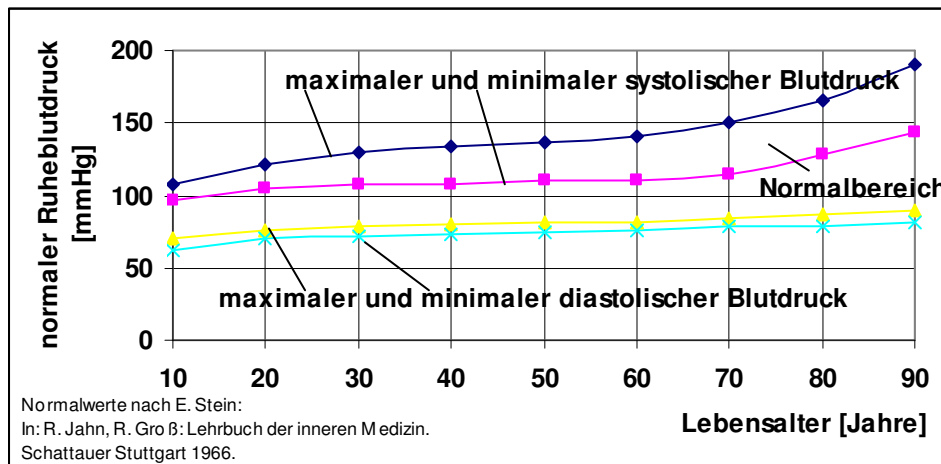


Abb. 2: Ruheblutdruckwerte in Abhängigkeit vom Lebensalter sowie daraus abgeleiteter Normalbereich für die Verhältniszahl RPW_1 .

Bekannt ist des weiteren, daß Häufigkeitsgipfel des Herzinfarktes, des plötzlichen Herztodes und des Schlaganfalls jeweils in den frühen Morgenstunden liegen. Es wurden deshalb in /1/ 24h-Blutdruckmessungen sowohl bei normotonen als auch hypertonen Probanden durchgeführt. Dabei ergaben sich die in **Abb. 3a** dargestellten Blutdruckprofile in Abhängigkeit von der Uhrzeit. Ermittelt man aus **Abb. 3a** für beide Gruppen die Verhältniszahl RPW_1 , so ergibt sich der Verlauf nach **Abb. 3b**. Es ist ersichtlich:

- Die Theorie des optimalen Wertes bei der Zahl 1,618 wird bestätigt.

- Zwischen 8 und 20 Uhr erhält man sowohl bei normotonen als auch hypertonen Personen fast ideale RPW_1 -Werte.
- Zwischen 1 und 3 Uhr wird dieses Verhältnis maximal. Erhöht es sich bei Patienten mit essentieller Hypertonie weiter, so ist ein Ernstfall vielleicht nicht auszuschließen.

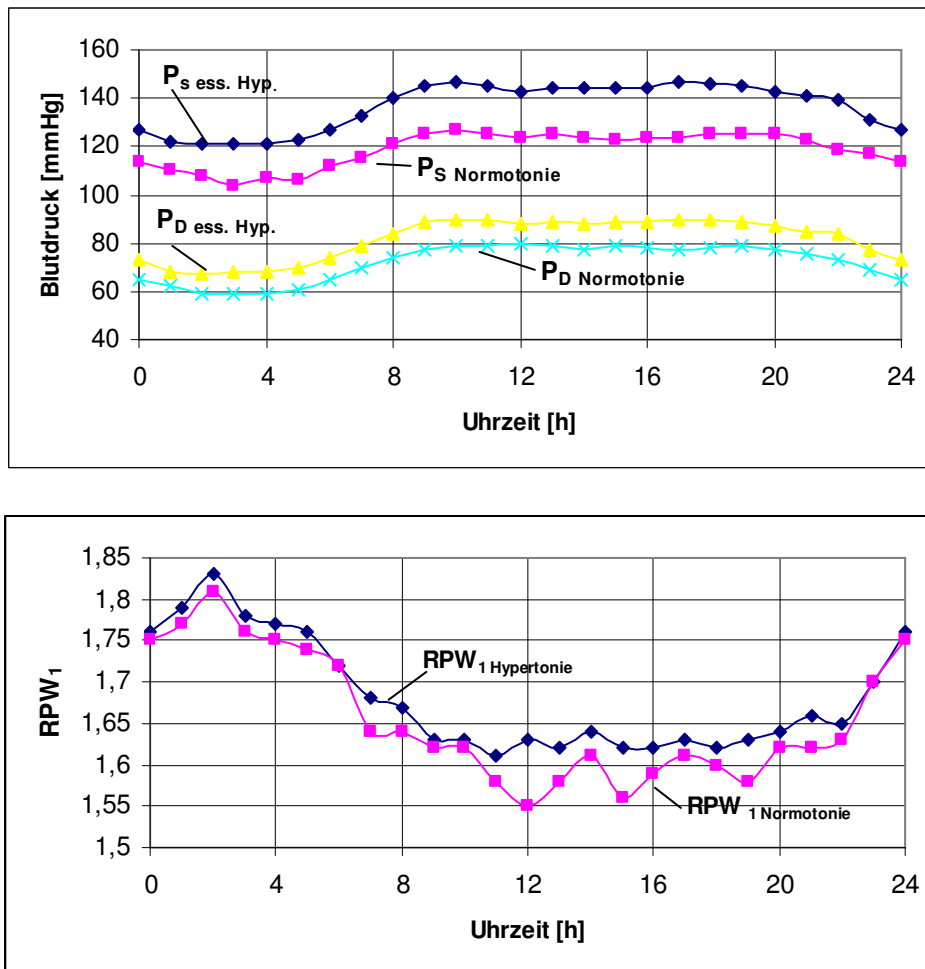


Abb. 3: Stundenmittelwerte des systolischen und diastolischen Blutdruckes [nach /1/] bei Normotonie mit $n = 111$ und bei essentieller Hypertonie mit $n = 109$ Patienten [oben, a)] und daraus abgeleitetes Verhältnis RPW_1 [unten, b)].

Nachfolgend soll gezeigt werden, daß mit der *Fibonacci*-Skalierung ohne Vorgabe von Herz-Kreislauf-Normalwerten sowohl das (theoretische) Optimum anatomischer Verzweigungen des Gefäßsystems ermittelbar ist, als auch funktionelle Optima des Herz-Kreislauf-Systems einschließlich des EEG-Frequenzbereiches bestimmbar sind.

Selbstähnliche Systeme sind in der Literatur (u. a. /3,14,15/) umfassend beschrieben. Ein solches Verhalten zeigen z. B. Baumstruktur, Flußverlauf, Momentaufnahme eines Blitzes, Verzweigung von Nervenzellen (Neuronen) sowie ein (arterieller) Blut-Gefäßbaum. Wird für deren Anzahl von Verzweigungen in den entsprechenden „Ebenen“ dieser Systeme eine *Fibonacci*-Reihe nach Gl. (1) (als reduzierte Reihe) zugrunde gelegt, so würde man erhalten:

1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55,

Als Quotient zweier aufeinander folgender Zahlen dieser Reihe stellt sich der Verlauf nach **Abb. 4** dar, wenn gebildet wird

$$\text{Quotient}_{\text{Fibonacci}} = Q_{\text{Fibonacci}} = \frac{x_n}{x_{n-1}} \quad (9)$$

und x_n sowie x_{n-1} die jeweils letzte bzw. vorletzte *Fibonacci*-Zahl der Reihe darstellen. Aus **Abb. 4** geht hervor, daß ab der 6. Verzweigungsebene der „Baumstruktur“ die Abweichung vom Grenzwert 1,618... vernachlässigbar klein ist. Deshalb wird der Quotienten-Grenzwert 1,618..., der Goldene Schnitt, in der Literatur /3, 14/ als „**Skalierungsfaktor**“ bezeichnet.

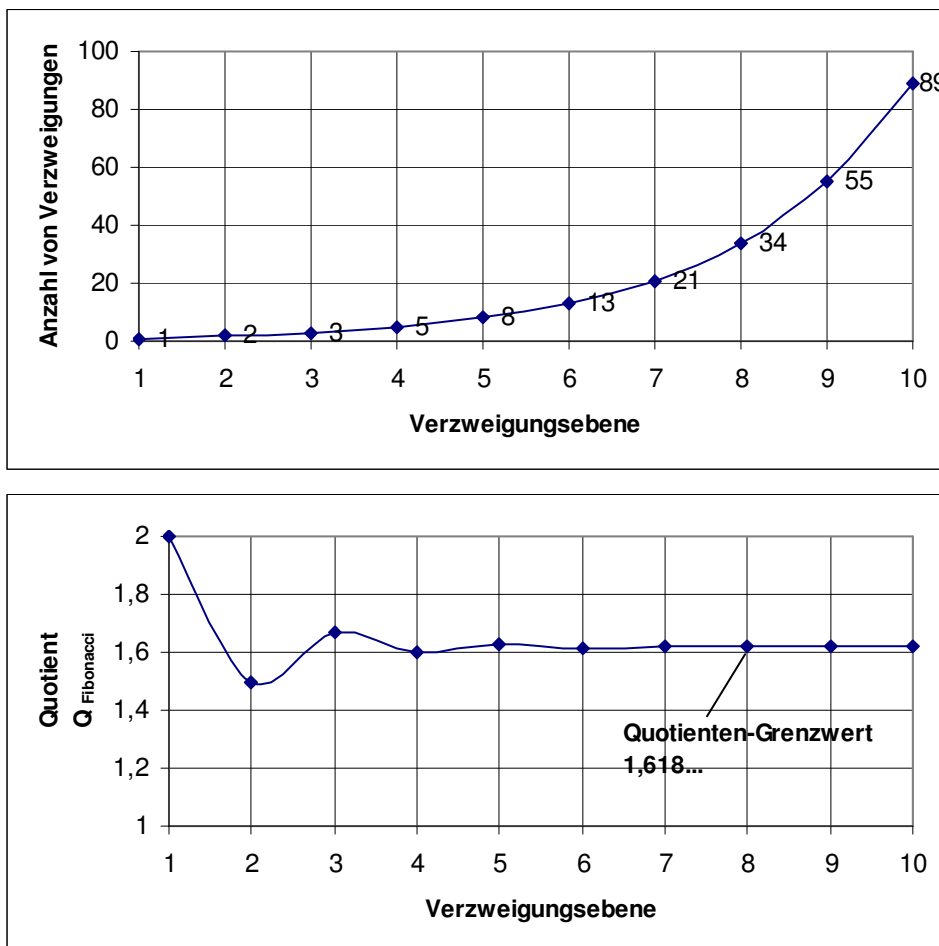


Abb. 4: Anzahl von Verzweigungen in den entsprechenden Verzweigungsebenen sowie Verlauf des Quotienten $Q_{\text{Fibonacci}}$ einschließlich sich einstellender Grenzwert 1,618..., falls eine *Fibonacci*-Reihe für die selbstähnlichen Systeme (z. B. Baumstruktur, Flußverlauf, Momentaufnahme eines Blitzes, Blutgefäßbaum, Verzweigung von Nervenzellen) zugrunde gelegt wird.

Nach /4/ beträgt bei Normalprobanden der arithmetische Mittelwert der Querschnittsfläche der menschlichen Aorta als „Stamm“ des arteriellen Blutgefäßbaumes $F_{\text{Aorta}} = \pi$ (cm²). Diese irrationale Zahl, die auch zur Berechnung der Fläche und des Umfangs eines Kreises sowie des Volumens einer Kugel erforderlich ist, ist bekanntlich nicht exakt bestimmbar. Es ist bei deren Berechnung keinerlei Ordnung vorhanden, jede neu hinzukommende Dezimalzahl ist völlig zufällig.

Als Modell wird nachfolgend angenommen, daß die nach Erkenntnissen von *West* und *Goldberger* /14/ notwendigerweise optimale Bifurkation für relativ große Strecken des Blutvolumenflusses nach einer *Fibonacci*-Reihe erfolgt, indem die Aorta sich nach dieser Skalierung nicht nur verzweigt, sondern auch die entsprechenden Blutvolumenfluß-Geschwindigkeiten sich danach einstellen. Somit müßte es möglich sein, hierfür Optima für Herz- und Atemfrequenz sowie für weitere Herz-Kreislauf-Parameter abzuleiten.

Wird die nach *Burton* /4/ mittlere Fläche π des Aortenquerschnittes formal mehrfach mit dem *Fibonacci*-Quotienten-Grenzwert 1,618 nach der Beziehung

$$F_n = \frac{\pi}{(1,618)^n} \quad (10)$$

skaliert (dividiert), so erhält man die überraschenden Resultate nach **Tabelle 1**, wobei n „Skalierungsgrad“ genannt werden soll. Die daraus folgenden Faktoren $F_1 \dots F_n$ entsprechen charakteristischen Bifurkationspunkten, offensichtlich gleichsetzbar mit im Herz-Kreislauf-System auftretenden „optimalen“ Frequenzen. Während die in Tabelle 1 berechneten („fett“ markierten) Frequenz-Optimalwerte für das Herz-Kreislauf-System einschließlich EEG-Bereich sehr gut mit den Literaturangaben übereinstimmen, sind in dieser Tabelle auch „Zwischenfrequenzen“ ersichtlich. Wenngleich diese Werte noch genauer zu überprüfen sind, zeigen die klinischen Erfahrungen bei den Atmungsfrequenzen unter Ruhebedingungen die Richtigkeit des Bereiches 0,175 ... **0,283** ... 0,458 Hz (\equiv 10,5 ... **17** ... 27,5 min⁻¹) /13/. Gleiches gilt auch für die Herzfrequenz-Bereiche 0,742 ... **1,2** ... 1,942 Hz (\equiv 44,5 ... **72** ... 116,5 min⁻¹). Da jedoch auch höhere Herzfrequenzen als 116,5 min⁻¹ auftreten, insbesondere bei jüngeren Personen, ist dies offenbar nur dann möglich, wenn die Blutviskosität Normalwerte aufweist und nicht erhöht ist. Andererseits liegt bei anormal erhöhten Herzfrequenzen vielleicht eine „Störung“ der vegetativen Komponente vor.

Mittels „dynamischer Systemdiagnostik“ wurden in /2/ sogenannte „arterielle und venöse Einschwingzeiten“ zur Quantifizierung des hämodynamischen Zustandes von Extremitäten ermittelt und die gemessenen Normalwerte verglichen mit den Werten, wie sie durch obige Skalierung als „Optimalwerte“ ableitbar sind. Die Übereinstimmung ist relativ gut, wobei sich derartige Optima bei den Skalierungsgraden $n = 6, 7, 8$ und 9 einstellen.

[Hinweis: Das zugrunde gelegte Modell und die vorgenommenen Skalierungen bedürfen weiterer Betrachtungen. Insbesondere ist zu analysieren, warum die hier formal abgeleiteten (eigentlich statischen) Faktoren $F_1 \dots F_n$ offensichtlich mit (optimalen) Frequenzen gleichsetzbar sind, wie der Vergleich mit den Literaturangaben zeigt. Ausgehend vom Herzzeitvolumen /13/, das als Blutvolumenstromstärke je Sekunde die Aorta mit seiner Fläche F_{Aorta} passiert, sind hierfür die Gesetzmäßigkeiten der Strömung im Gefäßsystem für den Fall der *Fibonacci*-Skalierung anzuwenden.]

Fibonacci-Skalierungs-Grundgleichung $F_n = \frac{\pi}{(1,618)^n}$		
n	optimale Frequenz F_n [Hz]	Bedeutung
7	0,108 ($\equiv 6,5 \text{ min}^{-1}$)	Blutdruckperiodik (<i>Traube-Hering-Wellen</i>) /4/
6	0,175	untere Grenze Atmungsfrequenz (?)
5	0,283 ($\equiv 17 \text{ min}^{-1}$)	Optimum Atmungsfrequenz /12/
4	0,458	obere Grenze Atmungsfrequenz (?)
3	0,742	untere Grenze Herzfrequenz (Bradykardie) (?)
2	1,2 ($\equiv 72 \text{ min}^{-1}$)	optimale Herzfrequenz /12/
1	1,942	Herzeigenfrequenz (ungedämpft) (?) obere Grenze Herzfrequenz (Tachykardie) (?)
0	3,142	Optimum EEG-Delta-Bereich /10/
-1	5,08	Optimum EEG-Theta-Bereich /10/
-2	8,225	Beginn EEG-Alpha-Bereich /10/, 1. Schumann-Resonanz /7, 11/
-3	13,31	Ende EEG-Alpha-Bereich, Beginn Beta-Bereich (Beta _{1,2}) /11/, 2. Schumann-Resonanz /7, 11/
-4	21,53	EEG-Beta-Bereich (Beginn Beta ₃) /10/, 3. Schumann-Resonanz /7, 11/
-5	34,84	Ende EEG-Beta-Bereich /11/

Tabelle 1: Durch Mehrfachskalierung der mittleren Aortenfläche $F_{\text{Aorta}} = \pi \text{ [cm}^2\text{]}$ abgeleitete zu erwartende optimale Herz-Kreislauf-Parameter einschließlich EEG-Bereich.

Wie in Tabelle 1 ersichtlich ist, erhält man für $n = 0$ bis -5 die optimalen Frequenzen **3,142**, **5,08**, **8,225**, **13,31**, **21,53** und **34,84** Hz. Daraus geht hervor, daß die Zahlen **vor** dem Komma sämtlich *Fibonacci*-Zahlen darstellen, deshalb wurden sie „fett“ markiert. Würde man die Frequenz bei $n = -6$ berechnen, so erhält man 56,37 Hz. Die Zahl 56 ist jedoch keine *Fibonacci*-Zahl, so daß diese Frequenz als nicht relevant für den EEG-Bereich betrachtet wird. Bekanntlich sind 35 Hz etwa die obere EEG-Frequenz-Grenze (Ende EEG-Beta-Bereich), wie sie aus experimentiellen Messungen bestimmt wurde (s. auch Abschn. 3.).

Aus Tabelle 1 folgen die bei einer 1,618-Skalierung von π auftretenden „Optimalwerte“ im Herz-Kreislauf-System:

- Herzfrequenz $f_H = 1,2 \text{ Hz} (\equiv 72 \text{ min}^{-1})$,
 - Atmungsfrequenz $f_A = 0,283 \text{ Hz} (\equiv 17 \text{ min}^{-1})$,
 - Blutdruckperiodik $f_B = 0,108 \text{ Hz} (\equiv 6,5 \text{ min}^{-1})$.
- (11)

Damit erhält man als **Relationen**:

$$\frac{f_H}{f_A} = \frac{1,2 \text{ Hz}}{0,283 \text{ Hz}} = 4,24 = (1,618)^3, \quad (12a)$$

$$\frac{f_A}{f_B} = \frac{0,283 \text{ Hz}}{0,108 \text{ Hz}} = 2,62 = (1,618)^2. \quad (12b)$$

Diese Optimalwerte einschließlich Relationen nach den Gln. (11) und (12) stimmen sehr gut mit den Normalwerten sowie deren Relationen überein.

Bezüglich der in Tabelle 1 aufgeführten EEG-Frequenzen und deren Bedeutung für eine (z. B. QRS-Magnetfeld-)Therapie sei auf den Plenarvortrag „QRS-Magnetfeldtherapie – Gegenwart und Zukunft“ sowie auf /10/ verwiesen, zu den „Schumann-Resonanzen“ auf Abschn. 3. sowie /7, 11/.

Trotz des hier vorgenommenen ausblickenden Vorgehens wird deutlich: Periodenverdopplungen (bzw. Halbierungen) treten in Tabelle 1 durch eine Skalierung mit 1,618 nicht auf, auch nicht zwischen der Zahl $\pi = 3,1416\dots$ und der Skalierungskonstante 1,618... direkt. Hier wird lediglich ein Wert von 1,942 erreicht. Periodenverdopplung im Sinne der Entdeckung von *Feigenbaum* im Jahre 1976 führt bekanntlich zum „Aufwallen von Chaos“ /3/, zum Anwachsen der Turbulenz und ist auf alle Fälle aus Stabilitätsgründen im Herz-Kreislauf-System zu verhindern. So ist auch bekannt /3/, daß Herzversagen durch Stauung eintreten kann, falls Herzschlag und Atemrhythmus „allzu periodisch“ werden. Dann liegt eine extreme Störung der normalen fraktalen Verhältnisse vor.

3. Vergleich von im Abschnitt 2. abgeleiteten (ausgewählten) Optimalwerten mit Messungen des natürlichen elektrischen und magnetischen Feldes

Wie im Plenarvortrag „QRS-Magnetfeldtherapie – Gegenwart und Zukunft“ dargelegt wurde, stellt der Raum zwischen Erde und Ionosphäre für die von Blitzen erzeugten Signale (Atmospherics) einen sogenannten Wellenleiter dar, in dem sich diese Signale entsprechend ihrer Frequenz und dem Zustand der Ionosphäre mehr oder weniger stark gedämpft als elektromagnetische Wellen ausbreiten /11/. Die meisten zumindestens der bei schönem Wetter über der Erdoberfläche gemessenen Vorgänge des elektrischen und magnetischen Feldes, die eine Frequenz von einigen Hertz haben, resultieren aus der Anregung des Erde-Ionosphären-Hohlraumresonators durch weit entfernte Gewitter. Diese Erscheinung ist in der Physik als „Schumann-Resonanz“ bekannt /11/. Sie reicht von etwa 7,8 Hz bis ca. 35 Hz /11/ und ist damit frequenzmäßig identisch mit dem gesamten Alpha- und Beta-Bereich im Elektroenzephalogramm (EEG). Vergleicht man die Registrierungen

der *Schumann*-Resonanz-Signale mit denen des EEG, so ist es meist schwierig zu unterscheiden, ob es sich um eine Aufzeichnung von Gehirnströmen oder von in der Natur vorkommenden elektrischen Feldschwankungen handelt /11/. In /11/ ist nach *Toomey* und *Polk* [*Toomey, J. and C. Polk: Research on Extremely Low Frequency Propagation with Particular Emphasis on Schumann Resonance and Related Phenomena. University of Rhode Island, Kingston, R. I., USA. Contract No. AF 19 (628) – 4950. 1. April 1970*] das Frequenzspektrum eines gemessenen vertikalen elektrischen Feldes natürlicher Signale wiedergegeben. **Abb. 5** zeigt diese Messungen, wo deutlich die *Schumann*-Resonanzen als typische Resonanzerscheinungen ersichtlich sind. Setzt man diese Werte in Relation zu denen, die mittels *Fibonacci*-Skalierung gefunden wurden (s. Tabelle 1), so zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Die *Fibonacci*-Skalierungs-Frequenzen können jedoch nur verglichen werden mit den Resonanzfrequenzen des *ungedämpften* „Erde-Ionosphären-Hohlraumresonators“ ($D=0$). Eine solche Dämpfung $D = 0$ ist aber nach /11/ in der Natur ausgeschlossen, so daß sich Abweichungen vor allem bei den höheren *Schumann*-Resonanzen, also bei Frequenzen oberhalb von 22 Hz, ergeben, während die ersten 3 Frequenzmaxima nahezu identisch sind (*König* verweist in /11/ darauf, daß die „Resonanzgüte“ vor allem bei den höheren Frequenzen relativ klein ist):

Schumann-Resonanz:	8,4	14,2	20,7	Hz
	↕	↕	↕	
<i>Fibonacci</i>-Frequenzskalierung:	8,225	13,31	21,53	Hz

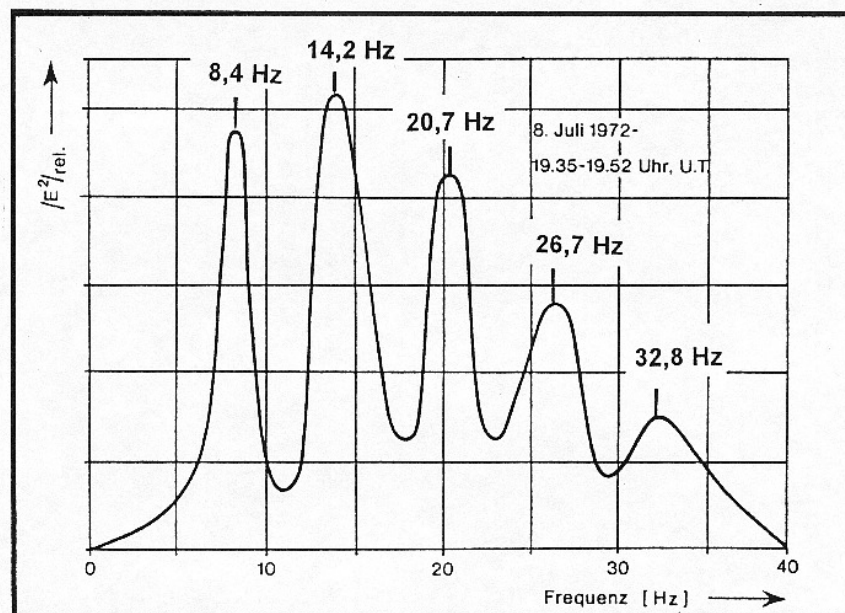


Abb. 5: Spektrum eines vertikalen elektrischen Feldes natürlicher Signale einschließlich der charakteristischen *Schumann*-Resonanzen /11/

Da diese Frequenzen zugleich typische EEG-Frequenzen darstellen (Beginn und Ende Alpha-Bereich sowie Beta-Bereich) und letztere auch bei der Wirkung von Pharmaka entscheidend sind /10/ , lassen sich aus diesen Ergebnissen wichtige Schlußfolgerungen für Therapie-Verfahren (einschließlich unter QRS) ableiten, wie im Plenarvortrag gezeigt wird.

Weiterhin ist aus Erdmagnetfeldmessungen bekannt /11/, daß Schwingungen mit einer Variationsbreite der Periodendauern von 30 Sekunden ($\equiv 0,033$ Hz) bis 0,025 Sekunden ($\equiv 40$ Hz) auftreten. Damit ist diese Bandbreite mit der des elektrischen Feldes und des EEGs sowie mit der Fibonacci-Skalierung 34,84 Hz identisch, so daß von einer offensichtlichen Redundanz des elektrischen und magnetischen Feldes ausgegangen werden muß. Auffallend bei den Erdmagnetfeldmessungen, worüber in /11/ berichtet wird, waren jedoch Schwingungen mit der Periodendauer von 4,5 Sekunden ($\equiv 0,22$ Hz), wenngleich sie nur mit einer Intensität von 10^{-12} Tesla auftraten. Diese Komponente entspricht, wie unter Abschn. 2. gezeigt wurde, offensichtlich der Atmungsfrequenz. Folglich kann daraus geschlußfolgert werden, daß das menschliche Herz-Kreislauf-System bei der Atmung „unterstützt“ wird durch das Erdmagnetfeld. Der ermittelte Frequenzwert unterscheidet sich wenig vom ermittelten Optimum $f_A = 0,283$ Hz auf der Basis der *Fibonacci*-Skalierung, also kann auch hier von einer sehr guten Übereinstimmung von Modell und Wirklichkeit ausgegangen werden kann.

Daß das Magnetfeld der Erde allgemein zeitlichen Schwankungen unterworfen ist und aus solchen Meßwerterfassungen auch die quantitativen *Schumann*-Resonanzen ableitbar sind, wird in /7/ gezeigt, worauf verwiesen sei.

4. Zusammenfassung

Mit Hilfe der von *Mandelbrot*, *West* und *Goldberger* eingeführten „fraktalen Selbstähnlichkeit“ wird im Beitrag gezeigt, daß die *Fibonacci*-Skalierung mit ihrem Grenzwert 1,618034... (Goldener Schnitt) ein Strukturmodell zur Quantifizierung von Kenngrößen und Parametern im Herz-Kreislauf-System des Menschen darstellt. Legt man für eine optimale Leistungs- bzw. Energieübertragung vom Herzen bis in die Gefäßperipherie eine solche *Fibonacci*-Gefäßstruktur zugrunde, so lassen sich hierfür Optimalwerte der Herzperiodendauer / Herzfrequenz, Atmung sowie der Blutdruckperiodik bestimmen, jedoch auch für den EEG-Bereich als Therapie-Frequenzen. In diesem Sinne optimiert sich auch die Sauerstoffentnahme durch das Gewebe. Gleichfalls erhält man auf der Basis des Grenzwertes 1,618034 charakteristische Relationen, die sich zwischen den Kenngrößen und Parametern einstellen.

Die abgeleiteten Optimalwerte einschließlich Relationen stimmen sehr gut mit den bekannten klinischen Normalwerten überein.

Das Modell „*Fibonacci*-Skalierung mit Grenzwert 1,618034...“ kann offensichtlich auch dem natürlichen elektromagnetischen Feld zugrunde gelegt werden. Die aus den praktischen Messungen des natürlichen elektrischen Feldes des Erdelonosphären-Hohlraumresonators gewonnenen Frequenzspektren, speziell die *Schumann*-Resonanzen, sind sehr gut vergleichbar mit den EEG-Frequenzbereichen sowie mit den Frequenzen, wie sie mittels *Fibonacci*-Skalierung erhalten werden. Das betrifft auch die Frequenzen und –bereiche, die aus Erdmagnetfeldmessungen

abgeleitet wurden. Der Frequenzvergleich zwischen dem natürlichen elektrischen und dem Erdmagnetfeld macht zugleich eine Redundanz deutlich, die offensichtlich für die Entwicklung des Lebens auf unserer Erde erforderlich war und ist.

Literatur

- /1/ Baumgart, P. und K. H.: Morgendlicher Blutdruckanstieg: vor oder nach dem Aufwachen? *Klin. Wochenschr.* (1990) 68, 320-323.
- /2/ Bilz, D., Schimmelpfennig, L., Podlesny, B., Pöhlmann, G. und M. Krauß: Dynamische Rot-Infrarot-Photoplethysmographie (DRIP) zur nichtinvasiven Beurteilung hämodynamischer Effekte in den Extremitäten - Methodische Grundlagen. *Perfusion* 10, 207-214 (1997).
- /3/ Briggs, J. and F. D. Peat: *Turbulent Mirror. An Illustrad Guide to Chaos Theory and Science of Wholeness.* Harper & Row, Publishers, New York 1989.
- /4/ Burton, A.C.: *Physiologie und Biophysik des Kreislaufs.* F. K. Schattauer Stuttgart/NewYork 1969.
- /5/ Casella-Riedel Pharma GmbH (Red. W. Schneider, K. Barbey): *Venen. Die Bedeutung der Mikrozirkulation.* 3. Aufl. 1992.
- /6/ Falter, A.: *Der Körper des Menschen.* Georg Thieme Stuttgart/New York 1988.
- /7/ Füllekrug, M.: *Schumann-Resonanzen in den Magnetfeld-Komponenten.* Diss., Georg-August-Universität Göttingen 1994 (ISBN 3-930340-74-7).
- /8/ Gadermann, E.; Hildebrandt, E.; Jungmann, H.: Über harmonische Beziehungen zwischen Pulsrhythmus und arterieller Grundschwingung. *Z. für Kreislauforschung* 50 (1961), 805-814.
- /9/ Goldberger, A. L.: Is the Normal Heartbeat Chaotic or Homeostatic? *Physiol. Sciences*, vol. 6, April 1991, 87-91.
- /10/ Herrmann, W.M. und E. Schäfer: *Das Pharmako-EEG. Grundlagen, Methodik, Anwendung.* Landsberg/Lech/Germany : ecomed 1987 (ISBN 3-609-64170-3).
- /11/ König, H. L. : *Unsichtbare Umwelt. Der Mensch im Spielfeld elektromagnetischer Kräfte.* Eigenverlag Herbert L. König, München 1986 (ISBN 3-923819-04-8).
- /12/ Krauß, M., Ch. Posthoff, D. Bilz und G. Grohmann: The Determination of Optimum and Normal Values for Heart and Circulatory Parameters of Human Beings and their Recording by the Noninvasive NIRP-Method. *Signal and Image Processing (SIP-96). An International Conference Highlighting Recent Developments in Signal and Image Processing, Session 03 (Biomedical SIP). November 11th - 14th, 1996, Orlando/USA.*
- /13/ Thews, G. und P. Vaupel: *Vegetative Physiologie.* 3. Aufl.. Springer Berlin/Heidelberg/New York/Barcelona/Budapest/Hongkong/London/Mailand/Paris/Santa Clara/Singapur/Tokio 1997.
- /14/ West, B. and A. L. Goldberger: *Physiology in Fractal Dimensions.* In: *American Scientist* July/Aug. 1987.
- /15/ Worobjow, N. N: *Die Fibonaccischen Zahlen.* 3. Aufl., Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1977.

