

## Einfluß schwacher elektro-magnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen

RÜTGER WEVER

Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie, Seewiesen und Erling-Andechs\*

Die erste Frage bei der Untersuchung der circadianen (von lat.: circa = ungefähr, dies = Tag) Periodik ist die nach der Herkunft der beobachteten Periodizitäten. Diese Frage ist heute in der Weise beantwortet, daß die circadiane Periodik endogenen Ursprunges ist und durch die periodisch veränderlichen Faktoren unserer Umwelt lediglich auf die genaue Periode der Erdumdrehung synchronisiert wird: In künstlich konstant gehaltener Umgebung läuft die Periodik (unter geeigneten Bedingungen) mit unverminderter Amplitude, aber mit einer von 24 Std abweichenden Periode weiter [1, 2]. Auch für den Menschen ist der endogene Ursprung der circadianen Periodik nachgewiesen [3—5].

Die zweite Frage bezieht sich auf die *physikalischen Faktoren* unserer Umwelt, die die circadiane Periodik zu beeinflussen vermögen. Ein solcher Einfluß kann sich in zwei Weisen bemerkbar machen:

1. Unter konstanten Bedingungen kann die Periode (und andere Parameter) der freilaufenden Schwingung von den herrschenden Bedingungen abhängen;
2. unter dem Einfluß periodisch variabler Umwelt-Faktoren kann die Schwingung — innerhalb eines begrenzten Frequenz-Bereiches — synchronisiert werden.

Aus theoretischen Gründen ist zu vermuten, daß sich beide Arten der Beeinflussung gegenseitig bedingen [6]. Als steuernde Umwelt-Faktoren sind zunächst nur Beleuchtungsstärke und Temperatur diskutiert worden [1]; in jüngster Zeit haben sich in Tier-Versuchen auch art-spezifischer Gesang [7] und unspezifisches Geräusch [8] als wirksam erwiesen. Von besonderem Interesse ist nun die Untersuchung solcher Faktoren, die nicht bewußt wahrgenommen werden können. Dazu gehören z. B. die in unserer Atmosphäre vorhandenen elektrischen und magnetischen Felder; und hier ist das kürzlich entdeckte elektro-magnetische Feld mit einer Frequenz von etwa 10 Hz [9] besonders interessant, da dieses Feld in seiner Intensität einen ausgeprägten Tagesgang hat [10] und damit möglicherweise zur Synchronisierung auf eine Periode von 24 Std beitragen könnte. Im folgenden soll über Versuche berichtet werden, die einen Einfluß nicht bewußt wahrnehmbarer künstlicher 10-Hz-Felder, die die atmosphärischen Felder nachahmen, auf die circadiane Periodik des Menschen nachweisen. Darüber hinaus läßt sich in den gleichen Versuchen ein ähnlicher Einfluß der natürlichen elektro-magnetischen Felder zeigen, wobei allerdings offen bleiben muß, welche Komponente dieser Felder für die Beeinflussung verantwortlich ist.

Mit dem Nachweis einer Wirkung von 10 Hz-Feldern auf die circadiane Periodik des Menschen ist zugleich die Frage einer möglichen Wirkung dieser Felder auf den Menschen überhaupt beantwortet. Auch für diese Frage ist die Frequenz von 10 Hz interessant: Die besonders stabile  $\alpha$ -Komponente des Elektro-Encephalogramms hat eine Frequenz von 10 Hz [11], ferner vibriert die gesamte Körperoberfläche von Warmblütern mechanisch mit einer Frequenz von etwa 10 Hz [12]; nach der Entdeckung der 10 Hz-Atmosphären-Strahlung (auch die Erdoberfläche vibriert mechanisch mit einer Frequenz von 10 Hz [12]) stellt sich daher die Frage nach einer Wirkung der irdischen Schwingung auf den Menschen über eine Beeinflussung der menschlichen Schwingung gleicher Frequenz [13]. Für die Beantwortung dieser Frage hat sich die Messung der circadianen Periode unter konstanten Bedingungen als besonders empfindlicher Test erwiesen.

Wenn die Wirkung künstlicher 10 Hz-Felder untersucht werden soll, ist es unerlässlich, die natürlichen Felder dieser Frequenz wirksam abzuschirmen, um nicht mit einem undefinierten Gemisch künstlicher und natürlicher Felder arbeiten zu müssen. Zur Abschirmung der natürlichen — vor allem der niederfrequenten — elektro-magnetischen Strahlung ist in einem speziell für die Untersuchung der circadianen Periodik des Menschen erstellten unterirdischen Bunker [14] einer der beiden Versuchsräume fugenlos mit mehreren Lagen einer speziellen Eisen-Ummantelung umgeben. In diesen Raum können die natürlichen Felder nur sehr geschwächt eindringen (im Grenzfall der Frequenz Null beträgt die Dämmung mindestens 40 db, bei höheren Frequenzen wesentlich mehr [14]). In diesem Raum sind die Versuchspersonen daher dem Einfluß der natürlichen Felder weitgehend entzogen, wogegen sie in dem anderen, nicht abgeschirmten Raum diesem Einfluß nahezu unvermindert unterliegen. Der abgeschirmte Raum ist zusätzlich mit Einrichtungen zur Erzeugung beliebiger künstlicher elektrischer und magnetischer Felder versehen. Für die hier beschriebenen Versuche ist stets ein elektrisches Wechselfeld mit einer Frequenz von 10,0 Hz bei rechteck-förmigem Verlauf und mit einer Feldstärke von 25 mV<sub>ss</sub>/cm in senkrechter Richtung benutzt worden; Versuche mit anderen künstlichen Feldern, insbesondere mit Feldern anderer Frequenzen, sind im Gange. Äußerlich weisen die beiden Räume keine sichtbaren Unterschiede auf, abgesehen davon, daß sie spiegelbildlich angeordnet sind.

Weder von der Abschirmung noch von der Einrichtung zur Erzeugung künstlicher Felder ist den Versuchspersonen etwas bekannt; da ferner das Ein- und Ausschalten der künstlichen 10 Hz-Felder nicht bewußt wahrgenommen werden kann, sind die Voraussetzungen für

\* Die hier mitgeteilten Forschungsarbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung (Förderungs-Vorhaben WRK 56 und WRK 86) und mit Mitteln der NASA (Grant NSG 259-62) gefördert.

eine objektive Untersuchung erfüllt. Die Objektivität ist zusätzlich dadurch gesichert, daß die Versuchspersonen während der meist drei bis vier Wochen dauernden Versuche kein Gefühl für die Dauer ihrer circadianen Periode haben und auch Änderungen dieser subjektiven Tagesdauer nicht bewußt wahrnehmen [5]. Während eines Versuches merken die Versuchspersonen daher weder etwas von den eingestellten Feldern oder von Feld-Änderungen noch von den dadurch bewirkten Änderungen ihrer circadianen Periode.

### Versuche mit künstlichem Feld

Zur Untersuchung des Einflusses eines Dauer-Feldes ist das elektrische 10 Hz-Feld in zehn Versuchen für jeweils mindestens eine Woche ein- und ausgeschaltet gewesen. Fig. 1 zeigt als Beispiel den Verlauf eines

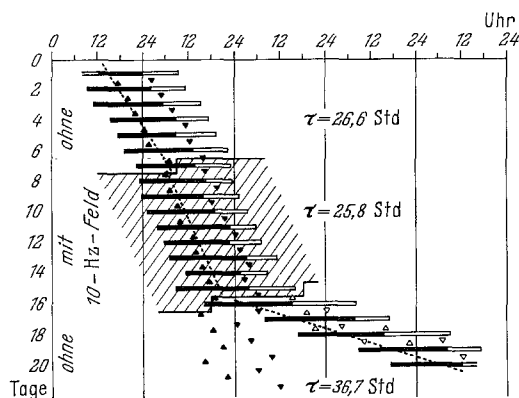


Fig. 1. Circadiane Periodik einer Versuchsperson (Nr. 35) ohne, mit und ohne Einfluß eines künstlichen elektrischen 10 Hz-Feldes (Zeit des Feld-Einflusses schraffiert). Die Aktivitäts-Periodik ist durch Balken dargestellt (ausgefüllt: Aktivität, leer: Ruhe), die Periodik der Körpertemperatur durch die Lage ihrer Maxima ( $\blacktriangle$ ) und Minima ( $\blacktriangledown$ ); leere Dreiecke bedeuten zeitgerechte Wiederholungen bereits dargestellter Symbole. Bei den einzelnen Versuchs-Abschnitten ist die Dauer der Periode ( $\tau$ ) angegeben

solchen Versuches (vgl. auch Fig. 2). Dabei ist die Aktivitäts-Periodik durch Darstellung der Aktivitäts- und Ruhezeiten und die Periodik der Körpertemperatur durch Darstellung der Temperatur-Maxima und -Minima wiedergegeben; die anderen gemessenen vegetativen Funktionen (Elektrolyt-Ausscheidungen der Niere) verlaufen in allen Fällen parallel zur Körpertemperatur, so daß auf ihre gesonderte Darstellung verzichtet werden kann. Die Abbildung zeigt, daß die Periode unter dem Einfluß des Feldes (2. Versuchs-Abschnitt) *kürzer als ohne Feld-Einfluß* (1. Versuchs-Abschnitt) ist; in diesen beiden Versuchs-Abschnitten verlaufen Aktivitäts- und vegetative Periodik parallel zueinander, wenn auch mit einer gegenüber dem synchronisierten Zustand veränderten Phasenbeziehung [15]. Nach Ausschalten des Feldes wird die Aktivitäts-Periodik wieder verlangsamt; allerdings wird hier eine zusätzliche Veränderung beobachtet: Die Periode der Aktivität ist *abnorm lang*, während die der vegetativen Funktionen ihre vorherige Dauer annähernd beibehält, die Periodizitäten verlieren also die Konstanz ihrer Phasenbeziehung („interne De-Synchronisation“, s. unten).

Die Ergebnisse aller zehn Versuche sind in der Tabelle zusammengefaßt. Dabei ist von jedem Versuch nur der jeweils erste Wechsel zwischen den Zuständen mit

aus- und eingeschaltetem Feld berücksichtigt, unabhängig davon, ob — wie in dem in Fig. 1 gezeigten Versuch — das Feld mehrmals umgeschaltet worden ist. Ferner ist zwar in der Tabelle jeweils an erster Stelle die ohne Feld-Einfluß gemessene Periode eingetragen; die tatsächliche Reihenfolge der Versuchs-Abschnitte ist aber in einem Teil der Versuche umgekehrt gewesen, um einen überlagerten Trend auszuschalten. Die Tabelle zeigt, daß die Periode in

Tabelle

Versuchs-Nr.	Periode		Differenz der Perioden
	ohne Feld	mit Feld	
28	28,2 Std	25,7 Std	2,5 Std
31	25,2 Std	24,3 Std	0,9 Std
33	28,1 Std	26,3 Std	1,8 Std
35	26,6 Std	25,8 Std	0,8 Std
39	25,7 Std	24,7 Std	1,0 Std
41	25,3 Std	24,7 Std	0,6 Std
44	25,2 Std	24,8 Std	0,4 Std
54	25,7 Std	24,9 Std	0,8 Std
56	27,6 Std	25,3 Std	2,3 Std
61	26,0 Std	24,4 Std	1,6 Std
	26,4 Std $\pm 1,20$	25,1 Std $\pm 0,66$	1,3 Std $\pm 0,73$

sämtlichen Versuchen bei eingeschaltetem Feld kürzer als bei ausgeschaltetem Feld gewesen ist, wenn auch in unterschiedlich großem Ausmaß. Dementsprechend zeigt die statistische Analyse, daß der beschleunigende Einfluß des künstlichen elektrischen 10 Hz-Feldes hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) gesichert ist (Einzelheiten der benutzten Statistik in [14]).

Eine weitere Wirkung des künstlichen 10 Hz-Feldes zeigt sich bei der Betrachtung derjenigen Versuche, in denen „interne De-Synchronisation“ [16] aufgetreten ist. Mit diesem Ausdruck ist der Zustand bezeichnet, bei dem die Aktivitäts-Perioden abnorm verlängert (Perioden zwischen 30 und 40 Std), die Perioden der gleichzeitig registrierten vegetativen Funktionen dagegen normal (Perioden um etwa 25 bis 26 Std) gewesen sind; zwischen beiden Periodizitäten besteht daher keine feste Phasenbeziehung (vgl. Fig. 3). Derartige De-Synchronisation ist in neun der insgesamt 29 Versuche im abgeschirmten Raum, also in etwa einem Drittel aller Versuche beobachtet. Dementsprechend ist De-Synchronisation in drei der zehn Versuche zur Prüfung des Feld-Einflusses beobachtet, allerdings ausschließlich in den Versuchs-Abschnitten mit ausgeschaltetem Feld; in keinem Fall ist dieser Zustand unter dem Einfluß des 10 Hz-Feldes aufgetreten. In dem Beispiel der Fig. 1 (und in einem weiteren Fall) ist die Periodik unmittelbar nach dem Ausschalten des Feldes de-synchronisiert, in einem anderen Falle ist eine vorher manifeste De-Synchronisation unmittelbar nach Einschalten des Feldes aufgehoben und damit die Periodik wieder stabilisiert. Auch dieser Einfluß des künstlichen elektrischen 10 Hz-Feldes ist statistisch gesichert, wegen der geringen Anzahl der Fälle allerdings nur schwach ( $p < 0,05$ ).

Der hiermit nachgewiesene Einfluß des künstlichen 10 Hz-Feldes auf die Periode der freilaufenden circadianen Schwingung läßt vermuten, daß das gleiche Feld dann, wenn es *periodisch ein- und ausgeschaltet*