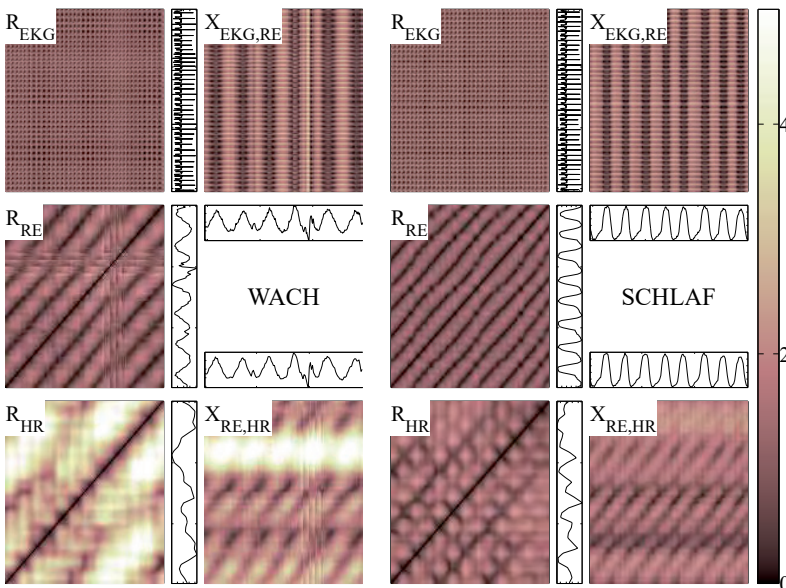


Jérôme Rolink

## Schlaf/Wach-Klassifizierung mit kardiorespiratorischen Merkmalen der Recurrence Quantification Analysis



## Aachener Beiträge zur Medizintechnik

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Dr. h. c. Steffen Leonhardt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode

# **Schlaf/Wach-Klassifizierung mit kardiorespiratorischen Merkmalen der Recurrence Quantification Analysis**

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der  
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des  
akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte  
Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur  
Jérôme Philippe Rolink (geb. Fossier)  
aus Köln

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt  
Prof. Dr. rer. physiol. Thomas Penzel

Datum der mündlichen Prüfung: 07.09.2018



**Aachener Beiträge zur Medizintechnik**

**50**

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Dr. h. c. Steffen Leonhardt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode

**Jérôme Rolink**

---

**Schlaf/Wach-Klassifizierung mit  
kardiorespiratorischen Merkmalen der  
Recurrence Quantification Analysis**

Ein Beitrag aus dem Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik  
(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. h. c. Steffen Leonhardt).

---

**RWTHAACHEN**  
**UNIVERSITY**

---

Shaker Verlag  
Aachen 2018

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2018)

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6370-7

ISSN 1866-5349

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

---

*„Sapere aude - Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen“  
(Horaz, 20 v. Chr. und Immanuel Kant, 1784)*



---

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik der RWTH Aachen und in den darauffolgenden Jahren entstanden. An dieser Stelle möchte ich allen danken, die dazu beigetragen haben.

Als Erstem äußere ich meinen Dank Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, der mir durch meine Anstellung Ende 2008 den Weg zur Promotion ermöglicht, mich die langen turbulenten Jahre betreut und mir das nötige Vertrauen während der gesamten Zeit geschenkt hat. Ebenfalls möchte ich mich bei Prof. Dr. rer. physiol. Thomas Penzel für die Übernahme des Koreferats und die Begutachtung der Arbeit, sowie bei Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Negra und Univ.-Prof. Ph.D. Monti für den Beisitz während der Prüfung, bedanken. Weiterer Dank geht an die Projektpartner der Firma Philips (erst in Aachen, anschließend in Eindhoven), die mich im Rahmen des Projektes stets beraten und unterstützt haben. Besonders der intensive Austausch mit Pedro Fonseca und Xi Long haben diese Arbeit erst ermöglicht.

Die Mitarbeiter des Lehrstuhls haben stets für eine sehr gute Stimmung gesorgt, welche ich lange in Erinnerung halten werde. Der fachliche Austausch hat mich an vielen Stellen weiter gebracht. Mit Katrin Lunze und Inga Elixmann habe ich viele Jahre das Büro geteilt, woraus eine wertvolle Freundschaft entstanden ist. Auch den beiden Sekretärinnen Frau Balzer-Sy und Frau Clever-Offermanns ist ein großer Dank auszusprechen, die sich im hektischen Alltag um alle Anliegen gewissenhaft gekümmert haben.

Einen großen Anteil an dieser Arbeit haben ebenfalls die Studierenden, deren HiWi-Tätigkeit, sowie Studien-, Bachelor- und Diplomarbeiten, ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter betreuen durfte: Lara Dammers (HiWine), Siying Wang (SA), Christoph Weiss (BA), Johannes Hahn (BA) und Ceren Mamaoglou (DA). Besonderer Dank geht an Martin Kutz, der im letzten Jahr meiner Tätigkeit am Lehrstuhl seine Diplomarbeit zur „Recurrence Quantification Analysis“ verfasst hat. Durch seine grundlegenden Untersuchungen konnte die Basis dieser Arbeit geschaffen werden.

Ich danke ebenfalls meinen Eltern, die mich immer gefördert und motiviert haben zu studieren. Sie haben mir das sorgenfreie Studium der Elektrotechnik an der RWTH Aachen ermöglicht, ohne das ich nicht derjenige wäre, der ich jetzt bin.

Bekanntlich kommt das Beste zum Schluss, denn größter Dank geht an meine Frau Gesa. Trotz ihrer eigenen Promotion konnte ich auf die stetige Unterstützung und ihren Rückhalt in den ganzen Jahren zählen. Ohne ihr Verständnis wäre diese Arbeit sicherlich nicht zustande gekommen.

November 2018





---

## Kurzfassung

Der zeitlich getriebene Lebenswandel führt zu einer reduzierten Schlafdauer im Alltag, wodurch das Risiko von resultierenden Schlafstörungen wächst. Zusätzlich findet ein demographischer Wandel zu einer immer älteren Bevölkerung statt. Durch den sich aus biologischen Gründen ändernden Schlaf steigt ebenfalls die Anzahl an Untersuchungen im Schlaflabor stetig an. Diese sind teuer, aufwendig und die vorhandenen Kapazitäten werden in Zukunft nicht ausreichen. Doch nicht jede Untersuchung muss mit einer kompletten Polysomnographie (PSG) durchgeführt werden, da in vielen Fällen bereits durch Änderung von Schlafgewohnheiten die Schlafqualität verbessert werden kann. Hierfür reicht eine Voruntersuchung, die ggf. im häuslichen Umfeld durchgeführt werden könnte. Der größte Aufwand bei der Schlafbewertung ist die Erfassung der Hirnströme mittels Elektroenzephalographie (EEG) bei einer PSG. Untersuchungen zeigen, dass bereits Aussagen über die Schlafqualität getroffen werden können, wenn lediglich kardiorespiratorische und aktigraphische Signale ausgewertet werden. Die Erfassung dieser Signale ist in der Regel einfacher als beim EEG und die Sensoren lassen sich von Laien platzieren. Durch geeignete Wahl von Sensoren werden so Messungen über mehrere Tage/Nächte auch zu Hause ermöglicht. Zudem ist der Schlafablauf durch die gewohnte Umgebung repräsentativer als im Schlaflabor. Aus den Zeitreihen des Elektrokardiogramms (EKG), der Atmung und der Extremitätenbewegungen werden Merkmale extrahiert, die eine Bewertung des Schlafes zulassen, analog zu einer klassischen PSG.

In dieser Arbeit werden mittels der Recurrence Quantification Analysis (RQA) 65 neuartige Merkmale vorgestellt, welche mit 126 bereits aus der Literatur bekannten Merkmalen zum einen verglichen und zum anderen kombiniert werden. Durch Nachbearbeitung aller Grundmerkmale mit mehreren Postprocessing-Algorithmen entstehen in Summe 1353 Merkmale. Die Merkmale mit der größten Relevanz werden vor der Klassifikation, beruhend auf der linearen Diskriminanzanalyse (LDA), mit Hilfe eines dafür entwickelten und effizienten Selektionsalgorithmus ausgewählt. Die Datenbasis besteht aus insgesamt 313 Nächten von 164 verschiedenen Probanden (ca. 2500 Stunden). Die Auswertungen werden u.a. anhand des Cohens Kappa-Koeffizienten ( $\kappa$ ) und durch Vergleich von „Receiver Operating Characteristics“- bzw. „Precision Recall“-Kurven durchgeführt. Mit einem probandenbasierten Kreuzvalidierungsverfahren wird gezeigt, dass die Klassifikationsergebnisse über alle Probanden durch Hinzufügen der neuen RQA-Merkmale zu den Literaturmerkmalen von  $\kappa = 0,589$  auf  $\kappa = 0,627$  verbessert werden. Durch Aufteilung der Probanden in etwa gleich große Alters- und Geschlechtsgruppen wird zusätzlich bewiesen, dass sich die Unterscheidung vom Schlaf- und Wachzustand mit Hilfe der eingesetzten Merkmale vor allem mit steigendem Alter verschlechtert. Gleichzeitig werden für diese Altersgruppe weniger relevante Merkmale als bei jungen Probanden

---

selektiert. Dies führt zu der Erkenntnis, dass in Zukunft der Fokus auf die Entwicklung von Merkmalen für ältere Personen zur Verbesserung der Klassifikation gesetzt werden sollte, da dort das größte Potential zu erwarten ist. Die Schlaf/Wach-Klassifikation mit kardiorespiratorischen Merkmalen ist für junge Personen bereits jetzt im Bereich der Performanz der Schlafexpertenklassifikation. Des Weiteren unterstützen die RQA-Merkmale die Ermittlung schlafbezogener Parameter, wie die Schlaffeffizienz oder die Gesamtschlafzeit, und verbessern zudem die Reliabilität.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.1.1	Geschichte der Schlafforschung	2
1.1.2	Schlafstörungen	4
1.1.3	Folgen des Schlafmangels	6
1.2	Motivation	8
<b>2</b>	<b>Medizintechnische Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1	Schlaf aus medizinischer Sicht	11
2.1.1	Funktionen und Mechanismen des Schlafes	11
2.1.2	Schlafphasen und -zustände	18
2.1.3	Schlaferfassung	26
2.1.4	Schlafkrankheiten mit hoher Prävalenz	33
2.2	Klassifikation	36
2.2.1	Automatisierte Schlafanalyse	37
2.2.2	Diskriminanzanalyse	38
2.2.3	Wahrheitsmatrix und statistische Gütekriterien	45
2.2.4	Graphische Darstellungen von Klassifikationsergebnissen	47
<b>3</b>	<b>Klassifikation von Schlafdaten</b>	<b>53</b>
3.1	Stand der Wissenschaft und Technik	53
3.1.1	HRV	54
3.1.2	Atmung	58
3.1.3	Kardiorespiratorische Kopplung	59
3.1.4	Aktigraphie	60
3.1.5	<i>Recurrence Quantification Analysis</i>	62
3.1.6	Weitere Schlafklassifikationssysteme	63
3.2	Methodik	65
3.2.1	Schlaflabordaten	66
3.2.2	Merkmalsextraktion	69
3.2.3	Merkmalsselektion	88
3.2.4	Kreuzvalidierung	92
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>97</b>
4.1	<i>First-Night-Effect</i>	97
4.2	Merkmalsextraktion	99
4.2.1	Signalvorverarbeitung der Atemanstrengung	99
4.2.2	<i>(Cross-)Recurrence</i> Plots	106

4.2.3	<i>Recurrence Quantification Analysis</i> . . . . .	109
4.3	Merkmalsselektion . . . . .	111
4.3.1	Literaturmerkmale . . . . .	113
4.3.2	RQA-Merkmale . . . . .	116
4.4	Auswertung der Klassifikation . . . . .	120
4.4.1	Kreuzvalidierung . . . . .	120
4.4.2	Zeitabhängigkeit . . . . .	124
4.4.3	Optimierung mit a-priori Wahrscheinlichkeit . . . . .	126
4.4.4	Einfluss von Alter und Geschlecht . . . . .	129
4.4.5	Ergebnisübersicht . . . . .	132
4.4.6	Schlafparameter . . . . .	134
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	<b>139</b>
5.1	Zusammenfassung . . . . .	139
5.2	Ausblick . . . . .	141
<b>A</b>	<b>Anhang</b> . . . . .	<b>143</b>
A.1	Studienteilnehmer . . . . .	144
A.2	Selektierte Merkmale . . . . .	153
	<b>Publikationsliste (nach Jahr sortiert)</b> . . . . .	<b>166</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>171</b>

## Symbolverzeichnis

$F_s$	Abtastrate ( <i>sampling frequency</i> ) in Hz
$\mu_x$	Mittelwert der Größe $x$
$\sigma_x$	Standardabweichung der Größe $x$
$\kappa$	Cohens Kappa-Koeffizient
$\dot{x}$	$\frac{dx}{dt}$ , Ableitung der Größe $x$ nach der Zeit $t$
$\mathbf{x}$	Vektor $x$
$\mathbf{x}^T$	transponierter Vektor $x$
$ \mathbf{x} $	Absolutwert des Vektors $x$
$\ \mathbf{x}\ ^2$	Euklidische Norm des Vektors $x$ , entspricht $\mathbf{x}^T \cdot \mathbf{x}$
$\mathcal{E}[\mathbf{x}]$	Erwartungswert des Vektors $x$
$x_i$	$i$ -te Zeile des Vektors $x$
$\mathbf{M}$	Matrix $M$
$ \mathbf{M} $	Determinante der Matrix $M$
$\mathbf{M}^{-1}$	Inverse der Matrix $M$
$M_{i,j}$	$i$ -te Zeile und $j$ -te Spalte der Matrix $M$
$\text{tr}(\mathbf{M})$	Matrixspur (Summe aller Diagonalelemente) der Matrix $M$
$N(\mu, \sigma)$	Normalverteilung mit Mittelwert $\mu$ und Standardabweichung $\sigma$
$N(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$	multivariate Normalverteilung mit Mittelwertvektor $\boldsymbol{\mu}$ und Kovarianzmatrix $\boldsymbol{\Sigma}$
$\lambda$	Regularisierungsparameter für die RDA
$\gamma$	Regularisierungsparameter für die RDA
$P(A)$	Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis A
$P(B A)$	Bedingte Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis B unter der Bedingung, dass Ereignis A eingetreten ist
$TP$	<i>True Positive</i> : Anzahl korrekt positiv getesteter Probanden
$TN$	<i>True Negative</i> : Anzahl korrekt negativ getesteter Probanden
$FP$	<i>False Positive</i> : Anzahl falsch positiv getesteter Probanden (Typ I Fehler)
$FN$	<i>False Negative</i> : Anzahl falsch negativ getesteter Probanden (Typ II Fehler)
$N_{krank}$	Anzahl kranker Probanden
$N_{gesund}$	Anzahl gesunder Probanden
$N_{pos}$	Anzahl positiv getesteter Probanden
$N_{neg}$	Anzahl negativ getesteter Probanden
$PREV$	<i>Prevalence</i> , Prävalenz
$PPV$	<i>Positive Predictive Value</i> , Präzision

<i>NPV</i>	<i>Negative Predictive Value</i>
<i>TPR</i>	<i>True Positive Rate, Recall, Sensitivität</i>
<i>FNR</i>	<i>False Negative Rate</i>
<i>FPR</i>	<i>False Positive Rate, Fall-out</i>
<i>TNR</i>	<i>True Negative Rate, Spezifität</i>
<i>ACC</i>	<i>Accuracy, Genauigkeit</i>
$\kappa$	Cohen's Kappa Koeffizient
$\epsilon$	Parameter für Toleranzbereich im RP
<i>REC</i>	RQA-Merkmal: Korrelation des Signals
<i>DET</i>	RQA-Merkmal: Verhältnis von Anzahl diagonalen Linienpunkte zur Gesamtpunktzahl eines RPs. Je größer dieser Wert, desto eher ist das Signal deterministisch
<i>L</i>	RQA-Merkmal: Durchschnittslänge sich wiederholender Trajektorien
<i>L<sub>max</sub></i>	RQA-Merkmal: Maß für die Konvergenz der Trajektorien (längste Diagonallinie im RP)
<i>ENT</i>	RQA-Merkmal: Entropie des RPs (klein für periodische oder unkorrelierte Signale)
<i>LAM</i>	RQA-Merkmal: Stationarität des Signals/Systems
<i>TT</i>	RQA-Merkmal: Länge in der ein Signal/System laminare Zustände annimmt
<i>V<sub>max</sub></i>	RQA-Merkmal: längste Vertikallinie im RP
<i>T(1)</i>	RQA-Merkmal: Mittlere Wiederkehrzeit eines Poincaré-Punktes (ähnlicher Zustand)
<i>T(2)</i>	RQA-Merkmal: Wie <i>T(1)</i> , jedoch wird nur der erste wiederkehrende Punkt (von möglichen vielen) betrachtet
<i>T<sub>rec</sub></i>	RQA-Merkmal: Maß für die Aperiodizität eines Systems/Signals
<i>clust</i>	RQA-Merkmal: Maß für die Vernetzung von Recurrence-Matrizen
<i>trans</i>	RQA-Merkmal: Ermöglicht das Erkennen von Übergängen dynamischer Systeme/Signale

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AASM</b>	<i>American Academy of Sleep Medicine</i> (S. 2, 3, 18, 19, 22, 26, 27, 30, 37, 67)
<b>APA</b>	<i>American Psychiatric Association</i> (S. 5)
<b>ApEn</b>	<i>Aproximate Entropy</i> (S. 59)
<b>ASDA</b>	<i>American Sleep Disorders Association</i> (S. 3, 22)
<b>ASDC</b>	<i>American Sleep Disorders Centers</i> (S. 3)
<b>AUC</b>	<i>Area Under Curve</i> (S. 49, 122)
<b>BKG</b>	Ballistokardiographie (S. 62, 142)
<b>BMI</b>	<i>Body Mass Index</i> (S. 67, 68, 144)
<b>BN</b>	<i>Bayesian Network</i> (S. 37, 54)
<b>CFS</b>	<i>Correlation-based Feature Selection</i> (S. 54)
<b>CPAP</b>	<i>Continuous Positive Airway Pressure</i> (S. 34, 61)
<b>CRF</b>	<i>Conditional Random Field</i> (S. 37)
<b>CRP</b>	Cross-Recurrence Plot (S. 82, 106–109)
<b>DFA</b>	<i>Detrended Fluctuation Analysis</i> (S. 54, 57, 73)
<b>DFW</b>	<i>Dynamic Frequency Warping</i> (S. 58)
<b>DGSM</b>	Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (S. 2–4, 26)
<b>DSM</b>	<i>Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders</i> (S. 5)
<b>DTW</b>	<i>Dynamic Time Warping</i> (S. 58)
<b>EDR</b>	<i>ECG Derived Respiration</i> (S. 54, 62)
<b>EEG</b>	Elektroenzephalographie (S. 1, 2, 8, 14, 18, 19, 21, 22, 26, 27, 29, 30, 37, 53, 54, 61)
<b>EKG</b>	Elektrokardiogramm (S. 2, 8, 18, 27, 29, 30, 33, 38, 54, 59–62, 65, 68, 71–73, 79, 86, 103, 104, 106, 109–111, 113, 116, 117, 139, 142)
<b>EMG</b>	Elektromyographie (S. 2, 18, 19, 21, 26, 27, 29, 35)
<b>EOG</b>	Elektrookkulographie (S. 2, 18, 21, 26, 27, 29)
<b>ESS</b>	Epworth Schläfrigkeitsskala (S. 26)
<b>FAN</b>	<i>Fixed Amount of Neighbors</i> (S. 82)
<b>FFT</b>	<i>Fast Fourier Transformation</i> (S. 54, 59, 62)
<b>FIR</b>	<i>Finite Impulse Response</i> (S. 71, 103)
<b>HF</b>	<i>High Frequency</i> (S. 54, 57, 62)
<b>HMM</b>	Hidden Markov Modell (S. 37–39, 54, 62)
<b>HR</b>	Herzrate (S. 106–108, 117, 139)
<b>HRV</b>	Herzratenvariabilität (S. 53, 54, 57–59, 61, 62, 73, 116)



<b>ICD</b>	<i>International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems</i> (S. 5, 33–36)
<b>ICSD</b>	<i>International Classification of Sleep Disorders</i> (S. 5, 33, 34, 36)
<b>JRP</b>	Joint-Recurrence Plot (S. 82)
<b>kNN</b>	<i>k-Nearest Neighbors</i> (S. 37, 54)
<b>LDA</b>	lineare Diskriminanzanalyse (S. 37, 44, 50, 51, 62, 65, 91, 111)
<b>LF</b>	<i>Low Frequency</i> (S. 54, 57, 62)
<b>LOI</b>	<i>Line Of Identity</i> (S. 80)
<b>LOOCV</b>	<i>Leave One Out Cross Validation</i> (S. 92)
<b>LOS</b>	<i>Line Of Synchronization</i> (S. 82)
<b>LOSOCV</b>	<i>Leave One Subject Out Cross Validation</i> (S. 54, 60, 62, 92, 93, 112, 120, 124, 125)
<b>LS</b>	<i>Light Sleep</i> (S. 19, 54, 59, 61, 62)
<b>LVQ</b>	<i>Learning Vector Quantization</i> (S. 37, 54)
<b>MLP</b>	<i>Multi-layer Perceptron</i> (S. 37, 54)
<b>mMMC</b>	<i>minimal mahalanobis distance maximum correlation</i> (S. 91, 111)
<b>MSE</b>	<i>Multi-scale Entropy</i> (S. 54)
<b>MSLT</b>	<i>Multiple Sleep Latency Test</i> (S. 25)
<b>MT</b>	<i>Movement Time</i> (S. 19)
<b>NREM</b>	<i>Non Rapid Eye Movement</i> (S. 1, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 23, 25, 57, 62, 81, 106, 107)
<b>OSA</b>	Obstruktive Schlaf-Apnoe (S. 3, 6, 26, 30, 32–34, 54)
<b>OSAS</b>	Obstruktive Schlaf-Apnoe-Syndrom (S. 34, 61)
<b>PCA</b>	<i>Principal Component Analysis</i> (S. 39)
<b>PLMD</b>	<i>Periodic Limb Movement Disorder</i> (S. 35, 36)
<b>PLMS</b>	<i>Periodic Limb Movement during Sleep</i> (S. 22, 35)
<b>PR</b>	<i>Precision-Recall</i> (S. 48–50, 49, 122, 126, 128)
<b>PSG</b>	Polysomnographie (S. 1–3, 8, 9, 16, 22, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 38, 53, 54, 60, 67–69, 98, 113, 139, 142)
<b>PSQI</b>	<i>Pittsburgh Sleep Quality Index</i> (S. 25, 26, 66)
<b>QDA</b>	quadratische Diskriminanzanalyse (S. 37, 44, 54)
<b>R&amp;K</b>	Rechtschaffen und Kales (S. 2, 18, 19, 26, 30, 37, 54, 67)
<b>RDA</b>	regularisierte Diskriminanzanalyse (S. xi, 44)
<b>RE</b>	<i>Respiratory Effort</i> (S. 58, 69, 71, 99–102, 104, 106–108, 111, 113, 117, 139)
<b>REM</b>	<i>Rapid Eye Movement</i> (S. 2, 11, 13–16, 18, 21–23, 29, 35, 57, 62, 106, 108)
<b>RF</b>	<i>Random Forest</i> (S. 54)

<b>RIP</b>	Respiratorische Induktionsplethysmographie (S. 29, 60, 62, 68, 69, 100, 101, 103, 142)
<b>RLS</b>	<i>Restless Legs Syndrome</i> (S. 3, 36)
<b>ROC</b>	<i>Receiver Operating Characteristic</i> (S. 48–50, 49, 122, 126, 128)
<b>RP</b>	<i>Recurrence Plot</i> (S. xi, 61, 73, 79–86, 103, 106–110)
<b>RQA</b>	<i>Recurrence Quantification Analysis</i> (S. ix–xi, 1, 9, 61, 68, 72, 73, 76, 81, 82, 86, 97, 99, 100, 102, 103, 106, 109–112, 116, 117, 120, 122, 123, 126, 130, 132, 135, 139, 141, 153)
<b>RSA</b>	Respiratorische Sinusarrhythmie (S. 54, 107)
<b>SBS</b>	<i>Sequential Backward Search</i> (S. 91)
<b>SCN</b>	Nucleus suprachiasmaticus (S. 16)
<i>SE</i>	Schlafeffizienz (S. 15, 25, 60, 67, 97, 98, 134, 135, 144)
<b>SFS</b>	<i>Sequential Forward Search</i> (S. 62, 91)
<i>SO</i>	<i>Sleep Onset</i> (S. 25, 26, 59, 94, 97, 98, 120, 132, 135, 144)
<i>SOL</i>	<i>Sleep Onset Latency</i> (S. 25)
<b>SSS</b>	Stanford Schläfrigkeitsskala (S. 26)
<b>STFT</b>	<i>Short Time Fourier Transformation</i> (S. 103)
<b>SVD</b>	<i>Singular Value Decomposition</i> (S. 88)
<b>SVM</b>	<i>Support Vector Machine</i> (S. 37–39, 54, 62)
<i>TIB</i>	<i>Time In Bed</i> (S. 25, 97, 98, 144)
<i>TST</i>	<i>Total Sleep Time</i> (S. 25, 60, 97, 98, 135, 144)
<b>TVP</b>	<i>Time Variant Probability</i> (S. 93)
<b>VLF</b>	<i>Very Low Frequency</i> (S. 54, 57, 62)
<b>WDEFA</b>	<i>Windowed Detrended Fluctuation Analysis</i> (S. 54, 73)
<b>WHO</b>	<i>World Health Organization</i> (S. 5, 33)