

3. Ergebnisse

3.1 Gemeinsamkeiten von Somnopolygraphie und fronto-polarem Signal

Aufgrund der unterschiedlichen Positionierung und Verschaltung der Elektroden am Schädel der zu untersuchenden Person resultieren verschiedenen Signale mit jeweils typischen Eigenschaften. Es lassen sich bei beiden EEGs jedoch elektrische Phänomene beschreiben, die den zyklischen Ablauf des Schlafs abbilden. Generell lässt sich feststellen, dass die das Signal dominierende Frequenz beider Aufzeichnungsmodi mit zunehmender Schlafiefe abnimmt. Ebenso lassen sich bestimmte Muster bioelektrischer Aktivität für beide EEG-Spuren beschreiben: Sowohl im zentral als auch im fronto-polar abgeleiteten Schlaf-EEG sind Schlafspindeln (Abb. 10) und K-Komplexe (Abb. 11) deutlich von der Grundaktivität abzugrenzen. Darüber hinaus lassen sich bei beiden Aufzeichnungsmodi Vertexwellen (Abb. 12) und Sägezahnwellen (Abb. 13) erkennen.

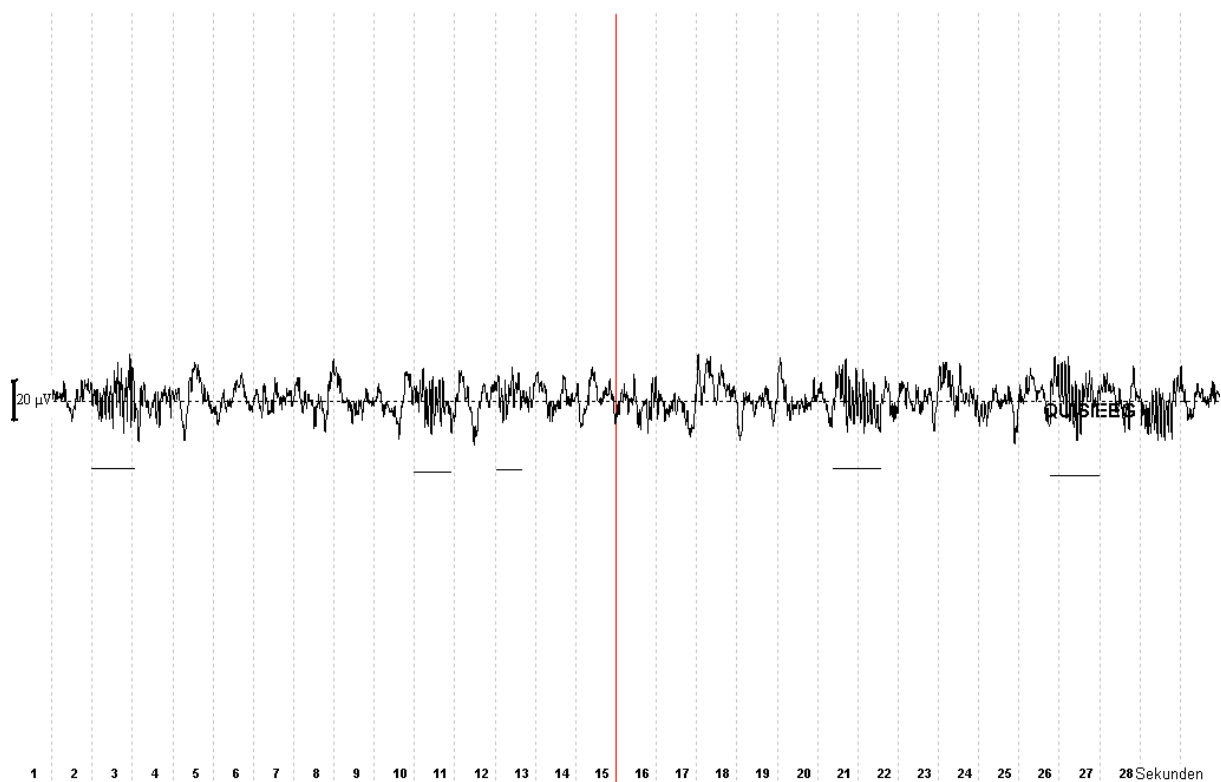


Abbildung 10 – typische Schlafspindeln (unterstrichen) im fronto-polar abgeleiteten EEG

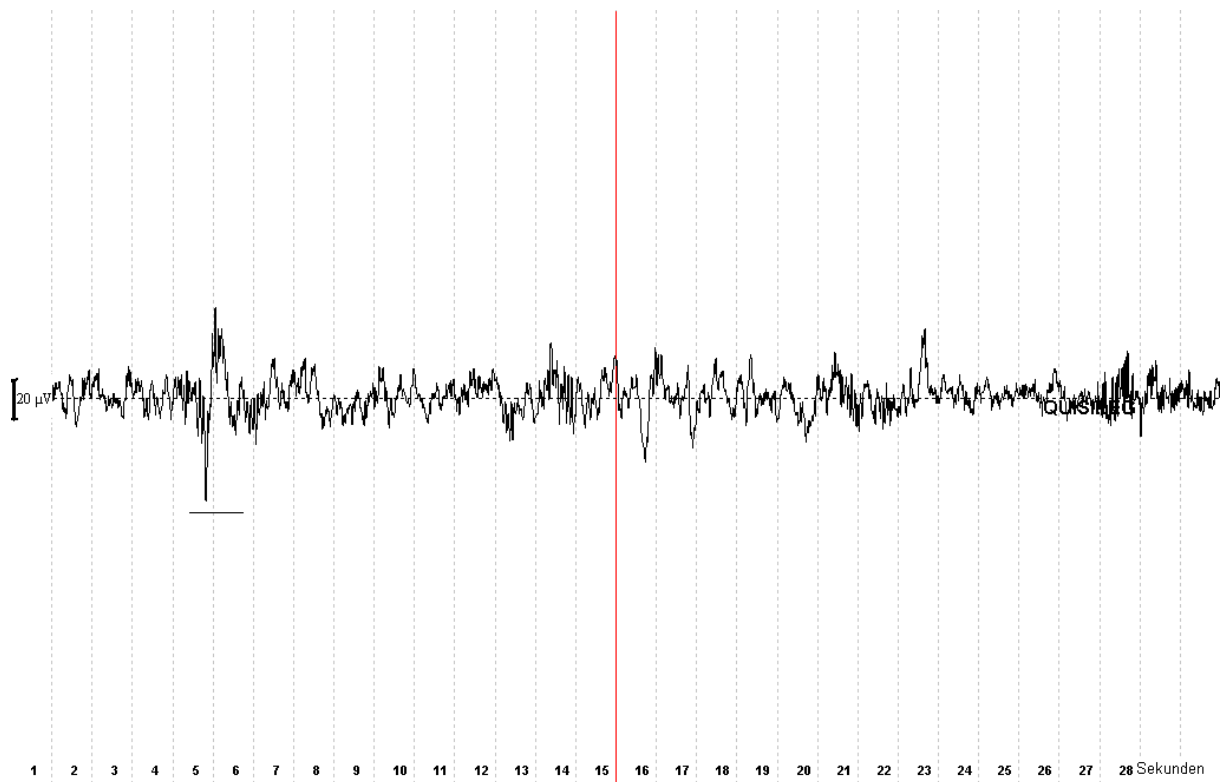


Abbildung 11 – typischer K-Komplex (unterstrichen), hier von Schlafspindeln überlagert

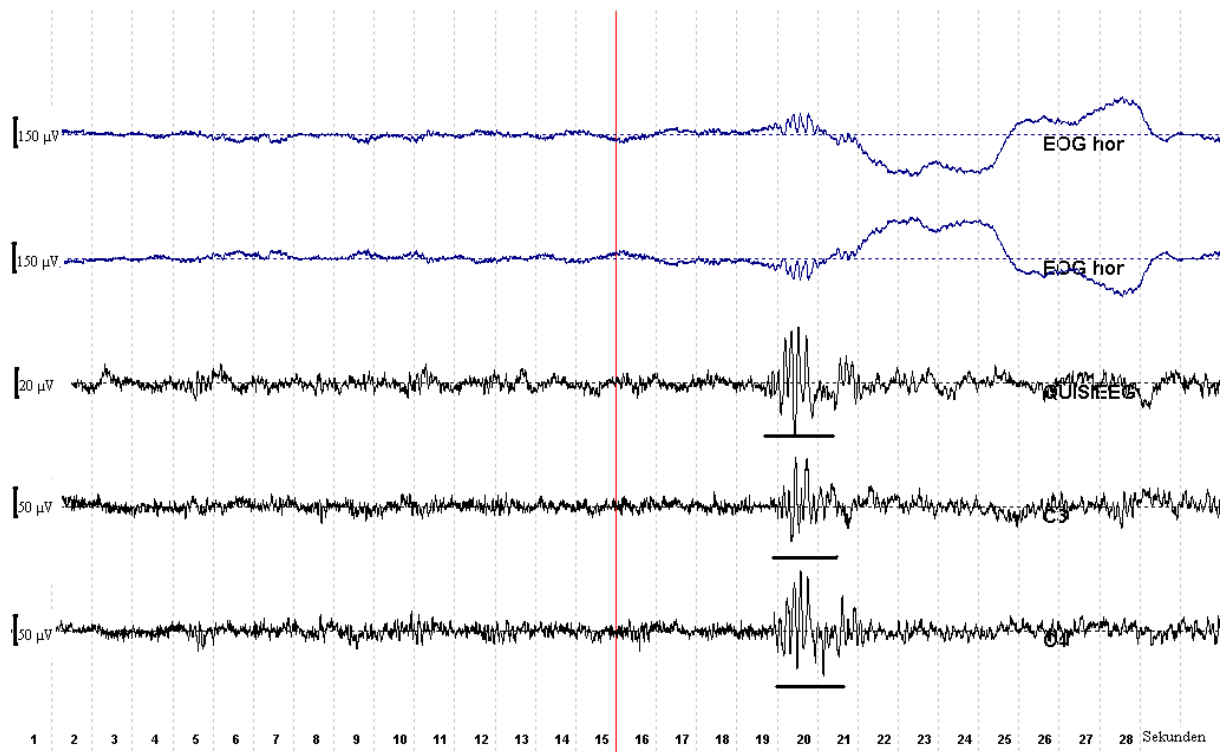


Abbildung 12 – typische Vertexwellen (unterstrichen) in allen EEG-Kanälen

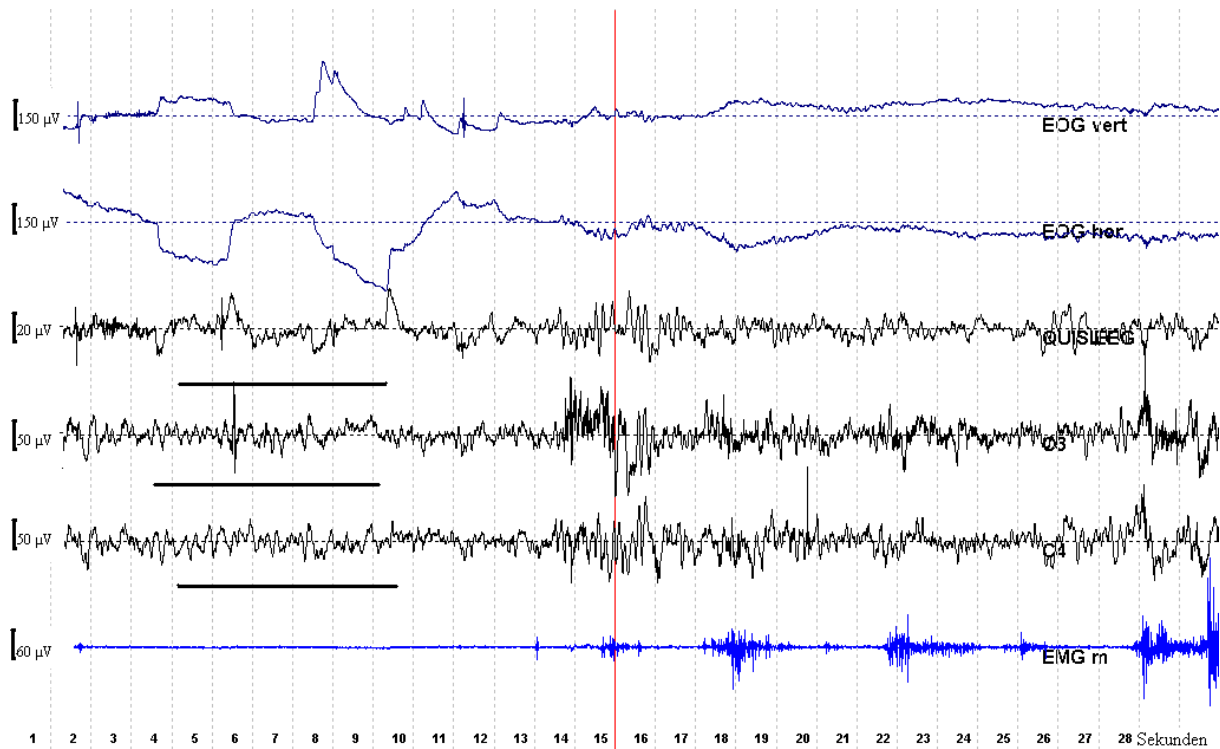


Abbildung 13 – typische Sägezahn-Wellen (unterstrichen)

3.2 Unterschiede zwischen Somnopolygraphie und fronto-polarem Signal

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen einer Somnopolygraphie und dem fronto-polar aufgezeichneten Signal ist die verschiedene Anzahl der aufgezeichneten Spuren. Während bei der Bewertung des Schlafs nach den Regeln von Rechtschaffen und Kales (1968) dem Auswerter neben dem zentral abgeleiteten EEG zusätzlich noch ein EOG- und ein EMG-Kanal zur Verfügung stehen, sind im fronto-polaren Signal drei Hauptanteile bioelektrischer Aktivität zusammengefasst: das Elektroenzephalogramm der frontalen Anteile des Kortex, elektrische Potenziale der horizontalen Augenmuskeln, und die elektrische Aktivität des Musculus frontalis. Außerdem ist die Amplitude des fronto-polaren Signals aufgrund der bipolaren Schaltung geringer als die der zentralen EEG-Spur.

Was das Auftreten bestimmter für die einzelnen Schlafstadien charakteristischer Wellenmuster betrifft, so lässt sich feststellen, dass die zentral visuell deutlich abgrenzbare Alphaaktivität des ruhenden Individuums, deren Verschwinden den Übergang zum Schlaf widerspiegelt, in der fronto-polaren Aufzeichnung kaum zu erkennen ist. Vielmehr ist das fronto-polar abgeleitete EEG immer mehr oder weniger überlagert von schnelleren Wellen

des Betabandes, die einerseits den frontalen Kortexanteilen und andererseits der Aktivität der Stirnmuskulatur zuzuschreiben sind (Abb. 14).

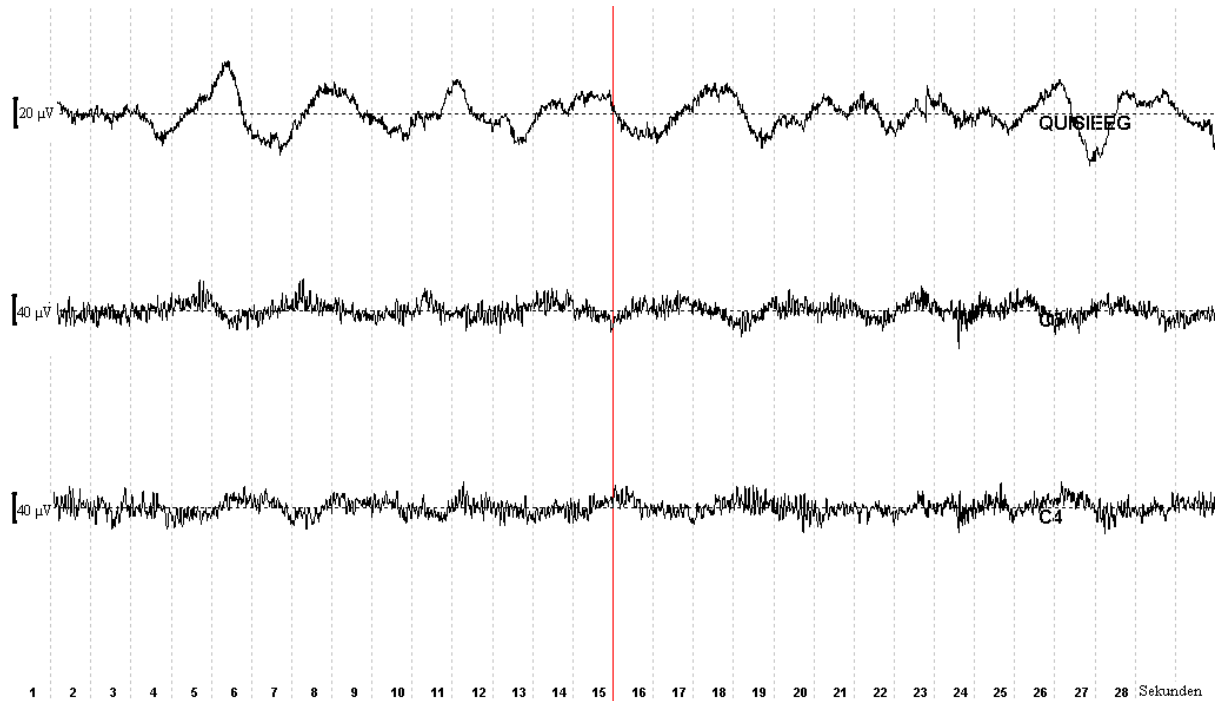


Abbildung 14 – gut zu erkennende Alphaaktivität in den zentralen EEG-Spuren (Mitte und unten), nicht jedoch im fronto-polaren EEG (oben)

Das Erscheinungsbild des Deltafrequenzbandes (Abb. 15) – Deltawellen definieren das Stadium SWS - zeigt im fronto-polar abgeleiteten Schlaf-EEG ein monomorphes Bild als im zentralen und tritt bisweilen sogar etwas früher auf als der im zentralen EEG vornehmlich abgebildete Deltatyp mit okzipitalem Maximum (Beier und Kubicki, 1987). Hier gilt, dass aufgrund der Verschaltung der Fp1- mit der Fp2-Elektrode die von Rechtschaffen und Kales (1968) geforderten 75 μV Mindestamplitude in der Regel nicht erreicht werden. Insgesamt wurde eine niedrigere durchschnittliche Amplitude gemessen, so dass bezüglich des QUISEEG-Signals für Delta-Wellen des Stadium SWS in der vorliegenden Arbeit eine Mindestamplitude von 30 μV postuliert wird, die sich aus dem Verhältnis der Mittelwerte der gemessenen Amplituden sowohl des zentralen, als auch des fronto-polaren EEGs ergab.

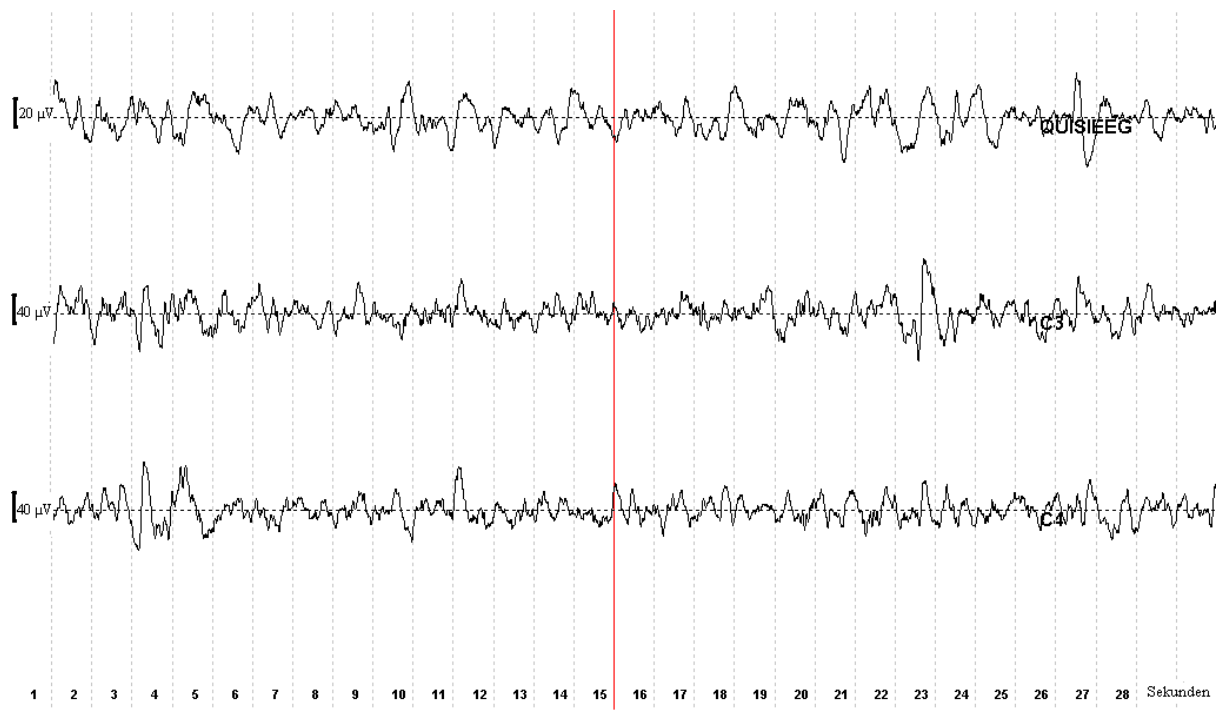


Abbildung 15 – monomorpheres Bild des Deltabandes im fronto-polaren EEG (oben), hier Stadium SWS

3.3 Das Fronto-polare Scoring System – FpSS

Bei der Zuordnung der Schlafstadien zu den einzelnen Epochen eines fronto-polar aufgezeichneten Schlaf-EEGs gilt in noch stärkerem Maße als bei der Auswertung einer Somnopolygraphie, dass der betrachtete Abschnitt des EEGs im Kontext der vorangegangenen und nachfolgenden Epochen zu bewerten ist. Die isolierte Bewertung einer einzelnen Epoche ist, ohne sich zuvor einen Überblick über die individuellen Besonderheiten des EEGs eines Patienten verschafft zu haben, zumeist nicht sicher möglich.

Sollte eine Epoche Merkmale mehrerer Schlafstadien aufweisen, so wird als Auswertergebnis das Stadium gelten, das den Großteil dieser Epoche einnimmt.

3.3.1 Stadium Wach

Das Stadium Wach im fronto-polaren EEG zeichnet sich, ähnlich wie die Stadien NREM1 und REM, durch das Vorherrschen von schneller Betaaktivität (> 12 Hz) aus. Nur bei wenigen Probanden lässt sich die von Rechtschaffen und Kales (1968) für den ruhenden Wachzustand beschriebene Alphaaktivität erkennen. Das Stadium Wach weist jedoch einige Merkmale auf, die in dieser Ausprägung nicht in den anderen Schlafstadien zu finden sind: Erstens zeichnen sich hier vermehrt Bewegungsartefakte ab (Abb. 16), die daraufhinweisen, dass der Proband wach ist; zweitens werden verschiedene Formen von Augenbewegungen im fronto-polaren EEG abgebildet, die den Wachzustand charakterisieren.

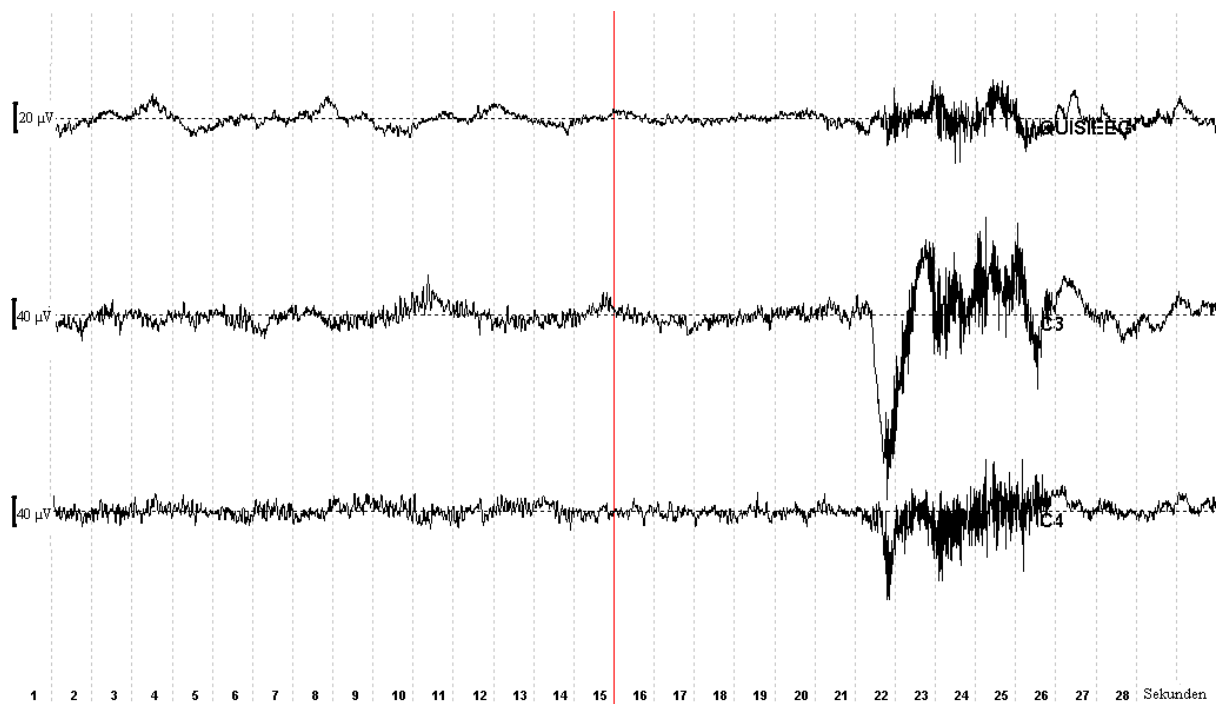


Abbildung 16 – für das Stadium Wach typische Bewegungsartefakte, hier sowohl in den zentralen (mitte, unten), als auch im fronto-polaren EEG zu erkennen

Langsame Augenbewegungen: Die vorherrschende Betaaktivität unterlagernd finden sich im Stadium Wach langsame Wellen des Subdeltabereichs ($< 0,5$ Hz), die langsame Augenbewegungen (Abb. 17) widerspiegeln. Dieses bioelektrische Phänomen setzt sich jedoch auch noch bis in das Stadium NREM1 hinein fort.

Schnelle Augenbewegungen: Typisch und in dieser Form nur im Stadium Wach auftretend sind schnelle Augenbewegungen (Abb. 18) bei geöffneten Augen. Diese sind an einem hochamplitudigen Ausschlag des EEGs sowohl in negative, als auch in

positive Richtung zu erkennen. Die schnellen Augenbewegungen des Stadium Wach lassen sich von den *rapid eye movements* des REM-Schlafs (siehe dort) dadurch unterscheiden, dass ihnen die extrem spitzen Umschlagpunkte fehlen.

Blinzeln: Ebenfalls typisch für den Wachzustand ist das Blinzeln (Abb. 19) des Probanden. Im fronto-polar aufgezeichneten EEG lässt sich der schnelle Lidschluss an einem spitzen Ausschlag des Signals in positiver Richtung mit einer darauffolgenden langsamen Komponente in negativer Richtung erkennen.

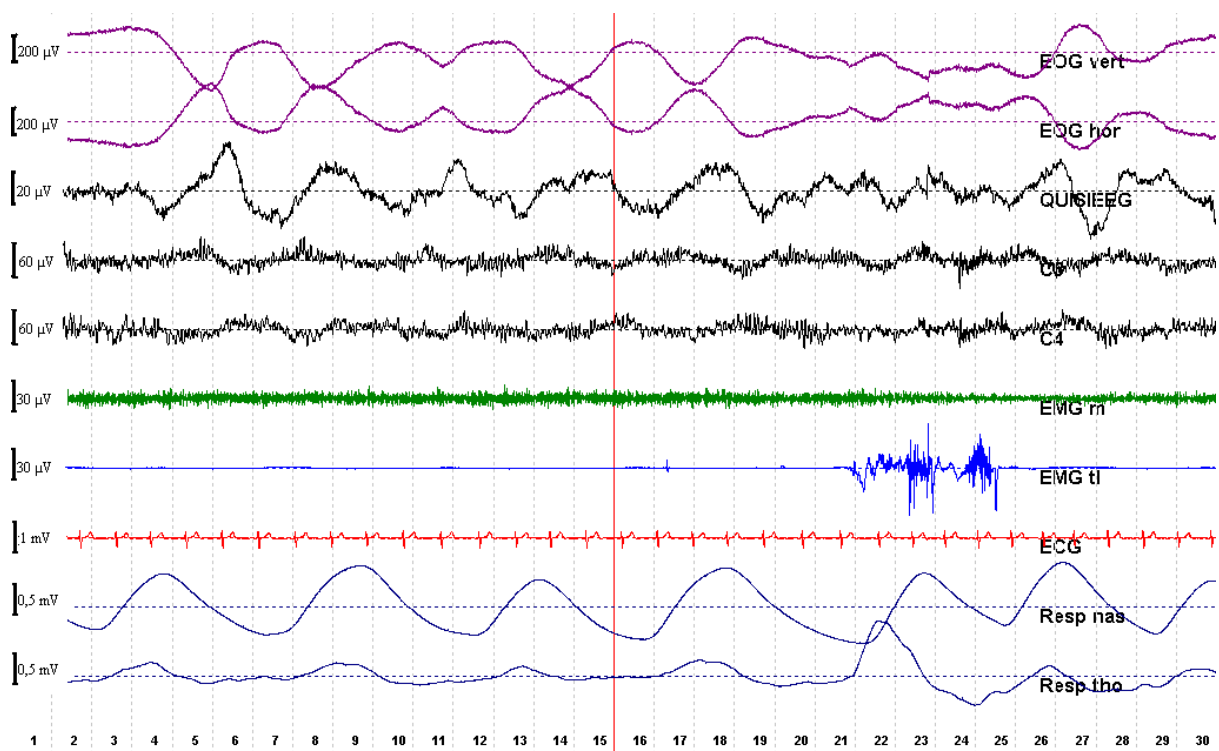


Abbildung 17 – Die im EOG (oben) abgebildeten langsamen Augenbewegungen sind gut im fronto-polaren EEG (3. von oben) zu erkennen.

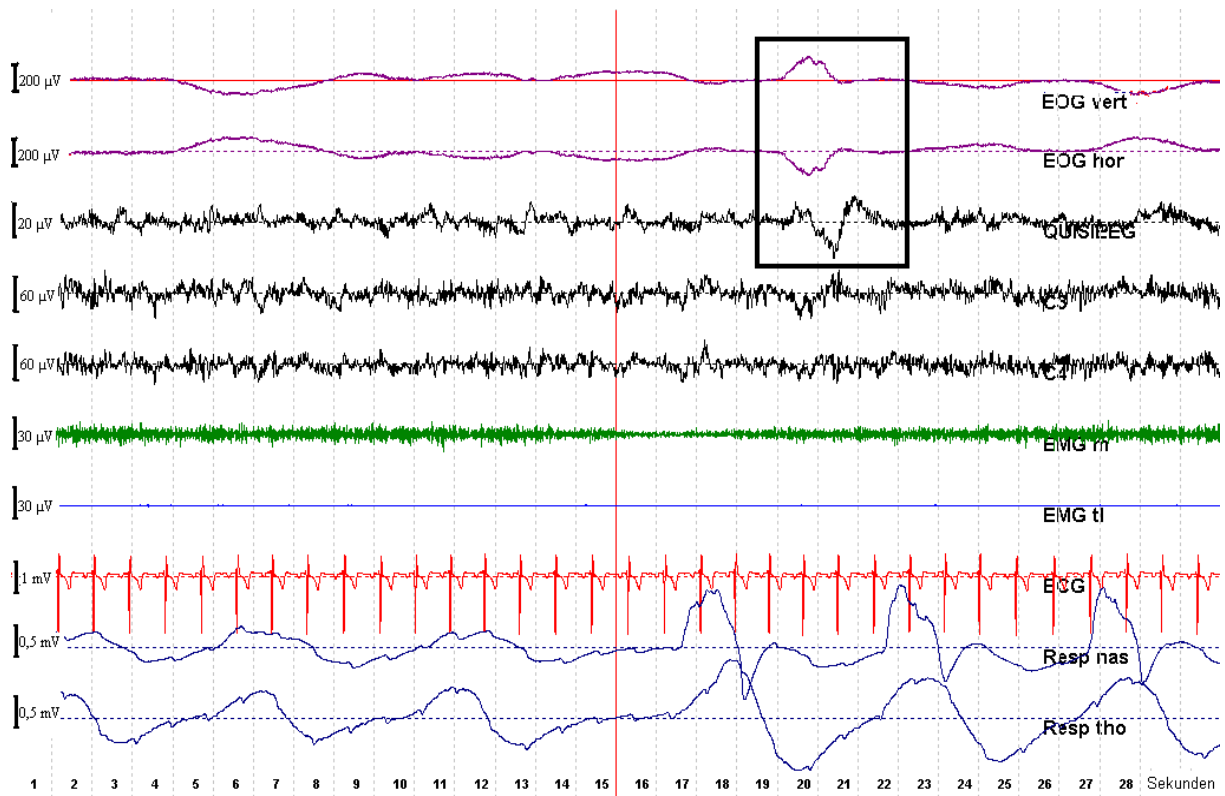


Abbildung 18 – Stadium Wach: Die im EOG abgebildete schnelle Augenbewegung (Kasten) ist auch im fronto-polaren Signal (3. von oben) zu erkennen.

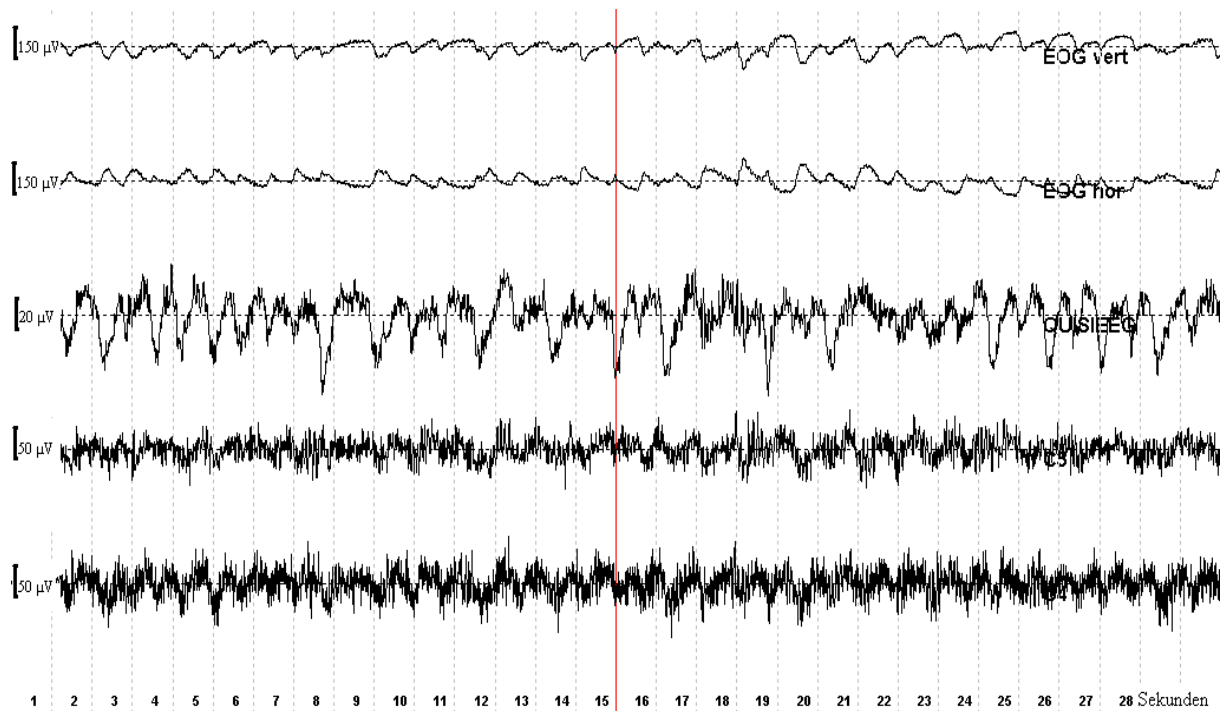


Abbildung 19 – Stadium Wach: Blinzeln ist im fronto-polaren EEG (Mitte) sehr gut zu erkennen.

3.3.2 Stadium NREM1

Das Stadium NREM1 ist ähnlich wie das Stadium Wach durch das Vorherrschen von Beta-Aktivität gekennzeichnet und unterscheidet sich damit wesentlich vom zentral abgeleiteten EEG, bei dem im Stadium NREM1 vor allem Theta-Aktivität sichtbar ist (Abb. 20). Im Unterschied zum Wachzustand hat das NREM1-EEG eine deutlich niedrigere Amplitude und ist von weniger Artefakten überlagert. Auch ist hier teilweise eine Unterlagerung des Beta-Bandes mit langsamen Subdelta-Wellen, denen der spitze Umschlagpunkt fehlt, zu finden. Diese spiegeln die für das Stadium NREM1 typischen langsamen Augenbewegungen des Probanden wider, die verstärkt zu Beginn des Stadiums sichtbar sind (Abb. 21). Jedoch ist das Auftreten dieser Wellen nicht zwingend erforderlich, um die Epoche als NREM1 zu werten. Das Stadium NREM1 tritt am häufigsten im Übergang vom Wachsein zu anderen Schlafstadien auf oder folgt auf Körperbewegungen, die während des Schlafes auftreten. Während des nächtlichen Schlafes ist das Stadium NREM1 tendenziell von relativ kurzer Dauer. Tritt Aktivität von 11-16 Hz auf, so kann dies den Übergang zum Beginn des Stadium 2 darstellen; diese Aktivität wird jedoch nicht als Schlafspindel definiert, solange die rhythmischen Ausschläge nicht erkennbarerweise wenigstens länger als 0,5 s andauern, wobei sie dann das Vorhandensein von Stadium 2 definieren (siehe unten). Die aus der zentralen Ableitung des Schlaf-EEGs bekannten Vertexwellen (Abb. 12) sind teilweise auch frontopolar ausgeprägt und können, sofern sie vom Grundbild abzugrenzen sind, zur Bewertung der Epoche als Stadium NREM1 herangezogen werden.

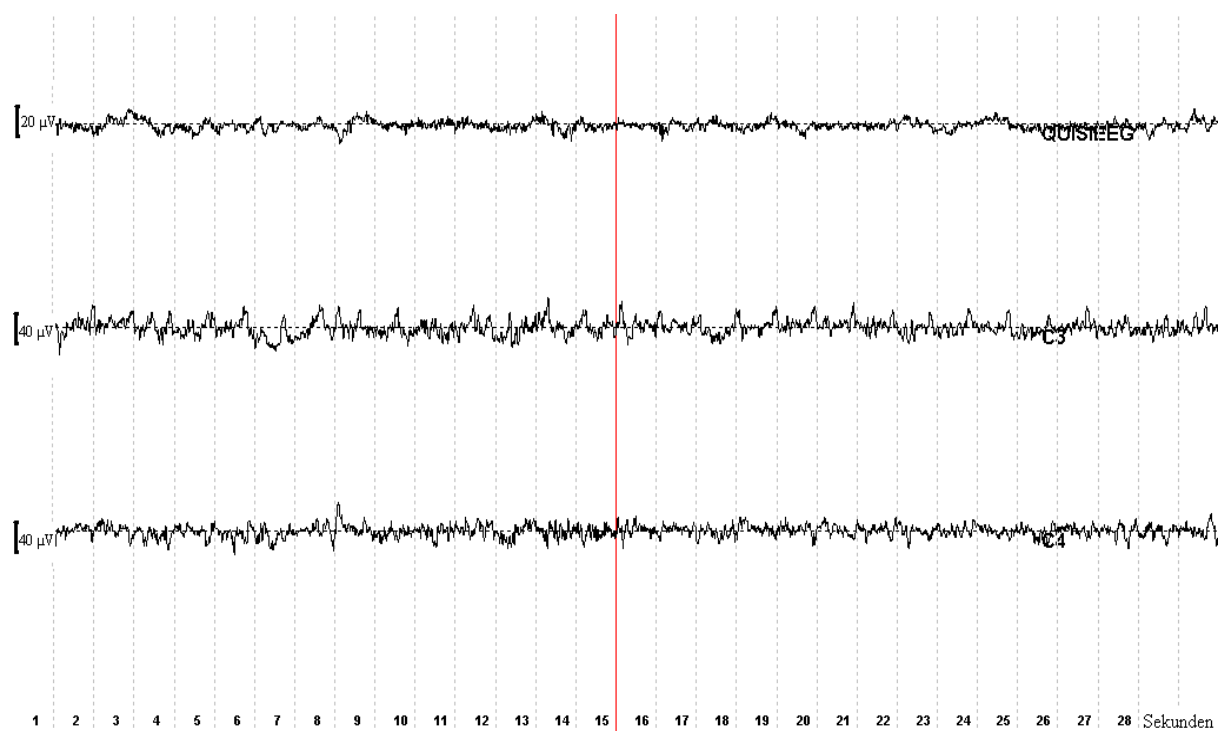


Abbildung 20 – Stadium NREM1: Die in der zentralen EEG-Kanälen (mitte, unten) vorherrschende Theta-Aktivität ist im fronto-polaren EEG kaum erkennbar.

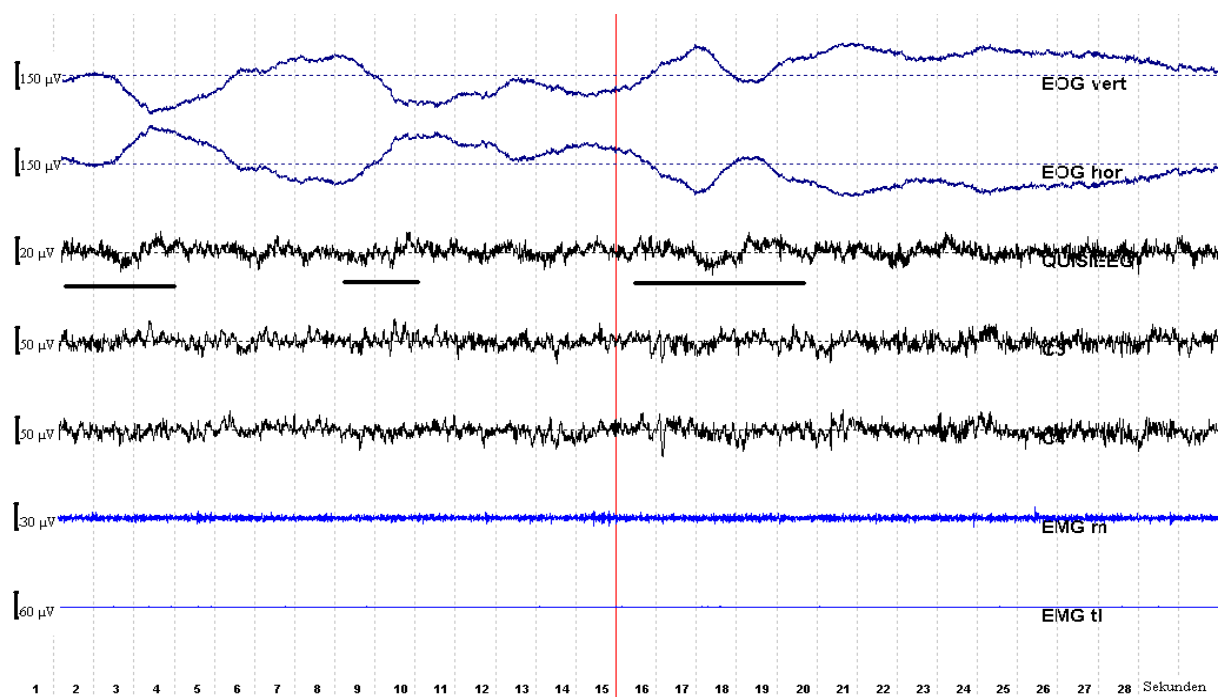


Abbildung 21 – Stadium NREM1: Die langsamen Augenbewegungen (unterstrichen) sind auch im fronto-polaren EEG zu erkennen. Theta-Aktivität dagegen ist fronto-polar schwer abzugrenzen.

3.3.3 Stadium NREM2

Das Stadium NREM2 (Abb. 22) ist definiert durch das Vorhandensein von Schlafspindeln (Abb. 10) und K-Komplexen (Abb. 11) und der Abwesenheit von genügender langsamer Aktivität mit hoher Amplitude, die das Stadium SWS (Abb. 15) definieren würde (siehe unten). Das Vorhandensein einer Schlafspindel sollte nicht geltend gemacht werden, wenn diese nicht mindestens 0,5 s lang andauert, d.h., während einer Periode von einer halben Sekunde sollten 6 oder 7 einzelne Wellen gezählt werden können. Generell gilt, dass sich Schlafspindeln im fronto-polar aufgezeichneten EEG deutlich von der Grundaktivität abgrenzen lassen. Die Ausprägung von K-Komplexen im fronto-polaren Schlaf-EEG ist jedoch nicht so deutlich wie im zentral abgeleiteten. Hier fällt teilweise die Unterscheidung zu ähnlichen Wellenformen (Vertex- und Deltawellen) schwerer.

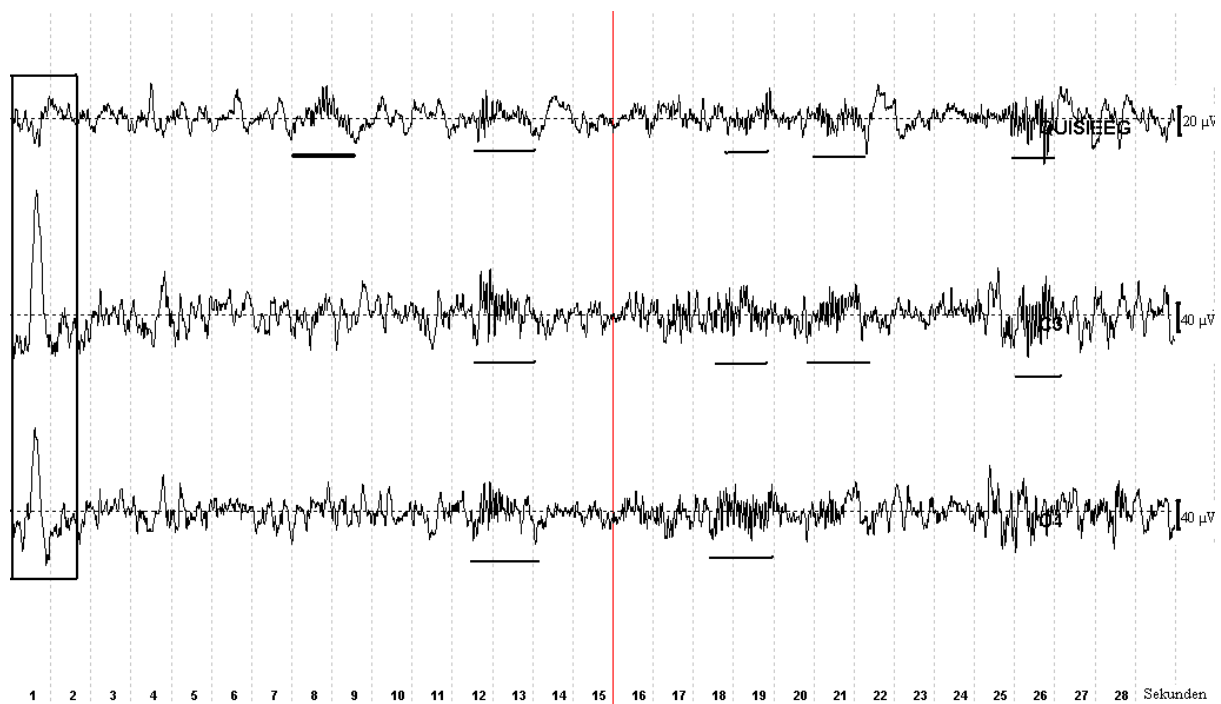


Abbildung 22 – Stadium NREM2: Schlafspindel (unterstrichen) in allen EEG-Spuren erkennbar. Bei Sekunde 8 und 9 (fett unterstrichen) ist eine Spindel allein im Fp1-Fp2 EEG abgrenzbar. K-Komplex (Kasten) mit umgekehrter Polarität im fronto-polaren EEG lediglich rudimentär abgebildet.

Da es sich bei Schlafspindeln und K-Komplexen um kurzlebige Phänomene handelt, können relativ lange Perioden zwischen ihnen liegen, ohne dass sich eine Stadienänderung einstellt. Wenn weniger als 3 min der Aufzeichnung, die im Normalfall die Anforderungen für das

Stadium NREM1 erfüllen zwischen Schlafspindeln und oder K-Komplexen liegen, sind diese dazwischen liegenden Epochen als Stadium NREM2 zu werten, wenn es kein Anzeichen für eine Weckreaktion (Arousal) im fraglichen Zeitraum gibt.

Wenn das Intervall ohne Schlafspindeln oder K-Komplexen 3 min oder länger andauert, so ist es als Stadium NREM1 zu werten, auch wenn es kein Arousal enthält. Wenn Arousals während des fraglichen Intervalls auftreten, sollte der vorausgehende Anteil der Aufzeichnung als Stadium NREM2 gewertet werden. Der folgende Anteil ist als Stadium NREM1 zu werten, bis die nächste Schlafspindel oder der nächste K-Komplex auftritt, natürlich vorausgesetzt, dass die Bedingungen für eine Epochenbewertung als Stadium NREM1 erfüllt sind. Auch sollte genau geprüft werden, ob nicht das fragliche Intervall bereits die Kriterien für die Bewertung dieser Epoche als Stadium REM erfüllt (siehe unten).

3.3.4 Stadium SWS

Das Stadium SWS (Abb. 23) stellt ein Schlafstadium dar, bei dem das fronto-polare EEG durch das Vorhandensein von höher amplitudigen langsamen Wellen der Frequenz 0,5-2 Hz (Deltabereich) gekennzeichnet ist. Die Amplitude solch einer Welle sollte mindestens 30 μV betragen, was in etwa das Äquivalent zu den von Rechtschaffen und Kales (1968) geforderten 75 μV Mindestamplitude für zentrale EEG-Ableitungen ist; d.h., wenn der Mittelwert der Amplituden der einzelnen Deltawellen im zentral abgeleiteten EEG durchschnittlich 75 μV beträgt, liegt dieser Wert im parallel dazu registrierten fronto-polaren EEG bei etwa 30 μV . Da Deltaaktivität im fronto-polar abgeleiteten Schlaf-EEG ein monomorphes Bild als im zentralen zeigt und bisweilen sogar etwas früher auftritt als der im zentralen EEG vornehmlich abgebildete Deltatyp mit okzipitalem Maximum, ist eine Epoche dann als Stadium SWS zu bewerten, wenn diese Wellen des Delta-Bandes mindesten 10 Sekunden (also 33,3 %) der 30s-Epoche einnehmen. Es muss also im fronto-polaren EEG etwas mehr Deltaaktivität zu erkennen sein, um die gleiche Schlaftiefe zu werten, die nach Rechtschaffen und Kales (1968) bei 20 % Deltawellen pro Epoche im zentralen EEG abgebildet ist. Das Deltawellenbild des fronto-polar abgeleiteten Schlaf-EEGs erscheint, was Wellenform und Amplitude betrifft, recht monomorph.

Im Stadium SWS treten genauso wie im Stadium NREM2 Schlafspindeln und K-Komplexe auf, wobei die Abgrenzung der K-Komplexe zu den Deltawellen nicht immer sicher möglich ist.

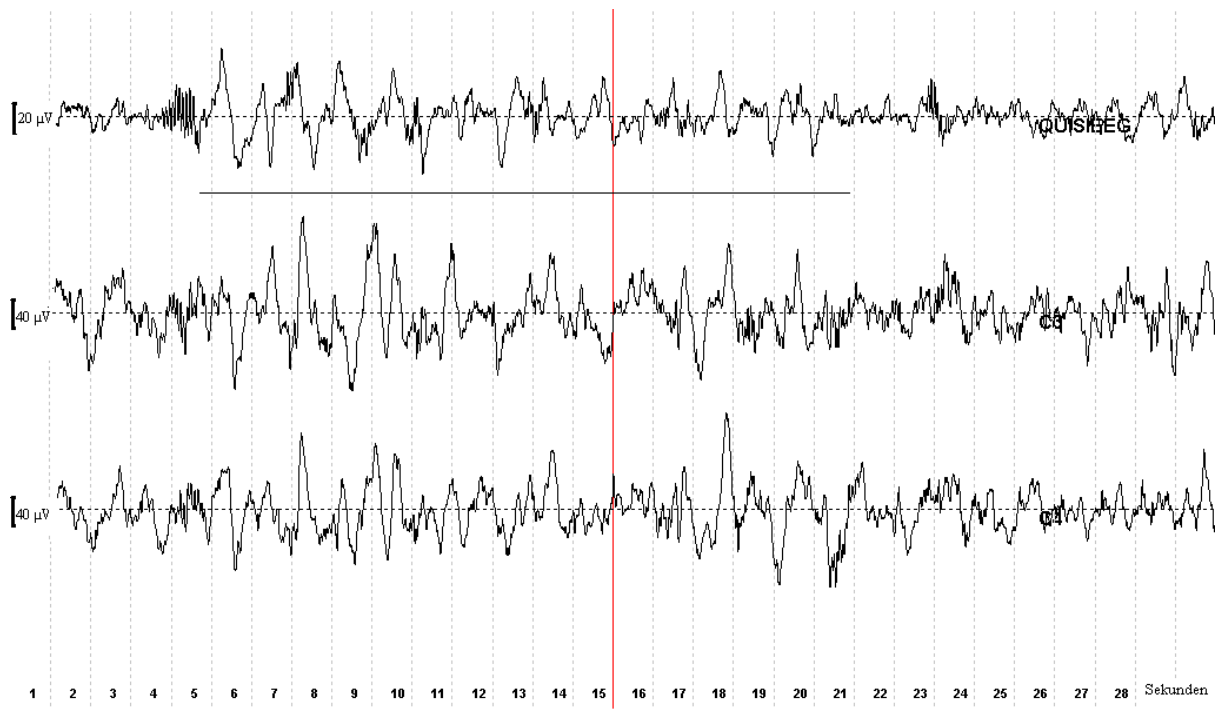


Abbildung 23 – Stadium SWS: Delta-Aktivität (unterstrichen) in allen EEG-Kanälen gut abgrenzbar. Einzelne Spindel bei Sekunde 5.

3.3.5 Stadium REM

Das Stadium REM ist gekennzeichnet durch ein niedrig gespanntes EEG, das ähnlich den Stadien Wach und NREM1 einen hohen Anteil an Beta-Aktivität aufweist (Abb. 24a). Auffällig hierbei ist die „Starre“ des Wellenmusters, das weniger von der Grundlinie abzuweichen scheint. Auch sind im Stadium REM keine Schlafspindeln oder K-Komplexe zu finden. Bezeichnend jedoch für dieses Stadium sind meist gruppiert auftretende, steile Wellen, die sich spitz von der Grundlinie abheben und eine sehr hohe Amplitude aufweisen (Abb. 24b). In diesen elektrischen Phänomenen finden sich die für das Stadium REM typischen schnellen Augenbewegungen (*rapid eye movements*) abgebildet. Es lassen sich innerhalb solch einer Welle mehrere spitze sakkadenförmige Umschlagpunkte erkennen.

Es existieren mehrere Typen des Stadium-REM-EEGs, die sich hinsichtlich der Ausprägung von schnellen Betawellen unterscheiden:

- REM mit geringem Muskeltonus: Zu Beginn des Stadium REM sinkt die schnelle Betaaktivität auf ein Minimum ab und verbleibt auf diesem Niveau (Abb. 24a).

- REM mit phasisch auftretenden Muskelpotentialen: Die Betaaktivität nimmt mit Einsetzen des Stadium REM ebenfalls stark ab. Das EEG wird jedoch während der gesamten Dauer des Stadiums periodisch von Muskelpotentialen überlagert (Abb. 24c).
- REM mit hohem Muskeltonus: Die schnelle Betaaktivität nimmt zu Beginn des Stadium REM stark zu und verbleibt auf diesem Niveau.

Im REM-Schlaf fakultativ auftretende bioelektrische Phänomene sind einerseits sägezahnförmige Wellen (Abb. 13) und andererseits sehr kurz andauernde höheramplitudige Muskelpotentiale, sogenannte „Twitches“ (Abb. 25).

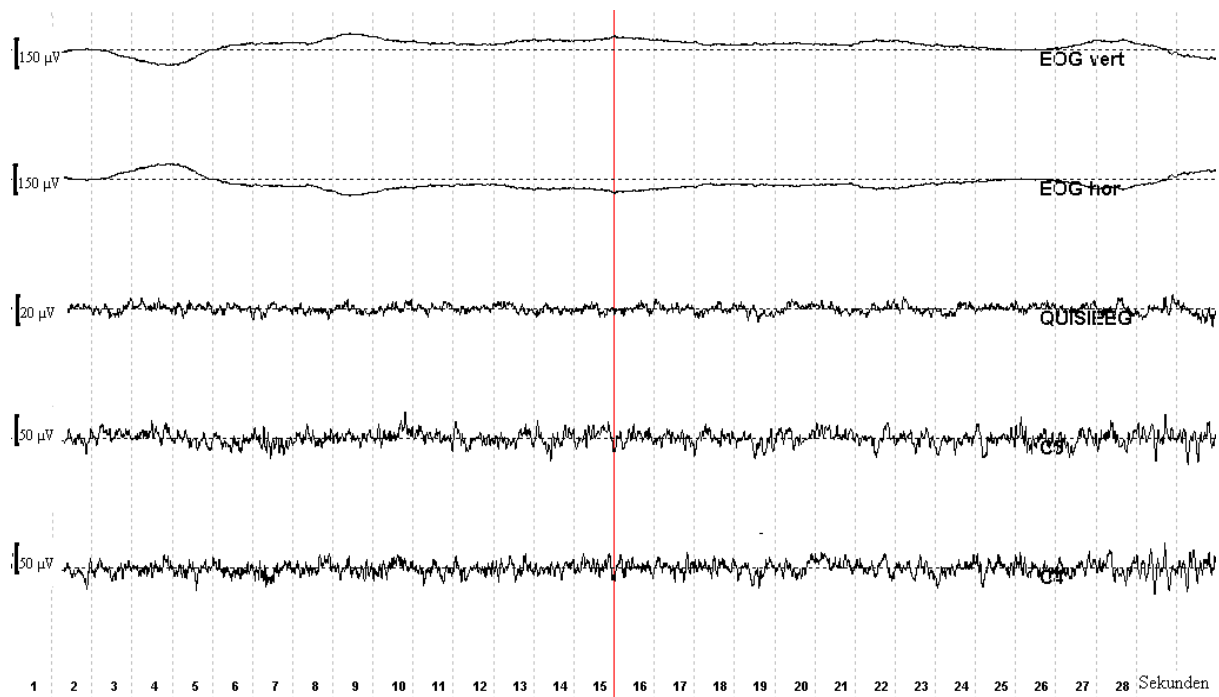


Abbildung 24a – Stadium REM: Typische REM-Epoche ohne rapid eye movements. Niedrig gespannter Tonus, besonders im fronto-polaren EEG (Mitte).

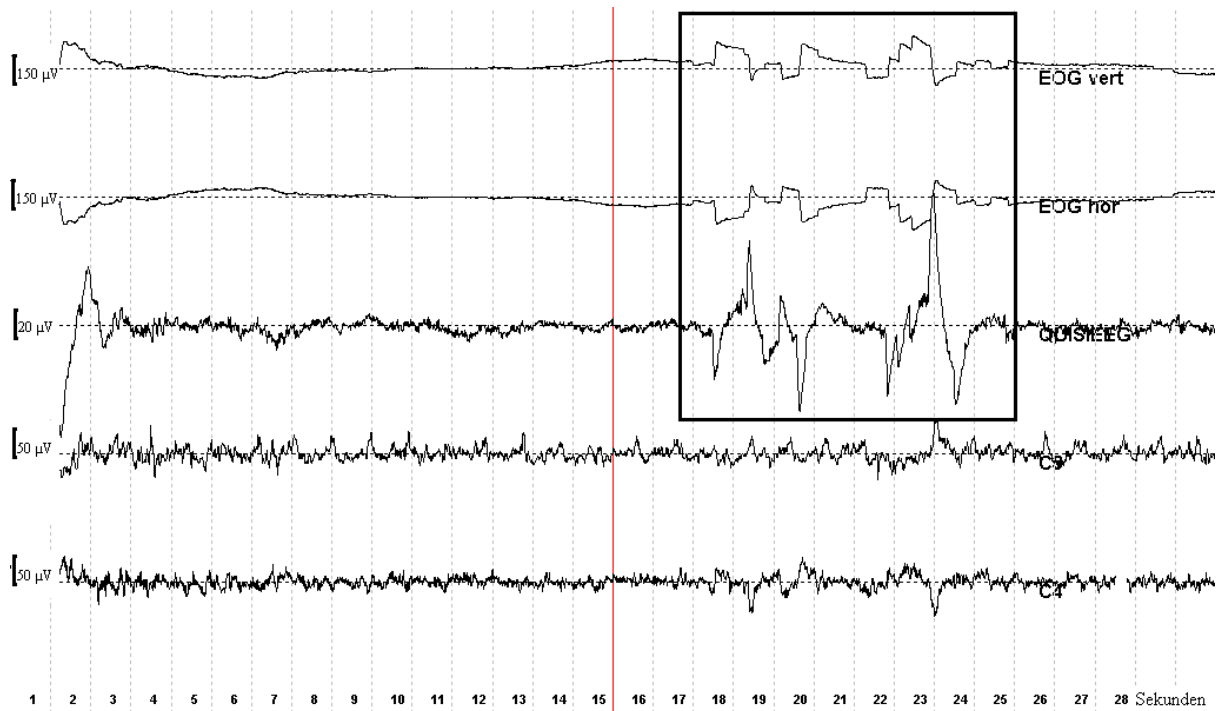


Abbildung 24b – Stadium REM: Typische schnelle Augenbewegungen (rapid eye movements) im fronto-polaren EEG (Mitte) gut zu erkennen.

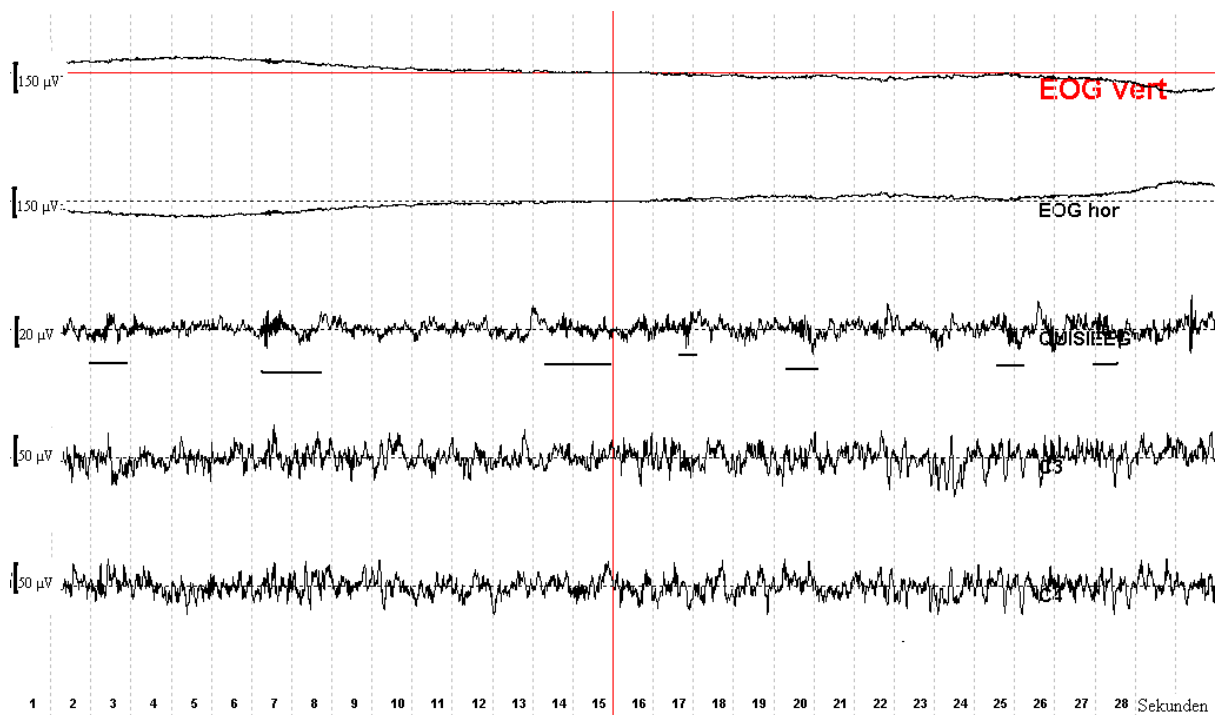


Abbildung 24c – Stadium REM: Niedriger Tonus im fronto-polaren EEG (Mitte), jedoch unterbrochen von schnellen Muskelpotentialen (unterstrichen), die teilweise auch im zentralen EEG zu erkennen sind.

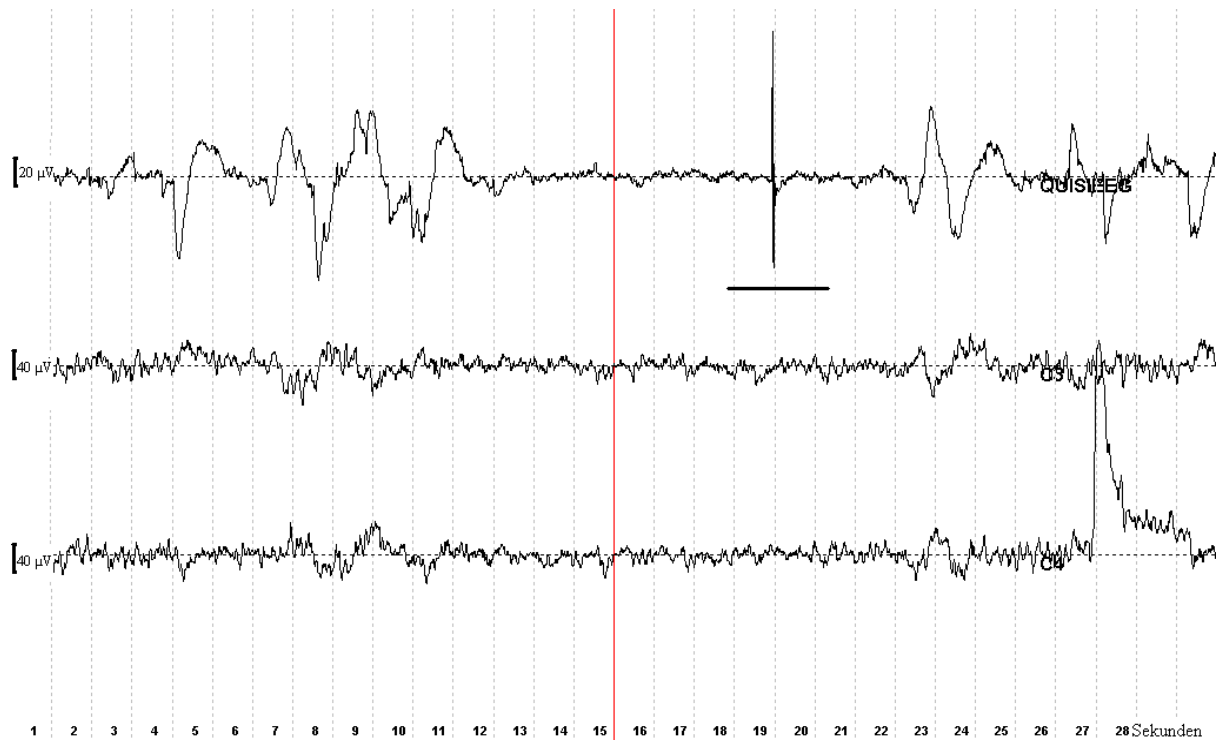


Abbildung 25 – Stadium REM: Zwischen zwei schnellen Augenbewegungen ist ein sogenannter „Twitch“ (unterstrichen) zu erkennen.

Mischung von Stadium REM und Schlafspindeln:

Es gibt Gelegenheiten, vor allem während der ersten REM-Phase der Nacht, in denen Schlafspindeln zwischen die die schnellen Augenbewegungen repräsentierenden Wellen eingestreut sind. In diesen Situationen stützt sich die Auswertung auf zwei Prinzipien:

Jeder Teil der Auswertung, der neben einem Stadium REM liegt und in dem das EEG relativ geringe Spannung und gemischte Frequenz zeigt, wird als Stadium REM gewertet, ohne dass schnelle Augenbewegungen vorhanden sein müssen, vorausgesetzt dass keine dazwischen liegenden Arousals vorkommen.

Ein Intervall mit einer EEG-Aufzeichnung, die relativ geringe Spannung und gemischte Frequenz zeigt und zwischen zwei Schlafspindeln oder K-Komplexen liegt, wird als Stadium NREM2 gewertet, wenn sich darin keine schnellen Augenbewegungen oder Arousals befinden und wenn das Intervall kürzer als 3 min ist.

Ausnahmen von der Anwendung dieser Regeln sind wie folgt angeführt:

- Eine einzelne Schlafspindel tritt in einer Epoche auf, in der das EEG niedrig gespannt und gemischt-frequent ist. Die vorhergehenden und folgenden Epochen zeigen das

Stadium REM und enthalten keine Schlafspindeln. Die die Schlafspindel enthaltende Epoche wird als Stadium REM gewertet, da der Schlafspindel vorhergehende und folgende Teil der Epoche als Stadium REM gewertet wird.

-In einer 30 Sekunden dauernden Epoche treten Schlafspindeln in der 10. und 20. Sekunde auf. Die vorhergehende und folgende Epoche zeigt das Stadium REM. Die ersten und die letzten 10 Sekunden der die Schlafspindel enthaltenden Epoche werden als REM gewertet. Die mittleren 10 Sekunden werden als Stadium NREM2 gewertet. Da zwei Drittel (also mehr als die Hälfte) der Epoche das Stadium REM zeigt, wird die Epoche als Stadium REM gewertet. Wenn in der obigen Situation die Schlafspindeln bei der 5. und 25. Sekunde aufgetreten wären, würde die Epoche als Stadium NREM2 gewertet.

-Es gibt drei aufeinanderfolgende Epochen, bei denen das EEG niedrig gespannt und gemischt-frequent ist. Schnelle Augenbewegungen treten während der ersten 5 Sekunden der ersten Epoche und der letzten 5 Sekunden der dritten Epoche auf, Schlafspindeln treten bei der 20. Sekunde der ersten Epoche und der 20. Sekunde der dritten Epoche auf. Es gibt keine schnellen Augenbewegungen und keine Schlafspindeln während der mittleren Epoche.

Die erste Epoche wird als Stadium REM gewertet, weil die ersten 20 Sekunden der Epoche, d.h. bis zur Schlafspindel, als Stadium REM gewertet wird. Die mittlere Epoche wird als Stadium NREM2 gewertet, auch wenn sie keine Schlafspindeln enthält, da die gesamte Aufzeichnung zwischen den beiden Schlafspindeln als Stadium NREM2 betrachtet wird. Die dritte Epoche wird als Stadium NREM2 gewertet, weil die ersten 20 Sekunden der Epoche als Stadium 2 gewertet werden.

Beginn des Stadium REM:

Schlafspindeln und K-Komplexe hören auf, und das EEG wechselt eine oder mehrere Epochen vor dem Beginn von schnellen Augenbewegungen hin zu einem niedrig gespannten starren Wellenbild. Die gesamte Aufzeichnung, von der letzten Schlafspindel oder dem letzten K-Komplex gerechnet, ist Stadium REM, wenn keine dazwischen liegenden Arousals auftreten. Die Aufzeichnung bis zur letzten Schlafspindel oder dem letzten K-Komplex wird

als Stadium NREM2 gewertet. In seltenen Fällen, wo es eine Progression von Stadium SWS zu Stadium REM gibt, gilt die gleiche Regel, außer dass die Aktivität langsamer Wellen anstelle der Schlafspindeln und K-Komplexe gesetzt wird.

Ende des Stadium REM:

Eine Periode mit einem EEG relativ niedriger Spannung und gemischter Frequenz, aber ohne Augenbewegungen, das direkt auf ein eindeutiges Stadium REM folgt, wird als Stadium REM gewertet, unabhängig von ihrer Dauer, vorausgesetzt, es gibt keine dazwischenliegenden Schlafspindeln, K-Komplexe oder Arousals. Tritt in einer Epoche des Stadium REM ein Arousal nach der 15. Sekunde auf, so wird diese Epoche noch als Stadium REM gewertet. Die Beurteilung der folgenden Epochen richtet sich danach, ob im Verlauf wieder schnelle Augenbewegungen sichtbar werden oder Schlafspindeln / K-Komplexe auftreten. Kann man schnelle Augenbewegungen erkennen, so ist es naheliegend, das dazwischen liegende Intervall komplett als Stadium REM zu bewerten. Sollten jedoch Schlafspindeln oder K-Komplexe in Erscheinung treten, so ist die Periode bis zu deren Auftreten als Stadium NREM1 zu beurteilen.

Sich im Beginn befindliche Anzeichen von Schlafspindeln oder K-Komplexen können ebenfalls nützlich für die Unterscheidung zwischen Stadium NREM1 und Stadium REM in der Folge eines Arousals sein. Dies wird am deutlichsten, wenn man den typischen Übergang von Stadium NREM1 zu Stadium NREM2 zu Beginn des Schlafes betrachtet. Kurz bevor gut ausgebildete Schlafspindeln und K-Komplexe in der Aufzeichnung auftauchen, lassen sich oft Spuren einer solchen, sich im Beginn befindlichen Aktivität, ausmachen. Zum Beispiel mögen Spuren einer 11-16 Hz schnellen Aktivität vorkommen, die nicht die für die Definition einer Schlafspindel geforderte halbe Sekunde lang persistieren; es mögen Wellenformen auftreten, die sich dem Aussehen von K-Komplexen annähern, aber nicht den notwendigen Anforderungen entsprechen. Wenn solche „anfänglichen“ Schlafspindeln und K-Komplexe in einem EEG von relativ geringer Spannung und gemischter Frequenz vorkommen, das einem REM-Stadium unterbrechenden Arousal folgt, können sie als weiterer zusätzlicher Beweis dafür dienen, dass das Intervall zwischen dem Arousal und den sich im Beginn befindlichen Anzeichen ein Stadium NREM1 darstellt. Wenn die Epoche, die dem Arousal folgt, als Stadium NREM1 gewertet wird, wird der dann verbleibende Teil der Aufzeichnung so lange

als Stadium NREM1 gewertet, bis wieder typische, schnelle Augenbewegungen abbildende Wellen auftreten oder eine erste Schlafspindel oder ein erster K-Komplex erscheint.

3.4 Quantitative Schlafparameter

Zunächst wurden die Ergebnisse unter gruppenstatistischem Aspekt ausgewertet (vgl. Kapitel 3.4.1). Eine Auswertung unter Berücksichtigung der Abhängigkeitsstruktur der einzelnen Parameter findet sich in Kapitel 3.4.2.

3.4.1 Verteilung der Werte quantitativer Schlafparameter

Die Verteilung des Parameters Schlafperiodenzeit (SPT) für die 100 ausgewerteten Nächte (Somnopolygraphien und QUISI-Signal) ist in Abb. 26a für die drei Auswerteansätze in Form von Box-Plots graphisch dargestellt, wobei die Whisker das Intervall [5%-95%] kennzeichnen. Weitere deskriptive Statistiken, sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung sind in Tab. 3a tabellarisch zusammengefasst. Die optisch gute Übereinstimmung wird durch die Ergebnisse des Kruskal-Wallis Test bestätigt, der keinen Hinweis auf signifikante Verteilungsunterschiede erkennen ließ ($p=0,8426$). Für den Parameter Effektive Schlafzeit (TST) ließen sich nach vergleichender Betrachtung aller 100 Nächte (Abb. 26b und Tab. 3b) ebenfalls keine signifikanten Verteilungsunterschiede zwischen den drei Auswerteansätze erkennen (Kruskal-Wallis Test: $p=0,5630$).

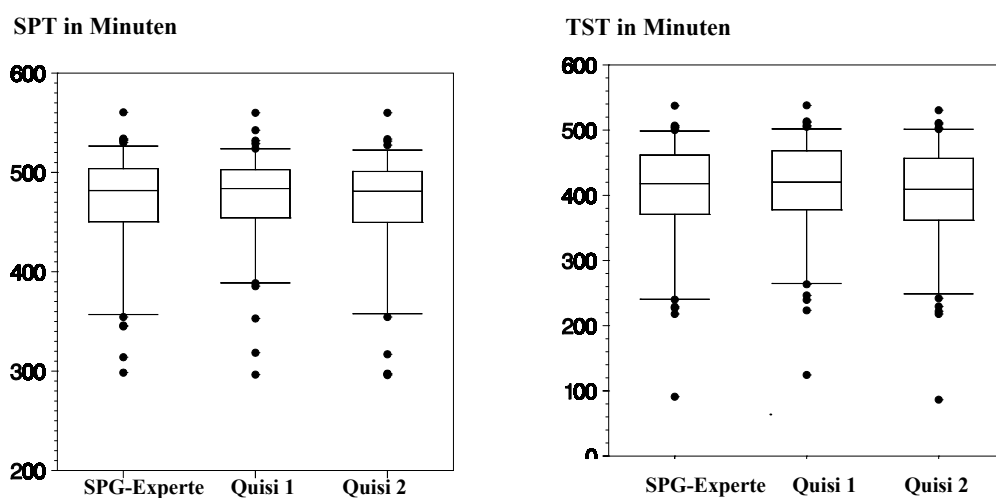


Abbildung 26a und 26b – Box-Plots der Verteilungen der Parameter Schlafperiodenzeit (SPT) und Effektive Schlafzeit (TST)

Schlafperiodenzeit (SPT)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	481,3	54,3	467,4	54,7	<0,01
QUISI 1	483,8	48,5	474,3	43,8	<0,01
QUISI 2	481,0	51,3	468,5	51,3	<0,01

Effektive Schlafzeit (TST)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	412,0	100,0	401,4	81,1	<0,01
QUISI 1	420,3	90,5	410,7	75,0	0,03
QUISI 2	409,3	95,0	400,0	77,8	0,04

Tabelle 3a und 3b – deskriptive Statistiken zur Verteilung der Parameter Schlafperiodenzeit (SPT) bzw. Effektive Schlafzeit (TST) sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung, p(D)

Wie in Abb. 26c und 26d sowie Tab. 3c und 3d gut ersichtlich ist, ließen sich auch für die Parameter Einschlafzeit (SOL) und Schlaf-Effizienz-Index (SEI) keine signifikanten Verteilungsunterschiede zwischen den Auswertansätzen des SPG-Experten und den beiden Auswertungen des QUISI-Signals erkennen (Kruskal-Wallis Test: $p=0,9845$ bzw. $p=0,5028$).

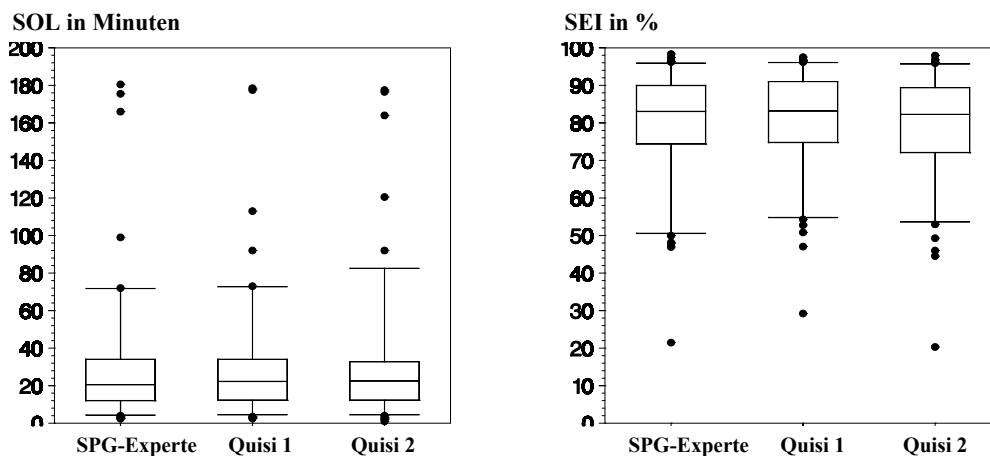


Abbildung 26c und 26d – Box-Plots der Verteilungen der Parameter Einschlafzeit (SOL) und Schlaf Effizienz Index (SEI)

Einschlafzeit (SOL)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	20,5	22,0	29,3	31,5	<0,01
QUISI 1	22,3	21,8	28,6	29,1	<0,01
QUISI 2	22,5	20,5	29,6	31,9	<0,01

Schlaf Effizienz Index (SEI)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	82,8	15,7	79,8	13,9	<0,01
QUISI 1	83,2	16,2	81,0	13,2	<0,01
QUISI 2	82,3	17,3	78,9	13,9	<0,01

Tabelle 3c und 3d – deskriptive Statistiken zur Verteilung der Parameter Einschlafzeit (SOL) bzw. Schlaf Effizienz Index (SEI) sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung, p(D)

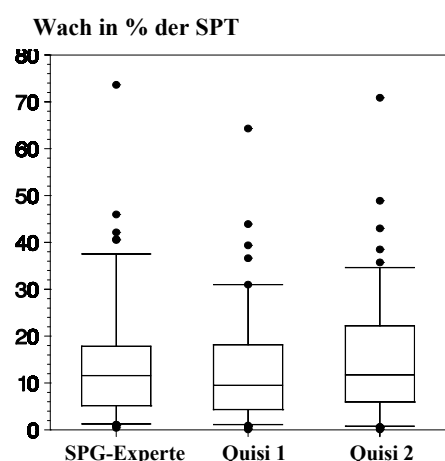


Abbildung 26e –
Box-Plots der Verteilungen des
Parameters Wach (in % der SPT)

Für den Parameter Wach (in % der Schlafperiodenzeit) (Abb. 26e und Tab. 3e) wurden ebenfalls keine signifikanten Verteilungsunterschiede zwischen den drei Auswertansätzen nachgewiesen (Kruskal-Wallis Test: $p=0,3586$).

Wach (in % der SPT)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	11,6	12,7	13,4	11,5	<0,01
QUISI 1	9,5	13,8	12,4	11,0	<0,01
QUISI 2	11,7	16,2	14,5	11,8	<0,01

Tabelle 3e – deskriptive Statistiken zur Verteilung des Parameters Wach (in % der SPT) sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung, p(D)

Für den Parameter NREM1 (in % der SPT) ließen sich mittels des Kruskal-Wallis Tests signifikante Verteilungsunterschiede zwischen den drei Auswertansätzen erkennen

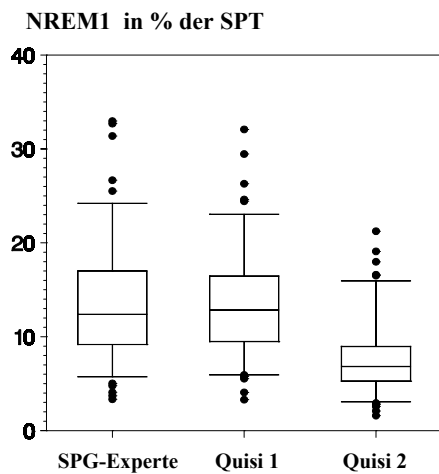


Abbildung 26f –
Box-Plots der Verteilungen des
Parameters NREM1 (in % der
SPT)

($p < 0,0001$). Die graphische Darstellung in Abb. 26f sowie die tabellarische Auflistung der deskriptiven Parameter in Tab. 3f lassen erkennen, dass die Verteilung des Parameter NREM1 (in % der SPT) in der Auswertung des Auswertenden QUISI 2 deutlich in Richtung niedrigere Werte verschoben ist. In den post hoc durchgeführten paarweisen Vergleichen erwiesen sich die Verteilung des Parameters NREM1 (in % der SPT), die sich aus der Auswertung von QUISI 2 ergab, als statistisch signifikant von den beiden anderen Verteilungen verschieden (SPG-Experte: $p < 0,0001$; QUISI 1: $p < 0,0001$), während sich zwischen SPG-Experte und QUISI 1 für den Parameter NREM1 (in % der SPT)

keine statistisch signifikanten Verteilungsunterschiede nachweisen ließen (Wilcoxon Two-Sample Test: $p = 0,9562$).

<i>NREM1 (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	12,3	7,8	13,6	6,1	<0,01
QUISI 1	12,8	7,0	13,4	5,4	>0,15
QUISI 2	6,8	3,7	7,8	3,9	<0,01

Tabelle 3f – deskriptive Statistiken zur Verteilung des Parameters NREM1 (in % der SPT) sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung, p(D)

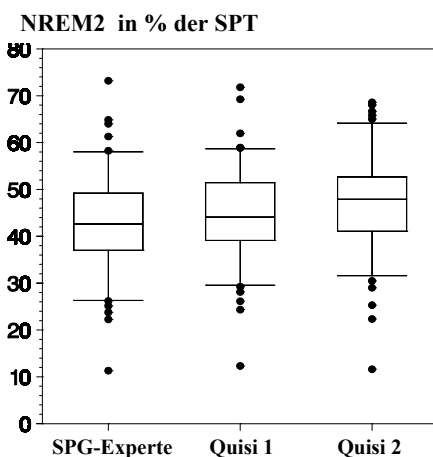


Abbildung 26g –
Box-Plots der Verteilungen des
Parameters NREM2 (in % der
SPT).

Für den Parameter NREM2 (in % der SPT) (Abb. 26g, Tab. 3g) ließen sich im Kruskal-Wallis-Test ebenfalls statistisch signifikante ($p = 0,0124$) Verteilungsunterschiede zwischen den drei Auswertungsansätzen erkennen. Ein post hoc durchgeführter paarweiser Vergleich ergab, dass dieses Ergebnis im wesentlichen auf die Unterschiede in der Verteilung des Parameters NREM2 (in % der SPT) zwischen der Auswertung der SPG und der Auswertung des Experten QUISI 2 ($p = 0,0032$) zurückzuführen ist.

<i>NREM2 (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	42,6	12,1	43,1	9,8	>0,15
QUISI 1	44,1	12,3	44,9	9,5	>0,15
QUISI 2	47,9	11,6	47,0	9,8	>0,15

Tabelle 3g – deskriptive Statistiken zur Verteilung des Parameters NREM2 (in % der SPT) sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung, p(D)

Wie aus Abb. 26h und 26i bzw. Tab. 3h und 3i ersichtlich, ließen sich für die Parameter SWS und REM (in % der SPT) keine signifikanten Verteilungsunterschiede zwischen den drei Auswertansätzen nachweisen (Kruskal-Wallis Test: $p=0,1842$ bzw. $p=0,4785$).

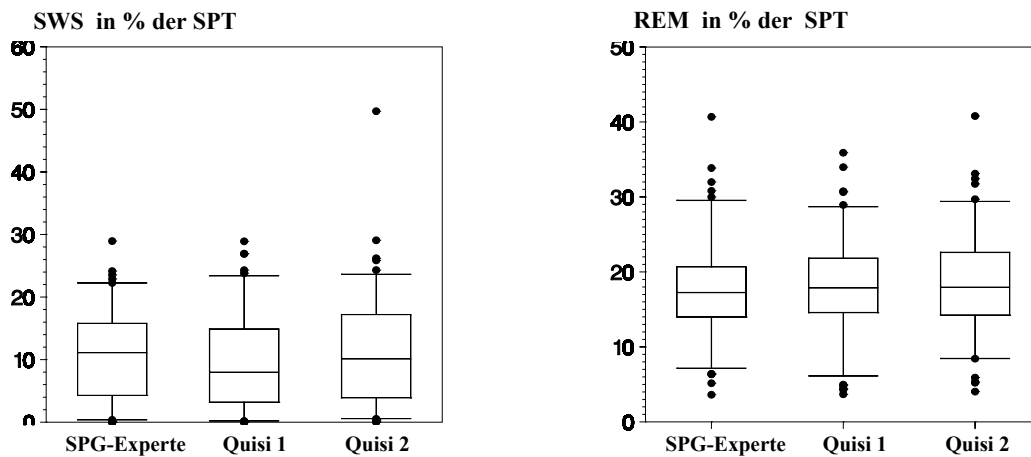


Abbildung 26h und 26i – Box-Plots der Verteilung der Parameter SWS (in % der SPT) und REM (in % der SPT)

<i>SWS (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	11,1	11,2	10,7	7,3	0,12
QUISI 1	8,0	11,7	9,3	7,3	0,01
QUISI 2	10,1	13,3	11,1	8,4	0,03

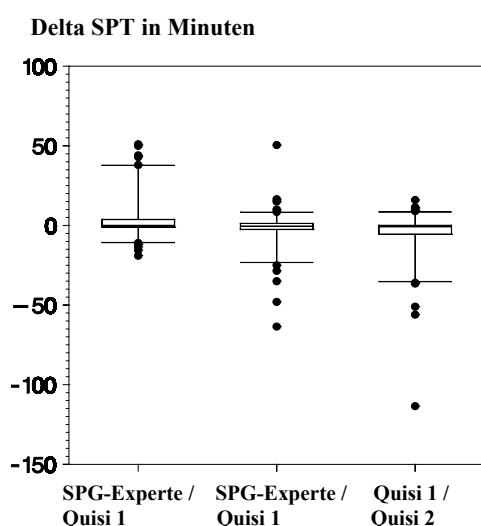
<i>REM (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)
SPG	17,1	6,6	17,6	6,1	0,13
QUISI 1	17,9	7,3	18,2	6,3	>0,15
QUISI 2	18,0	8,4	18,6	6,5	>0,15

Tabelle 3h und 3i – deskriptive Statistiken zur Verteilung der Parameter SWS und REM (in % der SPT) sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung, p(D)

3.4.2 Paardifferenzen der quantitativen Schlafparameter

In diesem Kapitel sind die Verteilungen der paarweise für individuelle Nächte berechneten Differenzen für die insgesamt neun berücksichtigten quantitativen Schlafparameter aufgeführt.

In Abb. 27a finden sich die Verteilungen der Differenzen zwischen den drei paarweisen Kombinationen der Auswertansätze in Form von Box-Plots für den Parameter Schlafperiodenzeit (SPT). Zusätzliche deskriptive Statistiken, sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese $\mu=0$ sind in Tab. 4a tabellarisch aufgelistet. Für den Parameter Schlafperiodenzeit



(SPT) ließen sich statistisch signifikant höhere Werte beim Auswertenden QUISI 1 gegenüber dem Auswertenden der Somnopolygraphie ($p=0,0146$) nachweisen. Auch gegenüber dem Auswertenden QUISI 2 erzielte QUISI 1 im Mittel signifikant höhere Werte ($p<0,0001$).

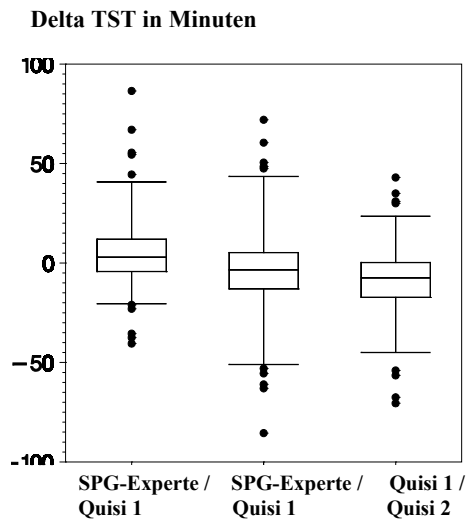
Abbildung 27a –

Box-Plots der Verteilungen der Paardifferenzen des Parameters Schlafperiodenzeit (SPT)

Schlafperiodenzeit (SPT)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	0,0	4,8	3,6	12,2	<0,01	0,0146
SPG-Experte/QUISI 2	-0,5	3,8	-2,2	11,9	<0,01	0,0751
QUISI 1/QUISI 2	-0,8	5,5	-5,8	16,2	<0,01	<0,0001

Tabelle 4a – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter Schlafperiodenzeit (SPT) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

Für den Parameter Effektive Schlafzeit (TST) (Tab. 4b) fanden sich im Mittel signifikant höhere Werte beim Auswertenden QUISI 1 gegenüber den beiden anderen Auswertansätzen

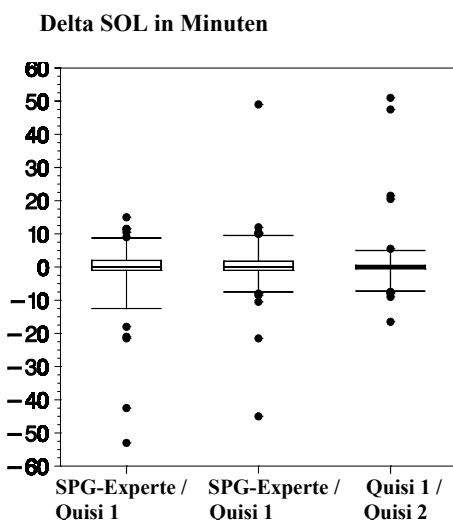


(Vorzeichenrangtest: $p=0,0041$ bzw. $p<0,0001$). Außerdem erzielte der Auswertende der Somnopolygraphie gegenüber dem Auswertenden QUISI 2 hierbei im Mittel signifikant höhere Werte ($p=0,0244$). Die Verteilungen der paarweise berechneten Differenzen für den Parameter Effektive Schlafzeit (TST) sind in Abb. 27b graphisch dargestellt.

Abbildung 27b – Box-Plots der Verteilungen der Paardifferenzen des Parameters Effektive Schlafzeit (TST)

Effektive Schlafzeit (TST)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	3,0	16,3	6,2	20,2	<0,01	0,0041
SPG-Experte/QUISI 2	-3,5	18,3	-4,5	24,6	<0,01	0,0244
QUISI 1/QUISI 2	-7,5	17,5	-10,7	20,0	<0,01	<0,0001

Tabelle 4b – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter Effektive Schlafzeit (TST) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)



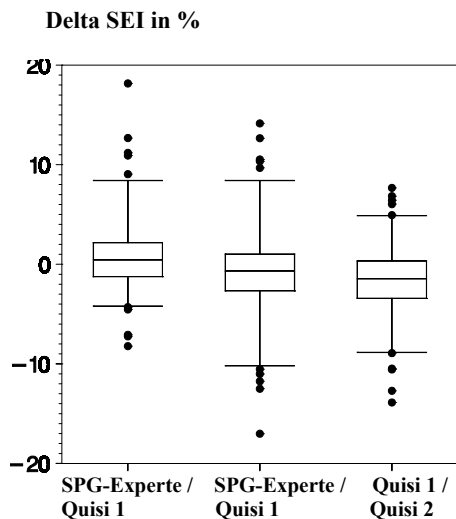
Die Verteilungen der paarweise berechneten Differenzen für den Parameter Einschlafzeit (SOL) sind aus Abb. 27c ersichtlich. Hierbei erzielte keiner der Auswertenden gegenüber dem jeweiligen Vergleichsansatz im Mittel statistisch signifikant höhere oder niedrigere Werte (Vorzeichenrangtest: $p=0,2662$; $p=0,2595$; $p=0,8238$) – Tab 4c.

Abbildung 27c – Box-Plots der Verteilungen der Paardifferenzen des Parameters Einschlafzeit (SOL)

<i>Einschlafzeit (SOL)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	0,0	3,3	-0,6	8,4	<0,01	0,2662
SPG-Experte/QUISI 2	0,0	2,8	0,3	7,9	<0,01	0,2595
QUISI 1/QUISI 2	0,0	1,0	1,0	8,1	<0,01	0,8238

Tabelle 4c – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter Einschlafzeit (SOL) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

Für den Parameter Schlaf Effizienz Index (SEI), dessen Verteilungen der paarweise berechnete Differenzen in Abb. 27d graphisch dargestellt sind, ließen sich mittels



Vorzeichenrangtest signifikant höhere durchschnittliche Werte beim Auswertenden QUISI 1 gegenüber den anderen beiden Auswertenden nachweisen (p=0,0229 bzw. p<0,0001). Außerdem zeigten sich beim Auswertenden QUISI 2 gegenüber dem Auswertenden der Somnopolygraphie im Mittel signifikant niedrigere Werte (Vorzeichenrangtest: p=0,0221) - Tab. 4d.

Abbildung 27d – Box-Plots der Verteilungen der Paardifferenzen des Parameters Schlaf Effizienz Index (SEI)

<i>Schlaf Effizienz Index (SEI)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	0,4	3,4	1,1	4,1	<0,01	0,0229
SPG-Experte/QUISI 2	-0,7	3,7	-0,9	4,9	<0,01	0,0172
QUISI 1/QUISI 2	-1,5	3,8	-2,0	4,0	<0,01	<0,0001

Tabelle 4d – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter Schlaf Effizienz Index (SEI) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

In Abb. 27e finden sich die Verteilungen der Differenzen zwischen den drei paarweisen Kombinationen der Auswerteansätze in Form von Box-Plots für den Parameter Wach (in %

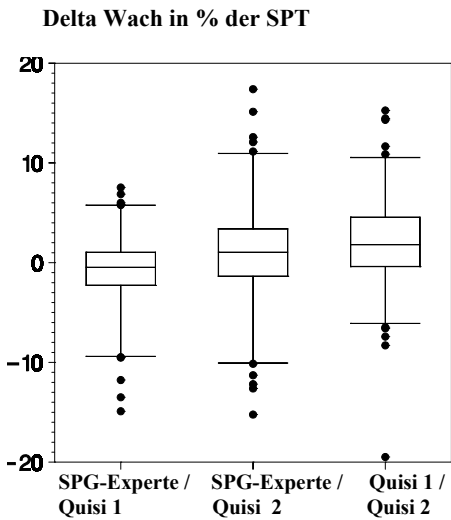


Abbildung 27e –
Box-Plots der Verteilungen der
Paardifferenzen des Parameters
Wach

der SPT). Zusätzliche deskriptive Statistiken, sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese $\mu=0$ sind in Tab. 4e tabellarisch aufgelistet. Den Parameter Wach (in % der SPT) betreffend erreichte der Auswertende der Somnopolygraphie gegenüber dem Auswertenden QUISI 1 im Mittel signifikant höhere, gegenüber dem Auswertenden QUISI 2 signifikant niedrigere Werte (Vorzeichenrangtest: $p=0,0142$ bzw. $p=0,0221$). Der Auswertende QUISI 2 erzielte gegenüber dem Auswertenden QUISI 1 durchschnittlich signifikant höhere Werte für Wach (Vorzeichenrangtest: $p<0,0001$).

Wach (in % der SPT)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	-0,5	3,3	-1,0	4,0	<0,01	0,0142
SPG-Experte/QUISI 2	1,0	4,7	1,1	5,6	0,0129	0,0221
QUISI 1/QUISI 2	1,8	4,9	2,1	5,0	0,0146	<0,0001

Tabelle 4e – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter Wach (in % der SPT) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

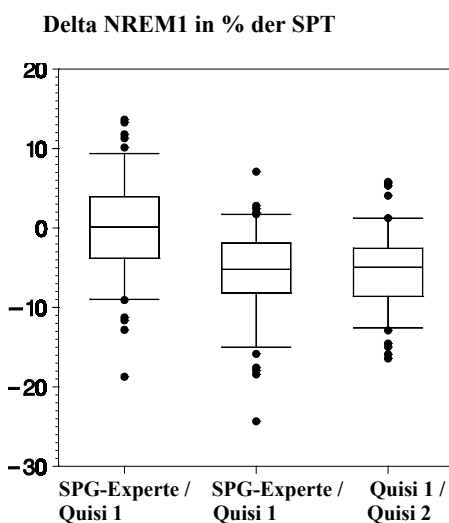


Abbildung 27f –
Box-Plots der Verteilungen der
Paardifferenzen des Parameters
NREM1 in % der SPT

Die Verteilungen der paarweise berechneten Differenzen für den Parameter NREM1 (in % der SPT), sowie zusätzliche deskriptive Statistiken und die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung bzw. des Vorzeichenrangtests für die Hypothese $\mu=0$ sind aus Abb.27f bzw. Tab. 4f ersichtlich. Gegenüber den beiden anderen Auswertenden erzielte der Auswertende QUISI 2 im Mittel signifikant niedrigere Werte (Vorzeichenrangtest: $p<0,0001$) für den Parameter NREM1 (in % der SPT).

<i>NREMI (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	0,1	7,7	-0,2	5,8	>0,15	0,8191
SPG-Experte/QUISI 2	-5,2	6,3	-5,7	5,3	<0,01	<0,0001
QUISI 1/QUISI 2	-4,9	6,0	-5,5	4,5	>0,15	<0,0001

Tabelle 4f – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter NREMI (in % der SPT) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

Wie aus Tab. 4g ersichtlich, ergaben sich im Vergleich zu den beiden anderen Auswertenden beim Parameter NREM2 (in % der SPT) durchschnittlich signifikant höhere Werte beim

Auswertenden QUISI 2 (Vorzeichenrangtest: p<0,0001 bzw. p=0,0005). Darüber hinaus erzielte der

Auswertende der Somnopolygraphie (Vorzeichenrangtest: p=0,0132). Die Verteilungen der

paarweise berechneten Differenzen für den Parameter NREM2 (in % der SPT) sind in Abb. 27g graphisch dargestellt.

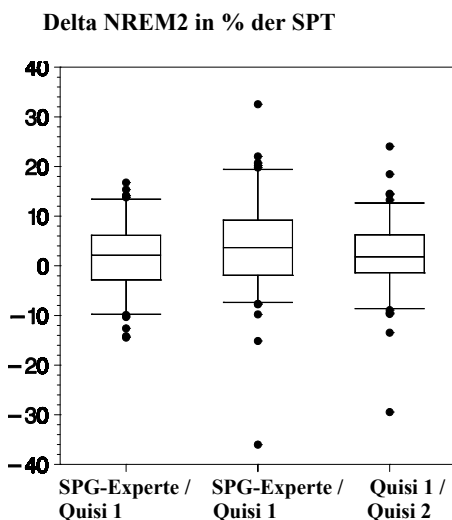


Abbildung 27g –

Box-Plots der Verteilungen der Paardifferenzen des Parameters NREM2 in % der SPT

<i>NREM2 (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	2,2	9,0	1,8	6,8	>0,15	0,0132
SPG-Experte/QUISI 2	3,6	11,1	3,8	8,8	0,1264	<0,0001
QUISI 1/QUISI 2	1,8	7,6	2,1	6,9	0,1149	0,0005

Tabelle 4g – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter NREM2 (in % der SPT) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

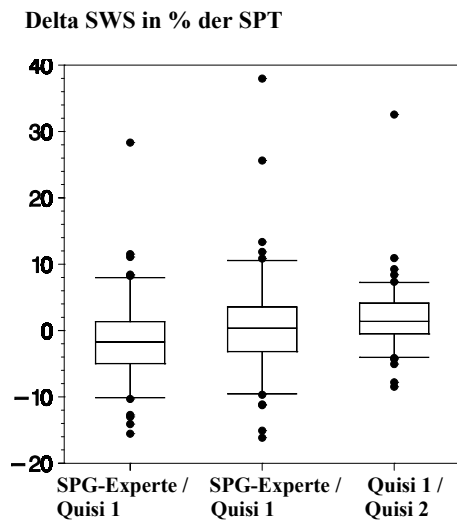


Abbildung 27h –
Box-Plots der Verteilungen der Paardifferenzen
des Parameters SWS in % der SPT

<i>SWS (in % der SPT)</i>	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	-1,7	6,3	-1,4	6,0	0,0246	0,0017
SPG-Experte/QUISI 2	0,4	6,7	0,4	7,1	<0,01	0,8462
QUISI 1/QUISI 2	1,4	4,6	1,8	4,6	<0,01	<0,0001

Tabelle 4h – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter SWS (in % der SPT) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese p($\mu=0$)

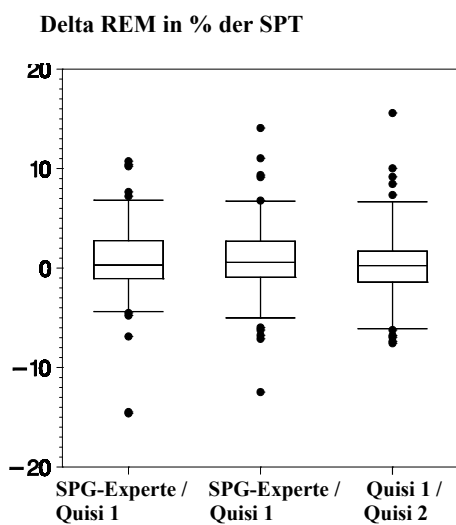


Abbildung 27i –
Box-Plots der Verteilungen der
Paardifferenzen des Parameters
REM in % der SPT

Wie aus Abb. 27h und Tab. 4h ersichtlich, erreichte der Auswertende der Somnopolygraphie gegenüber dem Auswertenden QUISI 1 (Vorzeichenrangtest: $p=0,0017$) statistisch signifikant höhere Werte für den Parameter SWS (in % der SPT). Auch ließen sich hierbei statistisch signifikant höhere Werte beim Auswertenden QUISI 2 gegenüber QUISI 1 nachweisen (Vorzeichenrangtest: $p<0,0001$).

In Abb. 27i finden sich die Verteilungen der Differenzen zwischen den drei paarweisen Kombinationen der Auswertansätze in Form von Box-Plots für den Parameter REM (in % der SPT). Zusätzliche deskriptive Statistiken, sowie die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese $\mu=0$ sind in Tab. 4i tabellarisch aufgelistet. Für den Parameter REM (in % der SPT) ließen sich mittels Vorzeichenrangtest

durchschnittlich signifikant höhere Werte beim Auswertenden QUISI 2 gegenüber dem Auswertenden der Somnopolygraphie nachweisen ($p=0,0063$).

REM (in % der SPT)	Median	IQR	\bar{x}	SD	p(D)	p($\mu=0$)
SPG-Experte/QUISI 1	0,3	3,8	0,6	3,8	<0,01	0,0529
SPG-Experte/QUISI 2	0,6	3,6	1,0	3,7	<0,01	0,0063
QUISI 1/QUISI 2	0,2	3,1	0,4	3,6	<0,01	0,3014

Tabelle 4i – deskriptive Statistiken zur Verteilung der paarweisen Differenzen für den Parameter REM (in % der SPT) sowie Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung p(D) und des Vorzeichenrangtests für die Hypothese $p(\mu=0)$

3.5 Analyse mittels Kappa-Koeffizienten

In diesem Kapitel werden die Übereinstimmungen zweier Auswerter (Interrater-Reliabilität) auf der Basis einzelner Epochen mittels Kappa-Koeffizienten wiedergegeben. Während in Kap. 3.5.1 jeweils ein Auswerter des fronto-polaren Signals mit dem Auswerter der Somnopolygraphie verglichen wird, finden sich in Kap. 3.5.2 die Ergebnisse des Vergleich der beiden Auswerter für das fronto-polare Signal (QUISI 1 vs. QUISI 2).

Bei der Darstellung der Ergebnisse wird jeweils zunächst auf die Gesamtübereinstimmung ohne Unterscheidung einzelner Nächte eingegangen (gepoolte Daten). Im weiteren werden die bei den drei Paarvergleichen erzielten Ergebnisse unter Berücksichtigung der einzelnen Nächte dargestellt.

3.5.1 Ergebnisse des Vergleichs von fronto-polarer EEG-Ableitung und Somnopolygraphie

Die Gesamtübereinstimmung der Auswertung von QUISI 1 und dem SPG-Experten für alle Epochen ($n=102608$) betrug $\kappa=0,72$ (79,5 %) bei Unterscheidung der fünf Stadien: NREM1, NREM2, SWS, REM und Wach. Da der κ -Wert im Intervall von $0,61 < \kappa < 0,8$ liegt, kann, den Kriterien für die Bewertung von κ nach Landis und Koch (1977) folgend, eine „starke“ Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertungen angenommen werden.

Die Gesamtübereinstimmung der Auswertungen von QUISI 2 und SPG-Experte fiel mit $\kappa=0,70$ (77,7 %) etwas geringer aus, deutet jedoch ebenfalls auf eine „starke“ Übereinstimmung der beiden Auswertungen hin.

Beim Paarvergleich QUISI 1 - SPG-Experte (Tab. 5a) wurden Insgesamt 21075 Epochen (20,5 %) voneinander abweichend beurteilt, wobei die Kombination von NREM1 und

NREM2 am häufigsten vorkam (6458 Epochen bzw. 6,3 % aller Epochen oder 30,6 % aller unterschiedlich gepoolten Epochen), gefolgt von den Stadien NREM2 und SWS (5311 Epochen, 5,2 % aller Epochen oder 25,2 % aller unterschiedlich gepoolten Epochen) sowie Wach und NREM1 mit 4205 unterschiedlich bewerteten Epochen (4,1 % aller Epochen bzw. 20,0 % aller unterschiedlich gepoolten Epochen). Weiterhin wurden 2942 Epochen (2,9 % aller Epochen) von einem Auswerter als NREM1 und vom anderen als REM gewertet. Die Kombination von voneinander abweichenden Urteilen die Stadien Wach und SWS, NREM1 und SWS, sowie REM und SWS betreffend war mit 0,03 % aller Epochen insgesamt selten. In Tab. 5a ist die Anzahl der übereinstimmend gewerteten (Diagonale – fett) und der voneinander abweichend beurteilten Epochen des Paarvergleichs QUISI 1 - SPG-Experte aufgelistet.

QUISI 1	SPG-Experte				
	Wach	NREM1	NREM2	REM	SWS
Wach	17793	1308	269	281	9
NREM1	2897	6995	2942	1043	4
NREM2	282	3516	35184	583	3277
REM	188	1899	513	14803	0
SWS	15	15	2034	0	6758

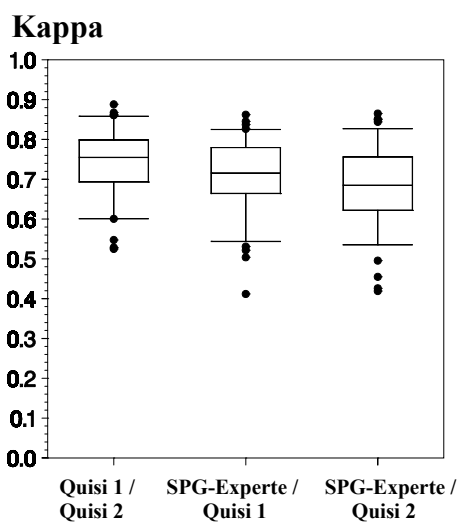
Tabelle 5a – Kreuztabelle aller ausgewerteten Epochen (n=102608) des Paarvergleichs QUISI1 – SPG-Experte

Der Paarvergleich QUISI 2 – SPG Experte ergab 23019 voneinander abweichend beurteilte Epochen (22,3 % aller Epochen). Die Reihenfolge der Häufigkeiten der einzelnen unterschiedlich bewerteten Epochen entspricht der des obigen Paarvergleichs, wobei insgesamt mehr Epochen voneinander abweichen. In Tab. 5b ist die Anzahl der übereinstimmend gewerteten (Diagonale – fett) und der voneinander abweichend beurteilten Epochen des Paarvergleichs QUISI 2 - SPG-Experte aufgelistet.

QUISI 2	SPG-Experte				
	Wach	NREM1	NREM2	REM	SWS
Wach	18314	2665	608	399	19
NREM1	1782	4159	1644	675	6
NREM2	593	4802	35130	992	2673
REM	363	2073	531	14637	1
SWS	23	34	3029	7	7349

Tabelle 5b – Kreuztabelle aller ausgewerteten Epochen (n=102608) des Paarvergleichs QUISI2 – SPG-Experte

Die Verteilung der κ -Werte für die einzelnen Aufzeichnungen variiert für den Vergleich QUISI 1 - SPG-Experte von 0,41 bis 0,86. Nach den Kriterien zur Evaluation von κ von Landis und Koch (1977) stimmten 10 % der Auswertungen „vollständig“ überein ($\kappa > 0,8$). Für 77 % der Auswertungen ergab sich eine „starke“ Übereinstimmung ($0,61 < \kappa < 0,8$), eine „deutliche“ Übereinstimmung fand sich für 13 % der Aufzeichnungen ($0,41 < \kappa < 0,6$). Die κ -Werte für die einzelnen Aufzeichnungen für den Vergleich QUISI 2 – SPG-Experte variiert von 0,42 bis 0,87. Hier lagen nach den Kriterien zur Evaluation von κ von Landis und Koch



(1977) 8 % der Werte im Bereich „vollständige“ und 77 % im Bereich „starke“ Übereinstimmung. Bei 15 % fand sich eine „deutliche“ Übereinstimmung der Auswertenden.

Die Variationsbreite der κ -Koeffizienten auf der Basis einzelner Auswertungen war für beide Auswerter des fronto-polaren Signals mit der Expertenauswertung der SPG annähernd gleich (Abb. 28a).

Abbildung 28a –
Verteilung der Kappa-Koeffizienten für die Gesamtübereinstimmung bei Unterscheidung von fünf Stadien

Bei der schlafstadienspezifischen Analyse ergaben sich, den Vergleich von QUISI 1 und SPG-Experte (Tab. 6a) betreffend, für die Stadien REM ($\kappa=0,84$ bzw. 95,6 %) und Wach ($\kappa=0,84$ bzw. 94,9 %) die größte Übereinstimmung. Eine „starke“ Übereinstimmung fand sich für die Stadien NREM2 ($\kappa=0,73$ bzw. 86,9 %) und SWS ($\kappa=0,69$ bzw. 94,8 %). Obgleich bezogen auf Stadium NREM1 86,7 % der Epochen gleich beurteilt wurden, ergab $\kappa=0,43$ lediglich eine „deutliche“ Übereinstimmung für NREM1.

<i>Stadium</i>	<i>Kappa-Koeffizienten</i>					
	insgesamt	Min	Max	SD	IQR	Grad d. Übereinst.
5 Stadien	0,72	0,41	0,86	0,08	0,12	"stark"
REM	0,87	0,46	0,99	0,10	0,10	"vollständig"
Wach	0,84	0,26	0,97	0,12	0,10	"vollständig"
NREM2	0,72	0,23	0,89	0,10	0,11	"stark"
SWS	0,63	0,00	0,92	0,28	0,49	"stark"
NREM1	0,43	0,04	0,63	0,12	0,18	"deutlich"

Tabelle 6a – Verteilungen der Kappa-Koeffizienten des Paarvergleichs SPG-Experte/QUISI1

QUISI 2 und SPG-Experte (Tab. 6b) beurteilten 95,1 % der Epochen ($\kappa=0,82$) des Stadium REM „vollständig“ übereinstimmend. Für die Stadien Wach ($\kappa=0,81$), NREM2 ($\kappa=0,70$) und SWS ($\kappa=0,69$) fand sich ebenfalls eine „starke“ Übereinstimmung. Für NREM1 ergab $\kappa=0,31$ jedoch nur eine „schwache“ Übereinstimmung, obwohl auf NREM1 bezogen 86,7 % dieser Epochen von beiden gleich bewertet wurden.

<i>Stadium</i>	<i>Kappa-Koeffizienten</i>					
	insgesamt	Min	Max	SD	IQR	Grad d. Übereinst.
5 Stadien	0,68	0,42	0,87	0,09	0,13	"stark"
REM	0,84	0,28	0,99	0,10	0,13	"vollständig"
Wach	0,79	0,50	0,96	0,11	0,12	"stark"
NREM2	0,71	0,30	0,91	0,12	0,13	"stark"
SWS	0,63	0,00	0,94	0,28	0,46	"stark"
NREM1	0,30	-0,02	0,55	0,11	0,15	"schwach"

Tabelle 6b – Verteilungen der Kappa-Koeffizienten des Paarvergleichs SPG-Experte/QUISI2

Die Streuung der κ -Werte der schlafstadienspezifischen Analyse des Paarvergleichs QUISI 1 und SPG-Experte (Abb. 28b-f) war bei Stadium SWS am größten (0,00 bis 0,92) und zeigte die geringste Streubreite beim Stadium NREM1 (0,04 bis 0,63). Die Mediane der κ -Werte lagen für die Stadien REM (0,87) und Wach (0,84), NREM1 (0,43), NREM2 (0,72) und SWS (0,63) über den Mittelwerten der Kappa-Werte für die einzelnen Stadien. Es ergab sich eine „vollkommene“ Übereinstimmung für 80 % der als Stadium REM, 65 % Wach, 4 % NREM1, 24 % NREM2 und 22 % SWS gewerteten Epochen. Keine bzw. eine unter der Zufallserwartung liegende Übereinstimmung wiesen 0 % der REM, 0 % der Wach, 2 % der NREM1, 0 % der NREM2, 14 % der SWS Epochen auf.

Analog dazu ergab die schlafstadienspezifische Analyse des Paarvergleichs QUISI 2 und SPG-Experte (Abb. 28b-f) die größte Streuung der κ -Werte für Stadium SWS (0,00 bis 0,94) und die geringste für Stadium Wach (0,50 bis 0,96). Hier lagen die Mediane beim Stadium REM (0,84), NREM2 (0,71), SWS (0,63) und Wach (0,79) über, beim Stadium NREM1 (0,30) unter den Mittelwerten der Kappa-Werte für die einzelnen Stadien. Hier zeigte sich nach den Kriterien zur Bewertung von Kappa nach Landis und Koch (1977) eine „vollkommene“ Übereinstimmung für 68 % der als Stadium REM, 47 % Wach, 0 % NREM1, 12 % NREM2 und 31 % SWS gewerteten Epochen. Keine bzw. eine unter der Zufallserwartung liegende Übereinstimmung wiesen 0 % der REM, 0 % Wach, 3 % NREM1, 0 % NREM2, 8 % SWS Epochen auf.

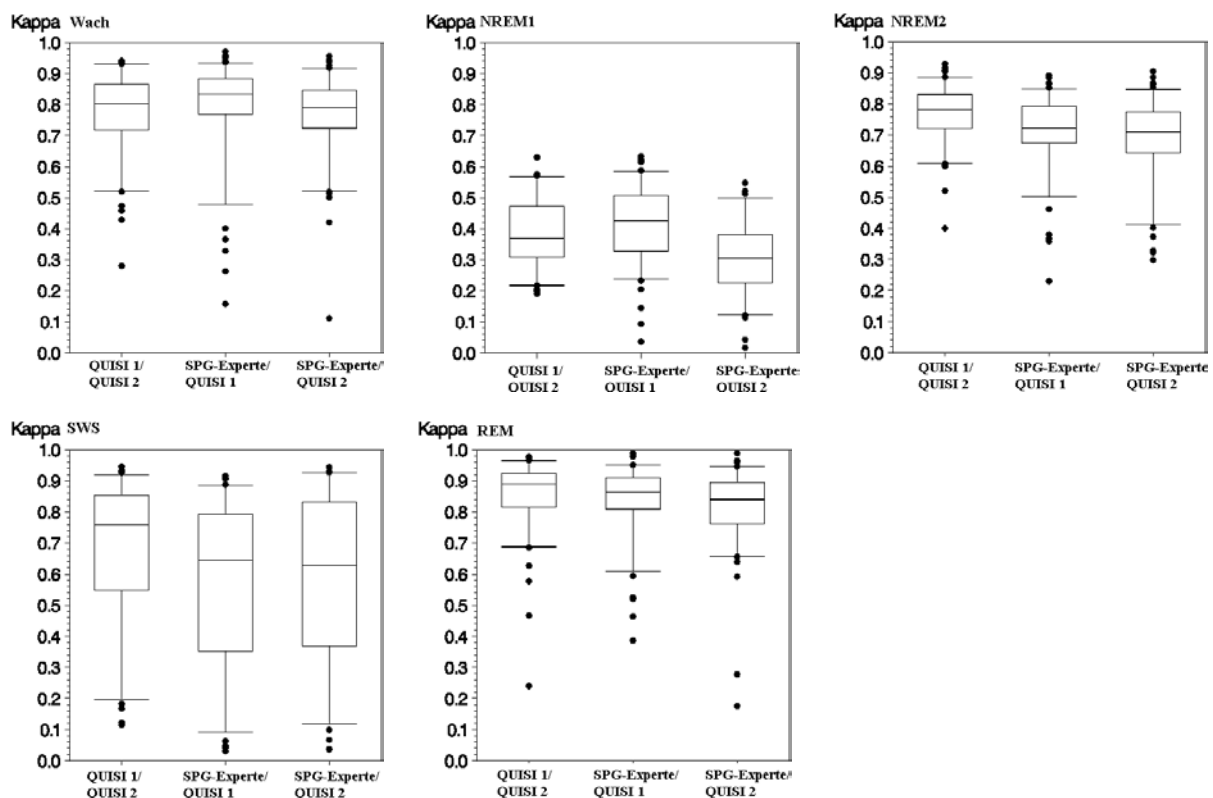


Abbildung 28b-f – Verteilung der Kappa-Koeffizienten für die einzelnen Stadien

3.5.2 Ergebnisse des Vergleichs zweier Auswertungen des fronto-polar abgeleiteten EEGs

Die Gesamtübereinstimmung des Vergleichs zweier Auswertungen des fronto-polar abgeleiteten EEGs (QUISI 1 – QUISI 2) ergab für alle Epochen (n=102608) einen κ -Wert von

0,75 (81,9 %). Nach den Kriterien für die Bewertung von κ (Landis und Koch, 1977) besteht somit eine „starke“ Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertern, da Kappa im Intervall $0,61 < \kappa < 0,8$ liegt.

Beim Paarvergleich QUISI 1 – QUISI 2 wurden insgesamt 18611 Epochen (18,2 %) voneinander abweichend beurteilt, wobei NREM1 und NREM2 am häufigsten nicht übereinstimmten (5399 Epochen bzw. 5,3 %), gefolgt von den Stadien Wach und NREM1 (4570 Epochen; 4,5 %) sowie NREM2 und SWS mit 3695 unterschiedlich bewerteten Epochen (3,6 %). Weiterhin wurden 2182 Epochen mit NREM1-REM abweichend gewertet. Die Kombination von voneinander abweichenden Urteilen die Stadien Wach und SWS, NREM1 und SWS sowie REM und SWS betreffend war mit 0,1 % insgesamt selten. In Tab. 7 ist die Anzahl der übereinstimmend gewerteten (Diagonale – fett) und der voneinander abweichend beurteilten Epochen des Paarvergleichs QUISI 1 – QUISI 2 aufgelistet.

<i>QUISI 1</i>	<i>QUISI 2</i>				
	Wach	NREM1	NREM2	REM	SWS
Wach	17830	1147	296	375	12
NREM1	3423	4985	4058	1391	24
NREM2	467	1341	37987	398	2649
REM	367	791	803	15440	2
SWS	18	2	1046	1	7755

Tabelle 7 – Kreuztabelle aller ausgewerteten Epochen (n=102608) des Paarvergleichs QUISI1 – QUISI2

Die Verteilung der κ -Werte der einzelnen Aufzeichnungen des Vergleichs QUISI 1 – QUISI 2 variierte von 0,53 bis 0,89 (Abb. 28a). Es lagen 24 % der Auswertungen im Bereich der „vollständigen“ Übereinstimmung. 71 % der Auswertung standen in „starkem“, 3 % in „deutlichem“ Einklang. Keine Übereinstimmung wiesen 2 % der Auswertungen auf.

Bei der Analyse der einzelnen Schlafstadien beim Vergleich QUISI 1 – QUISI 2 (Tab. 8) ergab sich für die Stadien REM ($\kappa=0,86$ bzw. 95,98 %) und Wach ($\kappa=0,82$ bzw. 94,05 %) die höchste Übereinstimmung. Eine „starke“ Übereinstimmung fand sich für die Stadien NREM2 ($\kappa=0,78$ bzw. 89,22 %) und SWS ($\kappa=0,79$ bzw. 96,34 %). Bei der Beurteilung des Stadium NREM1 wurden bei einer „schwachen“ Übereinstimmung ($\kappa=0,39$) 88,13 % der Epochen übereinstimmend gewertet.

Stadium	Kappa-Koeffizienten					
	insgesamt	Min	Max	SD	IQR	Grad d. Übereinst.
5 Stadien	0,76	0,53	0,89	0,08	0,11	"stark"
REM	0,89	0,24	0,98	0,11	0,11	"vollständig"
Wach	0,80	0,28	0,94	0,13	0,15	"vollständig"
NREM2	0,78	0,40	0,93	0,09	0,11	"stark"
SWS	0,76	0,00	0,95	0,24	0,30	"stark"
NREM1	0,37	0,19	0,63	0,11	0,17	"schwach"

Tabella 8 – Verteilungen der Kappa-Koeffizienten des Paarvergleichs QUISI1/QUISI2

Die Streuung der κ -Werte der schlafstadienspezifischen Analyse des Paarvergleichs QUISI 1 und QUISI 2 (Abb. 28b-f) war bei Stadium SWS am größten (0,00 bis 0,95) und zeigte die kleinste Streubreite beim Stadium NREM1 (0,19 bis 0,63). Die Mediane lagen beim Stadium REM (0,89) und NREM2 (0,78) über, bei den Stadien NREM1 (0,37), SWS (0,76) und Wach (0,80) unter den gesamt Kappa-Werten der einzelnen Stadien. Es ergab sich eine vollkommene Übereinstimmung für 79 % der als Stadium REM, 52 % Wach, 0 % NREM1, 41 % NREM2 und 40 % SWS gewerteten Epochen. Keine bzw. eine unter der Zufallserwartung liegende Kongruenz wiesen lediglich 4 % der als Stadium SWS bewerteten Epochen auf.

3.4.3 Verteilungsunterschiede in Kappa

Der Kruskal-Wallis Test auf Unterschiede in der Verteilung der Kappa –Koeffizienten ergab sowohl für die auf der Basis aller 5 Stadien ($p < 0,0001$) als auch für die stadienspezifisch berechneten Kappa-Koeffizienten (Wach: $p = 0,0171$; NREM1: $p < 0,0001$; NREM2: $p < 0,0001$; SWS: $p = 0,0036$; REM: $p = 0,0043$) statistisch signifikante Verteilungsunterschiede zwischen den drei Vergleichen.

Ein zu deskriptiven Zwecken nachgeschalteter paarweiser Vergleich mittels Wilcoxon-Test ergab für die Paarvergleiche SPG-Experte - QUISI 1 und SPG-Experte - QUISI 2 signifikante Verteilungsunterschiede sowohl für die auf der Basis aller 5 Stadien berechneten Kappa-Werte ($p = 0,0231$) als auch für die Kappa-Werte der Stadien NREM1 ($p < 0,0001$) und Wach ($p = 0,0052$).

Für die Paarvergleiche SPG-Experte - QUISI 1 und QUISI 1 - QUISI 2 ergab der nachgeschaltete Wilcoxon-Test signifikante Verteilungsunterschiede für die auf der Basis

aller 5 Stadien berechneten Kappa-Werte ($p=0,0220$) und die Kappa-Werte der Stadien NREM1 ($p=0,0102$), NREM2 ($p=0,0001$), Wach ($p=0,0489$) und SWS ($p=0,0015$).

Ebenfalls signifikante Verteilungsunterschiede ließen sich bei den Paarvergleichen SPG-Experte - QUISI 2 und QUISI 1 - QUISI 2 mittels Wilcoxon-Test für die auf der Basis aller 5 Stadien berechneten Kappa-Werte ($p<0,0001$) und die Kappa-Werte der Stadien NREM1 ($p<0,0001$), NREM2 ($p<0,0001$), SWS ($p=0,0141$) und REM ($p=0,0016$) nachweisen.