

WISSEN

# Ströme im Kopf

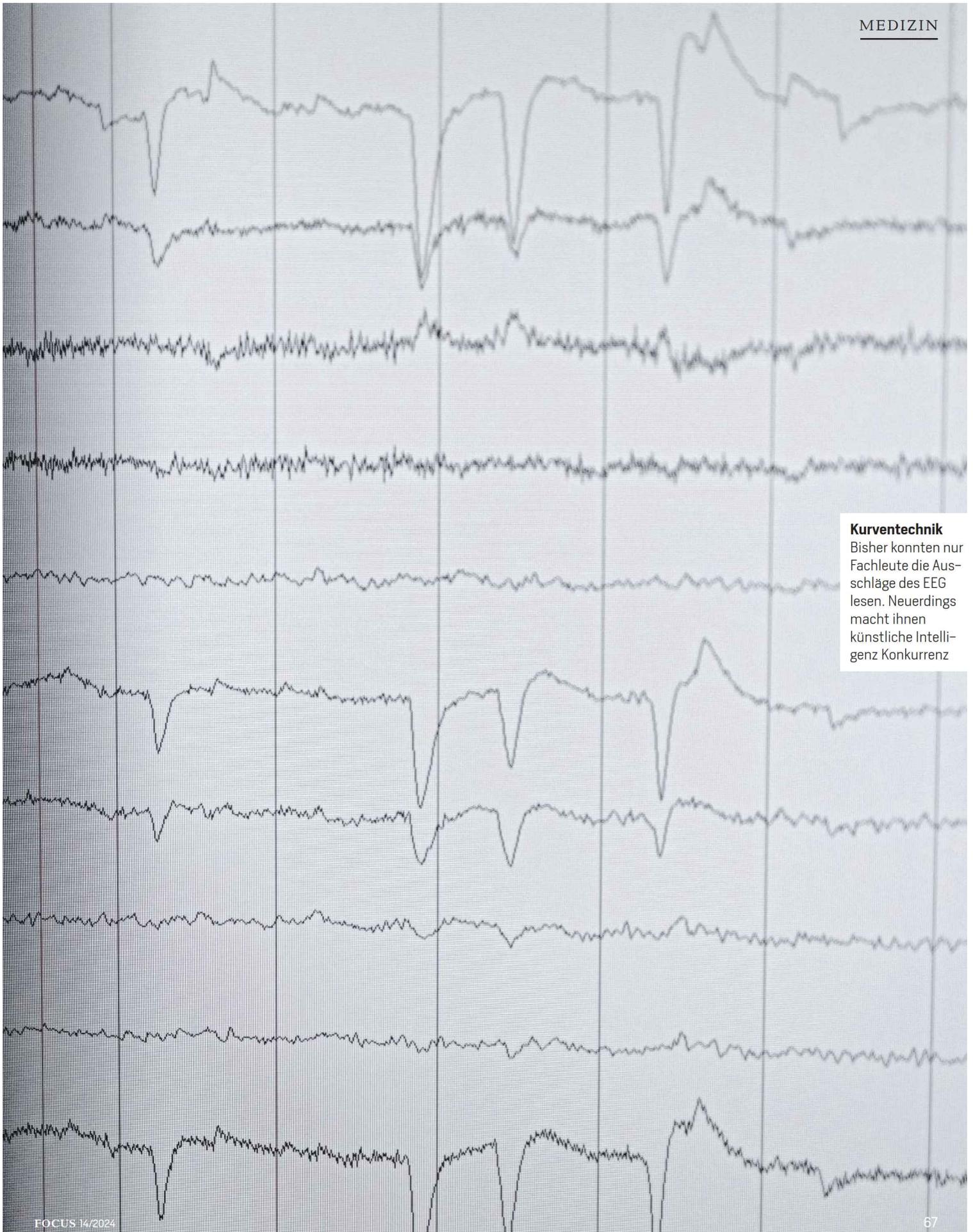
Vor 100 Jahren erfand der Neurologe Hans Berger die **Elektroenzephalografie**, mit der man Gehirnströme messen kann. Kann sie bald mithilfe von künstlicher Intelligenz auch Gedanken lesen?

TEXT VON **SINA HORSTHEMKE**

FOTOS VON **SIMON KOY**

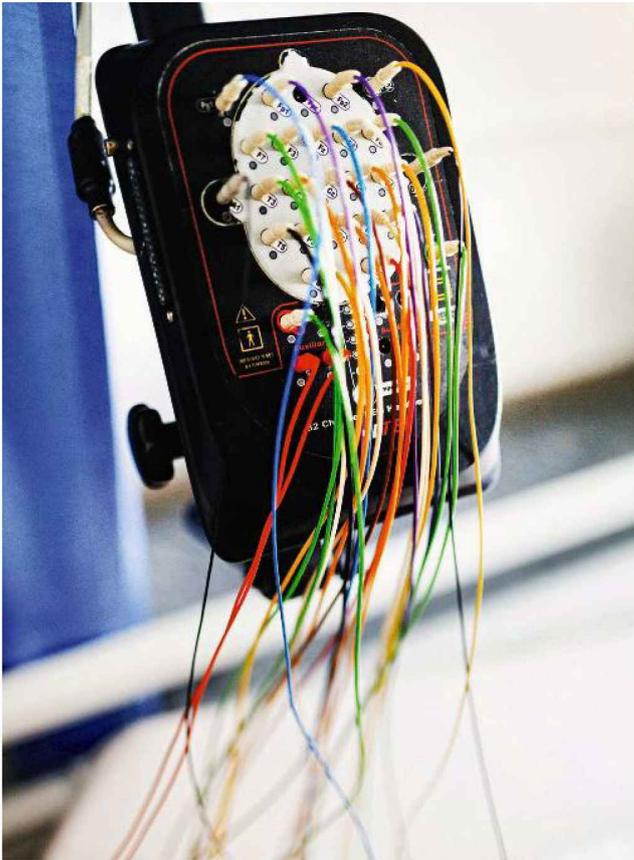


**Voll verkabelt**  
21 Elektroden auf der Schädeldecke sammeln Gehirn-daten bei unserer Autorin im Epilepsie-Zentrum an der Uni-Klinik in München

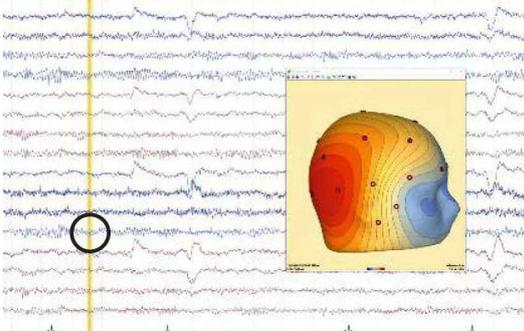


**Kurventechnik**

Bisher konnten nur Fachleute die Ausschläge des EEG lesen. Neuerdings macht ihnen künstliche Intelligenz Konkurrenz



**Kabelsalat** Viele bunte Kabel, viele gezackte Linien und 14 Monitore im Kontrollraum der Epilepsie-Intensivstation am Klinikum Großhadern in München. Speziell ausgebildete medizinisch-technische Assistenten werten die Daten aus. Links ist das EEG unserer Autorin. Die Reaktion des Gehirns auf einen Lichtreiz (Kreis, gelber Balken) ist für ungeübte Augen nur schwer zu erkennen



**E**in bequemes Bett, ein Strauß bunter Kabel über dem Kopf. Sie führen zu einer Haube aus grauem Kunststoff, die den Kopf wie ein grobes Netz umschließt und ein bisschen drückt wie ein zu eng geschnallter Fahrradhelm. Es hat eine Weile gedauert, bis alles dort saß, wo es hinsollte. Mit Wattestäbchen und grauer Kontaktpaste, die aussieht wie eine Mischung aus Mörtel und Peeling, hat Julia Kleve die Kopfhaut angeraut, um sie leitfähiger zu machen – an 21 verschiedenen Stellen, für jede Elektrode einmal. Zwei weitere kommen an die Ohrläppchen und ein Sensor, der den Puls misst, an den

rechten Zeigefinger. Dann kann es losgehen, das Elektroenzephalogramm (EEG).

Kleve ist medizinisch-technische Assistentin (MTA) und in der Neurologischen Klinik und Poliklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München für das Ableiten der Hirnströme bei Patientinnen und Patienten zuständig. 20 Minuten dauert ein Standard-EEG, zu spüren ist von der Messung – nichts. Nur an Kleves Bildschirm gibt es was zu sehen: Feine schwarze Linien laufen unruhig darüber, bilden Hunderte kleine und größere Zacken, die mal nach oben, mal nach unten ausschlagen. Die Linien verändern sich, wann immer Julia Kleve die nächste Aufgabe vorgibt: Augen auf! Augen zu! Hyperventilieren! Von 100 rückwärts runterzählen! All das wirkt sich auf die Linien aus, die mal ruhiger, mal aufgeregter wirken. Für einen Laien ist schwer zu begreifen, was sie darstellen: Intelligenz? Gedanken? Gefühle gar?

Erfunden hat die Elektroenzephalografie vor 100 Jahren Hans Berger. Der Neurologe und Psychiater, der 1873 in der oberfränkischen Stadt Coburg zur Welt kam, forschte in der Nervenambulanz Jena unter anderem im Bereich der Parapsycho-

logie, glaubte etwa an Gedankenübertragung. Sein Ziel war, die Verbindung zwischen Körper und Seele und die von ihm sogenannte „psychische Energie“ physikalisch messbar zu machen. Berger probierte einiges aus: Wird das Gehirn warm, wenn man konzentriert denkt? Fehlanzeige. Verändert sich der Blutfluss? Nein. Spielt vielleicht Elektrizität eine Rolle? Nach ersten Experimenten an Hunden und Katzen gelang es dem Wissenschaftler 1924 erstmals, die elektrische Aktivität der Großhirnrinde eines Menschen abzuleiten – damals noch am geöffneten Schädel. „Electrenkephalogramm“ nannte Berger das Ergebnis.

**Wie man Epilepsie sicher diagnostiziert**

Ohne seine Erfindung wäre moderne Neurologie schwer vorstellbar. Ein EEG gilt als Goldstandard, wenn es etwa darum geht, Epilepsie sicher zu diagnostizieren. Es kommt im Schlaflabor und in der Psychologie zum Einsatz, es dient dazu, den Hirntod eines Menschen festzustellen. 100 Jahre nach Bergers erstem EEG hebt künstliche Intelligenz die Technik nun auf ein neues Level. Experten mahnen jedoch zur Vorsicht: Die digitalen Möglichkeiten

86

### Milliarden

Nervenzellen im Gehirn verständigen sich untereinander mit elektrischen Impulsen

20

### Minuten

dauert ein Elektroenzephalogramm (EEG). Es misst die Gehirnströme in der Großhirnrinde

21

### Elektroden

werden für das EEG am Kopf befestigt. Die Untersuchung ist absolut schmerzfrei

seien in Zukunft nur nützlich, wenn mit KI sorgsam umgegangen werde.

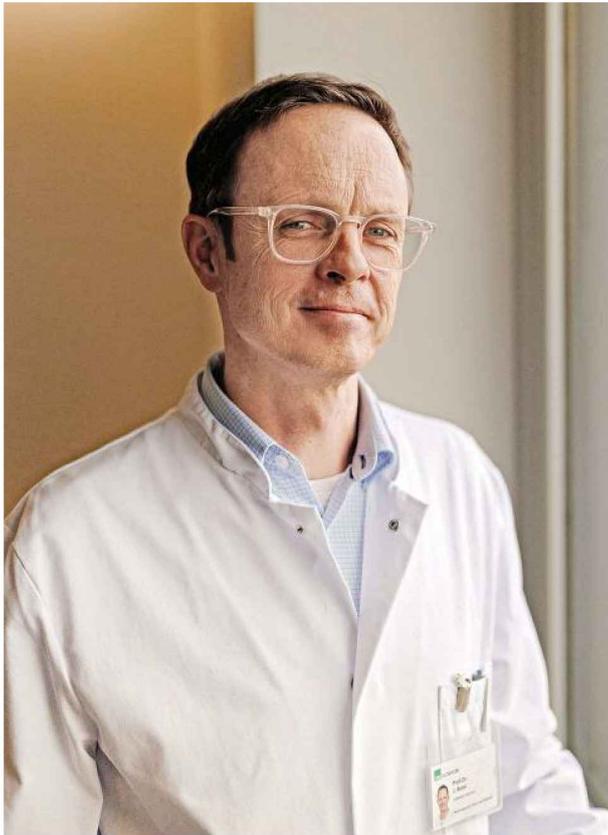
„Epilepsie-Intensivereinheit“ steht auf einem Schild über einer grauen Tür im achten Stockwerk des Klinikums Großhadern in Münchner Südwesten. Und: „Bitte anklopfen, dann eintreten.“ Was sich hinter der Tür verbirgt, nennt Jan Rémi, stellvertretender Klinikdirektor und Leiter des Epilepsie-Zentrums München, „unser Raumschiff“ und „die Speerspitze der Diagnostik“: das EEG-Video-Monitoring. Vor zwölf großen und zwei riesigen Bildschirmen sitzen zwei Frauen und ein Mann in weißen Kitteln. Alle drei sind MTA für Funktionsdiagnostik und beobachten nun mit Stationschef Rémi die Screens.

Von oben sind darauf sechs Patientinnen und Patienten in ihren Betten zu sehen. Alle tragen EEG-Hauben, manche scheinen zu dösen, andere sind wach und lesen. Bis zu zwei Wochen lang sind sie in der Klinik und dauerhaft ans EEG angeschlossen. Sie und die Mitarbeitenden im „Raumschiff“ warten darauf, dass ein epileptischer Anfall auftritt, der mithilfe der Elektroden am Kopf live gemessen werden kann. Das EEG zeigt dann an, in welchem Hirnlappen die Funktionsstörung auftritt. „Diese Patienten sind therapieresistent“, erklärt MTA Oliver Klein. „Sie haben viele Medikamente durchprobiert und bekommen trotzdem noch epileptische Anfälle.“ Eine Operation, bei der das Epilepsie verursachende Hirngewebe entfernt wird, könnte den Erkrankten helfen. Zuvor jedoch muss Rémis Team unter anderem per EEG den Anfallsherd möglichst genau lokalisieren.

### Was das Gehirn verrät

„Im menschlichen Gehirn befinden sich rund 86 Milliarden Nervenzellen“, sagt Stationsleiter Rémi. „Empfangen oder senden viele davon ein Signal, dann entsteht ein kleines elektrisches Feld, das sich durch den Schädelknochen und die Haut hindurch messen lässt. Per EEG können wir also Unsichtbares sichtbar machen.“ Verglichen mit den 230 Volt, die aus einer Steckdose kommen, ist die elektrische Aktivität des Gehirns gering: 40 bis 50 Mikrovolt Spannung entstehen im Schädel, 40 bis 50 millionstel Volt. Messbar ist per Standard-EEG deshalb nur die Spannung aus der Großhirnrinde. Was weiter unten im Gehirn geschieht, lässt sich nur darstellen, wenn man spezielle Elektroden bei einer OP tief ins Gewebe hineinsteckt.

Die Summe aller elektrischen Signale, die ein EEG der Großhirnrinde misst, ergibt die Gehirnwellen, von denen ►



## „Noch können wir mit dem EEG keine Gedanken lesen, aber vielleicht schon bald den IQ bestimmen“

**Prof. Dr. Jan Rémi**  
Leiter des Epilepsie-  
Zentrums München

Fachleute verschiedene Typen unterscheiden. Im Tiefschlaf etwa zeigen sich Delta-Wellen. Wer wach ist, sendet Alphawellen und beim Lernen entstehen Betawellen. „Ein Schlaflabor ist ohne EEG undenkbar“, nennt Rémi, der auch Schlafmediziner ist, ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet neben der Epilepsiediagnostik.

Im Gehirn ist eine Menge los, sogar, wenn wir schlafen. Um die vielen Linien eines EEGs richtig deuten zu können, braucht es deshalb eine gute Ausbildung und Erfahrung, sagt Rémi. Sonst könne eine Zacke, die typischerweise beim Einschlafen auftritt, schon mal als Epilepsie-Zeichen fehlgedeutet werden oder die Muskelaktivität des Auges als Funktionsstörung aus dem Stirnlappen. Für die Patientinnen und Patienten ist die Hirnstrommessung völlig schmerzfrei, es gibt abgesehen von möglichen Kontaktallergien keine Nebenwirkungen und nur bei schweren Hauterkrankungen am Kopf raten Experten davon ab, die Elektrodenhaube aufzusetzen.

Ob Hans Berger ahnte, dass sein EEG noch 100 Jahre nach seiner ersten erfolgreichen Ableitung in Krankenhäusern auf der ganzen Welt zu den Routineunter-

suchungen zählen würde? Wohl kaum. Der als kontaktscheu geltende Arzt war voller Zweifel und zog immer wieder in Erwägung, die Forschungen einzustellen. „Heureka!“, schrieb er noch im Oktober 1927 doppelt rot unterstrichen auf einen seiner vielen Zettel. „Ich kann das Elektrenkephalogramm des Menschen bei intaktem Schädel darstellen.“ Bergers Sohn Klaus, damals 15 Jahre alt, hatte sich dafür als Proband zur Verfügung gestellt.

Dann, ein paar Monate später, ein Tagebucheintrag, der alles infrage stellte: „Ich habe mehrere Jahre an dem vermeintlichen EEG gearbeitet. Was nun? EEG aufgeben!“ Zum Glück änderte der Wissenschaftler seine Meinung später wieder und ging 1929 schließlich mit seiner Erfindung an die Öffentlichkeit.

Wer sich mit Bergers weiterem Leben beschäftigt, stößt bald auf ein dunkles Kapitel seiner Arztlaufbahn: In den 1930er Jahren war der Rektor der Psychiatrischen Klinik in Jena überzeugter Rassenhygieniker und Fördermitglied der SS. Als ärztlicher Beisitzer für das Erbgesundheitsobergericht (EGOG) entschied er mit über Zwangssterilisationen. Berger selbst soll das Ende seiner Tätigkeit

am EGOG mit seiner Emeritierung 1938 beantragt haben.

In den folgenden Jahren verschlechterte sich sein Gesundheitszustand zunehmend. Im Juni 1941 schließlich, im Alter von 68 Jahren, erhängte er sich in der Medizinischen Universitätsklinik Jena in seinem Krankenzimmer – einige Jahre, bevor das erste und damals noch Kommoden-große EEG in Serie ging. Für seine Entdeckung wurde Berger dreimal für den Nobelpreis nominiert.

Viele seiner Aufzeichnungen befinden sich heute im Archiv des Deutschen Museums in München. Hier, auf einer Insel in der Isar, liegen säuberlich geordnet Bergers Mappen, zahllose mit seiner schwungvollen Schrift beschriebene Notizzettel, Briefe von Kollegen, Zeitungsausschnitte, Fotos und Zeichnungen zum Versuchsaufbau.

Anlässlich des 100-jährigen EEG-Jubiläums stöbert Barbara Schmidt durch die Papiere. Die Psychologin forscht an Bergers ehemaliger Wirkungsstätte, dem Universitätsklinikum Jena, und ist extra nach München gereist, um die Dokumente in Augenschein zu nehmen.

Schmidt macht in ihrer Arbeit am Universitätsklinikum Jena das, was Berger mit seinem EEG ursprünglich vorhatte: Sie nutzt die Technik, um psychische Prozesse abzubilden. „Wir können etwa im EEG sehen, dass das Gehirn auf eine Belohnung reagiert, oder sehen Veränderungen, wenn eine Person bemerkt, dass sie einen Fehler gemacht hat“, sagt die Wissenschaftlerin. „Insbesondere die Effekte von Hypnose im EEG waren superfaszinierend für mich.“ Suggestiert man etwa einer hypnotisierten Person, sie könne nichts mehr sehen, dann verändern sich bei geöffneten Augen die Gehirnwellen. Sie zeigen, dass das zentrale Nervensystem die Bilder, die vom Auge kommen, nicht mehr weiterverarbeitet. „Diese Power des Gehirns ist total überwältigend“, schwärmt Schmidt.

### Wie man sein Gehirn beeinflussen kann

Das EEG kommt zunehmend auch als Neurofeedback-Methode zum Einsatz. Dabei beeinflussen Patientinnen und Patienten ihre Gehirnaktivität bewusst, um Symptome von Autismus oder ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Syndrom) zu verbessern. „Wir wenden die Technik bereits an, wissen derzeit aber noch nicht genug darüber, welche Muster wir im EEG genau verstärken wollen und wie wir das am besten trainieren“, sagt Schmidt.

Zurzeit erobert künstliche Intelligenz (KI) die Medizin – und ist in der Lage, ein EEG in kurzer Zeit mit Tausenden anderen

## Der Mann, der uns ins Gehirn schaute



### Hans Berger

Der Neurologe und Psychiater an der Uniklinik Jena entwickelte 1924 das erste Elektroenzephalogramm, mit dem man Gehirnströme messen konnte, wenn man eine Elektrode durch die Schädeldecke schob.

### Das erste Gerät

1927 gelang es ihm, die elektrischen Impulse von außen am Schädel zu messen. Versuchsperson war sein Sohn Klaus, 15. Das Gerät war so groß wie eine Kommode.

### Im Dritten Reich

Berger war SS-Fördermitglied und wirkte als Arzt an den Zwangssterilisationen in der Nazizeit mit.

### Goldstandard

1934 erkannte ein englischer Forscher die Bedeutung von Bergers Erfindung. Heute ist das EEG fester Bestandteil neurologischer Untersuchungen.

zu vergleichen. 2023 stellte ein internationales Team aus Forschenden eine Software vor, die Epilepsie erkennen kann. Nachdem die Wissenschaftler ihre KI mit 30 493 Datensätzen angeleitet hatten, diagnostizierte sie Routine-EEGs vollautomatisch mit einer ähnlichen Genauigkeit wie menschliche Experten. Die Software, heißt es im Fachmagazin „Jama Neurology“, könne die Diagnose und Patientenversorgung verbessern wie auch die Effizienz in spezialisierten Epilepsiezentren.

Die Fachwelt spricht bereits von einer „neuen Ära“, doch Jan Rémi mahnt zur Vorsicht. „KI ist Fluch und Segen zugleich“, warnt er. „Sie bedeutet nicht automatisch, dass ein besseres Ergebnis herauskommt.“ Rémi hofft, „dass wir das in den nächsten Jahren gut hinbekommen“. Mittelfristig, schätzt er, werde der letzte Entscheider immer noch der Arzt bleiben. Die KI könne aber die erste Sichtung übernehmen und auf Auffälligkeiten hinweisen – was in einem großen Zentrum eine enorme Arbeitserleichterung wäre. „Unsere extrem gut ausgebildeten MTAs könnten sich dann auf die Spezialfälle konzentrieren und mehr Zeit an Patienten verbringen“, so der Neurologe.

Wirft Rémi einen Blick auf EEG-Kurven, kann er sehen, ob eine Person wach ist oder schläft, ob ihr Hirn gut oder schlecht funktioniert, ob es krank ist oder gesund. Die Intelligenz der Person, ihre Geistesblitze und Gefühle dagegen verraten ihm die Linien nicht.

„Wir können noch keine Gedanken lesen“, sagt Rémi. Er glaubt aber, dass es „dank KI in den nächsten Jahren möglich sein könnte, per EEG den IQ zu bestimmen“. Spannend sei zudem die Forschung an Brain-Computer-Interfaces. Diese wandeln die elektrischen Signale des Gehirns in Impulse um, mit denen sich heute schon Prothesen oder in Zukunft womöglich Maschinen bewegen lassen.

Auch zur personalisierten Diagnostik und Therapie könnten KI-basierte EEG-Auswertungen beitragen, berichtet der Arzt: „In einem Meer von Daten findet die KI Charakteristika, die uns beispielsweise zeigen, welche Therapie bei bestimmten Formen von Depressionen, Schizophrenie oder Demenz voraussichtlich am besten helfen wird.“ In der Entwicklung sind mittlerweile auch tragbare EEG-Geräte, die zur Fernüberwachung geeignet sind oder etwa in einem Krankenwagen bereit liegen könnten.

Die Erfindung des EEGs, sagt Rémi, sei ein Riesenverdienst für die Medizin: „Ohne sie wäre die Neurologie nicht das, was sie heute ist.“ ■