

Lassen sich aus dem Frequenzspektrum eines Tachogramms der Herzperiodendauern Hinweise auf kardiovaskulärem Streß ableiten?

Im Dokument von Telozo GmbH „clue medical - mobiler kardialer Komplexanalyzer“ (November 2009) wird dargelegt:

„Wie aus dem nachfolgenden Tachogramm der Herzperiodendauern bei der 24jährigen herzkreislauf-gesunden Person hervorgeht, ist der Verlauf der Herzperioden nahezu „wellenartig“. Diese „Wellenperioden“ kann man im Tachogramm eintragen, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist, z. B. $T = 4$ bzw. $8 \dots 10$ s. Diese „Wellen“ treten mit unterschiedlichen Amplituden auf, wobei die Wellen mit längerer Dauer in der folgenden Abbildung eine etwas größere Amplitude im Vergleich zu $T = 4$ s besitzen. Da des weiteren zwischen der Periodendauer T und der Frequenz f der bekannte Zusammenhang $f = 1 / T$ gilt, lässt sich eine zum Tachogramm gleichwertige Frequenzdarstellung angeben: die aus den Perioden folgenden Frequenzen werden in einem Frequenzverlauf, „Spektrum“ genannt, zusammengefasst, dabei einschließlich der zugehörigen Amplituden.

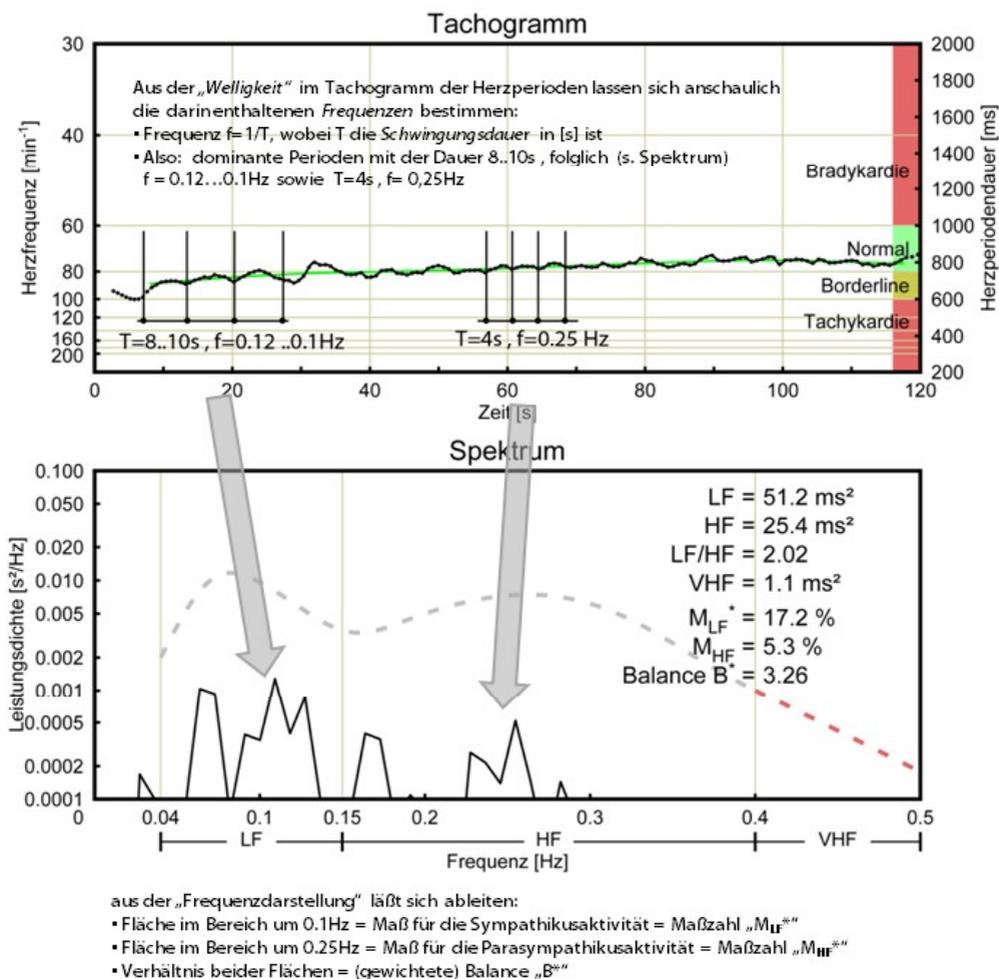


Abb.: Vereinfachte Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Tachogramm der Herzperiodendauern und der Frequenz (FFT-Spektrum). Aus den „Wellen“ im Tachogramm der Herzperiodendauern kann man näherungsweise die darin enthaltenen Frequenzen bestimmen ($f = 1/T$). Ebenso müßten bei charakteristischen Verläufen kardiovaskuläre Streßvarianten erkennbar sein.

Mathematisch exakt ausgedrückt: Aus dem ermittelten Tachogramm der Herzperiodendauern, einer Funktion im Zeitbereich, lässt sich durch eine mathematische Operation eine dazu gleichwertige Darstellung im Frequenzbereich ableiten: **FFT-Spektrum bzw. „(Leistungs-) Spektrum der Herzfrequenzvariabilität“** in der Fachliteratur genannt [1, 2, 3, 5, 6, 10]. Dieses Spektrum besteht aus charakteristischen Frequenzbereichen, wobei für die Anwendung im Rahmen der clue-medical-Familie zugrunde gelegt werden (s. nachfolgende Abbildung):

Frequenzbereich „Low Frequency“ (LF) 0,04 bis 0,15 Hz: diesem Bereich ist eine vorwiegend sympathische kardiovaskuläre Aktivität zuordenbar, damit gleichfalls auftretender psychischer und physischer Stress.

Frequenzbereich „High Frequency“ (HF) 0,15 bis 0,4 Hz: typisch hierfür ist die auftretende parasympathische (vagale) Aktivität, damit atemsynchrone Herzfrequenzfluktuationen der respiratorischen Sinusarrhythmie.

Frequenzbereich „Very High Frequency“ (VHF) 0,4 bis 0,5 Hz: diesem Bereich, außerhalb der Aktivität der vegetativen Komponenten des kardiovaskulären Systems gelegen, lässt sich ein **kardialer Risikomarker** zuordnen.

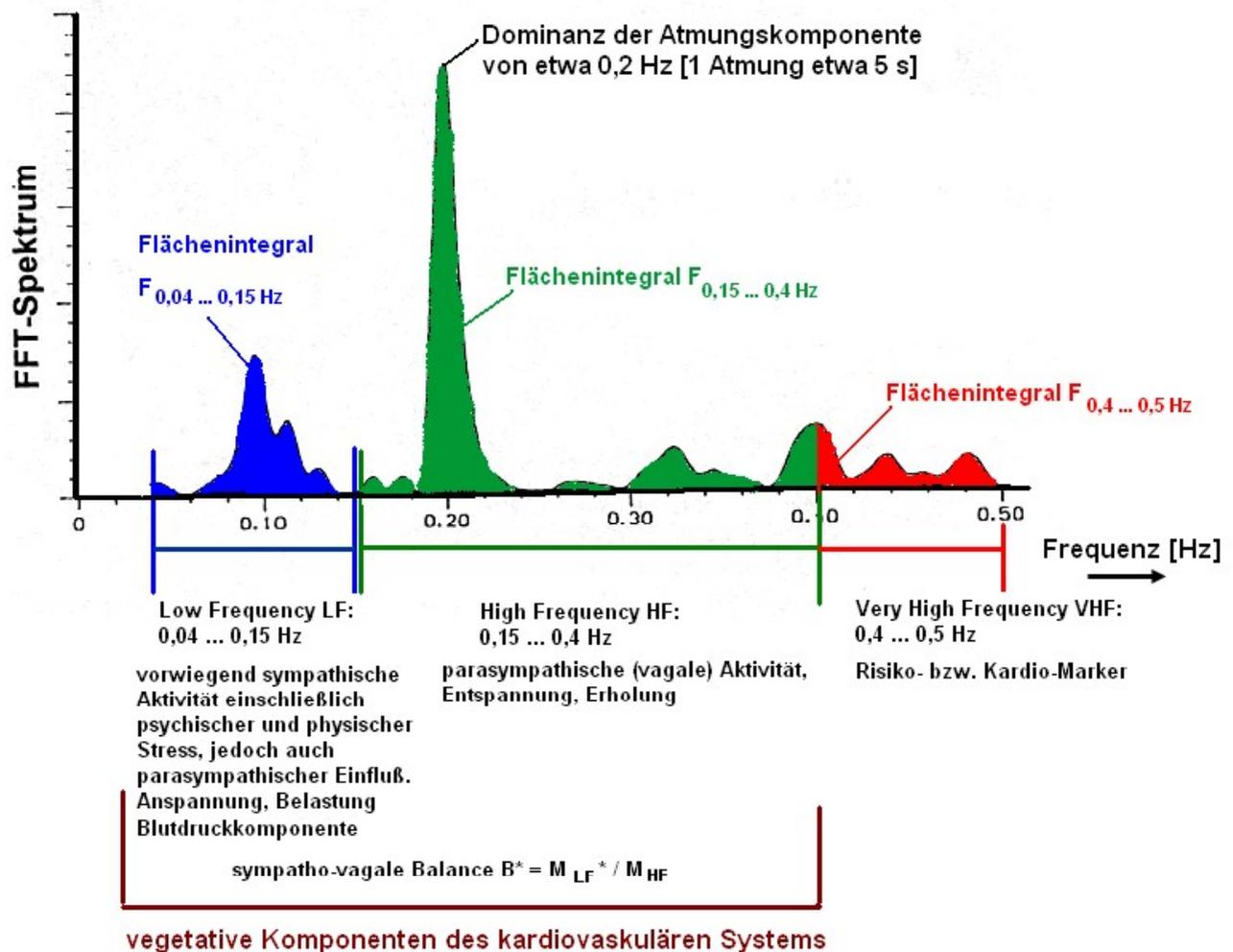


Abb.: Aus dem Tachogramm der Herzperiodendauern bei einem 20jährigen gesunden Probanden abgeleitetes FFT-Spektrum einschließlich Frequenzbereichscharakteristika LF, HF und VHF

Durch Ermittlung der zwischen diesen Frequenzen sich befindlichen Flächen lassen sich integrale Flächenmaße für die bekannten Frequenzbereiche 0,04 ... 0,15 Hz und 0,15 ... 0,4 Hz eines abgeleiteten FFT-Spektrums bestimmen. Dividiert man diese Flächen mit jeweiligen Normalwerten lassen sich dimensionslose „spektrale Maßzahlen“ **M** in Prozent einführen:

M_{LF}^* [%]... gewichtete Maßzahl für die sympathische Aktivität, Streß und Belastung
 M_{HF}^* [%]... Maßzahl für parasympathische Aktivität, Entspannung und Erholung

M_{LF}^* stellt dabei die mit dem Quadrat der mittleren Herzfrequenz multiplizierte Maßzahl M_{LF} dar, die dem obigen normierten Flächenmaß entspricht. Daraus folgt, dass höhere Herzfrequenzen diese gewichtete Maßzahl M_{LF}^* stark erhöhen, während Frequenzen kleiner als der Herzfrequenz-Normalwert von etwa $f_H = 70 \text{ min}^{-1}$ diese deutlich reduzieren, wie durch die Entwicklung eines entsprechenden mathematischen Modells gezeigt werden konnte. Dies stimmt mit dem physiologischen Verhalten völlig überein, da höhere Herzfrequenzen den Sympathikus, dagegen unter dem Normalwert liegende Frequenzen den Parasympathikus aktivieren. Ebenso lässt sich ein integrales Maß für den VHF-Frequenzbereich 0,4 ... 0,5 Hz bestimmen und mit einem Normalwert vergleichen. Übersteigt der Messwert diesen „Sollwert“, soll ein **Risiko- bzw. Cardio-Marker** gesetzt werden.

Es ist aus der Physiologie bekannt, dass im LF-Bereich des FFT-Spektrums, abgeleitet aus dem Herzperiodendauer-Tachogramm, zwar vorwiegend der Sympathikus abgebildet wird, jedoch auch vagale (parasympathische) Anteile enthalten sein können. Folglich ist auch die aus dem reinen Flächenverhältnis von LF- und HF-Bereich ermittelte Balance nur bedingt quantifizierbar. Die Zugrundelegung der obigen spektralen Maßzahlen M_{LF}^* als eine gewichtete Maßzahl sowie von M_{HF} führt zur **gewichteten Balance $B^* = M_{LF}^* / M_{HF}$** .

Stress wirkt auf das vegetative Nervensystem u. a. im Sinne einer Steigerung der Sympathikusaktivität und Hemmung der parasympathischen Komponente. Davon ausgehend stellt die aus dem FFT-Spektrum abgeleitete Maßzahl M_{LF}^* ein Maß für die sympathische Aktivität, Stress und Belastung dar, andererseits ist die Maßzahl M_{HF} Ausdruck für parasympathische Aktivität, Entspannung und Erholung. **Da die gewichtete Balance B^* als Quotient aus beiden Maßzahlen M_{LF}^* und M_{HF} abgeleitet ist, lässt sich aus einem Ansteigen von B^* auf eine Erhöhung der sympathischen Aktivität und Stress sowie Belastung schließen. Reduziert sich dagegen die gewichtete Balance, so kann auf eine Reduzierung dieser sympathischen Komponenten bzw. auf einen Anstieg der parasympathischen Aktivität, von Entspannung bzw. Erholung geschlossen werden. In diesem Sinne stellen M_{LF}^* und B^* quantitative Maße für den kardiovaskulären sympathischen Stress dar, die mit **clue medical** ermittelbar sind.** Somit entsprechen diese Kenngrößen wesentlichen Gesundheitsmaßen, wenn sie als Tagesprofil ermittelt werden.“

Der oft verwendete Begriff **Neurostress** beschreibt das komplexe Ineinandergreifen neurologischer, psychischer, hormoneller und immunologischer Reaktionssysteme bei chronischer Stresssituation. Das neuroendokrine System spielt dabei die zentrale Rolle bei der Vermittlung von Stresssignalen an die funktionalen Systeme des Körpers (Kreislauf, Energiestoffwechsel, Immunabwehr, Verdauung), beeinflusst aber auch die neuronalen Verarbeitung von Signalen, Gedächtnisfunktionen und die Entstehung von Emotionen. Voraussetzung dafür ist eine sehr enge Verbindung von neuronalen und hormonellen Kommunikationssystemen.

Die medizinische Forschung kennt inzwischen viele gesundheitliche Störungen, die auf eine angeborene oder erworbene **Fehlregulation der Neurotransmittersysteme** zurückzuführen sind. Sowohl Defizite als auch überhöhte Ausscheidung einzelner Neurotransmitter führen zu einer **Dysbalance in der Neuroregulation**. Viele aktuelle sogenannte Zivilisationserkrankungen gehören zu Gesundheitsstörungen, die mit einer veränderten Neuroregulation, d.h. Neurostress, erklärt werden, u. a.:

- ADHS (**Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Syndrom**)
- Burn-Out (Zustand ausgesprochener emotionaler Erschöpfung mit reduzierter Leistungsfähigkeit)
- CFS (chronisches Müdigkeitssyndrom)
- Depressionen (StressDepression oder reaktive Depression) bis zu schweren Depressionen, manische Depressionen
- Fatigue (Müdigkeit)
- Fibromyalgie (das Fibromyalgiesyndrom ist eine schmerzhafte Erkrankung der Bewegungsorgane, oftmals verbunden mit Bewegungseinschränkungen)

- MCS (Multiple Chemical Sensitivity, chronisches Beschwerdebild mit z.T. starken Unverträglichkeiten gegenüber auch niedrigen Konzentrationen vielfältiger flüchtiger Chemikalien, wie z.B. Duftstoffen, Zigarettenrauch, Lösemitteln oder Abgasen)
- Reizdarmsyndrom
- schwere Schlafstörungen
- Übertrainingssyndrom (Abfall der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit trotz weitergeführtem oder sogar intensiviertem Training mit teilweise ausgeprägten Befindlichkeitsstörungen, der auch nach einer verlängerten Regenerationsphase von etwa 2 bis 3 Wochen noch nachweisbar ist).

In vielen Fällen gleichen sich die Symptome, über die die Betroffenen bei den oben genannten Gesundheitsstörungen klagen, z. B. Ängste, Unruhe, Stimmungsschwankungen, Motivationsverlust, Schlafstörungen, Herzrhythmusstörungen, Darmprobleme, Kopfschmerzen und ähnliches können sowohl bei CFS, MCS, aber auch bei Depressionen auftreten.

Die in unserer Industrie- und Leistungsgesellschaft stetig wachsenden Befindlichkeitsstörungen gehen auf erworbene Defizite der neurohormonellen Regulation zurück. Verantwortlich sind vor allem Stressfaktoren wie Veränderungen der Lebensweise, falsche und zu energiereiche Ernährung (**metabolischer Stress**), schwere Arbeit ebenso wie zu viel Sport (physischer Stress), Umweltfaktoren und Schadstoffe, wie Schwermetalle, Strahlung, auch Medikamente (**chemischer / physikalischer Stress**), Lärmbelastung, Reizüberflutung, übermäßiger Fernseh-/EDV-Konsum, Schlafmangel (**sensorischer Stress**), aber auch wachsende schulische, berufliche Belastungen und hohe Arbeitsintensität (**mentaler Stress**). Besonders negativ wirken sich psychischer Stress wie beispielsweise familiäre Schicksalsschläge, Konflikte in der Partnerschaft, soziale Vereinzelung, beruflicher Konkurrenzdruck, mangelnde Anerkennung, Mobbing und Zukunftsängste auf die neurogene Balance aus.

Fehlregulationen der Neurotransmittersysteme korrelieren mit Zustandsveränderungen des vegetativen Nervensystems, also auch mit deren Komponenten Sympathikus und Parasympathikus. Dies muß sich auch widerspiegeln im Verlauf eines FFT-Frequenzspektrums, abgeleitet aus dem Herzperiodendauer-Tachogramm. Dabei ist im Spektrum eine Linie ---- eingetragen, die etwa dem Normalverlauf entspricht. Liegen Frequenzkomponenten wesentlich oberhalb bzw. unterhalb dieser Linie, so ist von einem Nichtnormalverlauf auszugehen (liegen die Frequenzkomponenten wesentlich darunter, so kann dies ebenso altersbedingt sein). Als „nichtnormal“ ist auch zu bewerten, wenn die zwischen den Grenzen 0,04...0,15 Hz und 0,15...0,4 Hz ableitbaren FFT-Flächenanteile zueinander in anormaler Relation stehen, ausgedrückt durch die Balance B*. Allgemein gilt:

- **erhöhter Flächenanteil im Bereich 0,04...0,15 Hz: erhöhte Sympathikusaktivität**
- **erhöhter Flächenanteil im Bereich 0,15...0,4 Hz: erhöhte Parasympathikusaktivität**

Die hierfür ermittelten „orientierenden Normalbereiche“ sind in der nachfolgenden **Tabelle 1** ersichtlich.

Anormale Flächenmaße LF, HF bzw. daraus abgeleitete Maßzahlen M_{LF}^* , M_{HF} sowie anormale Werte der Balance B* (Dysbalancen) sind somit auch zuordenbar auftretenden Zustandsveränderungen des vegetativen Nervensystems und letztlich auch den Erscheinungsformen von „Streß“.

Während also auftretender „Sympathikusstreß“ sofort ersichtlich ist (erhöhte Werte von LF, M_{LF}^* sowie B*), gilt dies analog für den Parasympathikus (HF-Wert bzw. Maßzahl M_{HF}). In **Anlage 1** wird gezeigt, dass eine wesentliche Ursache für beide Fälle im arteriellen Blutgefäßsystem zu suchen ist: im sogenannten **vaskulären Stickstoffmonoxyd-System**.

| Kurzbezeichnung | Bezeichnung des Parameter | Wertebereich |
|-------------------|---|--|
| $\overline{f_H}$ | mittlere Herzfrequenz | 51 ... 61,3 ... 77 [min ⁻¹] |
| SDNN | absolute Herzfrequenzvariabilität | 26 .. 53 ...106 ms |
| CV | Variationskoeffizient = relative Herzfrequenzvariabilität | 2,9 ... 5,5 ... 10,3 % |
| LF | LF-Fläche | 90 ... 420 ... 2000 ms ² |
| HF | HF-Fläche | 95 ... 525 ... 2900 ms ² |
| VHF | VHF-Fläche | 2 ... 17,4 ...80 ms ² |
| M _{LF} * | mit dem Quadrat der mittleren Herzfrequenz gewichtete spektrale Maßzahl M _{LF} | 23 ... 100 ... 450 % |
| M _{HF} | spektrale Maßzahl für den HF-Frequenzbereich | 18 ... 100 ... 550 % |
| B* | gewichtete Balance | 0,2 ... 1 ... 5 |
| LF/HF | „einfache“ Balance als Quotient von LF- zu HF-Fläche | 0,19 ... 0,81 ... 3,4 |

Tabelle 1: „Orientierende Normalbereiche“ kardiovaskulärer Parameter, abgeleitet von 98 herz-kreislauf-gesunden Versuchspersonen [mittleres Alter 25 ± 5 Jahre]

Von *Ernst et al* wurden 2005 bei **sensorischem Streß** Perfusionsmuster der Stirnhautdurchblutung mit dem so wichtigen Ergebnis analysiert, dass zerebral hierfür das Frequenzband um **0,15 Hz** dominant ist (**Anlage 2**). Ein solches Frequenzband liegt damit direkt zwischen dem international genormten LF- und HF-Bereich. Stellt sich also für eine „Normalperson“ bei der FFT-Analyse ein solcher Bereich dominant dar, dann sollte das Spektrum primär in obigem Sinne, unabhängig von den LF- und HF-Flächen bzw. Maßzahlen, betrachtet werden. Nachfolgend werden auch hierfür ausgewählte Beispiele dargestellt, woraus dieser „sensorische Streß“ eindeutig hervorgeht.

Analysiert man den HF-Bereich spezieller, so treten bei den spektralen Amplituden zwischen 0,15 und 0,4 Hz im Normalfall Maxima auf. Da dieser parasympathische Frequenzbereich mit der Atmung korreliert, entsprechen diese Maxima den **mittleren Atmungsfrequenzen**. Der physiologische Normal-Mittelwert liegt bei 0,23 Hz, also 1 Atmungsperiode entspricht T [s] = 1 / 0,23 Hz = 4,3 s. Mit T = 1 / f lässt sich sofort die Periode bestimmen, wenn ein beliebiges Maximum ermittelt wurde. Je höher die Atmungsfrequenz, desto kürzer ist die Atmungsperiode, desto anormaler stellt sich das Herz-Kreislauf-System dar. **„Streß“ in irgendeiner Form sollte stets in Zusammenhang mit der mittleren Atmungsfrequenz bewertet werden.**

Die folgenden Beispiele wurden vorwiegend durch Herrn *Hagen Hering* [GLEICH.FIT Taucha/ Deutschland] für analytische Zwecke bereitgestellt. Sie bestätigen die bekannten und hier dargestellten physiologischen Zusammenhänge. Aus den Beispielen geht auch deutlich hervor, dass die definierte „Herzfrequenzvariabilität“ lediglich ein Mittelwert ist, der sich im Normalfall aus sympathischen und parasympathischen Komponenten zusammensetzt. Eine hohe Herzfrequenzvariabilität kann auch nahezu nur sympathische Anteile besitzen, was nicht normal ist und auf die sympathische Streßkomponente hinweist.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen:

Journalnummer: 8 / 31
 Geräte ID: 89964 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-09-20 18:47 ⚠
 Übertragung: 2009-09-20 19:33
 Herzfrequenz: 91.7 1/min
 Herzperiodendauer: 654 ms
 HRV-SDNN: 10 ms
 HRV-CV: 1.5 %

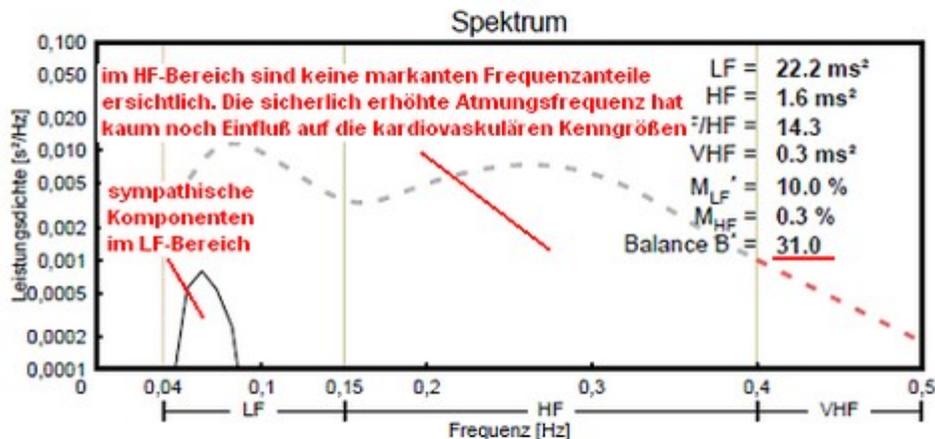
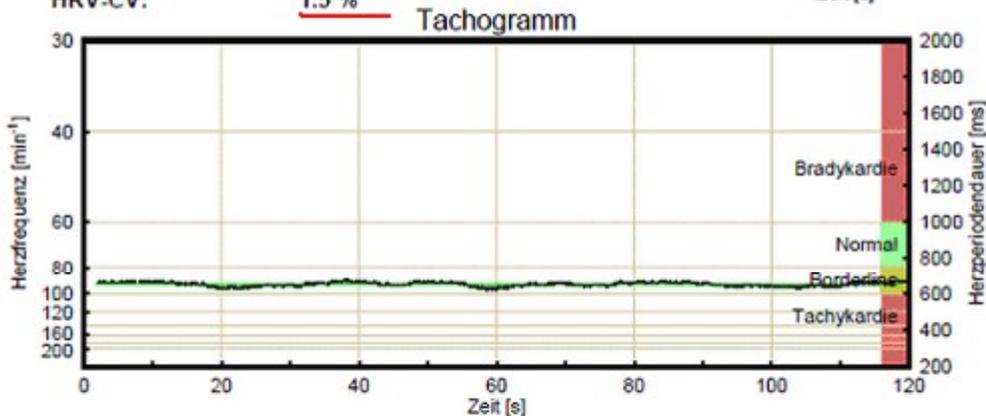
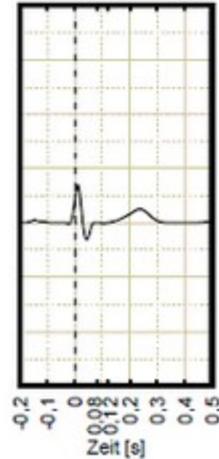
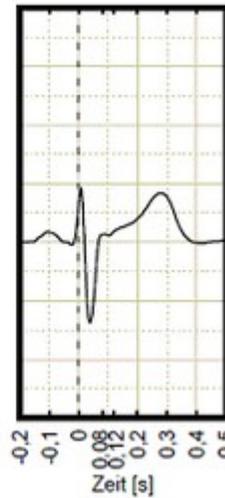


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 53jährigen männlichen Person, die seit ca. 1 Jahr in Abständen von etwa 2 Monaten Anfälle in Form von u. a. Schweißausbruch, Brechdurchfall, Ohnmacht erleidet. Typisch bei dieser vorliegenden Ableitung: hohe mittlere Herzfrequenz von 91,7 min⁻¹ bei anormal hoher Balance B* = 31 (deutliche Dominanz Sympathikus bezüglich Parasympathikus), geringe Herzfrequenzvariabilität (etwa untere Grenze des Nochnormalverlaufes). Während die LF-Fläche 22,2 ms² beträgt, ist die HF-Fläche mit 1,6 ms² minimal und bei dem zugrunde gelegten logarithmischen Leistungsdichtemaßstab (ab 0,0001) nicht abbildbar. Die sympathischen Komponenten bewirken eine Reduzierung der kardiovaskulären Mikrozirkulation und ein Ansteigen der mittleren Herzfrequenz bis nahezu in den tachykarden Bereich. **Dieser Verlauf des FFT-Spektrums charakterisiert offensichtlich den typischen sympathischen Streß**, wie obige Anfälle bei dieser Person zeigen.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 120 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-10-28 15:51
 Übertragung: 2009-10-28 15:54
 Herzfrequenz: 66.7 1/min
 Herzperiodendauer: 899 ms
 HRV-SDNN: 87 ms
 HRV-CV: 9.7 %

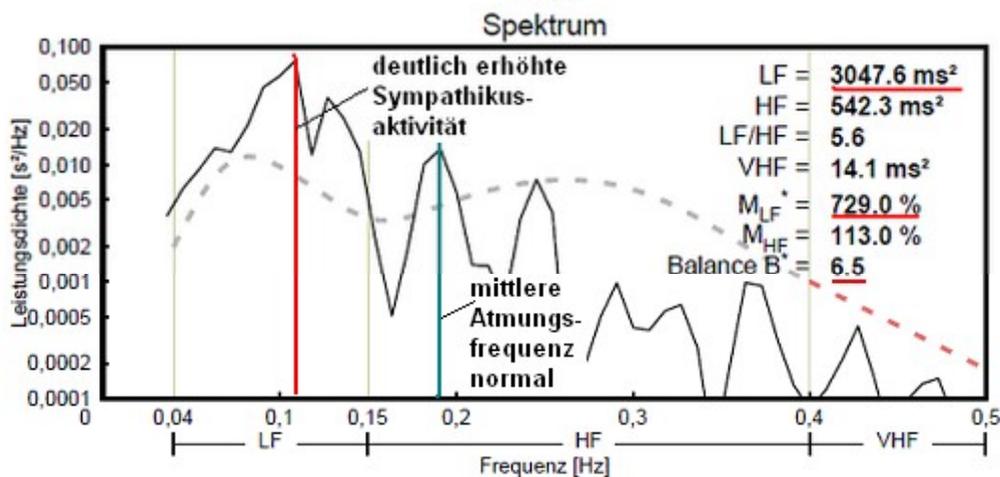
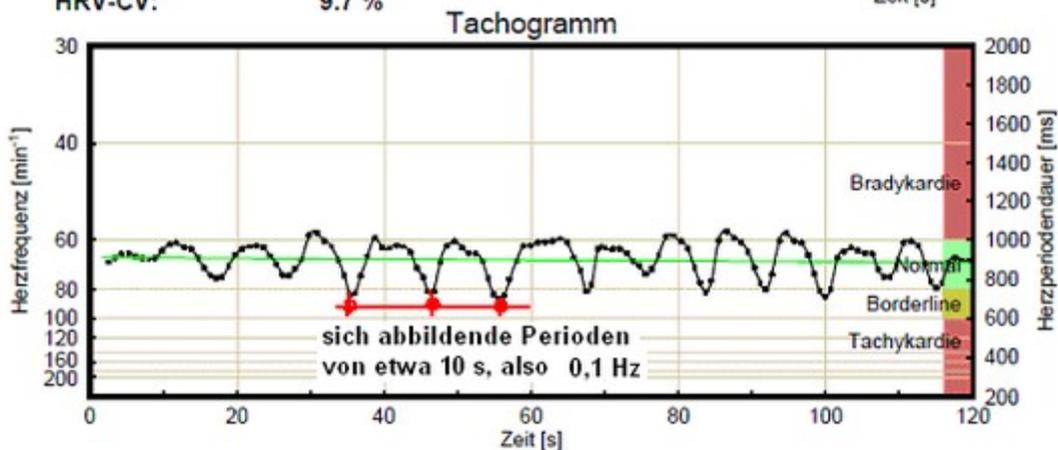


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 35jährigen männlichen Person. Es ist ersichtlich, dass sowohl die LF-Fläche, als auch die Maßzahl M_{LF}^* deutlich erhöht ist. Ebenso liegt die Balance B^* etwas außerhalb des Normalbereiches. Das Maximum des LF-Bereiches liegt bei der typischen Sympathikusfrequenz von etwa 0,1 Hz (sogenannte Traube-Hering-Schwingung). Die mittlere Herzfrequenz ist mit $66,7 \text{ min}^{-1}$ normal, die mittlere Atmungsfrequenz bei etwas unter 0,2 Hz (mittlere Atmungsdauer also etwas größer als 5 s). Die hohe Herzfrequenzvariabilität von 9,7 % ist anormal hoch, sei wird jedoch dominiert durch die erhöhte sympathische Komponente. Die Verläufe sind charakteristisch für einen „Power-Streß-Typ“.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____

Journalnummer: 74 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-09-29 14:45
 Übertragung: 2009-09-29 14:48
 Herzfrequenz: 61.5 1/min
 Herzperiodendauer: 976 ms
 HRV-SDNN: 78 ms
 HRV-CV: 8.0 %

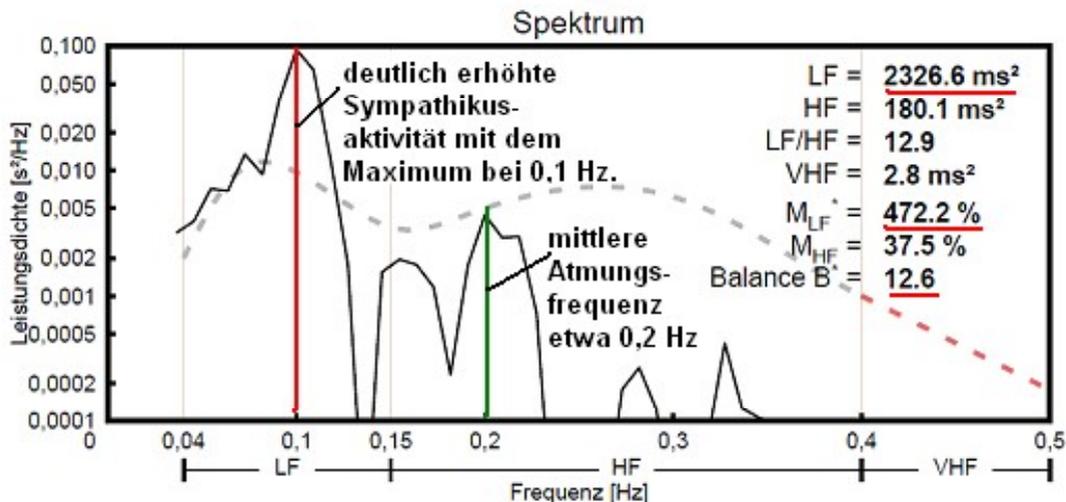
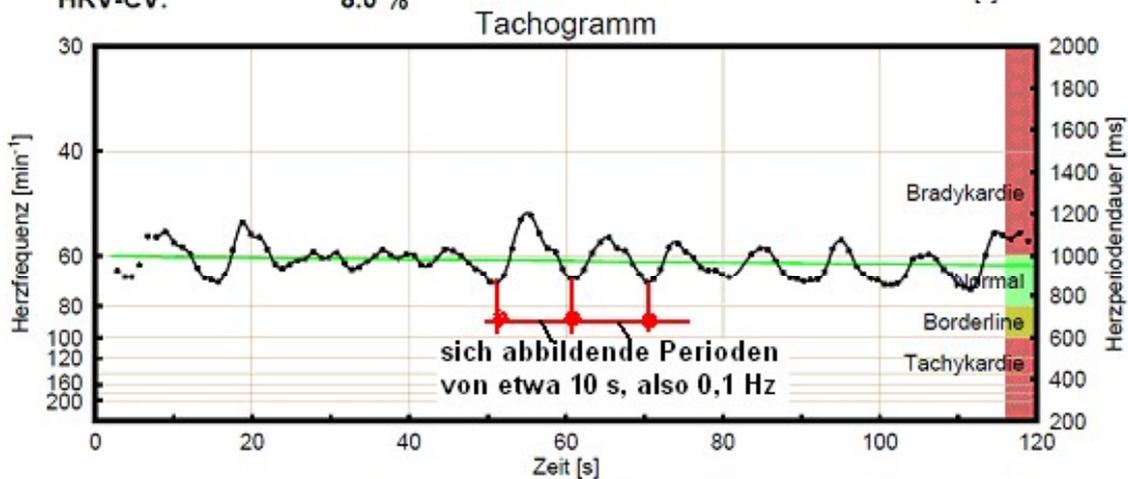
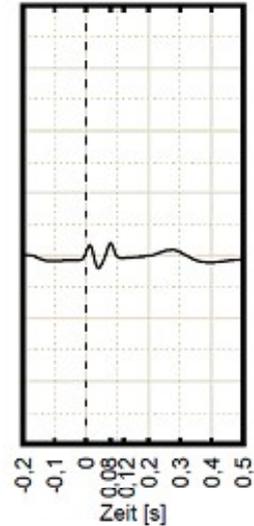
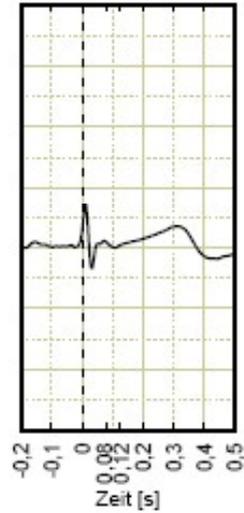


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 38jährigen männlichen Person. LF-Fläche und Sympathikusmaßzahl M_{LF}^* sind deutlich erhöht, ebenso die Balance B*. Das Maximum des LF-Bereiches liegt bei 0,1 Hz, die mittlere Atmung bei 0,2 Hz. Die mittlere Herzfrequenz ist mit $61,5 \text{ min}^{-1}$ normal, die Herzfrequenzvariabilität von 8 % ist groß, auch bei dieser Person wird letztere dominiert durch die erhöhte sympathische Komponente. Die Verläufe können dem vorhergehenden „Power-Streß-Typ“ zugeordnet werden.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____

Journalnummer: 24 / 0
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-04-25 11:59 ⚠
 Übertragung: 2009-04-25 12:01
 Herzfrequenz: 54.2 1/min
 Herzperiodendauer: 1108 ms
 HRV-SDNN: 154 ms
 HRV-CV: 13.9 %



Tachogramm

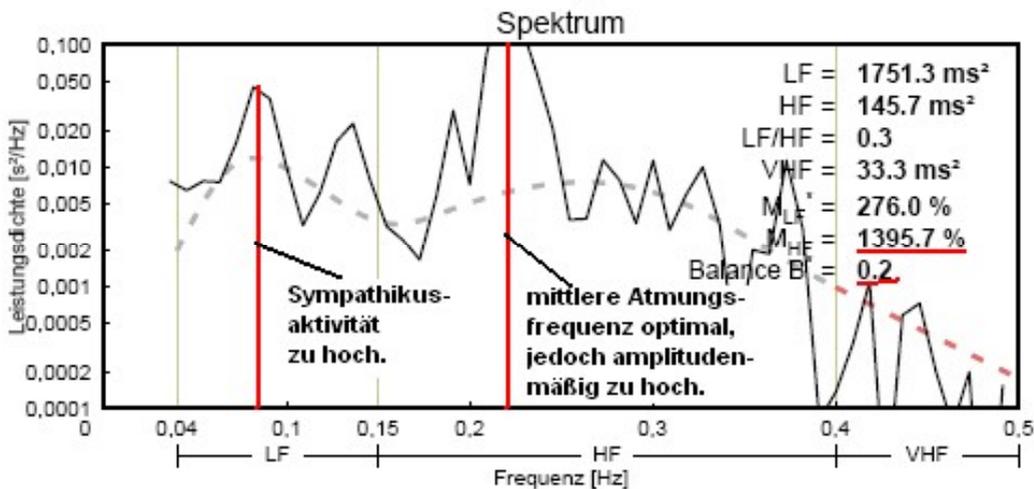
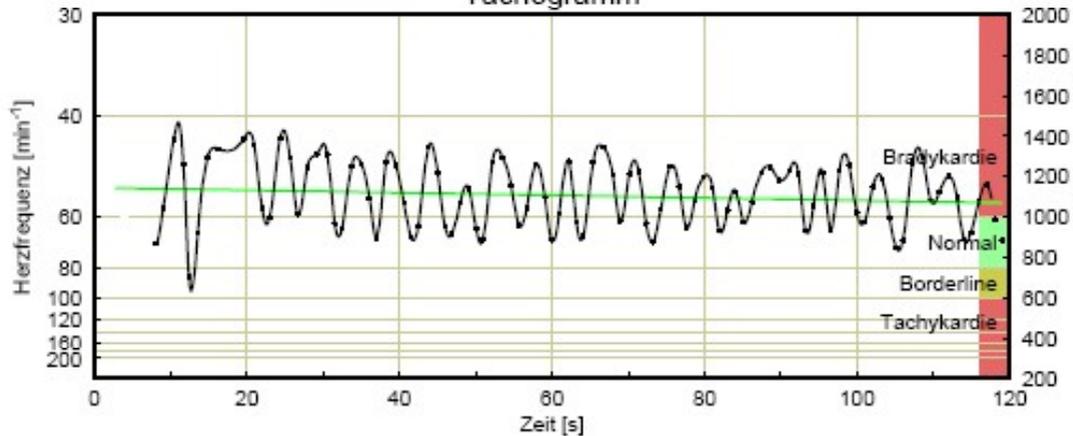
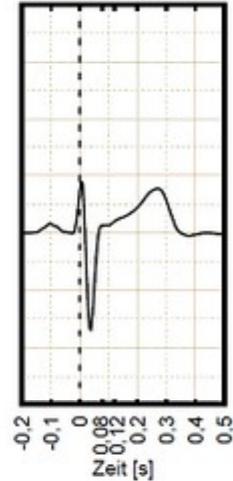


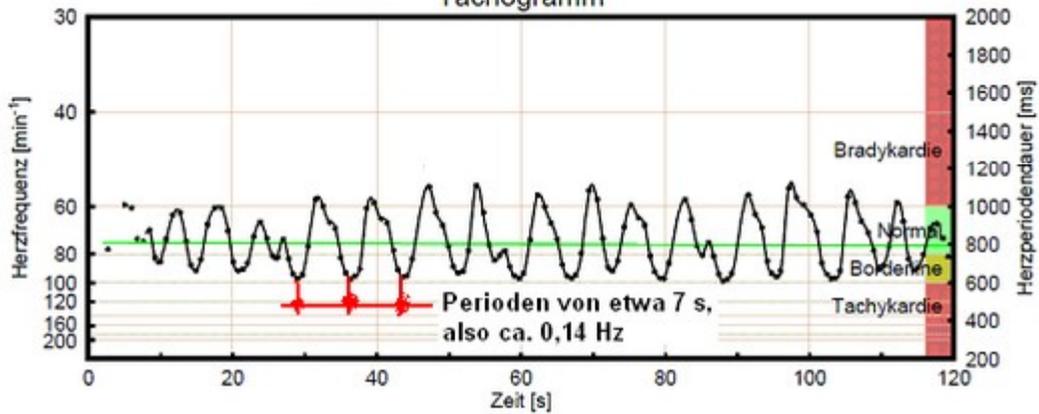
Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 19jährigen weiblichen Leistungssportlerin. LF-Fläche und Sympathikusmaßzahl M_{LF}^* sind erhöht, ebenso die Parasympathikusaktivität. Das Maximum des LF-Bereiches liegt bei ca. 0,08 Hz, die mittlere Atmung bei 0,22 Hz. Die mittlere Herzfrequenz ist mit 54,2 min^{-1} bradykard, die Herzfrequenzvariabilität von 13,9 % ist anormal hoch, wobei die parasympathischen Frequenzkomponenten dominieren. Dies zeigt auch die an der unteren Normalbereichs-Grenze liegende Balance $B^* = 0,2$. Es ist dies offenbar das FFT-Spektrum für einen leistungsfähigen Sportler: totale Entspannung bei gleichzeitiger Power-Leistungsfähigkeit.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 123 / 16
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-10-06 16:07
 Übertragung: 2009-10-06 16:10
 Herzfrequenz: 74.8 1/min
 Herzperiodendauer: 803 ms
 HRV-SDNN: 142 ms
 HRV-CV: 17.7 %

Tachogramm



Spektrum

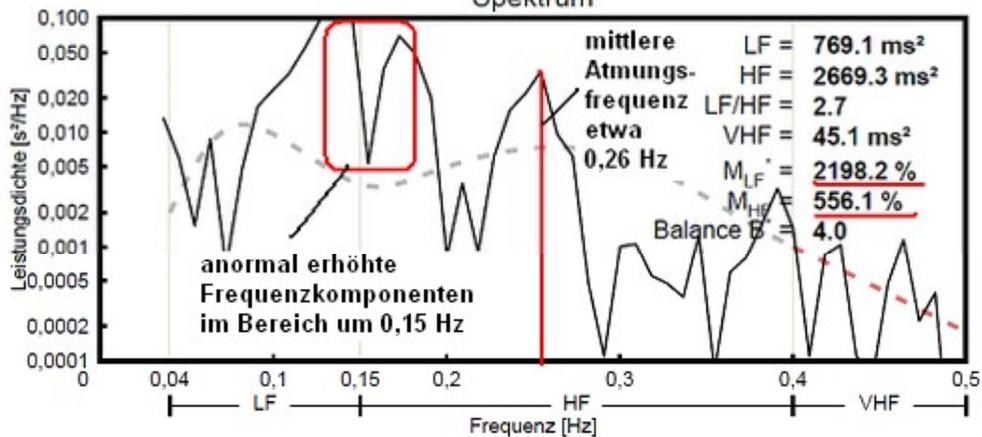


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 30jährigen weiblichen Person. Die spektralen Maßzahlen für Sympathikus und Parasympathikus M_{LF}^* und M_{HF} sind erhöht. Der Bereich um 0,15 Hz ist deutlich hervorgehoben, ebenso die mittlere Atmung, die amplituden- und frequenzmäßig leicht erhöht ist. Ein solcher Verlauf des FFT-Spektrums, insbesondere der um ca. 0,15 Hz, könnte nach *Ernst et al* das **typische Charakteristikum bei sensorischem Streß** sein. Die mittlere Herzfrequenz ist mit $74,8 \text{ min}^{-1}$ normal, die Herzfrequenzvariabilität mit $17,8 \%$ anormal erhöht. Dabei ist sowohl ein sehr großer Anteil an sympathischen als auch parasympathischen Frequenzkomponenten enthalten.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen:

Journalnummer: 265 / 17
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-12-10 10:40
 Übertragung: 2009-12-10 10:46 ⚠
 Herzfrequenz: 57.9 1/min
 Herzperiodendauer: 1036 ms
 HRV-SDNN: 105 ms
 HRV-CV: 10.1 %

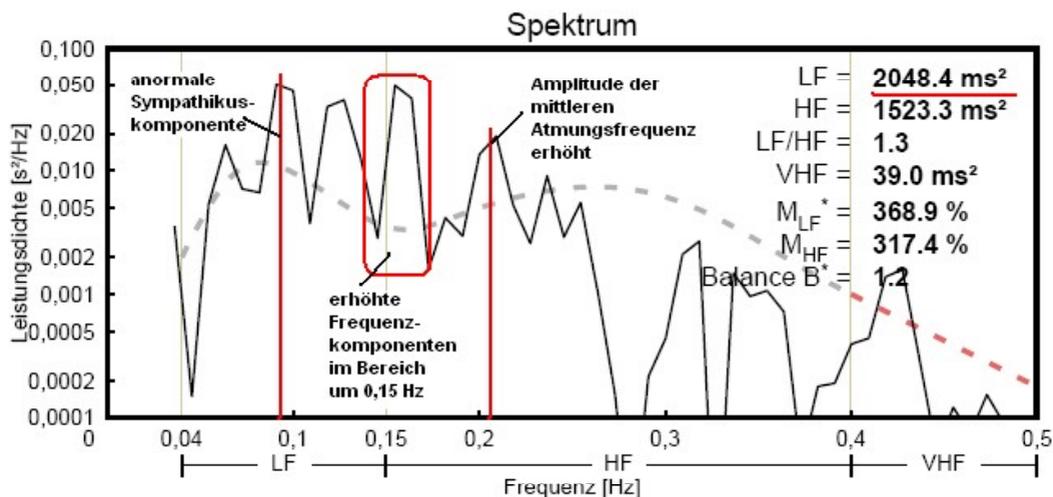
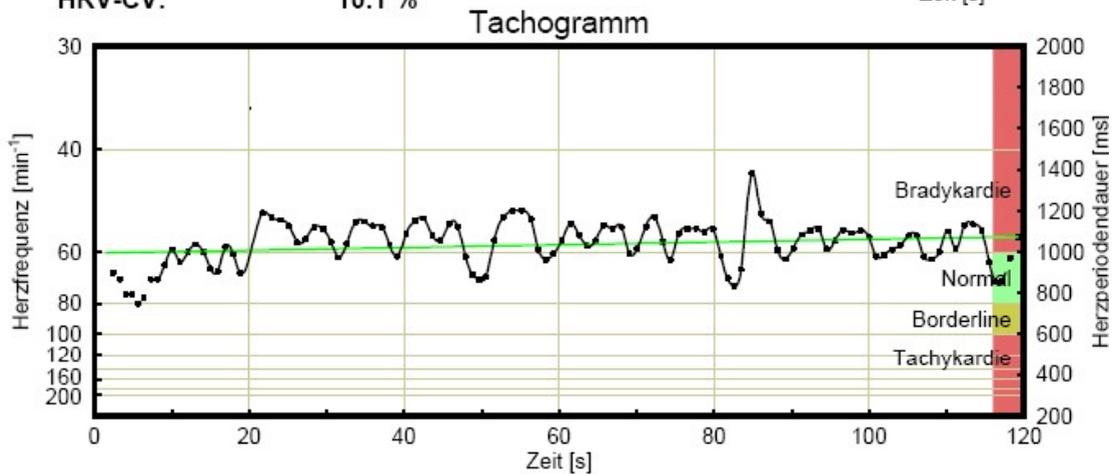
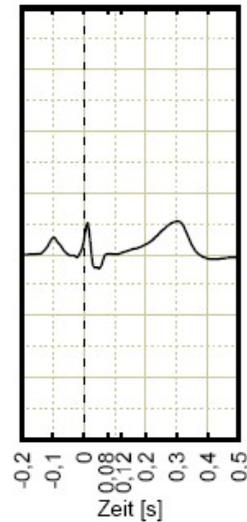
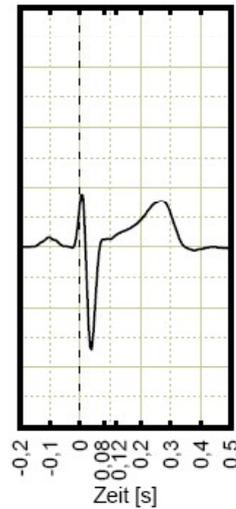


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 40jährigen weiblichen Person, die große familiäre Probleme besitzt. Aus dem Spektrum folgt: Sympathikusamplitude einschließlich spektrale Maßzahl M_{LF}^* erhöht (deutlicher sympathischer Streß), Bereich um 0,15 Hz stark erhöht (sensorischer Streß), die normale Atmungsfrequenz ist amplitudenmäßig erhöht. Die mittlere Herzfrequenz ist mit $57,9 \text{ min}^{-1}$ geringfügig bradykard, die Herzfrequenzvariabilität bei einer 40jährigen Person mit 10,1 % erhöht.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 123 / 16
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-10-06 16:07
 Übertragung: 2009-10-06 16:10
 Herzfrequenz: 74.8 1/min
 Herzperiodendauer: 803 ms
 HRV-SDNN: 142 ms
 HRV-CV: 17.7 %

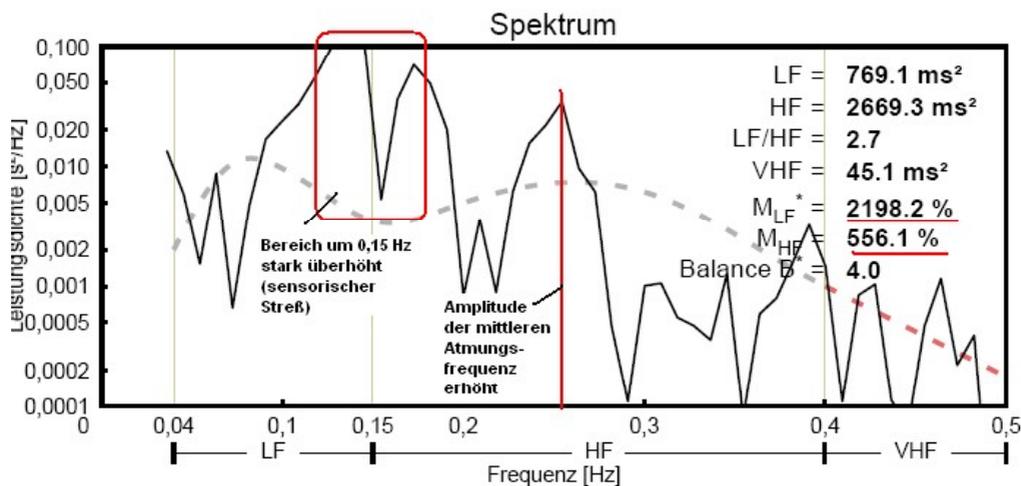
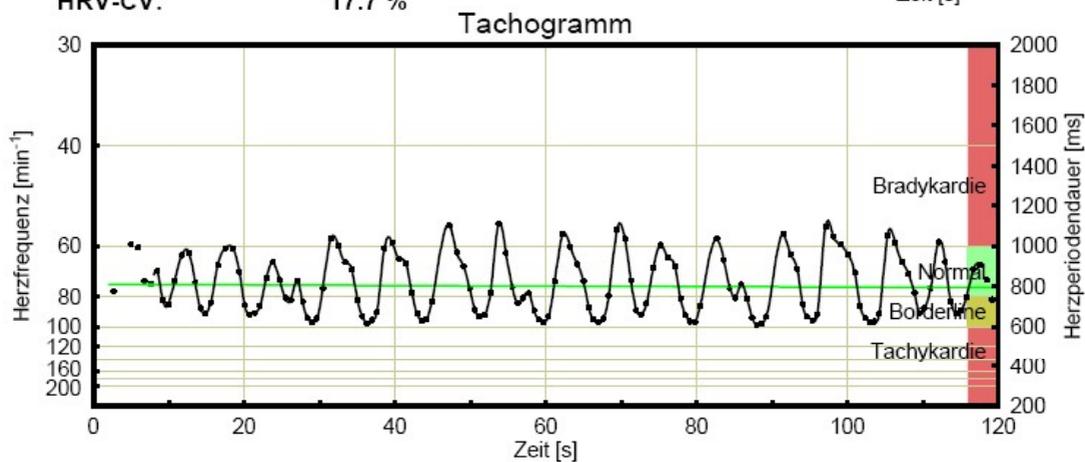
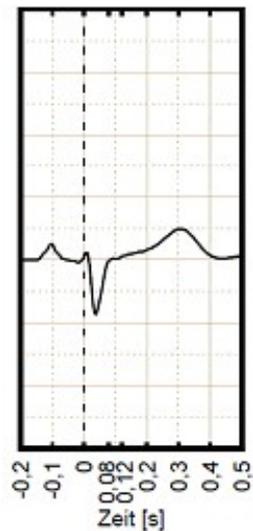


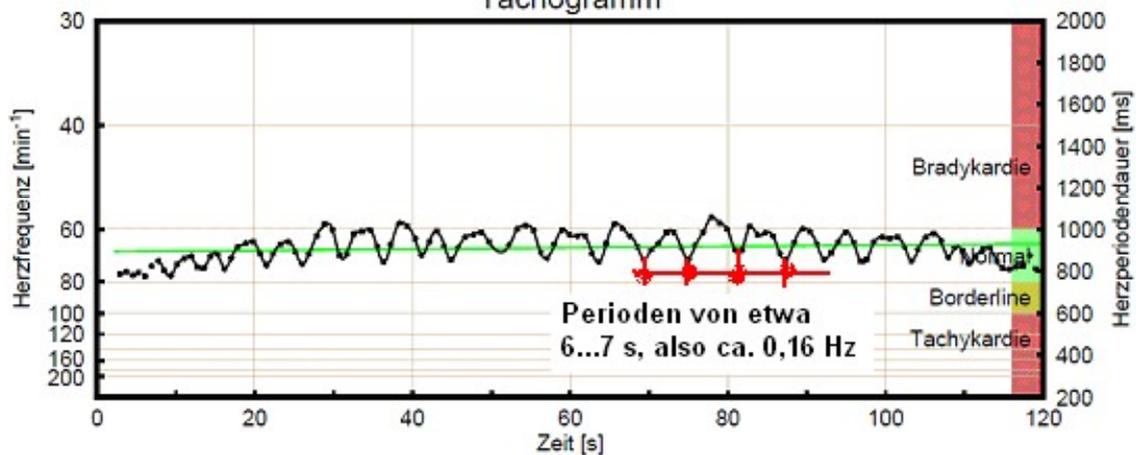
Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einem 27jährigen („macht sich selbst Streß, hört ständig in seinen Körper hinein“). Die sensorische Streßkomponente um 0,15 Hz ist stark erhöht, ebenfalls die spektralen Maßzahlen, insbesondere die Sympathikusmaßzahl M_{LF}^* . Erhöht ist gleichfalls die Amplitude der (normalen) Atmungs-frequenz. Während die mittlere Herzfrequenz mit $74,8 \text{ min}^{-1}$ im Normalbereich liegt, besitzt die Herzfrequenzvariabilität bei dieser 27jährigen Person mit 17,7 % einen extremen und anormalen Wert. Letzterer enthält insbesondere einen zu großen sympathischen Anteil.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 68 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-09-29 10:15
 Übertragung: 2009-09-29 10:19
 Herzfrequenz: 65.7 1/min
 Herzperiodendauer: 913 ms
 HRV-SDNN: 67 ms
 HRV-CV: 7.3 %

Tachogramm



Spektrum

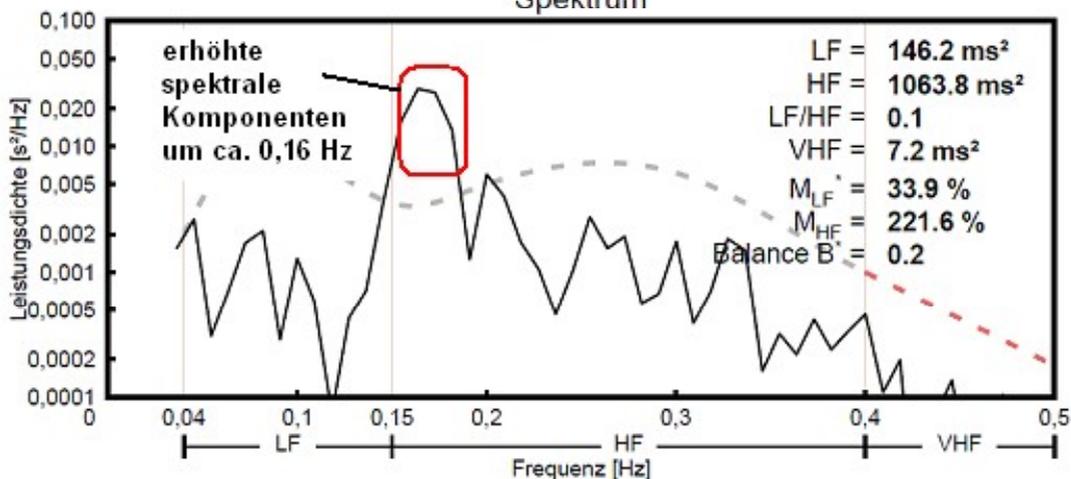


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 46jährigen männlichen Person. Der Bereich um ca. 0,16 Hz ist erhöht, was übereinstimmt mit vorhergehenden Verläufen und „sensorischem Streß“ zugeordnet werden soll. Die mittlere Herzfrequenz ist mit $65,7 \text{ min}^{-1}$ normal, die Herzfrequenzvariabilität bei einer 46jährigen „Normalperson“ mit 7,3 % etwas erhöht. Sie besteht insbesondere aus einer parasympathischen Komponente ($B^* = 0,2$).

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 12 / 0
 Geräte ID: 69043 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-04-23 16:43
 Übertragung: 2009-04-23 16:55
 Herzfrequenz: 64.1 1/min
 Herzperiodendauer: 936 ms
 HRV-SDNN: 79 ms
 HRV-CV: 8.5 %

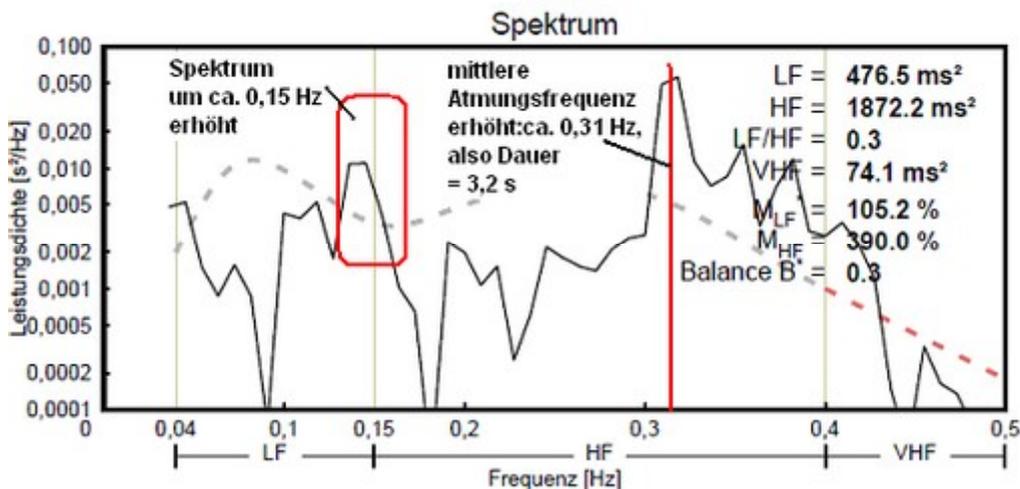
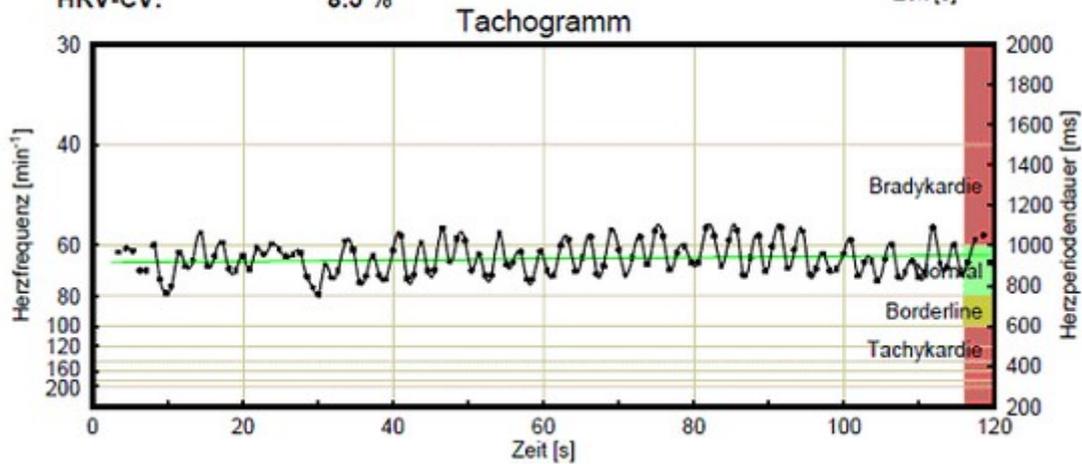
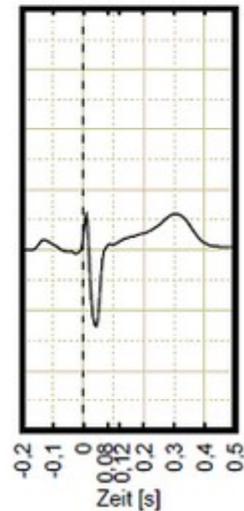


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 24jährigen weiblichen Lungenpatientin nach 2maliger Operation. Es zeigt sich, dass der Bereich um 0,15 Hz dominant ist und als Ausdruck für auftretenden sensorischen Streß gewertet werden soll. Die mittlere Atmungsfrequenz ist mit 0,31 Hz deutlich erhöht, sie ist auch amplitudenmäßig gegenüber der Streßkomponente von wesentlich größerem Einfluß. Die mittlere Herzfrequenz ist mit 64,1 min⁻¹ normal. Die Herzfrequenzvariabilität von 8,5 % wird bei dieser 24jährigen Patientin geprägt von der parasympathischen Komponente (folgt auch aus der Balance von 0,3).

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 116 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-10-28 14:32
 Übertragung: 2009-10-28 14:39
 Herzfrequenz: 58.5 1/min
 Herzperiodendauer: 1025 ms
 HRV-SDNN: 76 ms
 HRV-CV: 7.4 %

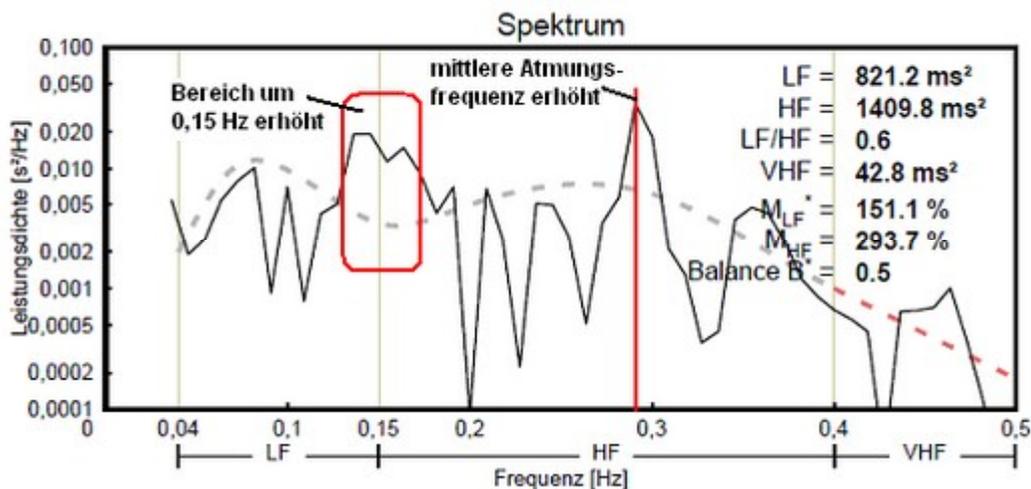
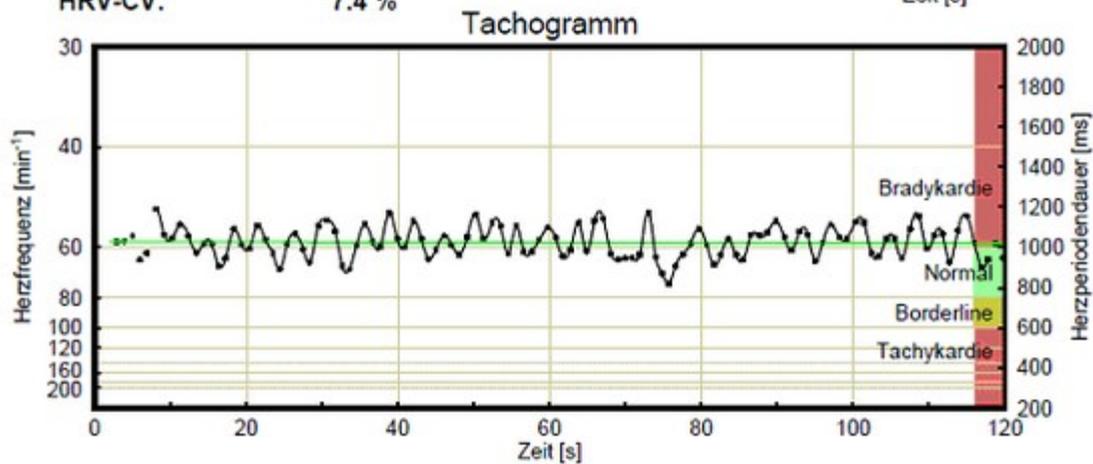
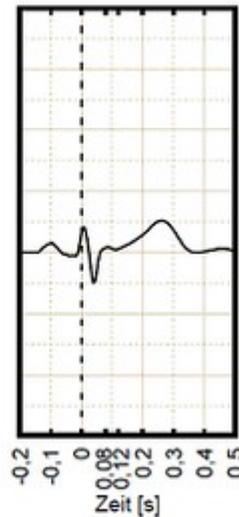


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 40jährigen Freizeit-Therapeutin (Mentalität: „kann nicht nein sagen“). Der Bereich um 0,15 Hz ist dominant (Ausdruck für auftretenden sensorischen Streß). Die mittlere Atmungs-frequenz ist mit 0,29 Hz erhöht, sie ist amplitudenmäßig gegenüber der Streßkomponente von größerem Einfluß. Die mittlere Herzfrequenz liegt mit 58,5 min⁻¹ etwas unter dem definierten Normalwert. Auch wird die relativ hohe Herzfrequenzvariabilität von 7,4 % entscheidend geprägt von der parasympathischen Komponente, wie auch die Balance von 0,5 zeigt.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 236 / 17
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-12-02 10:55
 Übertragung: 2009-12-02 10:58
 Herzfrequenz: 76.7 1/min
 Herzperiodendauer: 783 ms
 HRV-SDNN: 90 ms
 HRV-CV: 11.5 %

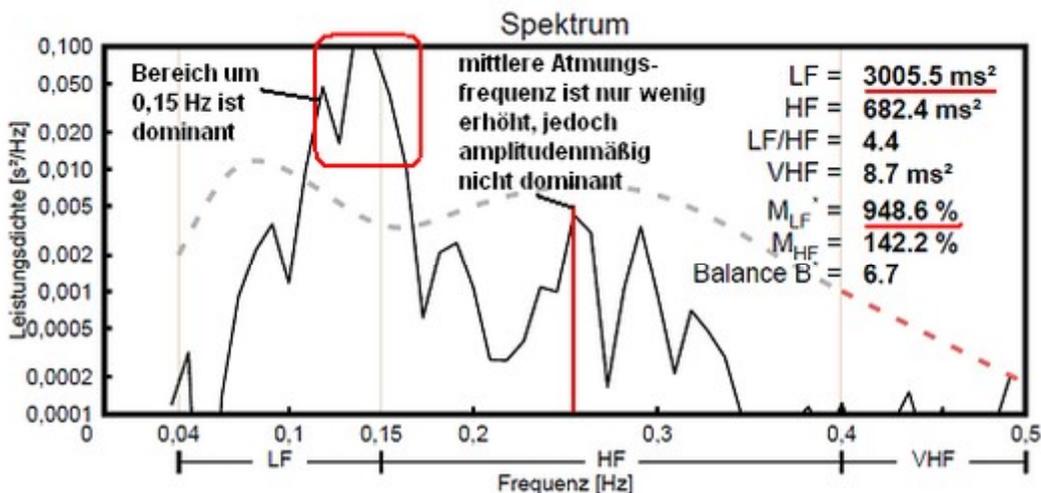
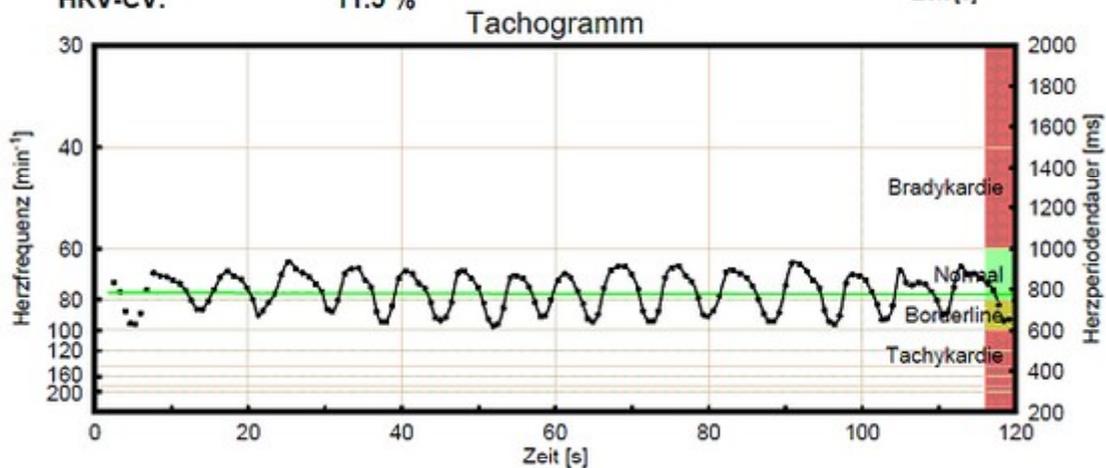
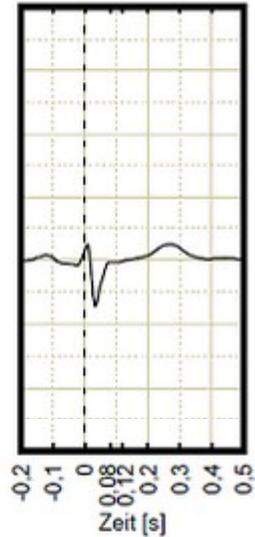


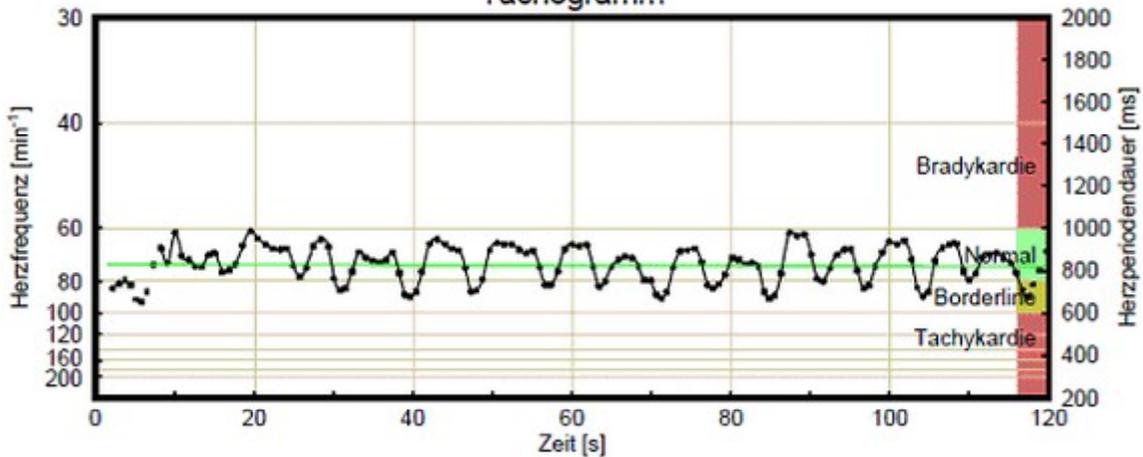
Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 45jährigen weiblichen Person. Dominant ist der Bereich um 0,15 Hz, damit auch das Auftreten von sensorischem Streß. Die mittlere Atmungs-frequenz ist mit 0,26 Hz nur leicht erhöht, amplitudenmäßig ist sie gegenüber der Streßkomponente von geringerem Einfluß auf das kardiovaskuläre System. Die mittlere Herzfrequenz liegt mit 76,7 min⁻¹ im Normalbereich. Die sehr hohe Herzfrequenzvariabilität von 11,5 % wird dominiert von der erhöhten sympathischen Komponente, die Balance ist leicht erhöht.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____



Journalnummer: 125 / 16
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-10-06 16:53 ⚠
 Übertragung: 2009-10-06 16:57
 Herzfrequenz: 72.6 1/min
 Herzperiodendauer: 827 ms
 HRV-SDNN: 85 ms
 HRV-CV: 10.3 %

Tachogramm



Spektrum

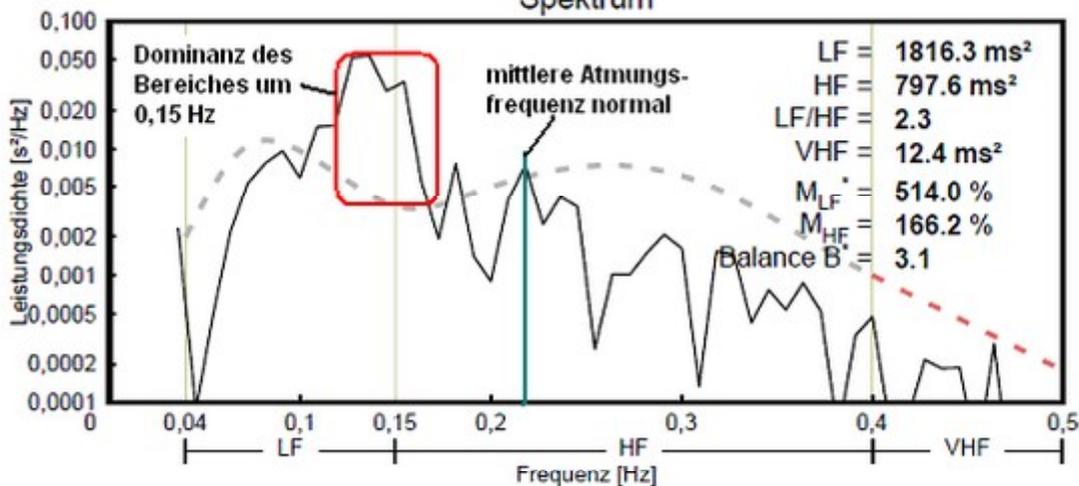


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 42jährigen männlichen Versuchsperson. Auch bei dieser Person ist der Bereich um 0,15 Hz dominant (Auftreten von sensorischem Streß). Die mittlere Atmungsfrequenz ist mit 0,22 Hz normal, ebenso die mittlere Herzfrequenz von 72,6 min⁻¹. Die Herzfrequenzvariabilität von 10,3 % ist hoch, es sind jedoch dort beide Komponenten in entsprechender Relation (Balance = 3,1) enthalten.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____

Journalnummer: 240 / 17
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-12-02 12:34
 Übertragung: 2009-12-02 12:37
 Herzfrequenz: 76.2 1/min
 Herzperiodendauer: 787 ms
 HRV-SDNN: 62 ms
 HRV-CV: 7.9 %

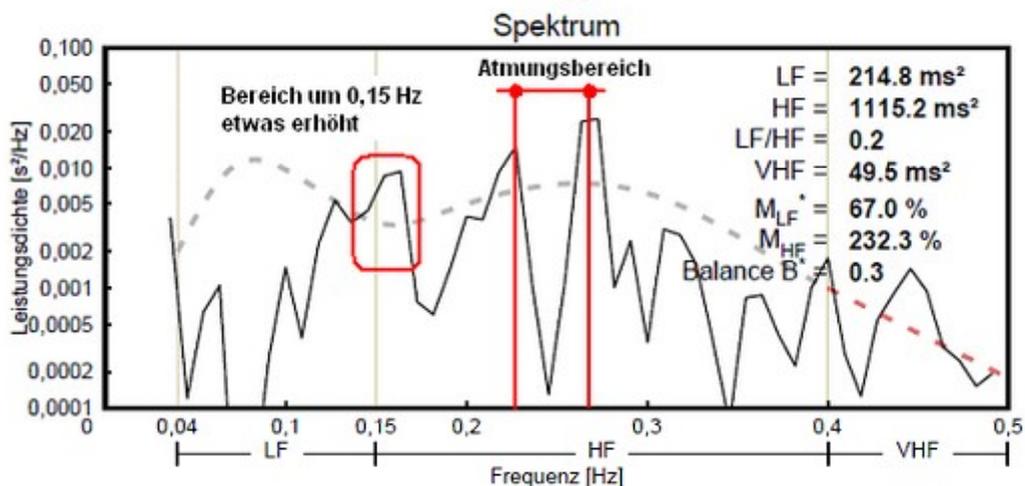
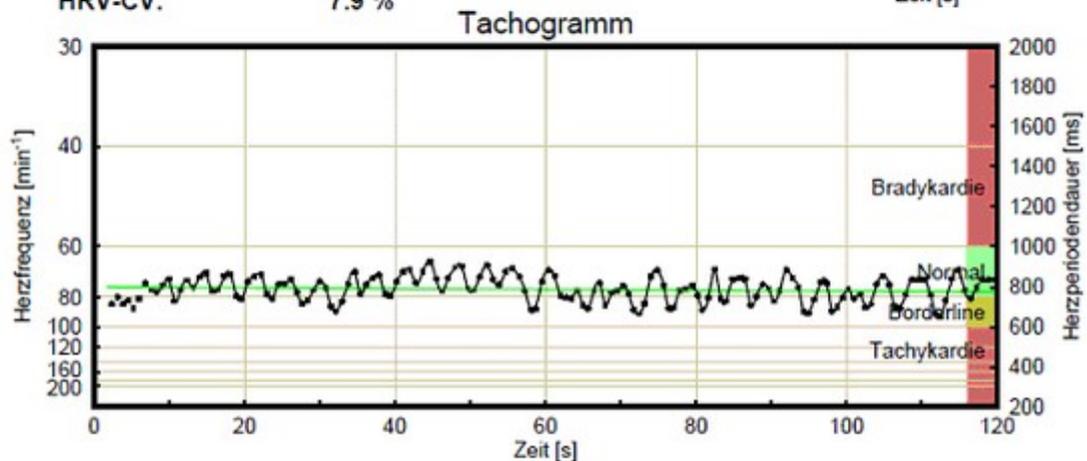
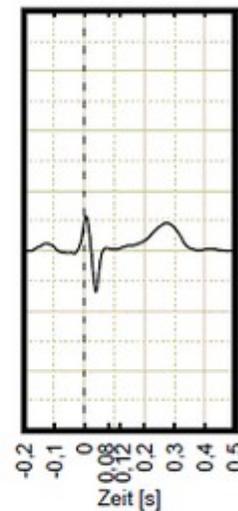


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 27jährigen Darmpatientin. Der Bereich um 0,15 Hz ist etwas stärker ausgeprägt (Auftreten von sensorischem Streß im „Ansatz“). Die Atmungsfrequenzen bilden sich noch im Normalbereich ab (streuen stark mit Tendenz zur erhöhten Atmungsfrequenz) und sind amplitudenmäßig erhöht. Die mittlere Herzfrequenz von 76,2 min⁻¹ liegt im Normalbereich. Die Herzfrequenzvariabilität von 7,9 % ist relativ hoch, dabei überwiegt die parasympathische Komponente, wie auch B* = 0,3 zeigt.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____

Journalnummer: 152 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-11-17 12:19 ⚠
 Übertragung: 2009-11-17 12:22
 Herzfrequenz: 56.6 1/min
 Herzperiodendauer: 1061 ms
 HRV-SDNN: 40 ms
 HRV-CV: 3.8 %

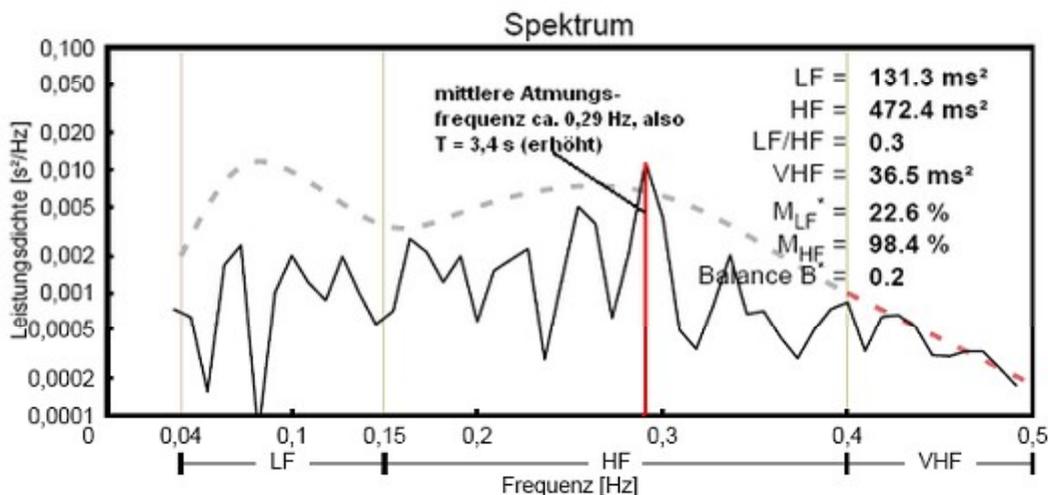
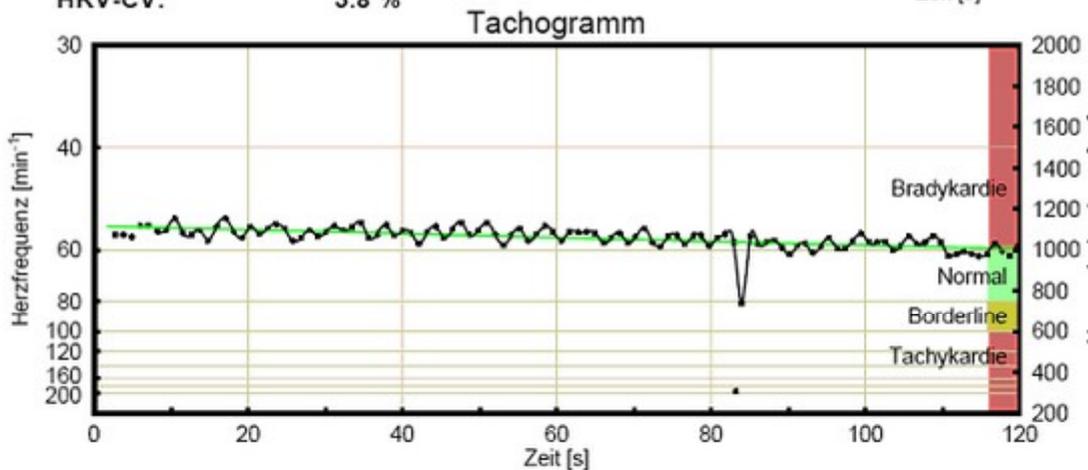
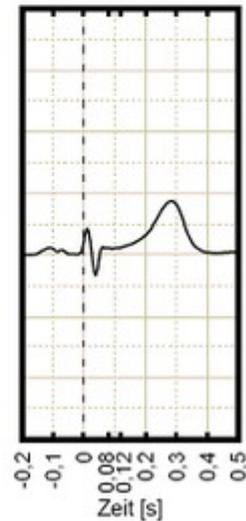


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einem 49jährigen männlichen Patienten mit erhöhtem Cholesterin und Beta-Blocker. Die mittlere Herzfrequenz ist etwas bradykard (56,6 min⁻¹, die Herzfrequenzvariabilität von 3,8 % ist altersentsprechend normal, es überwiegt die parasympathische Komponente, wie auch B* = 0,2 zeigt (totale Entspannung). Die mittlere Atmungs-frequenz ist mit 0,29 Hz etwas erhöht.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen:

Journalnummer: 131 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-11-04 11:54
 Übertragung: 2009-11-04 11:57
 Herzfrequenz: 66.8 1/min
 Herzperiodendauer: 898 ms
 HRV-SDNN: 37 ms
 HRV-CV: 4.1 %

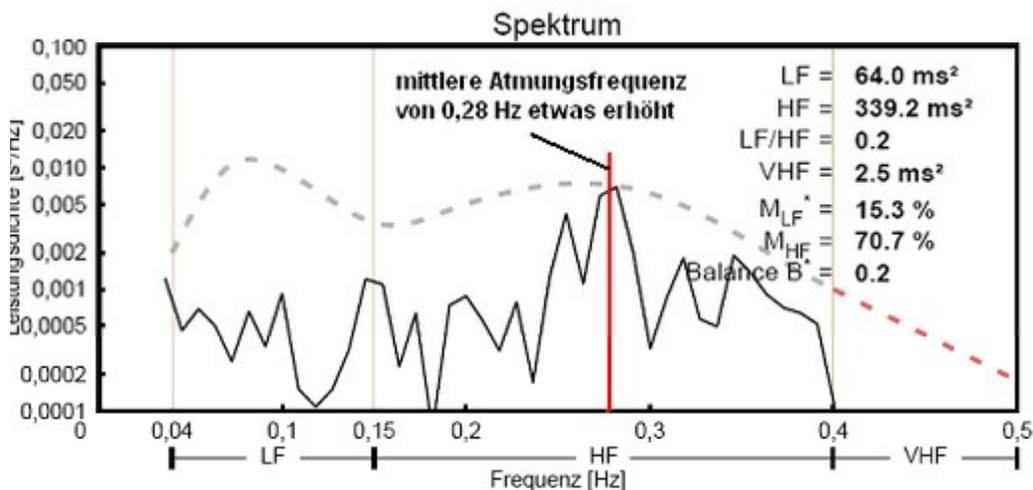
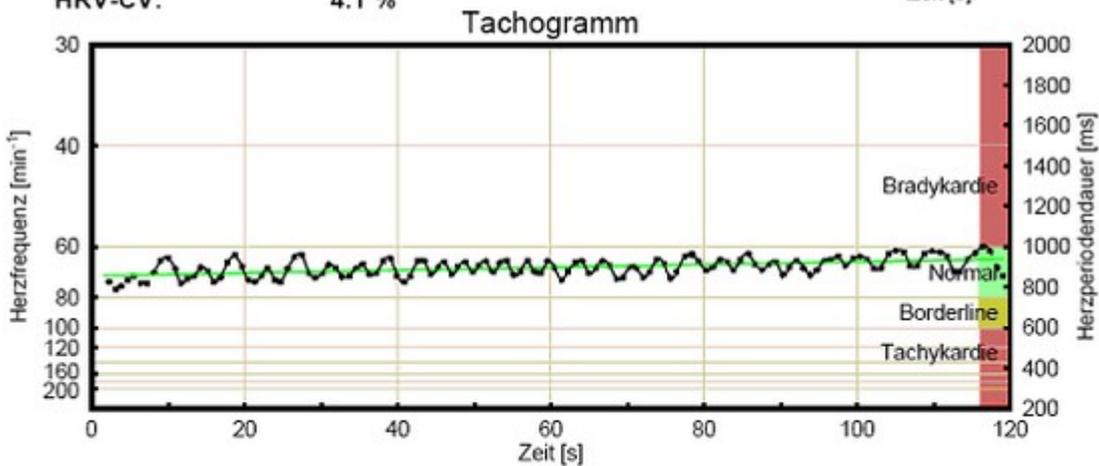
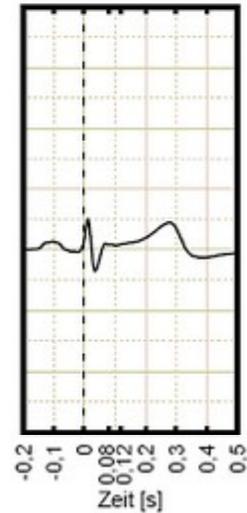
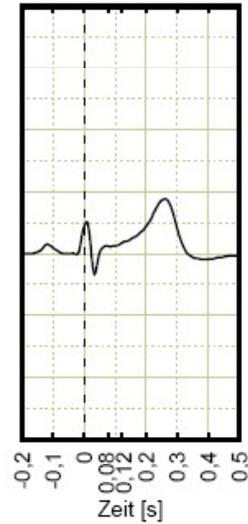


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 49jährigen männlichen Person. Der Bereich um 0,15 Hz ist wenig ausgeprägt, die mittlere Atmungsfrequenz von ca. 0,28 Hz ist erhöht, die mittlere Herzfrequenz von 66,8 min⁻¹ liegt im Normalbereich. Die normale Herzfrequenzvariabilität von 4,1 % besteht vorwiegend aus der parasympathischen Komponente, wie auch B^{*} = 0,2 zeigt.

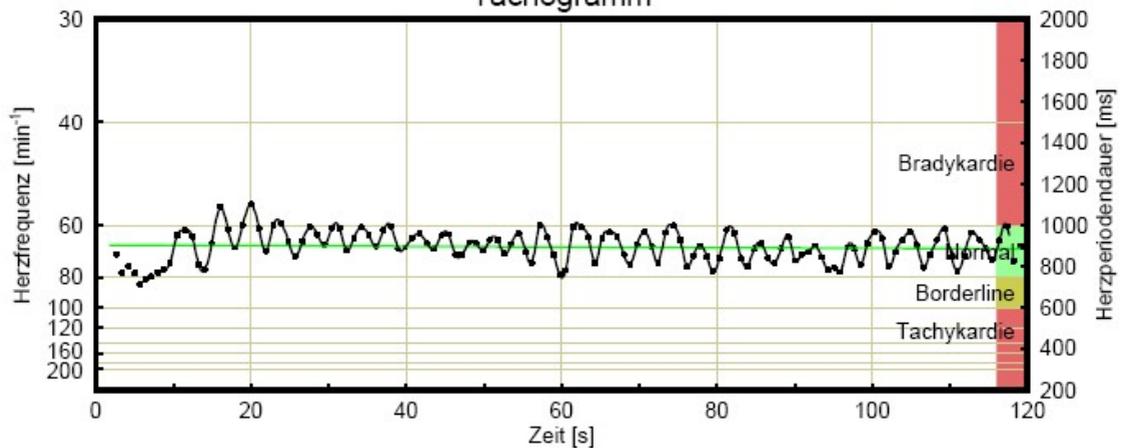
Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____

Anmerkungen:

Journalnummer: 184 / 16
 Geräte ID: 69320 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-11-23 11:20
 Übertragung: 2009-11-23 11:23
 Herzfrequenz: 67.0 1/min
 Herzperiodendauer: 896 ms
 HRV-SDNN: 75 ms
 HRV-CV: 8.4 %



Tachogramm



Spektrum

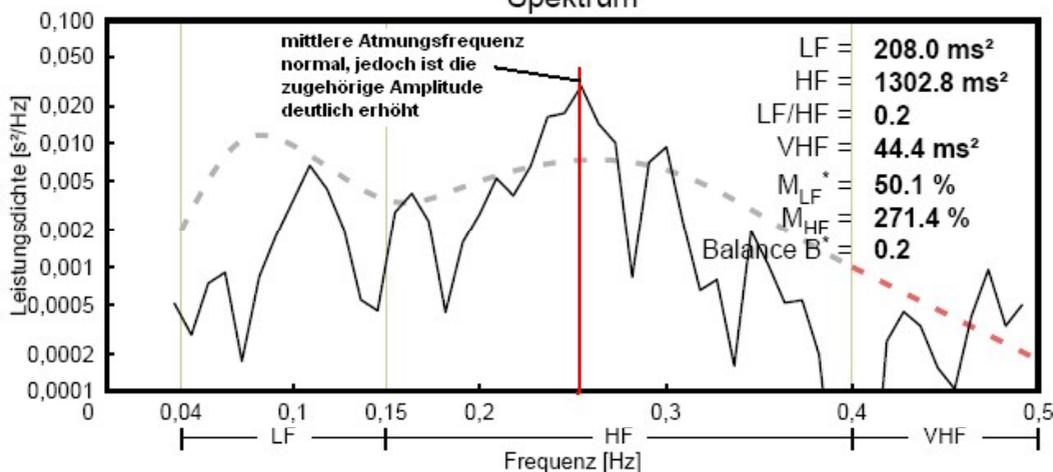


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 28jährigen Darmpatientin. Die mittlere Atmungsfrequenz von ca. 0,25 Hz ist normal, jedoch die zugehörige Amplitude ist deutlich erhöht. Aus dem FFT-Verlauf folgt eine dominante Entspannung, wie $B^* = 0,2$ zeigt (liegt am unteren Ende des ermittelten Normalbereiches). Die mittlere Herzfrequenz von 67 min^{-1} liegt im Normalbereich. Die normale Herzfrequenzvariabilität von 8,4 % besteht vorwiegend aus der parasympathischen Komponente.

Nachname: _____
 Vorname: _____
 Geburtsdatum: _____
 Anmerkungen: _____

Journalnummer: 228 / 0
 Geräte ID: 69261 v2.3
 Kanal: 1
 Aufnahme: 2009-11-26 12:46
 Übertragung: 2009-11-26 12:49
 Herzfrequenz: 74.3 1/min
 Herzperiodendauer: 807 ms
 HRV-SDNN: 21 ms
 HRV-CV: 2.6 %

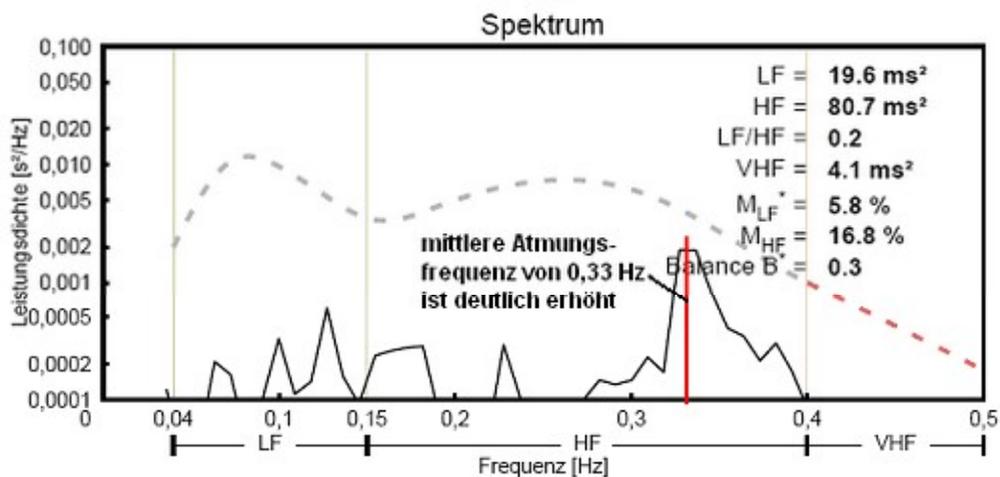
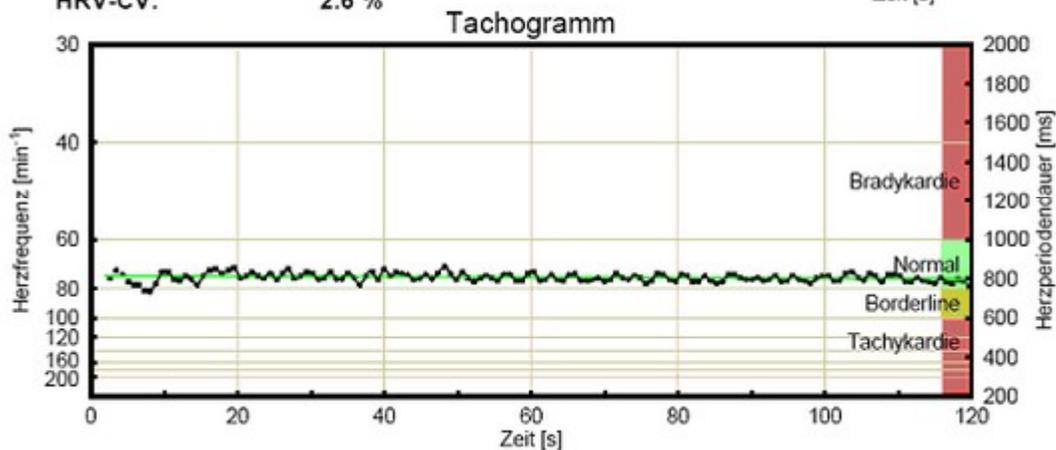
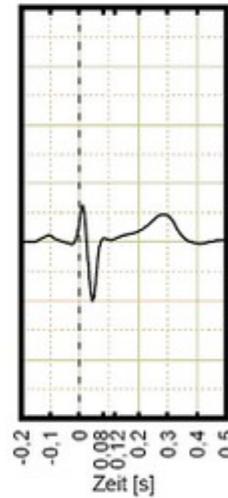


Abb.: Tachogramm und FFT-Spektrum bei einer 41jährigen weiblichen Person. Es ist ersichtlich, dass die Atmung dominant ist, die Frequenz ist jedoch mit 0,33 Hz als Mittelwert extrem hoch. Trotzdem ist der parasympathische Bereich im Vergleich zum sympathischen bestimmend, wie auch die Balance von 0,3 zeigt. Die Herzfrequenzvariabilität von 2,6 % liegt noch im Normalbereich [bei einer 48jährigen Person beträgt nach *Agelink* {nach *Agelink MW et al:* D (2001) Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate. *Clinical Autonomic Research* 11: 99-108 (2001)} der mögliche untere Wert der Herzfrequenzvariabilität etwa 1,7 %].

Anlage 1

Das vaskuläre Stickstoffmonoxyd-System

Seit Ende der 80er Jahre ist die Existenz eines **"vaskulären Stickstoffmonoxyd (NO)-Systems"** bekannt, nachdem der Pharmakologe *Furchgott* erkannt hatte, daß viele vasodilatatorische Stoffe die Wirkung verlieren, wenn man die Endothelzellen der untersuchten Blutgefäße entfernt. Er leitete aus seinen Untersuchungen die Schlussfolgerung ab, daß die Endothelzellschicht durch diese Stoffe zur Freisetzung einer unbekannt, gefäßerweiternden Substanz stimuliert wird, die er mit *"endothelium-derived relaxing factor"* (EDRF) bezeichnete. Wenige Jahre später wurde der Nachweis geführt, daß **Stickstoffmonoxyd (NO)** für die biologischen Effekte des EDRF verantwortlich ist, also beide Substanzen identisch sind. 1992 wurde NO vom Wissenschaftsmagazin *Science* zum *Molekül des Jahres* gewählt. Für ihre bahnbrechende Entdeckung von Stickstoffmonoxyd als entscheidendes Signalmolekül im Herz-Kreislauf-System, die die gesamte Medizin und damit auch alle Therapieverfahren grundlegend prägen wird, wurden *Robert F. Furchgott*, *Louis J. Ignarro* und *Ferid Murad* (alle USA) 1998 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet.

Dabei war NO in der Humanmedizin schon vor der Entdeckung der *endogenen* NO-Bildung bekannt, wie NO-freisetzende Pharmaka (u.a. Glyceroltrinitrat, Molsidomin, Nitroprussid-Natrium) für die Herz-Kreislauf-Therapie zeigen. Sie stellen als sogenannte *NO-Donatoren* eine Substitutionstherapie für endogenes NO dar.

Heute ist gesichert, daß von Endothelzellen ins Blut freigesetztes NO zunächst im Plasma zu Nitrit oxydiert wird, welches dann sehr schnell zu Nitrat konvertiert und als solches im Urin ausgeschieden wird.

Charakteristische Merkmale des vaskulären Stickstoffmonoxydsystems:

- Das **Gefäßendothel** produziert Stickstoffmonoxyd, welches mit großer Wahrscheinlichkeit der wichtigste endogene Vermittler einer *Vasodilatation* ist. NO reagiert in biologischen Flüssigkeiten innerhalb von 20 bis 40 s mit O₂ und Wasser zu einem Gemisch aus Nitrit [NO₂⁻] und Nitrat [NO₃⁻], das biologisch etwa 1000-fach weniger wirksam ist als NO, so daß bei dieser Oxydation von einem *"Inaktivierungsmechanismus für NO"* gesprochen wird. **Dabei relaxiert NO nicht nur Blutgefäße, es hemmt auch die Thrombocytenaggregation und -adhäsion, vermindert die Adhäsion von Leukocyten an die Gefäßwand und bremst die Proliferation glatter Gefäßmuskelzellen.** Deshalb wird **Stickstoffmonoxyd als ein protektives Prinzip im Gefäßsystem** bezeichnet.
- Ebenfalls finden sich im Zentralnervensystem, im vegetativen peripheren Nervensystem und im Darmnervensystem zahlreiche **NO-produzierende Neurone**. Im peripheren Nervensystem wirkt NO als **(atypischer) Neurotransmitter**.
- Gleichfalls können **Immunzellen** NO produzieren. In der Literatur wird darauf verwiesen, daß Makrophagen und Granulocyten mit bakteriellen Lipopolysacchariden oder Zytokinen zur Expression der induzierbaren NO-Synthase II stimuliert werden können.

Stickstoffmonoxyd wird von den Endothelzellen bereits in Ruhe gebildet und ist wesentlich an der Regulation des Gefäßtonus, also auch des Blutflusses sowie -druckes, beteiligt.

Stickstoffmonoxyd kann sowohl als Botenstoff (Hormon, Neurotransmitter, Signalmolekül) **als auch als Zellgift** wirken und hängt vor allem von der NO-Konzentration ab. Allgemein wird die NO-Bildung über die Expression der verschiedenen NO-Synthasen reguliert. Es sei hierzu auf die Literatur verwiesen.

Bei verschiedenen Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems im Frühstadium ist das Gefäßendothel geschädigt und die protektive Wirkung von endothelalem NO als Vasodilatator und Thrombozytenhemmstoff entfällt: Es tritt eine **Endotheldysfunktion** auf. Die Endothel-Dysfunktion ist auch der Grundstein für die *Koronarsklerose*. "Gemeinsames Kennzeichen aller Patienten mit manifester Koronarsklerose und Hyperlipidämie ist eine diffuse Dysfunktion des Koronarendothels, die sowohl den Vasomotorentonus ungünstig beeinflusst, als auch die Plättchenaggregabilität steigert sowie die Balance des fibrinolytischen Systems in eine thrombogene Richtung verschiebt" [B. Pitt, Ann Arbor /Michigan (USA), Symposium im Rahmen der 46. Jahrestagung des "American College of Cardiology" 1997 in Anaheim/Kalifornien].

Bei **koronaren Herzerkrankungen, bei peripheren Durchblutungsstörungen, bei Hypertonie, bei Thrombose, offensichtlich auch bei Schlaganfällen**, kommt es zu einem **NO-Mangel**, aber gleichzeitig zur verstärkten Freisetzung von Endothelinen und freien Sauerstoffradikalen. Endotheliale Dysfunktion und verminderte NO-Bildung gehen mit erhöhtem glattmuskulärem Tonus und erhöhter Thromboseneigung einher. **Damit ist die „Basis“ für den sympathischen Streß geschaffen.**

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, daß NO-Mangel und sympathischer Streß in unmittelbarer Verbindung stehen.

Zum anderen ist bekannt, daß bei entzündlichen Gelenkerkrankungen, speziell bei Patienten mit chronischer Polyarthritis, bei Patienten mit Asthma bronchiale (bekanntlich liegt bei allen Asthmaformen eine chronische Entzündung der Bronchialschleimhaut vor) sowie mit Migräne die **Produktion von Stickstoffmonoxyd NO wesentlich erhöht** ist (3 bis 4fach). Die intraartikuläre NO-Produktion ist mitverantwortlich für die Gelenkerzstörung, da sie zu Knochenabbau, verminderter Proteoglykansynthese und Knorpelzellapoptose führt. Auch bei entzündlichen Darmerkrankungen ist NO als proinflammatorischer Mediator an der Pathogenese beteiligt. Ex vivo Untersuchungen an Kolonschleimhaut-Biopsien von Patienten mit akutem Schub einer Colitis ulcerosa oder eines M. Crohn zeigten bei beiden Erkrankungen in der entzündeten Mukosa eine erhöhte NO-Produktion. Ebenso geht die Transplantatabstoßung bei Mensch und Tier mit einer erhöhten NO-Produktion einher.

Beim **septischen Schock** kommt es zur **Expression der induzierbaren NO-Synthase** in Zellen der Gefäßwand, d.h. das so gebildete NO ist wesentliche Ursache der **massiven Vasodilatation**.

Erhöhte NO-Produktion führt zur Vasodilatation, deutlicher Reduktion des Vasomotorentonus und damit auch zur Aktivierung des Parasympathikus. Ergeben sich bei einer nicht sportlich aktiven Person anormal hohe M_{HF} -Werte bzw. anormal geringe B^* -Werte, so kann dies auf eine massive NO-Freisetzung hindeuten.

Synchronisation neuronaler Hämoperfusionsmuster der Stirnhautdurchblutung: eine methodische PPG-Studie

JP Ernst¹, A Besting¹, B Cotuk², R Grebe³, M Lambertz⁴, V Perlitz⁵

¹ Institut für Physiologie, Aachen

² Sporthochschule Marmara Universität, Istanbul, Türkei

³ Université de Picardie Jules Vernes, Unité Génie Biophysique et Medicales, Amiens, Frankreich

⁴ Institut für Physiologie, Charité, Berlin

⁵ Klinik für Psychosomatik und Psychotherapeutische Medizin, Universitätsklinikum Aachen

Einleitung: In den vergangenen Jahren konnten die physiologisch-vegetativen Grundlagen eines metastabilen Perfusionsrhythmus in der Durchblutung der Glabella etabliert werden. Von physiologisch-anatomischer Seite kann postuliert werden, dass die Perfusionsmuster der Glabella als Summation der rechten und linken Stirnhautseiten resultieren. In einer Kasuistik untersuchten wir mithilfe eines multimodalen Blockdesign und verschiedenen adaptiven Algorithmen diese Hypothese.

Methode und Ergebnisse: Unter Verwendung multipler PPG-Aufzeichnungen von 1. Glabella, 2. rechte Stirnseite (1 cm oberhalb NAP) und 3. linke Stirnseite (1 cm oberhalb NAP) konnten wir bei **sensorischem Stress** eine weitgehende Synchronisation zwischen linkem und rechtem Stirnhaut-PPG beobachten. Das **0,15 Hz-Rhythmusband** erschien in allen 3 Ableitungen, jedoch nur in der Glabella instantan und folgte einer eigenen, unabhängigen Dynamik.

Diskussion: Unter Verwendung nichtlinearer, adaptiver Methoden zeigen die mit PPG-Technik aufgezeichneten Zeitreihen, dass die in der Glabella vorherrschenden Hämoperfusionsmuster nicht einfache Summationsmuster darstellen, sondern hoher regionaler Spezifität folgen.