

(Aus der Physiologischen Abteilung des Kaiser-Wilhelm-Instituts
für Hirnforschung, Berlin-Buch.)

Über Ermüdung und Schlaf auf Grund hirnbioelektrischer Untersuchungen¹.

Von

R. Grüttner und A. Bonkáló².

Mit 6 Textabbildungen.

(Eingegangen am 30. März 1940.)

Hatte man den Schlaf lange Zeit als einen rein *passiven* Zustand angesehen, gekennzeichnet vor allem durch eine Herabsetzung bzw. Ausschaltung des Bewußtseins, so ist es durch die Untersuchungen von *v. Economo*, *Pötzl*, *Hess* u. a. wahrscheinlich gemacht worden, daß es sich beim Schlaf nicht um einen bloßen Ruhezustand des Körpers oder des Zentralnervensystems handelt, sondern um einen dem Wachzustand gegenüber gänzlich anders gearteten Zustand des Gesamtorganismus, wobei bestimmten Teilen des Zentralnervensystems eine *aktive* Rolle als „Schlafsteuerungszentrum“ (im Sinne *v. Economos*) zufällt. Die im Schlaf eintretende Funktionsänderung erstreckt sich dabei auf alle Organe des Gesamtorganismus, insbesondere also auch auf das Zentralnervensystem in allen seinen Teilen und Funktionen, den vegetativen, animalischen und psychischen. Was insbesondere die letzteren betrifft, so weist *Pötzl* darauf hin, daß der Schlaf nicht einfach in einer Herabsetzung des Bewußtseins besteht, sondern im Schlaf ganz bestimmte vom Wachzustand verschiedene seelische Mechanismen ins Spiel kommen, die als *aktive* Leistungen des Schlafsteuerungszentrums anzusehen sind.

Wenig geklärt ist bisher die Frage, welche Bedingungen erforderlich sind, damit das „Schlafsteuerungszentrum“ in Aktion tritt. Kann einerseits kein Zweifel bestehen, daß man einschlafen kann, ohne ermüdet zu sein (z. B. im Zustande der Monotonie), so spielt andererseits für gewöhnlich sicher die *Ermüdung* eine Hauptrolle für das Zustandekommen des Schlafes. Wie es nun aber infolge der Ermüdung zu einer Aktivierung des Schlafsteuerungszentrums kommt, diese Frage ist um so schwieriger zu beantworten, da das außerordentlich komplizierte und vielgestaltige Ermüdungsproblem selber noch weit von einer einigermaßen befriedigenden Lösung entfernt ist. Wenn z. B. *v. Economo* annimmt, daß im Blut kreisende „Ermüdungsstoffe“ als auslösender Faktor für das Schlafsteuerungszentrum in Betracht kommen, so setzt das voraus, daß die

¹ Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

² Psychiatrisch-neurologische Universitätsklinik zu Budapest (Vorstand: Prof. L. Benedek).

Ermüdung durch die Anhäufung von Ermüdungsstoffen bedingt sei oder zu einer solchen führe, eine Annahme, die vermutlich nur für gewisse Formen der Ermüdung (schwere körperliche lange Zeit fortgesetzte Arbeit), aber sicher nicht allgemein zutrifft. Siehe dazu *Simonson*.

Wenn andererseits *Pick* und *Molitor* die Bedeutung der *Großhirnerregungen* für den Schlafeintritt und für Schlafstörungen hervorheben, indem sie darauf hinweisen, daß die im Zwischen- und Mittelhirn liegenden Zentren (damit also auch das „Schlafsteuerungszentrum“) durch die Tätigkeit des Großhirns gehemmt werden und umgekehrt die Ausschaltung des Großhirns eine Enthemmung dieser Zentren zur Folge hat, so entsteht die Frage, inwieweit bei Ermüdungszuständen eine Herabsetzung der funktionellen Tätigkeit der Hirnrinde zu beobachten ist.

Es ist nicht unsere Absicht, hier das Ermüdungs- und Schlafproblem in seinem ganzen Umfang aufzurollen, vielmehr haben wir uns die bescheidenere Aufgabe gestellt, über die Ergebnisse von Untersuchungen zu berichten, welche die *bioelektrische Tätigkeit der Hirnrinde des Menschen* bei Ermüdungszuständen und im Schlaf betreffen und die Bedeutung dieser Ergebnisse für die oben angedeuteten Probleme kurz zu besprechen.

Bei unseren Untersuchungen bedienten wir uns der hirnbioelektrischen Lokalisationsmethodik¹. Ihrer Anwendung auf die Ableitung vom uneröffneten Schädel des Menschen liegt die Auffassung zugrunde, daß die von einer bestimmten Stelle der Kopfhaut abgeleiteten Potentialschwankungen primär ein Ausdruck sind für die funktionelle Tätigkeit des jeweils unter der betreffenden Elektrode liegenden Hirnrindengebietes (und eines nur kleinen Umkreises desselben), während die von verschiedenen Stellen gleichzeitig abgeleiteten Spannungsschwankungen uns Auskunft geben über die zeitlichen Beziehungen der Erregungsabläufe der verschiedenen Hirnrindengebiete zueinander. Ob wir darüber hinaus durch das Studium der bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrinde indirekt auch genauere Aufschlüsse über die Tätigkeit subcorticaler „Zentren“ erhalten, für die Beantwortung dieser Frage im positiven Sinne sind gewisse Anhaltspunkte vorhanden², doch steht die Bearbeitung dieser Probleme, zu denen ja auch das Schlafproblem gehört, erst in ihren Anfängen.

Was zunächst die von uns untersuchten *Ermüdungszustände* betrifft, so handelt es sich einmal um solche leichteren Grades, wie sie im Laufe des Tages (z. B. nach dem Mittagessen), und ferner um Zustände starker Ermüdung, wie sie spät abends oder nach einer ganz oder teilweise durchwachten Nacht aufzutreten pflegen. In allen diesen Fällen fanden wir

¹ Bezüglich der Einzelheiten der hirnbioelektrischen Untersuchungsmethodik des Menschen und ihrer Begründung müssen wir auf die einschlägigen Arbeiten verweisen. Siehe *Kornmüller und Janzen* 1939.

² Siehe *Kornmüller*.

je nach dem Grad der Ermüdung mehr oder minder starke charakteristische Abweichungen von dem im unermüdeten Zustand vorhandenen hirnbioelektrischen Bild, das wir im Zusammenhang dieser Arbeit kurz als hirnbioelektrisches „Normalbild“ bezeichnen wollen. Ein Beispiel für

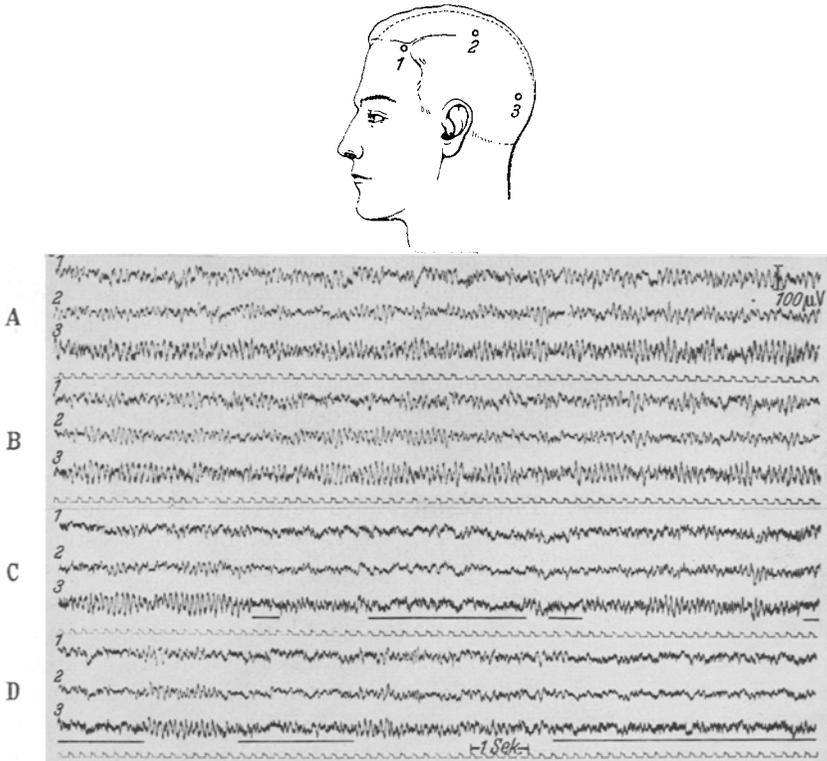


Abb. 1. Registrierungen von einer Versuchsperson (Gr.) in gut ausgeruhtem (A und B) und in stark ermüdetem Zustand nach nur 2 Stunden Nachtschlaf am späten Nachmittag (C und D). Gleichzeitige unipolare Ableitungen gegen ein Ohr von den Stellen 1, 2 und 3 des Schemas (oben). A und B schließen ebenso wie C und D unmittelbar aneinander an. A und B: Auf allen 3 Ableitungen rege Produktion von Spannungsschwankungen mit einer Frequenz von 10,5 Hz. Die Ableitung von der occipital gelegenen Stelle 3 zeigt die größten Amplituden und die kontinuierlichste Folge von Spannungsschwankungen. C und D: Die Produktion von 10,5 Hz-Schwankungen ist erheblich diskontinuierlicher und unregelmäßiger als auf A und B. Zeitweise fehlen diese Schwankungen fast völlig (s. die durch Striche markierten Strecken) oder sind an Amplitude stark herabgesetzt.

ein solches Normalbild bringen A und B der Abb. 1¹. Wie man sieht, setzen sich die Kurven (unipolare Ableitungen gegen ein Ohr von je einer frontalen (1), zentralen (2) und occipitalen (3) Stelle) in der Hauptsache zusammen aus relativ großen und trägen Schwankungen, deren Frequenz etwa 10/Sek. (10 Hz) beträgt (α -Wellen nach Berger). Neben

¹ Sämtliche Kurven wurden mit einer Papiergeschwindigkeit von 33 mm/Sek. registriert; hieraus ergibt sich der jeweilige Verkleinerungsmaßstab der Abbildungen.

diesen finden sich gelegentlich Schwankungen erheblich kleinerer Amplitude, deren Frequenz ungefähr doppelt so groß ist als die der α -Wellen.

Die ersten Anzeichen von Ermüdung bestehen darin, daß der für den Wachzustand typische, vor allem über occipitalen Rindengebieten bei den meisten Individuen sehr regelmäßige, α -Rhythmus in der Weise unregelmäßiger wird, daß die *Amplitudengröße* der aufeinanderfolgenden Wellen sich *stärker* und innerhalb kürzerer Zeitabstände *ändert* als dies normalerweise der Fall ist. Mit zunehmender Ermüdung finden sich außerdem immer häufiger Strecken, auf denen die Amplituden der α -Wellen *im ganzen* verkleinert sind; und zwar werden frontale und vor allem zentrale Rindengebiete von dieser Amplitudenverringering meist früher und in stärkerem Maße betroffen als caudal davon gelegene. Mit

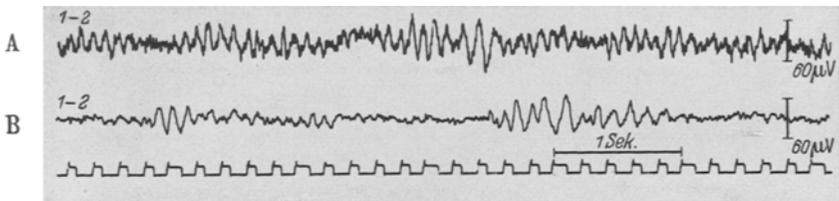


Abb. 2. Versuchsperson Kt. Ausschnitte aus bipolaren Ableitungen zwischen einem frontalen und einem zentralen Punkt (etwa den Punkten 1 und 2 des Schemas der Abb. 1 entsprechend). A Versuchsperson gut ausgeruht; nahezu ununterbrochene Produktion von großen Potentialschwankungen, deren Frequenz im allgemeinen 12 Hz beträgt, gelegentlich jedoch nach kleineren Werten hin schwankt. (S. knapp hinter der Mitte von A.) B Versuchsperson stark ermüdet (Registrierung morgens nach nur 3 Stunden Nachtschlaf). Nur gelegentlich treten Schwankungen größerer Amplitude auf, deren durchschnittliche Frequenz gegenüber der Kontrolle deutlich verringert ist.

der Amplitudenverminderung geht ferner häufig ein *Unregelmäßigerwerden* und eine *Verlangsamung des Rhythmus* der α -Wellen einher, die beide, wie Abb. 2 zeigt, unter Umständen einen beträchtlichen Grad erreichen können.

Zu diesen Veränderungen, die Amplitude und Frequenz der großen trägen Wellen betreffen, gesellt sich als weiteres Ermüdungssymptom eine je nach dem Grad der Ermüdung verschieden stark ausgeprägte *Diskontinuität* der Spannungsproduktion, wofür C und D der Abb. 1 ein Beispiel bringen. Diese besteht darin, daß streckenweise die α -Wellen ganz fehlen oder (mit sehr verminderter Amplitude) nur vereinzelt auftreten, während kleine rasche Schwankungen, die sonst nur zwischen die größeren trägeren Wellen eingestreut erscheinen, vorherrschen. Diese Diskontinuität kann bei Zuständen sehr großer Ermüdung einen derartigen Grad erreichen, daß die α -Wellen über lange Zeitstrecken fast völlig fehlen.

Während solcher Strecken mit verminderter Spannungsproduktion können gelegentlich kurze Gruppen *normaler* Schwankungen auftreten, bisweilen jedoch auch Gruppen von Schwankungen, die ein in verschie-

dener Hinsicht von der Norm abweichendes Verhalten aufweisen. Einen häufig beobachteten Typ derartiger Gruppen zeigen C der Abb. 3 und B der Abb. 5. An diesen Gruppen, die über allen durch Ableitung von der Kopfhaut erfaßbaren Rindengebieten gleichzeitig aufzutreten pflegen,

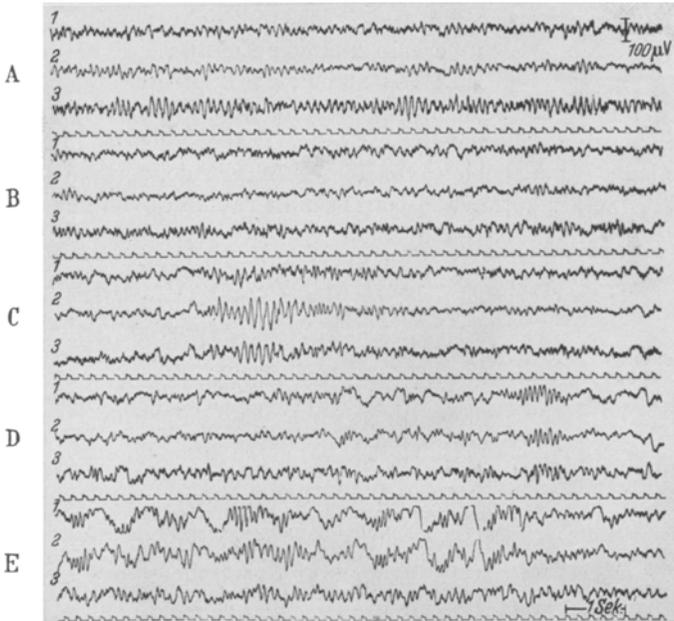


Abb. 3. Ausschnitte aus einer fortlaufenden Registrierung von einer stark ermüdeten Versuchsperson (Ma.) vor und während des Schlafes. Die Registrierung erfolgte abends nach anstrengender Berufstätigkeit. Je 3 Kurven sind gleichzeitig registriert: Unipolare Ableitungen von den Stellen 1 (frontal), 2 (zentral) und 3 (occipital). S. Schema der Abb. 1. Der Eichwert rechts oben gilt für alle Kurven A—E. Zwischen A und E liegt ein Zeitintervall von etwa einer halben Stunde. A Versuchsperson wach. Schwankungen mit einer Frequenz von etwa 10 Hz herrschen vor. Der occipitale Punkt (3) zeigt die größten Amplituden und die kontinuierlichste Spannungsproduktion. Im Laufe der Zeit entwickelt sich mehr und mehr ein Bild, wie es B zeigt. B Gegenüber A sind die Amplituden deutlich verkleinert, und zwar verhältnismäßig am stärksten auf der occipitalen Ableitung. Die 10 Hz-Schwankungen sind erheblich seltener geworden. In unregelmäßiger Folge treten trägere Wellen auf. S. insbesondere knapp rechts neben der Mitte auf 1. C Gelegentlich erscheinen Gruppen großer Schwankungen, deren Frequenz etwas kleiner ist als 10 Hz. Auffällig die großen Amplituden dieser Schwankungen auf der zentralen Ableitung (2) (vgl. mit 2 auf A). D Im Laufe der Zeit nehmen die trägen Schwankungen an Länge und an Amplitude zu. Es treten Gruppen von 13 Hz-Schwankungen auf (diese sind in der Regel über vorderen Rindenabschnitten am deutlichsten, s. rechte Hälfte von D). Einschlafphase. E Versuchsperson schläft. Stärkere Ausprägung des eben beschriebenen Bildes. Die Schwankungen haben an Amplitude zu-, ihre Frequenz hat abgenommen. Die Amplitudenzunahme über 1 und 2 ist größer als über 3. (Vgl. mit den entsprechenden Ableitungen auf A.)

fällt auf, daß die Frequenz der Schwankungen etwas kleiner ist als die der normalen, d. h. im unermüdeten Zustand von der Hirnrinde produzierten α -Wellen, und ferner, daß die Schwankungen über der Zentralregion größer sind als diejenigen über dem Occipitalhirn, was im uner-

müdeten Zustand im allgemeinen nicht der Fall ist. (Vgl. mit den im unermüdeten Zustand vorgenommenen Kontrollregistrierungen auf A der Abb. 3 bzw. A der Abb. 5.) Das Bemerkenswerte an diesen Gruppen ist — abgesehen von der Verlangsamung des Schwankungsrhythmus —

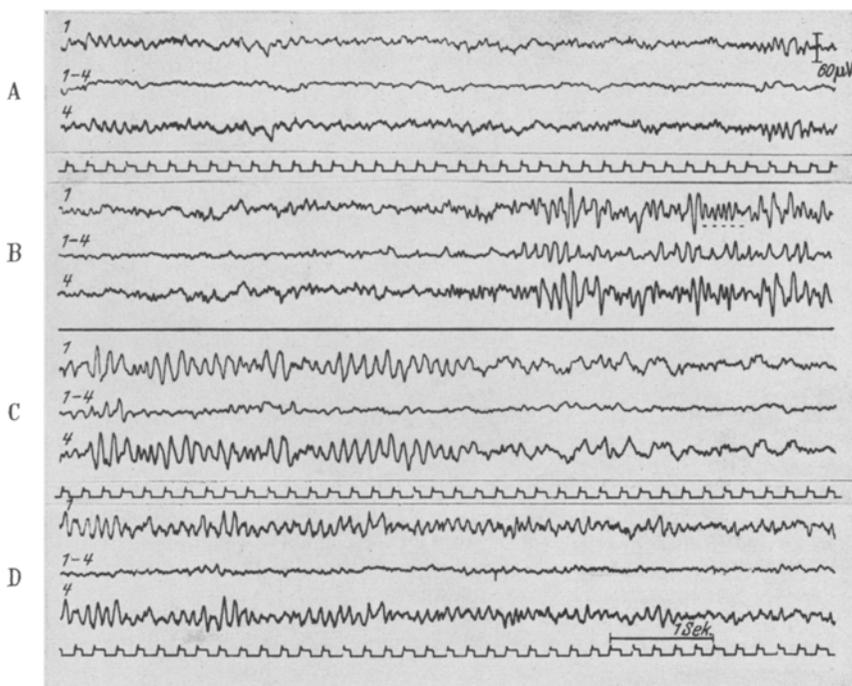
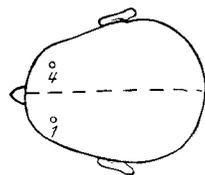


Abb. 4. Versuchsperson Do. Gleichzeitige Ableitungen von den symmetrisch zueinander über dem Stirnhirn liegenden Punkten 1 und 4, und zwar unipolar von jedem der Punkte gegen ein Ohr (1 und 4) und bipolar zwischen den beiden Punkten (1—4). Näheres s. Text.

die Tatsache, daß die *Größenbeziehungen*, die zwischen den Potentialschwankungen verschiedener Rindengebiete bestehen, im Zustande der Ermüdung Abänderungen erfahren können. In diesem Zusammenhang sind — bisher allerdings nur an einzelnen sehr stark ermüdeten Versuchspersonen erhobene — Befunde von Interesse, aus denen hervorgeht, daß auch die *zeitlichen Beziehungen*, die zwischen den Entladungsrhythmen verschiedener Rindengebiete bestehen, sich im Zustande der Ermüdung

vorübergehend ändern können. Ein Beispiel hierfür, und zwar für eine vorübergehende Aufhebung des *Synchronismus*, der für die Spannungsschwankungen verschiedener Stellen des *Stirnhirns* typisch ist, bringen die in Abb. 4 wiedergegebenen Kurven.

Von 2 frontalen Punkten, die symmetrisch über den beiden Hirnhälften lagen, wurde gleichzeitig unipolar von jedem der Punkte gegen ein Ohr (1 und 4) und bipolar zwischen den beiden Punkten (1—4) abgeleitet. Zwischen dem Streifen A und den fortlaufend registrierten Streifen B und C liegt ein Zeitraum von etwa $1\frac{1}{2}$ Min., zwischen den Streifen C und D ein solcher von etwa 2 Min. Die entsprechenden Kurvenstücke wurden fortgelassen. Zu Beginn der Registrierung zeigten die unipolaren Ableitungen (1 und 4) während längerer Zeit (4—5 Min.) im Verhältnis zu den entsprechenden Ableitungen im nichtermüdeten Zustand, die bei dieser Versuchsperson normalerweise etwa so aussehen wie auf D, eine verminderte Spannungsproduktion. Dabei war die Reduktion allerdings nicht immer so ausgesprochen wie während des größten Teiles von A, vielmehr traten, ähnlich wie am Ende von A, Gruppen von 10 Hz-Schwankungen auf, deren Länge sehr wechselte. Etwa 30 Sek. nach dem durch das Ende von A bezeichneten Zeitpunkt folgte eine Phase von etwa 2 Min. Dauer, während der sich öfter das auf B und C dargestellte Bild wiederholte. Auf den unipolaren Ableitungen traten durch längere Strecken verminderter Spannungsproduktion unterbrochene Gruppen recht lebhafter Spannungsschwankungen auf, deren Amplitude durchschnittlich größer war als die der normalen, im unermüdeten Zustand vorhandenen Schwankungen. (Siehe 2. Hälfte von B und 1. Hälfte von C.) Diese Schwankungen unterscheiden sich, abgesehen von ihrer Größe, auch sonst in bemerkenswerter Weise von den für den unermüdeten Zustand typischen 10 Hz-Schwankungen. So heben sich die Schwankungen der ersten Hälfte der aktiven Gruppe nicht, wie das sonst für das Verhalten des Stirnhirns typisch ist¹, auf der bipolaren Ableitung auf. Vielmehr zeigt diese deutliche Schwankungen, was so zu deuten ist, daß der Synchronismus, der sonst zwischen den Entladungsrhythmen der beiden Ableitungsstellen vorhanden ist, vorübergehend aufgehoben ist. Auch bezüglich der *Ablaufsform* sind Abweichungen von der Norm vorhanden (vgl. mit D), ferner erkennt man an der durch Punkte bezeichneten Stelle eine Gruppe von 20 Hz-Schwankungen verhältnismäßig großer Amplitude, wie sie sonst bei Ableitung von frontalen Punkten bei dieser Versuchsperson nicht beobachtet werden konnten. Die zweite Hälfte der aktiven Gruppe (siehe erste Hälfte von C) dagegen zeigt zwar (abgesehen von den ersten $\frac{3}{5}$ Sek. nach dem Anfang von C) bezüglich Ablaufsform und Differenz der unipolaren Ableitungen wieder das normale Verhalten, d. h. nur Schwankungen kleinster Amplitude auf der bipolaren Ableitung, jedoch haben die Potentialschwankungen eine deutlich geringere Frequenz, als der Norm entspricht (8 Hz statt 10 Hz). Auf der rechten Hälfte von C sind nach dem Abklingen der gesteigerten Tätigkeit träge Wellen unregelmäßiger Ablaufsform zu erkennen. Etwa 50 Sek. nach dem durch das Ende von C bezeichneten Zeitpunkt erfolgte im Anschluß an einen lauten, an die Versuchsperson gerichteten Zuruf, der als Schreckreiz wirkte, eine länger anhaltende Normalisierung der Potentialschwankungen. Einen Ausschnitt hieraus zeigt Streifen D.

Kurz dauernde Aktivierungen der Spannungsproduktion in Form von Gruppen normaler Schwankungen oder von Schwankungen, die in der beschriebenen Weise von der Norm abweichen, erfolgten häufig „spontan“, d. h. ohne daß wir einen Grund für ihr Auftreten erkennen konnten. Bisweilen gelingt es jedoch, derartige Aktivierungen dadurch

¹ Kornmüller u. Janzen (b).

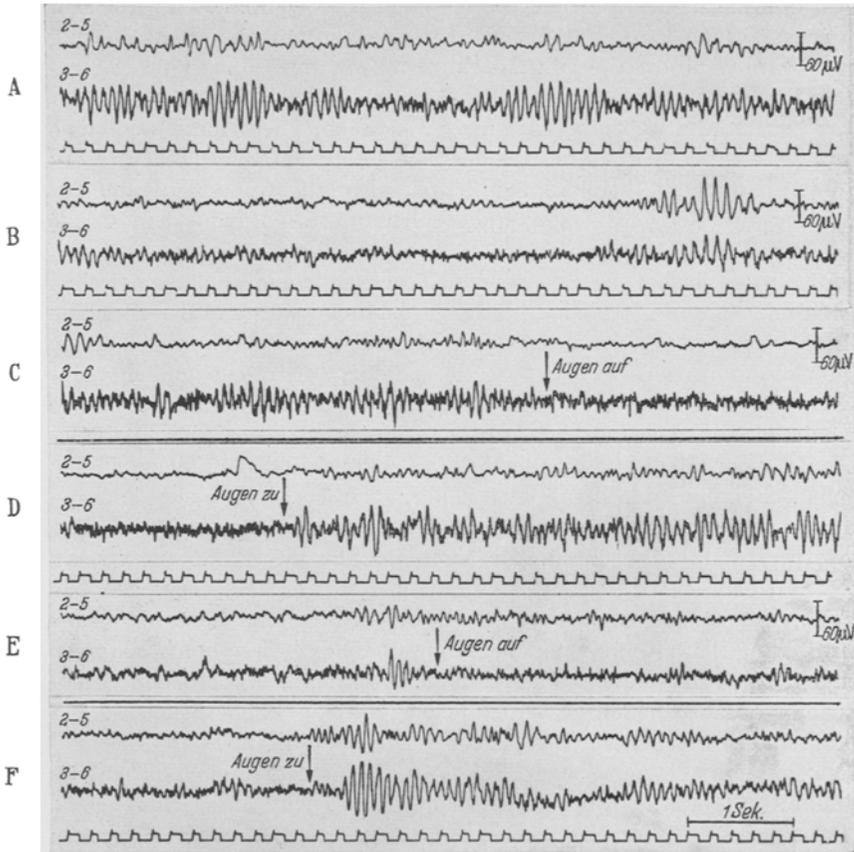
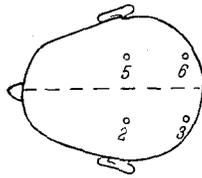


Abb. 5. Versuchsperson We. Gleichzeitige bipolare Ableitungen von je 2 symmetrisch zueinander über der Zentral- und Occipitalregion gelegenen Stellen (2—5 bzw. 3—6). A Kontrollregistrierung von der gut ausgeruhten Versuchsperson. B Versuchsperson sehr müde (morgens nach Nachtschlaf von nur 2 Stunden Dauer). Gegenüber der Kontrollregistrierung A sind die Amplituden im ganzen vermindert (s. den größeren Teil von B). Auffällig ist das Auftreten einer Gruppe von Schwankungen mit abnorm großen Amplituden über der Zentralregion (2—5) (s. letztes Viertel von B). C—F Wirkung des Augenöffnens auf die bioelektrische Spannungsproduktion (C und D sind ebenso wie E und F fortlaufend registriert. C und D Versuchsperson in gut ausgeruhtem Zustand. Öffnen der Augen führt zu einer Verminderung der Spannungsproduktion auf beiden Ableitungen. Nach dem Schließen der Augen wieder normale Spannungsproduktion. E und F: Dieselben Versuchsbedingungen wie bei C und D, Versuchsperson jedoch in stark ermüdetem Zustand. Nach dem Schließen der Augen ist die Spannungsproduktion gegenüber derjenigen vor dem Augenöffnen (s. Anfang von E) deutlich gesteigert.

hervorzurufen, daß man äußere, insbesondere akustische, Reize auf die ermüdete Versuchsperson wirken läßt. Ein sichereres Mittel, um eine vorübergehende Normalisierung bzw. Steigerung der im Zustande der Ermüdung herabgesetzten Spannungsproduktion hervorzurufen, besteht darin, daß man von der Versuchsperson eine aktive Leistung verlangt, sei es, daß man sie eine Frage beantworten oder während kürzerer Zeit die Augen öffnen läßt. Ein Beispiel für eine vorübergehende Steigerung der Spannungsproduktion im Anschluß an ein kurz dauerndes Augenöffnen bringen E und F der Abb. 5¹. Nach einer stärkeren Anregung der Versuchsperson, z. B. durch ein kurzes Gespräch, pflegt meist auch eine länger anhaltende Normalisierung des bioelektrischen Bildes einzutreten; die Dauer solcher Aktivierungen hängt also ab von dem Grade der Anregung der Versuchsperson, andererseits natürlich von dem Grade ihrer Ermüdung.

Außer den bisher beschriebenen Abänderungen des bioelektrischen Normalbildes kann man bei Ermüdungszuständen während der Strecken mit stark reduzierter Spannungsproduktion häufig kleine unregelmäßige träge Schwankungen beobachten, die spontan auftretend zunächst nur als eine gewisse Unregelmäßigkeit der sonst geraden Grundlinie der Kurve imponieren (C und D der Abb. 1, B der Abb. 3 und B der Abb. 5), die im Verlaufe einer Registrierung jedoch an Länge und Größe zunehmen können. Bei einer stark ermüdeten normalen Versuchsperson konnten wir sehr große träge Schwankungen und Schwankungen einer Frequenz von etwa 14 Hz beobachten, wie sie sonst nur im Schlaf aufzutreten pflegen (siehe später). Dabei muß aber ausdrücklich hervorgehoben werden, daß die Versuchsperson während des Auftretens dieser abnormen Schwankungen bestimmt nicht geschlafen hat, daß diese Schwankungen vielmehr auch unter Bedingungen aufgetreten sind, unter denen Schlaf bestimmt auszuschließen ist (Ausführung von Rechenoperationen).

Die zuerst beschriebenen Abänderungen des bioelektrischen Normalbildes können mit ziemlicher Sicherheit als bioelektrische Zeichen der Ermüdung als solcher angesprochen werden. Nicht im gleichen Maße gilt das jedoch für die im letzten Absatz genannten. Wenn diese Abänderungen zwar auch sicher im Zusammenhang mit der Ermüdung aufgetreten sind, so scheint es doch nicht ausgeschlossen zu sein, daß sie als Anzeichen der Schlafnähe anzusprechen sind².

Zwei Gründe sprechen für diese Vermutung: Einmal der Umstand, daß die Versuchspersonen, wenn die genannten Schwankungen auf-

¹ Allerdings gibt es hier individuelle Unterschiede. Bei einem geringen Prozentsatz von Individuen ist die Produktion von α -Wellen schon im unermüdeten Zustand äußerst gering; bei diesen Personen findet sich häufig schon *normalerweise* eine vorübergehende Steigerung der α -Wellenproduktion im Anschluß an kurzdauerndes Öffnen der Augen, während eine solche Steigerung *im ermüdeten Zustand ausbleibt*.

² Siehe dazu *Davis, Davis, Loomis, Harvey und Hobart*.

getreten sind, fast immerangaben, sie seien so müde, daß sie einschlafen könnten, und häufig auch wirklich kurze Zeit später der Schlaf eintrat. Und dann die schon hervorgehobene Ähnlichkeit dieser Ablaufsformen mit den für den Schlaf charakteristischen Spannungsschwankungen.

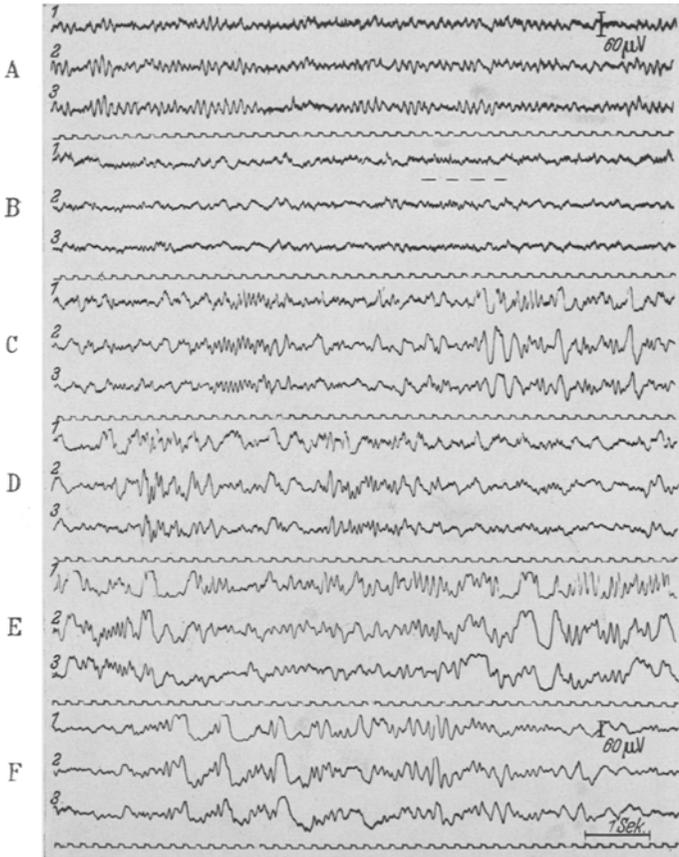


Abb. 6. Versuchsperson KÖ. Abänderungen der Rindenpotentiale im Schlaf. Gleichzeitige unipolare Ableitungen von den Punkten 1 (frontal), 2 (zentral) und 3 (occipital). S. das Schema der Abb. 1. A morgens registriert. Versuchsperson gut ausgeruht. Das für den Wachzustand typische Bild. Die großen Schwankungen haben eine Frequenz von etwa 9 Hz. B—F spät abends registriert. Versuchsperson sehr müde. Ausschnitte aus einer fortlaufenden Registrierung. B Versuchsperson hat sich zum Schlafen hingelegt, ist aber noch längere Zeit wach. Die 9 Hz-Schwankungen fehlen völlig, die Kurven setzen sich vorwiegend aus kleinen unregelmäßigen trägen Schwankungen zusammen. C—F Versuchsperson schläft. Zwischen Strecken mit einer gegenüber dem Wachzustand verminderten Spannungsproduktion (ähnlich wie sie B zeigt) Strecken sehr starker Aktivität, die neben unregelmäßigen trägen Wellen (im Laufe der Zeit von 4 auf 1,5 Hz abnehmend) regelmäßige Schwankungen anzählbarer Frequenz (14, 10 und 7 Hz) aufweisen. Im Laufe des Schlafes nimmt die Amplitude der Schwankungen zu, ihre Frequenz dagegen ab. Man beachte, daß die Amplituden-größen der Schwankungen auf F in Wirklichkeit im Verhältnis zu denen der vorangehenden Registrierungen wesentlich größer sind. Vgl. die Eichstriche auf A und F (D schließt unmittelbar an C an.)

Damit kommen wir zu dem beim *schlafenden* Individuum zu beobachtenden hirnbioelektrischen Erscheinungen. Die ersten hirnbioelektrischen Untersuchungen am schlafenden Menschen stammen von *Berger* (1933). Während dieser jedoch nur eine Verminderung der im Wachzustand vorhandenen Spannungsproduktion feststellen konnte (siehe auch *Berger* 1938), waren *Loomis*, *Harvey* und *Hobart* die ersten, denen es bei ihren systematischen Untersuchungen über den Schlaf gelang, nachzuweisen, daß im Schlaf Spannungsschwankungen auftreten, die sich von denen des Wachzustandes hinsichtlich Frequenz und Ablaufsform wesentlich unterscheiden. Bei der folgenden Darstellung stützen wir uns auf eigene Untersuchungen, die neben einigen neuen Befunden im wesentlichen eine Bestätigung der Feststellungen der genannten Autoren erbrachten¹.

Während vor bzw. zu Beginn des Einschlafens der im Wachzustand vorhandene α -Rhythmus zunächst nur gelegentlich, dann immer häufiger und über längere Strecken und schließlich ganz aussetzt (siehe B der Abb. 6), setzt *während des Schlafes, zumindest zeitweise, wieder eine stärkere hirnbioelektrische Aktivität ein*. (Siehe D und E der Abb. 3 und C bis F der Abb. 6.) Zeichnet sich das hirnbioelektrische Wachbild durch eine gewisse Einförmigkeit aus, hervorgerufen durch die kontinuierliche Aufeinanderfolge gleichartig geformter sinusartiger Schwankungen auszählbarer Frequenz, so weisen im Gegensatz dazu die Schlafkurven oft geradezu bizarr anmutende Formen auf: unregelmäßig geformte, mit zunehmender Schlaftiefe an Länge und Amplitude immer mehr zunehmende träge Abläufe, die bisweilen gruppenweise, zeitweise aber auch in ununterbrochener Folge auftreten können, beherrschen das Bild. Daneben finden sich, häufig den trägen Schwankungen aufgelagert, kurze — von *Loomis* und Mitarbeitern als „spindles“ bezeichnete — Gruppen sinusartiger Schwankungen, deren Frequenz anfangs etwa 14/Sek. beträgt, allmählich jedoch, wie wir fanden, unter gleichzeitigem Anwachsen der Amplituden mehr und mehr abnehmen kann (C bis F der Abb. 6). Diese „Spindeln“ verlieren sich jedoch, je tiefer der Schlaf wird, mehr und mehr, und schließlich sind nur noch ganz träge Wellen vorhanden, *deren Amplitude die der normalen Spannungsschwankungen um ein Vielfaches übertrifft*, so daß die Schreibfedern, wenn die Registrierempfindlichkeit nicht vermindert wird, die Grenzen ihres Ausschlagbereiches erreichen und die Kurven oben und unten abgeschnitten erscheinen².

¹ Es sei auch auf die wichtigen tiereperimentellen Untersuchungen über den Schlaf von *Bremer* und *Klaue* verwiesen, auf die wir im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht näher eingehen können.

² *Loomis*, *Harvey* und *Hobart* (1938) unterscheiden 5 verschiedene bioelektrisch gekennzeichnete Schlafstadien, die jeweils einer verschiedenen Schlaftiefe entsprechen sollen. Auf Grund unserer Untersuchungen scheint uns die Möglichkeit einer derartigen *schematischen* Zuordnung von bioelektrischem Bild und Schlaftiefe schwer durchführbar zu sein.

Bemerkenswert hierbei ist, daß das Auftreten der trägen Schwankungen ebenso wie das der „Spindeln“, wie aus unseren Untersuchungen hervorgeht, bei sehr vielen Individuen fast ausschließlich auf die vorderen Abschnitte des Hirnschädels bis einschließlich der Zentralregion beschränkt bleibt, über dem Occipitalhirn gelegene Stellen dagegen wenig aktiv sind und erst bei sehr großer Schlaftiefe ähnliche Schwankungen wie die weiter vorn gelegenen Stellen, wenn auch von kleinerer Amplitude, aufweisen. Bei diesen Individuen findet sich also im Schlaf in bezug auf die Aktivität ein dem Wachzustande gegenüber gerade entgegengesetztes Verhalten; denn im Wachzustande zeichnen sich im allgemeinen gerade Ableitungen über dem Occipitalhirn durch besonders lebhaft und regelmäßige Spannungsschwankungen aus. (Vgl. D und insbesondere E mit A der Abb. 3.) Bei einzelnen Individuen fanden wir Ausnahmen von diesem Verhalten: bei einigen, wie z. B. der Versuchsperson der Abb. 6, waren die Potentialschwankungen im Schlaf über der ganzen Konvexität einander weitgehend ähnlich und gleich groß, bei anderen wiesen im Gegensatz zu dem oben beschriebenen Verhalten gerade die caudal gelegenen Hirnrindengebiete bis einschließlich der Zentralregion die stärkste Aktivität auf, während weiter oral gelegene Gebiete relativ wenig aktiv waren.

Schließlich muß noch auf eine für den Schlaf charakteristische, zuerst von *Loomis, Harvey und Hobart* beschriebene, bioelektrische Erscheinung hingewiesen werden.

Während im Wachzustande Sinnesreize häufig eine Verminderung der Spannungsproduktion zur Folge haben, können im Schlaf, ohne daß die Versuchsperson wach wird, auf ganz geringfügige äußere Reize hin über allen Rindengebieten gleichzeitig vorübergehend Potentialschwankungen auftreten, die in ihrer Form und Frequenz den großen, im Wachzustande das bioelektrische Bild beherrschende Schwankungen entsprechen. Hierbei handelt es sich jedoch, wie wir feststellen konnten, häufig nicht um eine völlige Normalisierung des hirnbioelektrischen Bildes, vielmehr sind, genau wie bei den oben beschriebenen im Zustande der Ermüdung gelegentlich erscheinenden Gruppen, die Wellenzüge, die verschiedenen Hirnrindengebieten zugehören, einander viel ähnlicher¹ und die über der Zentralregion auftretenden Schwankungen häufig durchschnittlich größer, als es im Wachzustande der Fall ist. Sind die äußeren Reize stark genug, um die Versuchsperson aufzuwecken, so treten derartige Potentialschwankungen zunächst auch auf, sehr bald jedoch tritt an ihre Stelle das normale bioelektrische Bild. Wir werden daher nicht fehlgehen in der Annahme, daß das Auftreten derartiger

¹ Ob es sich dabei lediglich um eine Angleichung der Kurvenformen oder aber auch, wie es den Anschein hat, um eine engere zeitliche Verknüpfung (Synchronisierung) der Entladungsrhythmen verschiedener Hirnrindengebiete handelt, das muß noch genauer untersucht werden.

Schwankungen während des Schlafes ein bioelektrischer Ausdruck ist für die *Erweckbarkeit* aus dem Schlaf.

Hiermit sind wir angelangt bei dem Versuch einer Auswertung der beschriebenen Erscheinungen im Zusammenhang mit den oben aufgeworfenen Problemen.

Als Resultat der *Ermüdungsuntersuchungen* ist zunächst festzuhalten, daß die normale Tätigkeit der Hirnrinde eine je nach dem Grade der Ermüdung verschieden starke *Herabsetzung* erfährt (Unregelmäßiger- und Diskontinuierlicherwerden der α -Wellenproduktion). Ferner deutet das gelegentliche Auftreten von Potentialschwankungen, die in ihrer Ablaufsform bzw. Frequenz von den im unermüdeten Zustand vorhandenen abweichen, darauf hin, daß die *Erregungsverhältnisse* innerhalb eines *Rindenquerschnittes* im Zustande der Ermüdung — zumindest vorübergehend — Änderungen erfahren können. Daß auch in den zeitlichen Beziehungen, die normalerweise zwischen den Erregungen *verschiedener Rindenquerschnitte* bestehen, Änderungen eintreten können, geht aus den entsprechenden Befunden über die von verschiedenen Stellen gleichzeitig abgeleiteten Potentialschwankungen hervor. Auf eine Diskussion der Frage, worauf diese Abänderungen der normalen Tätigkeit der Hirnrinde zurückzuführen sein könnten, müssen wir im Rahmen dieser Mitteilung verzichten; sie dürfte auch erst dann fruchtbar sein, wenn ein umfangreicheres Beobachtungsmaterial vorliegt. Die Aufgabe weiterer Untersuchungen wird es vor allem sein müssen, festzustellen, ob bei anderen Formen der Ermüdung als den hier behandelten (siehe Einleitung) die gleichen oder andere bioelektrische Erscheinungen zu beobachten sind.

Was weiterhin die Frage nach den Bedingungen für den *Eintritt des Schlafes* betrifft, und zwar insbesondere die Frage, inwieweit eine Herabsetzung der Hirnrindentätigkeit eine Enthemmung des „Schlafsteuerungszentrums“ zur Folge hat, so ist dazu auf Grund der hirnbioelektrischen Befunde zu sagen, daß vor dem Eintritt des Schlafes zwar stets zunächst eine Verminderung der normalen Tätigkeit der Hirnrinde zu beobachten ist, daß aber andererseits selbst eine weitgehende Herabsetzung der Hirnrindentätigkeit infolge von Ermüdung nicht ohne weiteres zum Schlafe zu führen braucht. Denn bei stark ermüdeten Versuchspersonen, die sich zum Schlafen hingelegt hatten, konnten wir über lange Zeit das Fehlen der für den Wachzustand typischen großen („10 Hz“)-Schwankungen beobachten, ohne daß es diesen Versuchspersonen möglich gewesen wäre, einzuschlafen. *Die Herabsetzung der normalen Hirnrindentätigkeit scheint also eine zwar notwendige, aber keineswegs hinreichende Bedingung für den Eintritt des Schlafes zu sein.*

Ein wichtiges Ergebnis der den *Schlaf* betreffenden Untersuchungen erblicken wir darin, daß im Schlaf — zwar nicht andauernd, aber doch über lange Zeitstrecken — eine sehr rege bioelektrische Spannungs-

produktion der Hirnrinde vorhanden zu sein pflegt. Denn damit ist ein *direkter*, und zwar *objektiver* Nachweis dafür erbracht, daß *die Hirnrinde sich während des Schlafes keineswegs in Ruhe, sondern zumindest zeitweise in aktiver Tätigkeit befindet*. Diese Tätigkeit unterscheidet sich, wie sich ebenfalls aus den registrierten Kurven ergibt, erheblich von der des Wachzustandes; und zwar findet die Änderung der Tätigkeit nach unseren bisherigen Kenntnissen unter anderem ihren Ausdruck in dem Auftreten von Potentialschwankungen besonderer Ablaufsform und Frequenz und ferner in dem bemerkenswerten Umstand, daß in der überwiegenden Zahl der Fälle die bioelektrische Spannungsproduktion über vorderen Rindenabschnitten im Gegensatz zu den Verhältnissen des Wachzustandes eine größere ist als über occipitalen. Wie diese im Schlaf eintretenden Veränderungen der hirnbioelektrischen Tätigkeit im einzelnen zu deuten sind, bedarf noch genauerer Untersuchungen. Es ist zu erwarten, daß weitere Untersuchungen mit Hilfe der hirnbioelektrischen Lokalisationsmethodik uns wertvolle Einblicke in den Mechanismus der Erregungsabläufe des Gehirns beim Einschlafen und im Schlaf erbringen werden. Ein weites Feld für hirnbioelektrische Untersuchungen bietet sich weiterhin u. a. in der Erforschung des Schlafes von Hirnkranken¹ und der Wirkung verschiedener Schlafmittel (der sogenannten Rinden- und Stammittel).

Schrifttum.

Berger, H.: Arch. f. Psychiatr. **101**, 452 (1933). — Allg. Z. Psychiatr. **108**, 254 (1938). — Bremer, F.: Bull. Acad. Méd. Belg., Séance 27 février 1937, 68. — Davis, H., P. A. Davis, A. L. Loomis, E. N. Harvey and G. Hobart: J. of Neurophysiol. **1**, 24 (1938). — Economo, C. v.: S. unter Sarason. — Janzen, R.: Dtsch. Z. Nervenheilk. **149**, 93 (1939). — Janzen, R. u. A. E. Kornmüller: Dtsch. Z. Nervenheilk. **149**, 74 (1939). — Klaue, R.: J. Psychol. u. Neur. **47**, 510 (1937). — Kornmüller, A. E.: Die bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrindfelder. Leipzig: Georg Thieme 1937. — Dtsch. med. Wschr. **1939 II**, 1601. — Kornmüller, E. A. u. R. Janzen: Z. Neur. **166**, 287 (1939). — Arch. f. Psychiatr. **110**, 224 (1939). — Loomis, A. L., E. N. Harvey and G. Hobart: Science **81**, Nr 2111, 597 (1935). — **82**, Nr 2122, 198 (1935). — J. of Neurophysiol. **1**, 413 (1938). — Pick, E. P.: S. unter Sarason. — Pözl, O.: S. unter Sarason. — Sarason, D.: Der Schlaf. München: J. F. Lehmann 1939. Mit Beiträgen von Pözl, v. Economo, Pick, Molitor, Strasser. Simonson, E.: Erg. Physiol. **37**, 297 (1935).

¹ Siehe die diesbezüglichen Feststellungen in den Arbeiten von Janzen und Kornmüller und Janzen. Der eine von uns (G.) hat weiteres Material hierüber gesammelt, das nach der Durchführung weiterer Untersuchungen veröffentlicht werden soll.