

# 7

Frank H. Wilhelm und Paul Grossman

## Psychophysiologie<sup>1</sup>

<b>7.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	98	<b>7.2.2</b>	Von der Verhaltensinduktion zur computergestützten Stimuluspräsentation ...	100
7.1.1	Nutzen des psychophysiologischen Assessments .....	98	<b>7.2.3</b>	Vom Zentrum zur Peripherie: Messmethoden .....	102
<b>7.2</b>	<b>Paradigmen der psychophysiologischen Evaluation</b> .....	99	<b>7.3</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	106
7.2.1	Vom Labor- zum ambulanten Assessment .....	99			

### 7.1 Einleitung

In der systematischen Erforschung psychophysiologischer Funktionen des Menschen wurden beträchtliche Fortschritte erzielt. Die Erhebung psychophysiologischer Messgrößen eröffnet einzigartige Möglichkeiten für das Verständnis kognitiver und emotionaler Prozesse und gewährt Einblicke, die durch Verhaltensbeobachtung, Interview oder Fragebögen nicht zu gewinnen sind. Die zunehmende Verfügbarkeit leicht anwendbarer High-Tech-Werkzeuge für die psychophysiologische Diagnostik macht diesen Bereich auch Ärzten, Psychologen und Klinikern zugänglich, die nicht Jahre darauf verwenden wollen, Technikspezialisten zu werden. Zudem ist die Psychophysiologie eine ausgereifte wissenschaftliche Disziplin mit eigener Nomenklatur sowie eigenen Konzepten und methodischen Ansätzen. In diesem Kapitel werden wir methodologische Überlegungen anstellen, die insbesondere für theoretische und diagnostische Fragen relevant sind, und einige der wichtigsten Arbeiten aus dem Schrifttum zusammenfassen, um dem Leser eine knappe, konzentrierte Einführung in dieses spannende Gebiet zu geben. Beispiele aus der Forschung sollen den Nutzen der Psychophysiologie für die psychosomatische Diagnostik und Therapie veranschaulichen. Der interessierte Leser sei auf die entsprechenden Kapitel im *Handbook of Psychophysiology* (Cacioppo et al. 2007) sowie *Psychophysiological Recording* (Stern et al. 2001) verwiesen, die sich durch ihre Detailgenauigkeit im Hinblick auf die Erfassung und Auswertung psychophysiologischer Daten auszeichnen. Ferner ist eine Reihe von Beiträgen zur Methodik und zu Leitlinien auf der Homepage der *Society for Psychophysiological Research* (SPR) für die Öffentlichkeit zugänglich ([www.sprweb.org](http://www.sprweb.org)).

### 7.1.1 Nutzen des psychophysiologischen Assessments

Die Psychophysiologie betrachtet die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen psychologischen und physiologischen Vorgängen, wobei physiologische Messungen meist als abhängige Variablen erhoben werden. Dies ermöglicht beispielsweise, Veränderungen der vegetativen Funktionen bei psychischen Prozessen zu quantifizieren oder die zentralnervösen Prozesse, die bei einer Störung eine Rolle spielen, besser zu verstehen. Psychophysiologische Konzepte und Methoden sind für die Forschung und Praxis der Psychosomatik aus vielerlei Gründen wichtig:

- Einige der psychosomatischen Störungsbilder haben primär somatische Komponenten oder manifeste physiologische Begleitsymptome.
- Die ätiologischen Modelle von psychosomatischen Störungen werden zunehmend durch neuro-psycho-physiologische Erklärungshypothesen erweitert.
- Die Beziehungen zwischen den behavioralen, kognitiv-verbalen und physiologischen Aspekten des Störungsbildes (und auch deren Diskrepanzen) sind wichtige Aspekte der Diagnostik und der Therapieevaluation.
- Mit physiologischen Messungen kann in der Regel eine genauere zeitliche und quantitative Funktionsbeschreibung und Symptomanalyse erreicht werden.

Psychophysiologisches Assessment ist sprachfrei und setzt sich damit über kulturelle, ethnische und Altersschranken hinweg. Änderungen in der physiologischen Aktivität können häufig zugrunde liegende verborgene, subjektive psychologische oder Verhaltenscharakteristika widerspiegeln. Relevante Informationen für das Verständnis komplexer psychophysiologischer Reaktionen, insbesondere im Hinblick auf emotionale Reaktionen, können sich ferner aus Selbstangaben (verbal-kognitiv) und beobachtbarem Verhalten (behavioral) ergeben, die in

<sup>1</sup> Übersetzung aus dem Englischen: Karin Beifuss

Verbindung mit psychophysiologischen Messgrößen erhoben werden. Dieser Ansatz wird auch als **multimodale Diagnostik** bezeichnet, denn die verschiedenen Beschreibungsebenen sollen kombiniert werden, um die diagnostische Sicherheit zu steigern oder um möglichen Divergenzen nachzugehen.

Verhaltensbeobachtungen, Interviews und Fragebögen genießen in der Psychologie, der psychosomatischen Medizin und in der Psychiatrie einen hohen Stellenwert. Sowohl konzeptuell als auch statistisch kann jedoch die Hinzunahme relevanter physiologischer Variablen zur Gesamtvalidität und -reliabilität des Assessments beitragen, insbesondere bei Fragen, die sich auf Aspekte der Körper-Geist-Beziehung beziehen (z. B. Wilhelm und Roth 2001). Testtheoretisch gesehen ist jede Messmethode mit spezifischen Messfehlern und auch oft mit systematischen Verzerrungen behaftet, sodass eine unabhängige Bewertung von Reaktionen über verschiedene Beschreibungsebenen hinweg eine bessere Diagnostik ermöglicht. Psychophysiologische Methoden können Einblick in die Art der Beteiligung von grundlegenden physiologischen Mechanismen an der Entwicklung von psychosomatischen Erkrankungen gewähren. Beispielsweise können Regulierungsmechanismen des autonomen Nervensystems (ANS) den Muskeln und Organen Ressourcen zuführen oder entziehen, wodurch Personen mit generell hoher sympathischer Reaktivität auf Stressoren eher eine Prädisposition haben, in Gefahren-/Stresssituationen eine körperliche Überreaktion zu zeigen. Dies kann über längere Zeit hinweg zu organischen Störungen führen.

## 7.2 Paradigmen der psychophysiologischen Evaluation

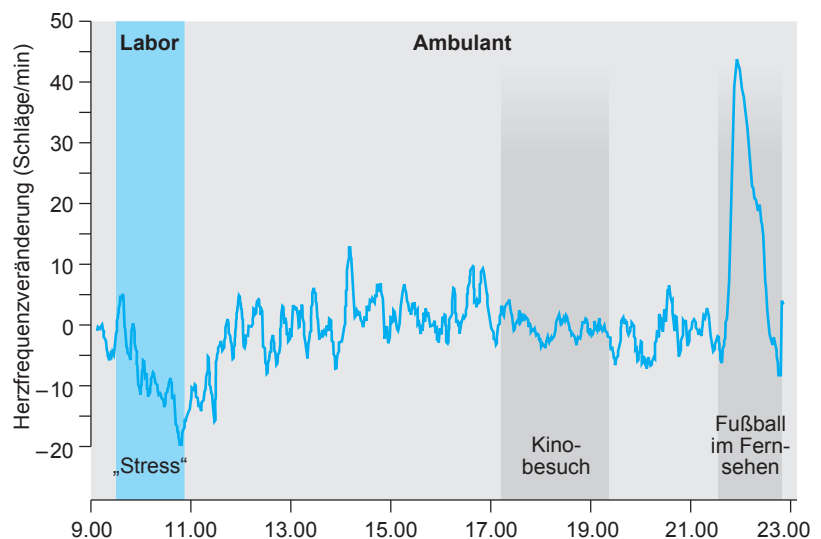
### 7.2.1 Vom Labor- zum ambulanten Assessment

Die meisten psychophysiologischen Untersuchungen finden in einem Labor unter kontrollierten Bedingungen statt. Erfas-

sungssysteme und Analysesoftware sind gut entwickelt und dokumentiert, anwenderfreundlich und zuverlässig (Hersteller- und Geräteverzeichnis s. beispielsweise unter [www.psychophys.com](http://www.psychophys.com)). Allerdings können Klinik- oder Laborumgebung auf Patienten und Probanden einschüchternd wirken, sodass ihre Reaktionen auf belastende Anforderungen nicht unbedingt ihre Reaktionsweisen im Alltag repräsentieren. Patienten mit Angststörungen beispielsweise, die im Labor untersucht werden, zeigen wahrscheinlich keine „Baseline“-Werte, die typisch sind für ihre in Ruhe gemessenen Tageswerte. Auch eine in der Klinik oder im Labor ausgelöste akute Stress- oder Angstepisode ist unter Umständen nicht repräsentativ für das, was typischerweise im wirklichen Leben passiert (> Abb. 7.1).

Wachsende Bedenken bezüglich der geringen externen Validität und die zunehmende Verfügbarkeit alternativer High-Tech-Lösungen machen das ambulante Monitoring für eine Vielzahl von Forschungsfragen zu einer attraktiven Alternative (Maheu et al. 2005; Wilhelm und Roth 1996; Fahrenberg et al. 2007). Daten über körperliche Aktivität, autonome Funktionen und subjektives Erleben (bei Benutzung eines elektronischen Tagebuchs) können mit kommerziell erhältlichen ambulanten Messsystemen bereits präzise erhoben werden; diese Messgrößen können durch endokrine Parameter ergänzt werden. Spezielle Watterollen (sog. Salivetten), welche die Patienten kauen und in einem kleinen Kunststoffbehälter aufbewahren können, lassen sich später hinsichtlich der Konzentration des Stresshormons Kortisol sowie anderer Substanzen analysieren (s. dazu weiter unten auch den Abschnitt zur neuroendokrinen Funktion).

Ambulantes Assessment stellt aufgrund der Menge an erhobenen Messungen eine besondere Herausforderung für die Datenverarbeitung dar. Moderne Geräte verfügen über fortschrittliche Analysefähigkeiten, mit denen sich die Datenmenge effizient verkleinern lässt, sowie eingebaute Sensoren, die kontextuelle Informationen verfügbar machen (z. B. Ausmaß der körperlichen Aktivität, Körperhaltung, Sprechen; Grossman et al. 2008).



**Abb. 7.1** Herzfrequenzveränderungen (Minutenmittelwerte) eines Studienteilnehmers, der während und nach einer Laboruntersuchung (5 Baselines gefolgt von 5 mittelstarken Stressoren) ein ambulantes Messgerät trug. Reaktionen im Labor und während eines Kinofilms waren gering im Vergleich zu den Reaktionen während eines Fußballspiels, das der Proband zu Hause am Fernseher verfolgte. (Bemerkung: Das Messgerät zeichnete auch Bewegungsaktivität auf; nur die Minuten, in denen keine oder lediglich geringe Aktivität vorlag, wurden in die Abbildung einbezogen, modifiziert nach Wilhelm und Grossman, in press.)

Bei manchen Systemen können Daten auch drahtlos in Echtzeit auf einen Computer übertragen und auf diesem angezeigt und ausgewertet werden. Derartige telemetrische Möglichkeiten können nicht nur im Rahmen des Assessments, sondern auch bei der zielgerichteten Behandlung von Nutzen sein. Bei der Überwachung der körperlichen Aktivität von Kindern mit Impulsivitätsproblemen beispielsweise kann eine operante Intervention ausgelöst werden, wenn ihre Aktivität ein bestimmtes Maß übersteigt. Eine ähnliche Art von Biofeedback-Anwendung ist in einige Aktigraphen eingebaut, die am Handgelenk getragen und etwa zur operanten Behandlung der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) eingesetzt werden. Diese Geräte beginnen zu piepen, wenn der Aktivitätsgrad definierte Grenzwerte bezüglich Intensität und Dauer überschreitet, beispielsweise um den Patienten daran zu erinnern, sich zu beruhigen.

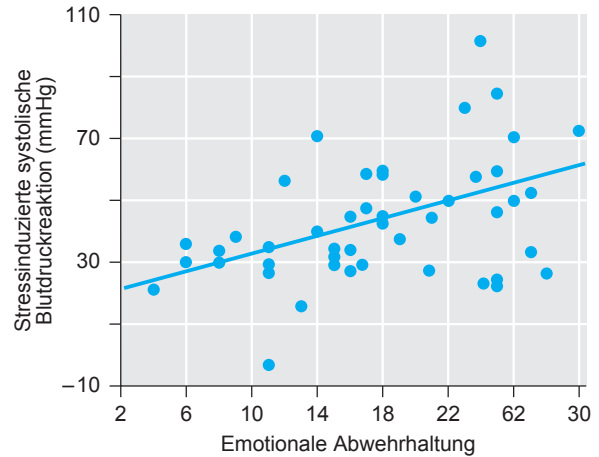
## 7.2.2 Von der Verhaltensinduktion zur computergestützten Stimuluspräsentation

Selbst die anspruchsvollsten physiologischen Messwerte haben keine Bedeutung, wenn man sie nicht zu der/den Bedingung(en) in Beziehung setzt, unter denen sie erhoben wurden. Die Mehrzahl medizinischer Messungen (z. B. Blutdruck oder Blutabnahmen) erfolgt unter der Annahme, dass sich der Proband oder Patient in Ruhe befindet. Wie oben bereits ausgeführt, ist dies für Laboruntersuchungen aber aufgrund von Reaktionen auf die ungewohnte Umgebung nicht immer gewährleistet. Ein aus der medizinischen Literatur bekanntes Beispiel für diesen Effekt ist der sog. *White-coat*-Hypertonus, d. h. Bluthochdruck im Krankenhaus, aber nicht zu Hause.

Meist kommt die Psychophysiologie im Zusammenhang mit Reaktionsparadigmen zur Anwendung, in denen eine psychologisch bedeutungsvolle Situation oder ein Stimulus präsentiert und die Reaktionen darauf quantifiziert werden, üblicherweise in Bezug zu einem vor der Provokation oder vor der Stimuluspräsentation erhobenen Ausgangswert. Mittlerweile steht eine Vielzahl von gut standardisierten Untersuchungsparadigmen zur Verfügung (z. B. Coan and Allen 2007).

Im Rahmen der Verhaltensauslösung kommt die Stressinduktion durch mentale Belastungstests wie etwa den *Trier Social Stress Test* (Kirschbaum et al. 1993) am häufigsten zur Anwendung. Dieser besteht aus einer Vorbereitungsphase, einem freien Vortrag und Kopfrechnungsaufgaben vor Publikum, jeweils von 5 Minuten Dauer. Physiologische Stressreaktionen auf mentale Belastung können mit Krankheiten oder Persönlichkeitsvariablen in Beziehung stehen, was einen Hinweis auf die Entstehung und Aufrechterhaltung von Störungen liefern kann (> Abb. 7.2).

Im Rahmen der Bewertung von Angst benutzte Paradigmen sind bei sozialen Ängsten beispielsweise das Halten einer von einer Kamera aufgezeichneten Rede (Grossman et al. 2001). Stimuli wie Bilder von Tieren oder Nadeln können benutzt werden, um bei Patienten mit spezifischen Phobien Angst zu induzieren.



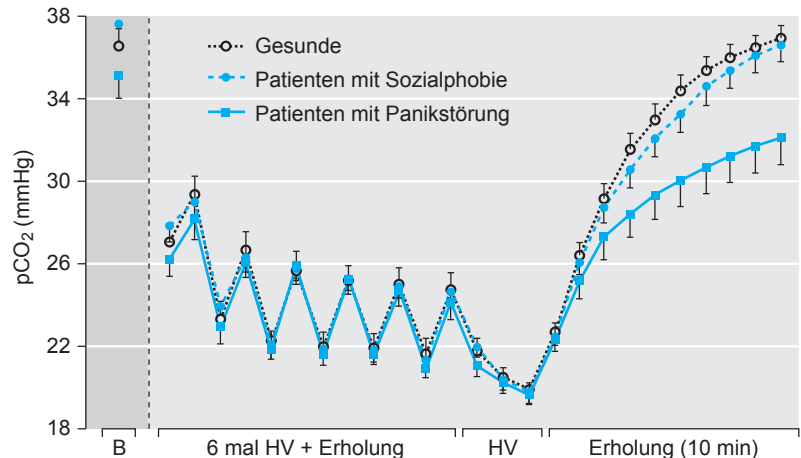
**Abb. 7.2** Messung der systolischen Blutdruckreaktion auf einen häufig eingesetzten mentalen Belastungstests, dem Halten eines Vortrags vor Publikum (Reaktion = Stress- minus Baselinewerte). Bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen zeigt sich, dass diejenigen Patienten die höchsten Blutdruckreaktionen zeigen, die besonders hohe Werte auf einem Fragebogen zu emotionalen Abwehrhaltungen erzielen (Marlowe-Crowne Scale,  $r = 0,45$ , modifiziert nach Grossman et al. 1997). Dies kann ein Hinweis auf die prognostische Bedeutung dieses psychologischen Faktors für einen ungünstigen Verlauf einer Herz-Kreislauf-Erkrankung sein.

Manchmal werden physikalische Stressoren eingesetzt, um allgemeine autonome Reaktionsmuster zu quantifizieren. Diese Reaktionen lassen sich auf einfache Weise durch einen Positionswechsel (Aufstehen aus dem Sitzen oder Verwendung eines Kipptisches), einen Kältereiz (die Hand wird in einen Eimer mit 4 °C kaltem Wasser gehalten) oder durch körperliche Belastung (Handdynamometer, Fahrradergometer) auslösen. Respiratorische Belastungstests kommen bei Patienten mit Verdacht auf Panikstörungen (Pine et al. 1998) oder bei Kindern von Eltern mit einer Panikstörung (Pine et al. 2005) zur Anwendung, weil die Atemregulation bei diesem klinischen Krankheitsbild besonders instabil sein kann (Gorman et al. 1988; Papp et al. 1989; Wilhelm et al. 2001a, b). Ein respiratorischer Belastungstest kann beispielsweise darin bestehen, dass der Patient entweder für mehrere Minuten Luft einatmen muss, die 5 % Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) enthält, oder wiederholt (von Pausen unterbrochen) während eines Atemzugs Luft einatmet, die 20 % CO<sub>2</sub> enthält. Ein weniger belastendes Verfahren, das ähnliche Informationen liefern kann, ist der Hyperventilationstest mit einer anschließenden verlängerten Erholungsphase (Wilhelm et al. 2001) (> Abb. 7.3).

Nicht nur Reaktionen auf Belastung, sondern auch die physiologische Erholung nach einem Test sind von Interesse, da die Erholungsgeschwindigkeit für die Regulierung von Emotionen (z. B. das „Abkühlen“ nach Erregung) aussagekräftig sein kann (Fredrickson et al. 2000; Roth et al. 1998).

Die Fähigkeit zur Emotionsregulation ist vor allem mithilfe von 2- bis 5-minütigen emotional dichten Videofilmclips untersucht worden (Gross und Levenson 1995). Zu den Grundemotionen, die sich durch Filme induzieren lassen, gehören Angst oder Furcht, Ärger, Traurigkeit, Ekel, Verachtung, Freu-

**Abb. 7.3** Messung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts der ausgeatmeten Luft (endtidaler  $\text{pCO}_2$ ) bei einem Hyperventilationstest (1-Minuten-Mittelwerte und Standardfehler): Eine Baseline-Messung (B) wird gefolgt von kurzen Phasen mit schnellem und tiefem Atmen (Hyperventilation, HV) und einer 10-minütigen Erholungsphase. Panikpatienten zeigen im Vergleich zu Vergleichsprobanden bereits in der Baseline geringfügig reduzierte Werte, und dann eine deutlich verzögerte  $\text{pCO}_2$ -Normalisierung nach Hyperventilation, was auf Störungen der Atemregulation hinweist (modifiziert nach Wilhelm et al. 2001).



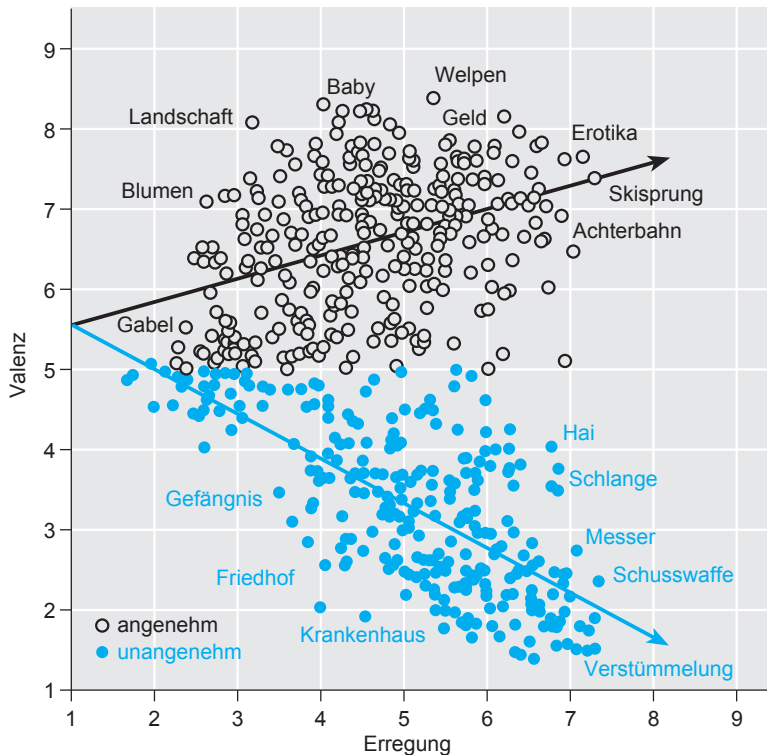
de und Überraschung. Trotz der unterschiedlichen Formen des Gefühlsausdrucks in verschiedenen Kulturen und Altersgruppen lassen sich gemeinsame Elemente oder prototypische Muster identifizieren (Plutchik 1980). Physiologisch gesehen ähneln sich viele Emotionen darin, dass sie zu einer generalisierten Aktivierung führen, die eine Quantifizierung der Emotionsintensität erlaubt, vor allem wenn mehrere Messwerte aggregiert werden. Die Muster physiologischer Reaktionen lassen sich zum einen auf die unterschiedliche Qualität von Emotionen oder Belastungssituationen zurückführen („situations-spezifische Reaktionsspezifität“) und zum anderen auf Unterschiede zwischen einzelnen Individuen, die auf bestimmte Art und Weise physiologisch reagieren („individualspezifische Reaktionsstereotypie“). Vom physiologischen Reaktionsmuster allein kann üblicherweise nicht auf die Art von Emotionen, die eine Person gerade erlebt, geschlossen werden; dies erfordert vielmehr zusätzliche Kontextinformationen wie etwa Einzelheiten zur jeweiligen Aufgabe oder Situation, zu Gesichtsausdruck und Verbalisierungen. Gegenwärtig versucht man allerdings, moderne Mustererkennungsverfahren auf die Klassifizierung des affektiven Zustands allein auf der Grundlage physiologischer Signale anzuwenden (Christie und Friedman 2004; Picard et al. 2001; Kreibitz et al. 2007).

Ein Großteil der psychophysiologischen Forschung hat sich mit Kurzzeitreaktionen (innerhalb von rund 5 Sekunden) auf spezifische Stimuli auseinandergesetzt, mit deren Hilfe sich frühe Aufmerksamkeits- und Reaktionstendenzen erfassen lassen. Anstatt bestimmte physiologische Variablen als Indikatoren bestimmter psychologischer Konstrukte (wie etwa spezifischer Emotionen) zu begreifen, hat es sich als nützlich erwiesen, physiologische Veränderungsmuster in Hinblick auf ihre psychologisch relevante Funktionen zu ordnen (z. B. Orientierungsreflex, Aufmerksamkeitszuwendung, Abwehrreaktion). Auf der untersten Ebene werden Handlungstendenzen bei Menschen und Tieren durch appetitive vs. defensive Motivations- und Emotionssysteme auf der einen und die Intensität der Reaktionstendenz auf der anderen Seite bestimmt. Somit erfasst eines der primären psychophysiologischen Assessment-

Paradigmen, das Rückschlüsse auf Motivationen und Emotionen erlaubt, physiologische Reaktionen auf die Präsentation von Bildstimuli, die sich hinsichtlich der unabhängigen Dimensionen der Valenz (und einer damit einhergehenden Annäherungs- oder Vermeidungstendenz) und Erregung (*Arousal* und einer damit einhergehenden allgemeinen psychophysiologischen Aktivierung) unterscheiden. Mittels dieser beiden Dimensionen kann jedes Bild auf eine bestimmte Koordinate im „affektiven Raum“ bezogen werden (> Abb. 7.4). Um standardisierte Assessments voranzubringen, wurde eine Vielzahl von Bildern entwickelt, die für Erwachsene und Kinder normiert wurden und ihre Valenz- und Erregungsniveaus spezifizieren (*International Affective Picture System*, IAPS; Lang et al. 1995).

In ähnlicher Weise und zu demselben Zweck wurden auch Geräusche von 6 Sekunden Dauer in einer Datenbank gesammelt (*International Affective Digital Sounds*, IADS; Bradley und Lang 2000). Diese über Computer in standardisierter Weise präsentierten Stimuli finden im Rahmen der Untersuchung grundlegender affektiver Reaktionsmuster breite Anwendung (Lang et al. 1990). Die Stärke der Hautleitfähigkeitsreaktion (*skin conductance response*, SCR) auf den Stimulus gilt üblicherweise als Maß der ausgelösten allgemeinen psychophysiologischen Aktivierung oder Erregung. Die Intensität des durch Schreck ausgelösten Blinzelreflexes (*eye-blink startle reflex*) auf einen 95 dB Geräuschimpuls (50 ms), die mittels zweier kleiner unterhalb des Auges (*M. orbicularis oculi*) angebrachter EMG-Elektroden erfasst wird, gilt in der Valenzbewertung üblicherweise als das beste Maß. Dieser Reflex wird verstärkt, wenn die Valenz eines Stimulus als negativ empfunden wird (z. B. Spinne, Verletzung, Waffe), und er wird abgeschwächt, wenn die Valenz positiv ist (z. B. Baby, Blume, Schokolade; sog. „Affektmodulation des Schreckreflexes“). Damit stehen objektive Maße zur Verfügung, um basale Motivations- und Emotionsprozesse beim Menschen abzubilden und so beispielsweise Veränderungen dieser Prozesse bei bestimmten psychischen Störungen nachzuweisen.

Darüber hinaus wurden und werden weitere Stimuli für spezifische Untersuchungszwecke entwickelt. Um beispielsweise



**Abb. 7.4** Verteilung von Bildern des *International Affective Picture System* im affektiven Raum aufgrund ihrer normativen Bewertungen hinsichtlich Erregung und Valenz (modifiziert nach Lang et al. 2005). Spezifische Bilder aus dieser Bilderserie werden häufig in psychophysiologischen Untersuchungen verwendet, um basale Motivations- und Emotionsprozesse abzubilden (zur Veranschaulichung sind einige der Bildkoordinaten mit Beschreibungen versehen.)

Reaktionen auf Gesichter mit unterschiedlichen emotionalen Gesichtsausdrücken zu untersuchen, wurde die NimStim-Datenbank von Bildern entwickelt, die unter [www.macbrain.org/faces](http://www.macbrain.org/faces) heruntergeladen werden kann. Einzelne Forschungsgruppen haben ihre eigenen Stimuli entwickelt, darunter auch Stimulusmaterial für die Messung ereignisbezogener Hirnpotenziale (ERPs; z. B. Benasich et al. 2002). Elementare Paradigmen messen die Geschwindigkeit der Habituation einzelner ERP-Komponenten gegenüber Sinustönen unterschiedlicher Tonhöhe, die mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten präsentiert werden, oder die Probanden werden gebeten, auf Töne einer bestimmten Tonhöhe zu achten und die anderen zu ignorieren, um die aufmerksamkeitsabhängige P300-Amplitude zu beurteilen.

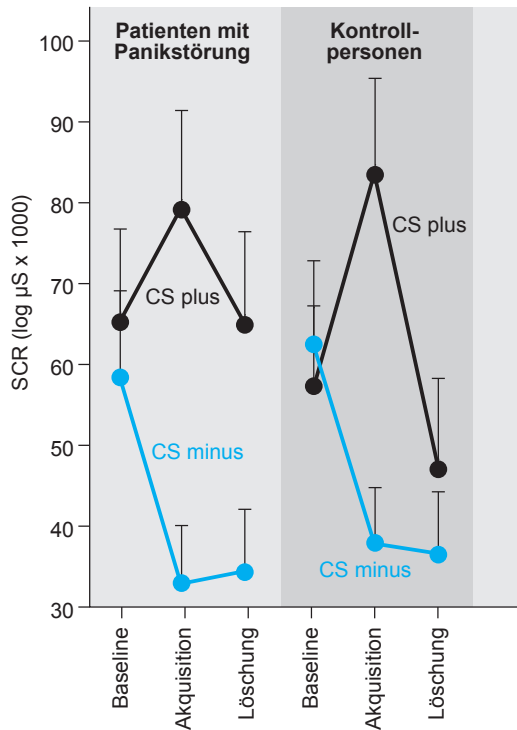
Auch Konditionierungsstudien profitieren von der computergestützten Stimuluspräsentation. Hierbei wird mehrmals ein neutraler Stimulus (*conditioned stimulus*, CS, z. B. eine geometrische Form) mit einem starken appetitiven Reiz (z. B. ein Nahrungsmittel) oder einem aversiven Reiz (z. B. Lärm) gepaart präsentiert. Der CS kann in der Folge eine ähnliche physiologische Reaktion (konditionierte Reaktion) auslösen wie der aversive Reiz. Der am häufigsten verwendete physiologische Parameter für die konditionierte Reaktion ist das Ausmaß der Hautleitfähigkeitsreaktion (zu Einzelheiten s. den Abschnitt unten). Mit diesem elementaren Paradigma lassen sich die appetitive oder die aversive Konditionierbarkeit erfassen, um grundlegende emotionale Lernprozesse zu bewerten, wie sie beispielsweise bei der Entstehung von Angststörungen eine Rolle spielen (> Abb. 7.5).

### 7.2.3 Vom Zentrum zur Peripherie: Messmethoden

Weiter oben haben wir bei der Beschreibung methodischer Überlegungen und der für das psychophysiologische Assessment relevanten Paradigmen bereits auf mehrere häufig benutzte psychophysiologische Messgrößen hingewiesen. Im Weiteren sollen die gebräuchlichsten Messgrößen und ihre Relevanz systematisch erläutert werden.

#### Messgrößen des zentralen Nervensystems

Elektroenzephalographische (EEG) Messgrößen, darunter evokierte Reaktionspotenziale (ERPs, auch ereigniskorrelierte Potenziale genannt) stellen eine nichtinvasive Methode zur Überwachung der Gehirnaktivität mit einer hervorragenden zeitlichen Auflösung dar. Dagegen ist die räumliche Auflösung selbst bei Verwendung von EEG-Hauben mit hoher Elektrodendichte (*high-density electrode head gowns*, mit z. B. 128 Elektroden) und spezieller Quellenlokalisierungssoftware begrenzt. Magnetenzephalographische (MEG-) Parameter haben eine ausgezeichnete zeitliche und eine gute räumliche Auflösung, ihre Implementierung ist aber sehr kostspielig, sodass nicht sehr viele derartige Anlagen existieren. Einige medizinische Zentren verfügen über Positronenemissionstomographen (PET), mit denen sich die Areale der Aktivierungen im Gehirn gut bestimmen lassen. Dieses Verfahren macht aber die Injektion eines radioaktiven Tracers erforderlich und ist somit im



**Abb. 7.5** Messung der Hautleitfähigkeitsreaktion zur objektiven Quantifizierung der konditionierten Reaktion während eines klassischen Konditionierungstests mit aversiven Reizen als US (Mittelwerte und Standardfehler). Bei Patienten mit Panikstörung zeigt sich nach einer Baseline (B) eine normale Akquisition (A), jedoch eine beeinträchtigte Löschung (L). CS plus = neutraler Reiz, der mit dem aversiven Reiz gepaart präsentiert wird; CS minus = Kontrollreiz. Dieser psychophysiologische Test kann Hinweise auf Veränderungen im Erlernen und Verlernen von emotionalen Reaktionen geben, die bei der Entstehung und Aufrechterhaltung einer Störung eine Rolle spielen können (modifiziert nach Michael et al. 2007).

Rahmen des psychophysiologischen Assessments nicht die Messgröße der Wahl. Funktionelle Magnetresonanztomographen (fMRT) sind mittlerweile an vielen Universitäten und Krankenhäusern verfügbar. Ähnlich wie bei der PET bildet das fMRT-Signal hämodynamische Veränderungen von Hirnarealen ab (Durchblutung, Blutoxygenierung etc.). Wegen der verzögerten hämodynamischen Reaktionen auf lokale Hirnaktivitätsveränderungen handelt es sich eher um indirekte Messungen mit einer zeitlichen Auflösung in der Größenordnung von Sekunden. Erfasst wird das sog. BOLD-Signal (BOLD = *blood-oxygen level dependent signal*). Die fMRT ermöglicht die Identifizierung von Bereichen des Gehirns, die mit Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Emotion und Kognition zusammenhängen. Gute Einführungen und Vorträge zu diesen Methoden sind im Internet im Video- und Audioformat zugänglich (z. B. [www.umich.edu/~fmri/course](http://www.umich.edu/~fmri/course)).

Auch wenn es sich bei der fMRT im Hinblick auf das psychophysiologische Assessment um ein attraktives Instrument handelt, ist diese Methode auch mit Nachteilen verbunden. Der starke Magnet im Aufnahmeraum verlangt besondere Vorsichtsmaßnahmen; so muss etwa verhindert werden, dass

eisenhaltige Gegenstände mit in den Raum genommen werden, da diese zu Schäden oder Verletzungen führen können. Die Untersuchung findet in einer engen Röhre statt, die von manchen als unangenehm erlebt wird. Ferner werden während der Aufnahme sequenzen starke Radiowellen eingesetzt, die mit dem Magnetfeld interferieren und sehr laute Geräusche erzeugen.

Eine überzeugende Alternative zu Gehirnaufnahmen stellen bei bestimmten Forschungsfragen periphere Messgrößen dar. Einige periphere Parameter lassen sich gut auf bestimmte Gehirnprozesse zurückführen. So sind beispielsweise die Größe der Hautleitfähigkeitsreaktion und des durch Schreck ausgelösten Blinzelreflexes (*eye-blink startle reflex*) Indikatoren der Amygdala-Aktivierung, jedoch kostengünstig und wenig belastend zu erheben. Die neuronalen Verknüpfungen zwischen Amygdala und diesen beiden peripheren Messgrößen sind gut spezifiziert. Moderne EEG-Messsysteme mit zahlreichen in eine Haube integrierten Elektroden stellen eine weitere Alternative zu den kostenintensiven Scannern dar und sind mittlerweile auch relativ kostengünstig im Handel erhältlich. Diese Systeme beinhalten anspruchsvolle Software für das Bearbeiten der Rohdaten und stellen analytische Verfahren zur Verfügung, mit denen sich spezifische Fragestellungen beantworten lassen, so etwa die spektrale Power in bestimmten Frequenzbereichen an bestimmten Stellen der Kopfhaut, die Quellenlokalisierung, Zeitpunkt und Muster der Aktivierungsausbreitung als Reaktion auf einen Stimulus, kollektiv gemittelte ERP-Kurven und Kohärenz von Wellen unterschiedlicher Ableitorte.

## Messgrößen des somatischen Nervensystems

Muskelreaktionen stehen direkt an der Schnittstelle zwischen Physiologie und sichtbarem Verhalten. Sie lassen sich problemlos mithilfe kleiner elektromyographischer (EMG-) Oberflächenelektroden erfassen, die an geeigneten Stellen platziert werden. Beispielsweise lassen sich auf diese Weise Spannungen im Unterarm oder im Nacken, die im Zusammenhang mit Stress oder Angstzuständen auftreten können, zuverlässig quantifizieren. Speziellere Anwendungen sind die Messung von Änderungen des Gesichtsausdrucks durch Platzieren von Elektroden über bestimmten, am Emotionsausdruck beteiligten Muskeln. Zu den am häufigsten beurteilten Muskeln gehören wohl der für das Stirnrunzeln verantwortliche *M. corrugator supercilii* und der am Lächeln beteiligt *M. zygomaticus major*. Beide gelten als gute Kenngrößen für die Bewertung der Valenz von Stimuli. Die EMG-Amplitude der Schreckreaktion wurde bereits oben im Zusammenhang mit der Erfassung von Reaktionen anhand von IAPS-Bildern zur Charakterisierung von Reaktionen im affektiven Raum beschrieben. Diese Messung erfolgt mittels zweier Elektroden unterhalb des Auges (über dem *M. orbicularis oculi*) und erfordert einen sekundären Stimulus, der stark genug sein muss, um einen defensiven Schreckreflex auszulösen. Häufig werden zur Schreckauslösung weißes Rauschen (95 dB, 50 ms Dauer), das

über Kopfhörer übertragen wird, auf das Auge gerichtete Luftstöße oder Blitzlicht verwendet. Eine alternative Messmethode stellt die Präpuls-Inhibition (PPI) dar. Hierbei geht ein schwächerer Ton (z. B. 1000 Hz, 70 dB) dem plötzlichen schreckauslösenden Geräusch voraus und verhindert so die vollständige Auslösung des Schreckreflexes. Als Maß der PPI gilt dabei der relative Unterschied zwischen dem vollständigen und dem inhibierten Reflex. Diese Messgröße wird mit der dopaminergen Gehirnaktivität und Persönlichkeitseigenschaften bei Erwachsenen in Zusammenhang gebracht (z. B. Alessi et al. 2003).

Eine einfache Möglichkeit zur Messung der Aufmerksamkeit auf visuelle Stimuli sind Augenbewegungen. Neben der Verwendung von Eye-Trackern, lassen sich diese unaufdringlich und kostengünstig mittels der Elektrookulographie (EOG) aufzeichnen. Die Augen wirken wie ein Dipol, und die Blickrichtung kann aus Änderungen der Spannung geschlossen werden, die mit ober- und unterhalb des Auges (an Stirn und Wangenknochen) sowie an der linken und rechten Schläfe platzierten Elektroden gemessen wird. Wichtig ist dabei natürlich, dass der Patient den Kopf still hält, was durch einen speziellen Sessel sichergestellt werden kann, der leicht nach hinten gekippt wird und über eine Kopfstütze verfügt. Initial muss dabei die Blickrichtung individuell kalibriert werden. Dazu lässt man den Patienten auf Stimuli blicken, die ihm in den einzelnen Ecken des Computerbildschirms präsentiert werden. Der zeitliche Verlauf der Blickrichtung auf bestimmte Areale des gezeigten Bildstimulus ist dabei ein Maß der aufgewendeten Aufmerksamkeit. EOG-Signale lassen sich auch hinsichtlich der Häufigkeit von spontanem Augenblinzeln auswerten, die bei Angst gesteigert (Kojima et al. 2002) und bei Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung vermindert (Konrad et al. 2003) ist. Grobe Körperbewegungen können über ein am Stuhl, an der Brust oder Schulter angebrachtes Akzelerometer erfasst werden. Ein solches Gerät kann bei der Bewertung anderer Biosignale, dem Nachweis von Bewegungsartefakten oder bei Störungen wie Angst, Depression oder Hyperaktivität als Index der Ruhelosigkeit dienen. Ferner sind mobile Handgelenk-Geräte verfügbar, die zur Aufzeichnung von Aktivitäts- und Schlafmustern tage- oder sogar wochenlang getragen werden können (Teicher 1995).

## Messgrößen des autonomen Nervensystems

Das autonome Nervensystem besteht aus dem sympathischen und dem parasympathischen Zweig, der verschiedene Zielorgane, darunter Herz, Lunge, Haut, Darm und Gefäße innerviert. Viele der häufig eingesetzten psychophysiologischen Parameter sind ein Index der sympathischen oder der parasympathischen Funktion oder ihrer Kombinationen. Bis vor kurzem nahmen Forscher üblicherweise an, dass die autonome Kontrolle von doppelt innervierten Zielorganen am besten als Kontinuum zu betrachten ist, das von parasympathischer bis hin zu sympathischer Dominanz reicht. Heutzutage weiß man,

dass diese beiden Systeme in gewissem Umfang unabhängig voneinander arbeiten können (sog. „autonomer Raum“, Berntson et al. 1991; Stemmler et al. 1991). Sogar innerhalb der autonomen Zweige können Aktivierungsmuster organspezifisch sein. Eine solche Organisation gewährleistet die effiziente Koordination zwischen den Systemen, wenn jeweils unterschiedliche Anforderungen an sie gestellt werden. Die zuverlässige Erfassung der Herzfrequenz mithilfe des Elektrokardiogramms (EKG) ist vergleichsweise einfach. Die Herzfrequenz wird dual vom sympathischen (Beschleunigung) und vom parasympathischen (Verlangsamung) Zweig des autonomen Nervensystems beeinflusst und ist wahrscheinlich der sensitivste peripher-physiologische Indikator von Angst, wenn muskuläre Körperaktivität minimiert ist (Wilhelm und Roth 1998).

Gewöhnlich werden zur unabhängigen Charakterisierung der sympathischen und der parasympathischen Innervierung des Herzens die Präejektionsphase (*pre-ejection period*, PEP) und die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) als Kenngrößen verwendet (Berntson et al. 1991). Die PEP, die durch die Kombination von EKG- und impedanzkardiographischen (ICG) Signalen bestimmt wird, bezeichnet die Phase zwischen dem Einsetzen der Depolarisation des linken Ventrikels (Q-Welle im EKG) und dem Beginn des Blutauswurfs während der systolischen Kontraktion (ersichtlich im ICG-Signal). Eine vermehrte  $\beta$ -adrenerge sympathische Aktivierung des Herzmuskels beschleunigt diesen Prozess. Für ein zuverlässiges Assessment müssen mindestens vier Elektroden (an Hals und Brust) befestigt werden, und die untersuchte Person sollte sich möglichst wenig bewegen.

Die RSA kann aus den atemsynchron auftretenden Schwankungen der Herzfrequenz (gemessen über die Intervalle zwischen aufeinander folgenden R-Zacken im EKG) ermittelt werden. Während der Einatmung ist dieses RR-Intervall kürzer (die Herzfrequenz ist höher) als während der Ausatmung – ein Effekt, der hauptsächlich durch den kardialen parasympathischen Nerv vermittelt wird. Mit dem Maximum-Minimum-Verfahren (Peak-Valley-Methode) wird der Unterschied zwischen dem mit der Atmung assoziierten Tiefst- und Höchstwert des RR-Intervalls ermittelt (Grossman et al. 1990). Frequenzanalytische Methoden wie z. B. spektralanalytische, autoregressive oder komplexe Demodulationsberechnungen (Wilhelm et al. 2005) messen Veränderungen innerhalb eines festgelegten Atemfrequenzbereichs (hochfrequenter Bereich oder HF: 0,15–0,50 Hz).

Die Gleichsetzung von Maßen der RSA mit dem „Vagotonus“, wie sie häufig geschieht, stellt eine ungerechtfertigt grobe Vereinfachung dar. *Individuelle Unterschiede* im kardialen Vagotonus hängen enger mit Unterschieden der Ausgangsherzfrequenz zusammen als mit der Höhe der RSA, und selbst *intraindividuelle Änderungen* der RSA können durch gleichzeitige Entladungen in den kardialen Sympathikusfasern beeinflusst sein (Grossman und Taylor 2007). Zudem kann die Beziehung zwischen der RSA und der Kontrolle des kardialen Parasympathikus *intraindividuell* durch akute Änderungen der Atemfrequenz und der Atemtiefe, wie sie oftmals mit Änderungen des

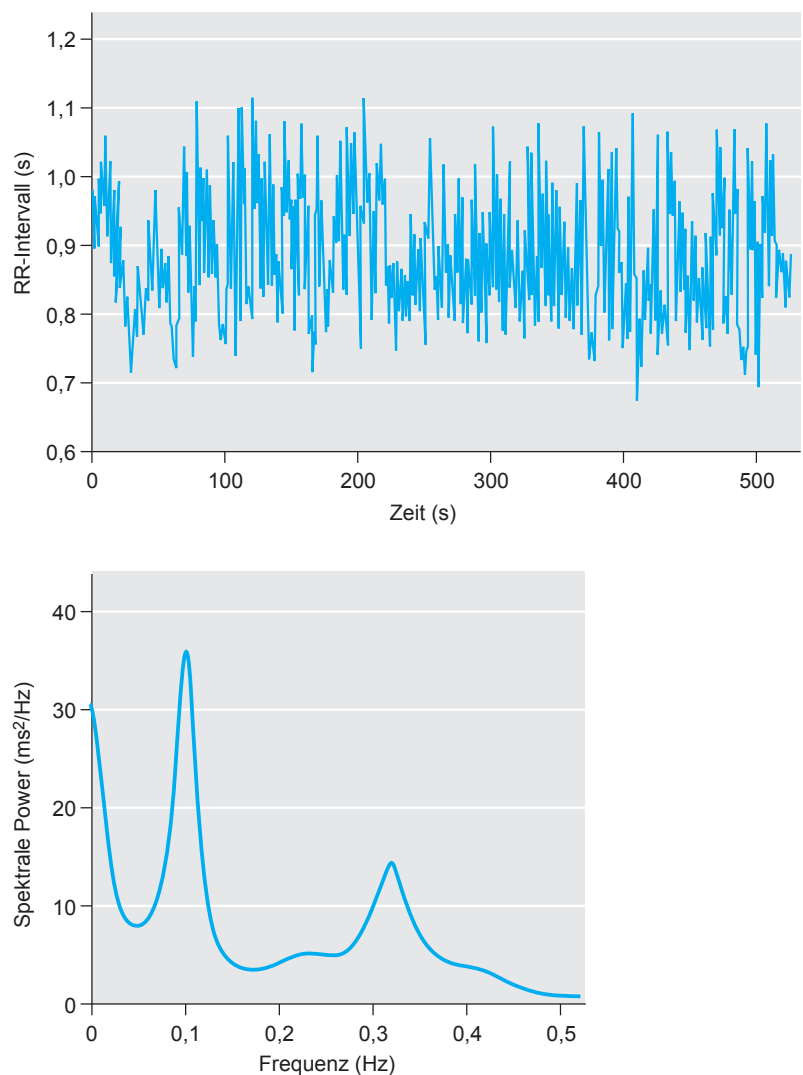
Emotionsstatus einhergehen, abgeschwächt werden. Inzwischen wurden Verfahren entwickelt, um den Einfluss dieser Störgrößen zu kompensieren (z. B. in Grossman et al. 2004; Wilhelm et al. 2004).

Die RSA ist aber nur eine Komponente der Herzfrequenzvariabilität (> Abb. 7.6). Eine weitere Quelle für systematische Schwankungen der Herzfrequenz ist das Auftreten von langsamer verlaufenden Wellen etwa alle 10 Sekunden (niederfrequenter Bereich oder LF: 0,04–0,15 Hz). Dieser 10-Sekunden-Rhythmus ist Ausdruck sowohl sympathischer als auch parasympathischer Einflüsse auf das kardiovaskuläre System und mit einer effizienten Blutdruckregulierung assoziiert. Das LF/HF-Verhältnis gilt als Index des sympathovagalen Gleichgewichts; allerdings wird seine Validität angezweifelt, weshalb er nicht als Primärmaß empfohlen wird (Berntson et al. 1997). Eine dritte Komponente sind Herzfrequenzschwankungen alle 25–300 Sekunden (sehr niederfrequenter Bereich oder VLF: 0,0033–0,04 Hz). Abgesehen von sympathischen und parasympathischen Efferenzen kann diese Komponente auch vom ther-

moregulatorischen, vom peripher vasomotorischen und vom Renin-Angiotensin-System beeinflusst sein.

Die RSA sowie andere Maße der parasympathischen und sympathischen Steuerung der Herzfunktion werden in Zusammenhang gebracht mit Verhaltensstörungen wie antisozialem Verhalten (Beauchaine 2001; Mezzacappa et al. 1997), Feindseligkeit und familiären Konflikten (Salomon et al. 2000) sowie mit Angststörungen, z. B. mit der posttraumatischen Belastungsstörung und Panikstörung (Blechert et al. 2007).

Obwohl sowohl die Herzfrequenz als auch die elektrodermale Aktivität von sympathischen Efferenzen beeinflusst werden, sind diese Messgrößen nicht redundant. Gray (1975) unterscheidet zwischen zwei Motivationssystemen, die er als Verhaltensaktivierungssystem (behavioral activation system, BAS) und Verhaltenshemmsystem (*behavioral inhibition system*, BIS) bezeichnet. Fowles (1980, 1987, 1988) hat nachgewiesen, dass die Herzfrequenzreaktionen in erster Linie die Aktivität des BAS und die elektrodermalen Reaktionen die des BIS widerspiegeln. Bei der Untersuchung der zugrunde liegenden



**Abb. 7.6** Beispiel einer RR-Intervall-Messung während einer ca. 9-minütigen *Baseline* (a) und der dazu gehörigen Quantifizierung der Herzfrequenzvariabilität mittels spektralanalytischer Zerlegung der Frequenzanteile (b). Sichtbar sind die drei typischen Gipfel im niedrigen, mittleren und hohen Frequenzbereich (Details siehe Text).



Mechanismen von Impulskontroll- oder Angststörungen scheinen sich Herzfrequenz und Hautleitfähigkeitswerte (*skin conductance level*, SCL) demnach zu ergänzen.

Die respiratorische Aktivität wird u. a. durch das autonome Nervensystem beeinflusst und reagiert auf kognitive, emotionale, und motorische Veränderungen (Wientjes und Grossman 1998). Die Atembewegungen werden üblicherweise durch das Anlegen dehnbare Gurte um Brust und Bauch nichtinvasiv erfasst. Die beiden Gurte ermöglichen die zuverlässige Messung von Änderungen bezüglich der Menge der mit jedem Atemzug eingeatmeten Luft. Zuvor muss jedoch eine Kalibrierung gegen ein bekanntes Volumen durchgeführt werden. Beide Signale müssen dann addiert werden, da die Verteilung der Atmungsaktivität zwischen Brust und Bauch schwanken kann. Kapnographisch ermittelte CO<sub>2</sub>-Werte am Ende der Ausatmung ergänzen die Bewertung von zeitlichen (z. B. Atemfrequenz) und volumetrischen (z. B. Atemzugvolumen) Messgrößen, da sie Auskunft über den CO<sub>2</sub>-Gehalt des arteriellen Blutes und damit über Hyperventilationstendenzen geben. Hyperventilation steht in Zusammenhang mit Angst im Allgemeinen (Alpers et al. 2005) und mit der Diagnose von Panikstörungen im Besonderen (Klein 1993; Wilhelm et al. 2001; ➤ Kap. 66).

### Messgrößen des neuroendokrinen Systems

Eine Erörterung des psychophysiologischen Assessments wäre ohne eine Beschreibung der neuroendokrinen Messgrößen unvollständig. Speichel-Kortisol ist der am häufigsten verwendete Parameter: Zum einen ist es ein zuverlässiger Marker der Funktion der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse und kann zu einem besseren Verständnis der menschlichen Stressreaktion beitragen. Zum anderen kann das Speichel-Kortisol mit modernen Methoden relativ leicht und nichtinvasiv (d. h. ohne Blutentnahme) gewonnen werden (Schmidt 1998). Außerdem werden im Zusammenhang mit Stress sowie psychiatrischen und psychosomatischen Erkrankungen gegenwärtig zahlreiche weitere neuroendokrine Parameter eingesetzt (de Kloet 2008; Heinrichs und Gaab 2007), deren Erörterung den Rahmen dieses Kapitels jedoch sprengen würde.

## 7.3 Zusammenfassung

Die Psychophysiologie ist eine ausgesprochen vielfältige wissenschaftliche Richtung, die attraktiv ist für Forscher und Praktiker mit Interesse an der Erkundung des „Mikrokosmos“, in dem sich das komplizierte Wechselspiel zwischen Erleben,

Verhalten und Physiologie des Menschen abspielt. Psychophysiologische Methoden öffnen ein neues Fenster für das Verständnis der biologischen Grundlagen von Kognition, Emotion und Verhalten bei Gesunden und bei Menschen mit verschiedensten Störungen. Im Rahmen klinischer Anwendungen können diese Verfahren im Hinblick auf die Objektivierung von Diagnosen im Zusammenhang mit emotionalen Störungen, bei der Beobachtung von Behandlungsfortschritten oder für sich genommen auch als zusätzliche Behandlungsmodalität von Nutzen sein. Bislang hat sich die psychophysiologische Forschung weitgehend mit grundlegenden Fragen wie der Identifizierung der an spezifischen kognitiven und emotionalen Reaktionen beteiligten Bahnen im Gehirn und im peripheren Nervensystem befasst. Auch wenn diese Forschung unser Verständnis der Zusammenhänge zwischen Körper und Geist/Seele bedeutend verbessert hat, sind die Auswirkungen dieser Disziplin auf die klinische Praxis – mit Ausnahme der Beurteilung von Schlafstörungen und des Schmerzmanagements – bisher gering gewesen (Roth 1998). Die zunehmende Verfügbarkeit kostengünstiger, doch ausgeklügelter nichtinvasiver Untersuchungsdesigns kann Antworten auf ätiologische Fragen geben, etwa auf die Frage, welche Prozesse während der frühen Entwicklung Risiko- oder vermittelnde Faktoren für eine spätere Anpassungsstörung darstellen (Kraemer et al. 1997, 2001). Darüber hinaus bestehen wichtige Verbindungen zur aufstrebenden Disziplin der genetischen Psychophysiologie (de Geus 2002), weil man davon ausgehen kann, dass die mit der Aufmerksamkeits- und Emotionsregulation in Zusammenhang stehenden grundlegenden psychophysiologischen Prozesse als Mittler zwischen der Genexpression und komplexen psychosozialen Verhaltensweisen, kognitiven Fähigkeiten und psychischer Gesundheit wirken.

### Anmerkung des Autors

Die Erstellung dieses Kapitels wurde durch die Freiwillige Akademische Gesellschaft (FAG) Basel und vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF) unterstützt.