



Edmund Unterweger (Autor)

**Bildhafte Vorstellungen physiologisch sichtbar  
gemacht: Herzfrequenzvariabilität als Indikator für  
Imaginationsprozesse**

Edmund Unterweger

---

**Bildhafte Vorstellungen physiologisch  
sichtbar gemacht: Herzfrequenzvariabilität  
als Indikator für Imaginationprozesse**

---

 Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/5514>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# 1 Einleitung

## 1.1 Herzfrequenzvariabilität

### 1.1.1 Historische Entwicklung

Es ist schon seit langem bekannt, daß sich die momentane Herzfrequenz, der Blutdruck und andere hämodynamische Parameter von Herzschlag zu Herzschlag verändern. Diese Variabilität (in der englischsprachigen Literatur „beat-to-beat variability“ genannt) wurde schon im 18. Jahrhundert von Stephen Hales beobachtet (Akselrod et al., 1981), der die erste dokumentierte Quantifizierung des arteriellen Blutdrucks vornahm. Er berichtet eine Korrelation zwischen der Atemfrequenz, dem Blutdruck und der Herzfrequenz. Die Variabilität der Herzfrequenz wird von Medizinern als normale Sinusarrhythmie und somit als gesundes kardiovaskuläres Zeichen gewertet. In der psychophysiologischen Forschung wird die Variabilität der Herzfrequenz auch untersucht und eine Veränderung in Abhängigkeit von der Atemtätigkeit beobachtet (Schandry, 1996). Die respiratorische Sinusarrhythmie äußert sich in einer Beschleunigung der Herzfrequenz beim Einatmen und einer Verlangsamung beim Ausatmen. Moduliert wird die Herzfrequenz dabei über die Einflüsse des Nervus Vagus am Sinusknoten im Herzen. Die direkte klinische Relevanz wurde zuerst bei der Beobachtung der Herzrate von Föten demonstriert. Eine Verringerung der Variabilität der Herzfrequenz des Fötus während schwerer Arbeit oder Anstrengung der Mutter zeigt eine Notlage des Fötus an und erfordert eine schnelle Intervention (Akselrod et al., 1981). Gegenwärtig geht man davon aus, daß schnelle Veränderungen der hämodynamischen Parameter eine flexible Antwort des

kardiovaskulären Kontrollsystems auf die natürlich auftretenden Störungen reflektieren.

Der Versuch, kognitive Prozesse mit physiologischen Maßen zu validieren wurde schon in den 60er Jahren unternommen. Dabei konzentrierte man sich vor allem auf periphere Maße, wie EKG, Hautwiderstand, Temperatur etc. Dies geschah sicherlich aufgrund der relativen Einfachheit im Erheben und Messen der Variablen. Im Zusammenhang mit der Suche nach validen und reliablen Maßen, stellte man fest, daß die Veränderung der Herzfrequenz mit Unterschieden in der Schwierigkeit bestimmter Aufgaben einher ging (Lacey & Lacey, 1964).

Die Nutzung der Herzfrequenzvariabilität (HFV) als Indikator für Aufgabenanforderungen und Aufmerksamkeitsmechanismen kann zu den Arbeiten von Kalsbeek und Ettema (1963) zurückverfolgt werden, die eine Abnahme der HFV mit steigender Aufgabenanforderung gefunden haben. Seither wurde die HFV in vielen Untersuchungen verwendet und die Abnahme bei zunehmender Schwierigkeit oder Beanspruchung bestätigt (Aasman, Mulder, & Mulder, 1987; del-Valle-Inclan, Lamas, Pasaro, Redondo, & et al., 1993; Hautkappe & Bongartz, 1990; Meshkati, 1988; Mulder & Mulder, 1981; Rompelman, Van-Kampen, Backer, & Offerhaus, 1980; Unterweger, Lamas, & Bongartz, 1992; Vicente, Thornton, & Moray, 1987).

Die Beobachtung, daß die HFV unter mental beanspruchenden Bedingungen abnimmt hat viele Forschungsanstrengungen ausgelöst. Eine Forschungsrichtung versucht die HFV adäquat zu quantifizieren. Dabei wurden zuerst Maße aus dem Zeitbereich (Standardabweichung, Varianz, Regression) verwendet. Später wurden dann frequenzanalytische Methoden (Spektralanalyse) angewendet.

Die zweite Forschungsrichtung ist dazu komplementär und versucht die der HFV zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen zu finden (Kristal-Boneh, Raifel, Froom, & Ribak, 1995; Miyawaki & Salzman, 1991; Yoon, Morillo, Cechetto, & Hachinski, 1997)

Die dritte Forschungsrichtung validiert die HFV als Indikator für mentale Beanspruchung (Meshkati, 1988; Mulder & Mulder, 1981; Redondo & del-Valle-Inclan, 1992).

### 1.1.2 Allgemeine physiologische Grundlagen

Die physiologischen Ursachen für die Herzfrequenzvariabilität sind noch nicht vollständig aufgeklärt. Es wird vermutet, daß Dehnungsrezeptoren in den Vorhofwänden des Herzens dabei eine Rolle spielen (Schandry, 1996). Diese Rezeptoren sind verstärkt während der späten diastolischen Füllungsphase der Vorhöfe aktiv. Während des Einatmens erhöht sich der Druck im Brustraum ebenso wie der Füllungsdruck der Vorhöfe. Die Rezeptoren registrieren dies, lösen reflektorisch die nächste Systole beschleunigt aus und verursachen damit den Herzfrequenzanstieg. Eine weitere Ursache könnte von Dehnungsrezeptoren der Lunge ausgehen, die über hemmende afferente Impulse das Herzhemmungszentrum in der Medulla Oblongata erreichen. Hier wirken sie hemmend auf die Impulse des Nervus Vagus ein und verursachen somit einen Herzfrequenzanstieg (Schandry, 1996).

Eine weitere, durchaus komplementäre Erklärung sieht die Herzfrequenz und die Variabilität der Herzfrequenz als das Ergebnis einer komplexen Interaktion von sympathischen und parasympathischen Einflüssen auf die Schrittmacheraktivität des Sinusknotens. Der AV-Knoten wird davon nicht berührt.

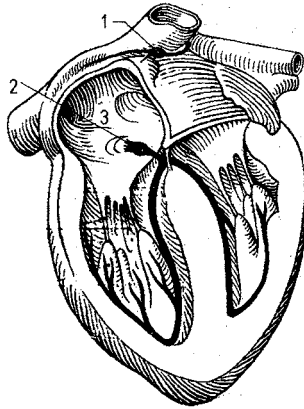


Abb. 1: Herz mit Sinusknoten (1) und AV-Knoten (2).  
Der rechte Vorhof ist zur Orientierung mit 3 gekennzeichnet. Der Sinusknoten ist ein bandartig vor dem Eintritt der oberen Hohlvene gelegenes spezifisches Muskelgewebe, das als primäres Reizbildungszentrum den Schlagrhythmus des Herzens bestimmt.

Parasympathische Stimulation über den Nervus Vagus hyperpolarisiert den Sinusknoten und verursacht eine Verringerung der Aktivationsrate und somit der Herzfrequenz. Sympathische Nerven stimulieren über Adrenalin und Noradrenalin die Aktivationsrate des Sinusknoten und somit die Herzfrequenz (Kristal-Boneh et al., 1995). Eine Beschleunigung der Herzfrequenz kann ebenso über eine Verringerung der Aktivität des Nervus Vagus erfolgen. Aufgrund der schnelleren Reaktionszeit des parasympathischen Systems reagiert der Sinusknoten schneller auf parasympathische Einflüsse als auf sympathische Modulation. Deswegen kommen Redondo & del-Valle-Inclan (1992) zu der Schlußfolgerung, daß 90% der HFV mit vagaler Aktivität erklärt werden können und daß die HFV als ein Index für das Ausmaß der vagalen Kontrolle des Herzens gesehen werden kann.

Die spezifischen Mechanismen im zentralen Nervensystem (ZNS), die auf die HFV modulierend wirken sind unklar. Es gibt jedoch einige Hinweise, die auf die Beteiligung von Kortex, limbischen Bahnen, Mittelhirn-Nuclei, Hirnstamm-Zentren und peripheren Nerven schließen lassen. Veränderungen der HFV lassen sich als Reaktionen von Einflüssen auf jeder Ebene der autonomen Kontrolle bzw. der sympathischen-parasympathischen Interaktion messen (Miyawaki & Salzman, 1991).

Nur wenige Arbeiten befaßten sich mit der Hemisphärenlateralisation der Herzfrequenzvariabilität. Yoon et al. (1997) stellten fest, daß es eine Lateralisierung der autonomen Steuerung der Herzaktivität gibt, die rechte Hemisphäre moduliert hauptsächlich die sympathische Aktivität. Eine Dominanz der linken Hemisphäre oder eine Lateralisierung der parasympathischen Einflüsse konnte nicht festgestellt werden.

### 1.1.3 Quantifizierung mit Zeitmaßen

Arbeiten, die Quantifizierungen der Herzfrequenzvariabilität mittels Zeitmaßen (Standardabweichung, Varianz, Regressionsanalyse u.a.) vornahmen, führten zu widersprüchlichen Ergebnissen.

So stellte Boyce (1974) in einem Experiment, in dem physische und mentale Beanspruchung als unabhängige Variable variiert wurde fest, daß die Sinusarrhythmie (gemessen mit der Standardabweichung der Herzrate) mit zunehmender mentaler Beanspruchung abnahm. Mentale Beanspruchung wird dabei als die Zahl der bewußten Momente definiert, in denen die Versuchsperson (VP) zentrale Kontrolle ausübt und in denen Aufmerksamkeit nötig ist. Die Menge der zu verarbeitenden Information ist dabei irrelevant. Sowohl die Herzrate (HR) als auch die Sinusarrhythmie nahmen mit zunehmender physischer

Belastung zu. Mentale Aktivität ließ die HR unverändert und reduzierte die Variabilität (Sinusarrhythmie). Die HFV war monoton zusammenhängend mit mentaler Beanspruchung in Situationen mit geringer oder gar keiner physischen Beanspruchung.

In einem Reaktionszeitexperiment mit steigender Aufgabenschwierigkeit reduzierte sich die HR signifikant in Abhängigkeit von der Dauer des Experiments und war unabhängig von der Aufgabenschwierigkeit (Luczak, 1979). Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen Ruhe- und Arbeitsphasen. Die Herzfrequenzvariabilität nahm interindividuell mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit ab. In Ruhephasen nahm die HFV im Laufe des Experiments zu.

Die HFV wurde auch als Maß zur Leistungsdifferenzierung verwendet und zeigte die zeitliche Belastung bei Entscheidungsprozessen reliabel an (Corry & Drury, 1986). Die HFV reduzierte sich, wenn mehr Zeit für die Entscheidung bei Sortieraufgaben verwendet wurde.

In einer Untersuchung der Unterschiede zwischen Auto fahren mit Schaltgetriebe und Automatikgetriebe wurde bei Schaltgetriebe unter anderem eine größere HR und HFV festgestellt (Zeier, 1979). Die Herzfrequenzvariabilität stieg auch während den langweiligen und monotonen Phasen des Autofahrens. Dies wurde auf eine Reduktion der Aktivierung im ZNS zurückgeführt, was möglicherweise eine verringerte Bereitschaft bewirkt, auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren.

Mit der Vergleichbarkeit von Laborergebnissen (erhalten bei Kopfrechnen, Spiegelzeichnen, Kältereizen) und Feldmessungen (Tätigkeiten des normalen Alltags in einem 24-h Intervall) beschäftigten sich Johnston et al. (1993) und fanden keine Zusammenhänge zwischen Feld- und Labormessungen der HR-Reaktionen, obwohl dies in frühe-

ren Experimenten deutlich festgestellt wurde (Anastasiades et al. 1990; Johnston, Anastasiades, & Wood, 1990).

Bei einer seriellen Wahlreaktionsaufgabe war die Herzfrequenzvariabilität nicht unterschiedlich in Abhängigkeit von der Schwierigkeit und Komplexität der Aufgabe (Razmjou & Kjellberg, 1992). Allerdings zeigte sich ein allgemeiner Effekt: bei den kognitiven Aufgaben war die HFV im Vergleich zur Ruhebedingung reduziert, was als Indikator für mentale Beanspruchung gewertet wurde.

#### 1.1.4 Spektralanalytische Untersuchungen

Die Spektralanalyse transformiert das Signal aus dem Zeitmaß in ein Frequenzmaß auf der x-Achse durch die Darstellung der Variabilitätskurve in Sinus- und Kosinuswellen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden. Mit genügend dieser Sinus- und Kosinuswellen ist es möglich, jede Variabilitätskurve in ihre spektralen Komponenten zu zerlegen. Die quadrierte Amplitude dieser Komponenten wird als Funktion der Frequenz aufgetragen und daraus ergibt sich das Frequenzspektrum. Das Maß dafür ist die *Power*. Die *Power* bei einer bestimmten Frequenz stellt somit den Beitrag dieser Frequenz zur Gesamtvariabilitätskurve dar (Priestley, 1981).

Frequenzspektren sind aus der spektrometrischen Analyse der Frequenzanteile des Lichtes bekannt. Die Spektralanalyse der Herzfrequenzvariabilität ist ähnlich der des Lichtes, mit dem Unterschied, daß beim Licht die Frequenzen zwischen  $10^{14}$  und  $10^{15}$  Hz liegen, während sie bei der Herzfrequenzvariabilität  $< 1$  Hz sind.

Bei der Spektralanalyse der Herzfrequenzvariabilität wird prinzipiell nach dem folgenden Muster vorgegangen: