

Die Chronotypen des Menschen

Wie unsere innere Uhr unser Leben bestimmt

Jan-Hendrik Begger, Alexander Steffen, Dorothee Staiger

Universität Bielefeld, Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld, dorothee.staiger@uni-bielefeld.de

Der Beitrag führt in das Thema „Die circadianen Rhythmen des Menschen“ ein und fokussiert auf die Auswirkungen unseres Chronotyps auf unser Leben. Die Unterrichtseinheit ist für die Sekundarstufe II konzipiert.

Stichwörter: Chronotypen, Chronobiologie, Innere Uhr, Lerche, Eule, Circadiane Rhythmen

1 Einleitung

Dem Menschen, wie auch allen anderen Lebewesen, ist nicht nur die räumliche, sondern auch die zeitliche Orientierung gegeben; wir leben also in vier Dimensionen. Wofür die räumliche Orientierung vorhanden ist, ist den meisten Menschen bewusst. Fragt man jedoch nach der zeitlichen Orientierung, ist vielen nicht auf Anhieb klar, dass sie uns hilft, Zeitspannen zu erfassen, uns an Zeitpunkte zu erinnern und die Zukunft zu planen.

Die Chronobiologie (griechisch χρόνος *chrónos*, deutsch „Zeit“; βίος *bíos*, „Leben“; λόγος *lógos*, „Lehre“), das Teilgebiet der Biologie, das die zeitliche Organisation physiologischer Prozesse untersucht, stellt ein sehr interdisziplinäres Fachgebiet dar. In der Chronobiologie beschäftigt man sich sowohl mit Pflanzen als auch mit Tieren und dem Menschen [1, 2, 3]. Von hohem wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Interesse sind die Erkenntnisse der Chronobiologie in den Bereichen der Schlaf-, Sport-, Flug- und Raumfahrtmedizin. Der Hauptuntersuchungsgegenstand der Chronobiologie ist die innere bzw. biologische Uhr sowie die circadiane Rhythmik, also endogene Rhythmen, die eine Periodenlänge von 24 Stunden aufweisen (lateinisch *circa diem*, „etwa einen Tag“). Die biologische Uhr dient jedem Organismus als endogener autonomer Zeitgeber und steuert dessen Lebensäußerungen in rhythmisch-zyklischer Weise. Äußere Zeitgeber korrigieren die innere Uhr, damit eine Periodenlänge von 24 h garantiert ist. Ein bekanntes Beispiel für einen solchen exogenen Zeitgeber ist der Licht-Dunkel-Wechsel, der durch die Rotation der Erde um ihre eigene Achse vorgegeben ist ([4], S. 1790). Dieser synchronisiert die annähernd endogene 24-stündige Rhythmik exakt auf 24 Stunden ([4], S. 1793). Der gerade verwendete Begriff Synchronisation beschreibt den Vorgang, wenn eine endogene Uhr durch äußere Taktgeber so beeinflusst wird, dass sie diesen neuen Rhythmus auch bei Abwesenheit der äußeren Einflüsse eine Weile beibehält. In der Chronobiologie wird dieser Vorgang als *Entrainment* bezeichnet.

2 Eigenschaften circadianer Rhythmen

Circadiane Rhythmen werden durch eine Reihe von besonderen Eigenschaften charakterisiert ([5], S. 35ff.):

1. Sie benötigen keinen äußeren Stimulus um rhythmisch abzulaufen, das heißt, sie zeigen auch unter zeitgeberfreien Bedingungen circadiane Rhythmen („Freilauf“): Ihre Periodenlänge ist in aller Regel etwas kürzer oder länger als genau 24 Stunden.
2. Circadiane Rhythmen lassen sich mit der Umwelt synchronisieren. Zeitgeber dafür sind vor allem der Licht-Dunkel-Wechsel des Tages und tagesperiodische Temperaturunterschiede. Beim Menschen wirken auch soziale Zeitgeber synchronisierend (Arbeits- oder Schulbeginn).
3. Die Periodenlänge der circadianen Rhythmen wird kaum von der mittleren Umgebungstemperatur beeinflusst. Sie ist „temperaturkompensiert“.
4. Die Periodenlänge circadianer Rhythmen kann von verschiedenen Faktoren und Bedingungen beeinflusst werden. Beispiele beim Menschen: Lichtintensität, Lichtmodalität, Arbeit, psychische Faktoren oder sozialer Kontakt.
5. Circadiane Rhythmen gibt es bereits bei verschiedenen Einzellern.
6. Circadiane Rhythmen sind genetisch programmiert.

Der dritte Aspekt sei nun noch einmal genauer beleuchtet:

Die Temperaturkompensation der circadianen Rhythmen sorgt für die Unabhängigkeit und die Erhaltung der Präzision der endogenen Uhren im Organismus. Dies ist wichtig, da ansonsten die von vielen biochemischen Prozessen bekannte RGT-Regel (**R**eaktions**G**eschwindigkeit-**T**emperatur-Regel) wirkt. Diese besagt, dass chemische Reaktionen bei einer um 10 Grad erhöhten Temperatur doppelt bis viermal so schnell ablaufen. Wären circadiane Rhythmen nicht temperaturkompensiert, würden die endogenen Uhren bei unterschiedlichen Außentemperaturen also unterschiedlich schnell laufen.

3 Das molekulare Uhrwerk der inneren Uhr

Unsere innere Uhr beruht auf der Synthese von Proteinen, welche durch Rückkopplung ihre eigene Produktion steuern ([4], S. 1131f.). In jeder Zelle tickt also ein Uhrwerk aus Proteinen, deren Anstieg und Abfall im Tagesverlauf mit dem Ticken einer inneren Uhr vergleichbar ist. Die Konzentration der Uhrproteine gibt somit die innere Zeit an (siehe Abb. 1).

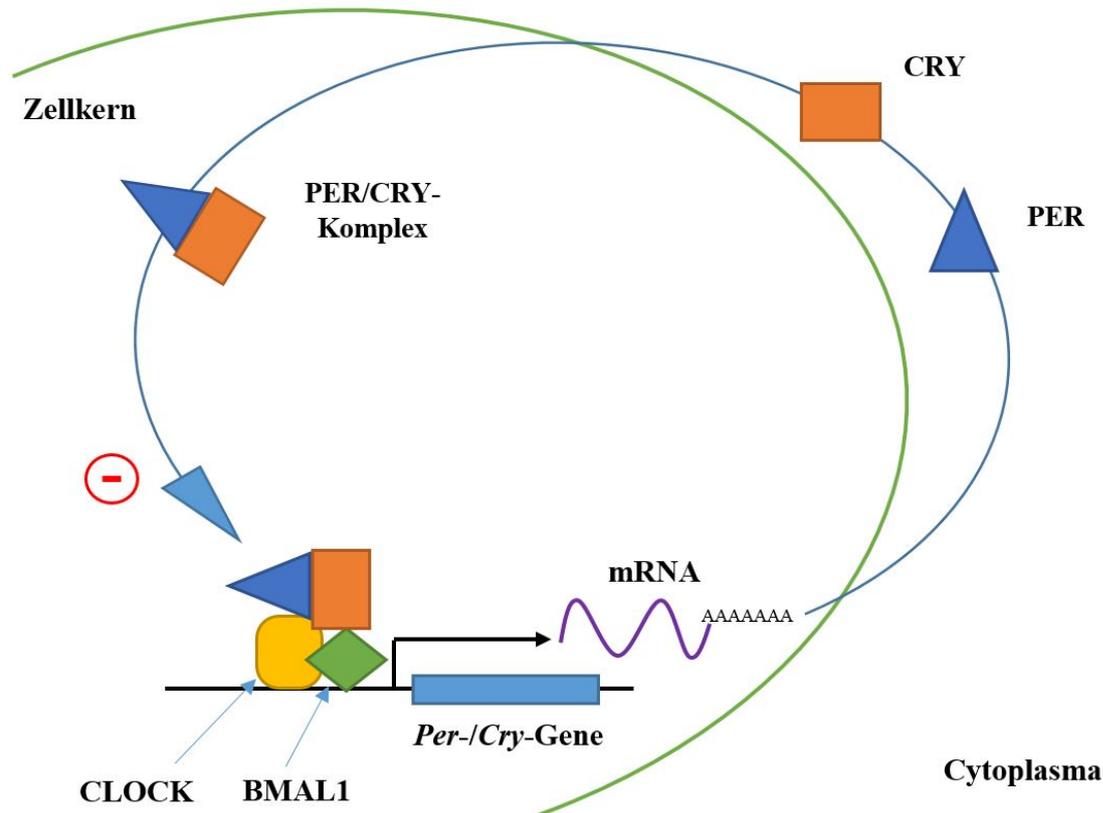


Abb. 1 Die genetischen Grundlagen der inneren Uhr. Gennamen werden hier kursiv, Proteine in Großbuchstaben geschrieben. Das circadiane Uhrwerk in den Nervenzellen des Nucleus suprachiasmaticus (SCN) besteht aus einem Netz von Genen und Proteinen. Sie bilden einen „Schwingkreis“; der zentrale Oszillator ist also ein auf Transkription und Translation basierender Rückkopplungsprozess, bei dem die Proteine ihre eigene Synthese kontrollieren. Zwei Faktoren (BMAL1 und CLOCK) sind Aktivatorproteine, welche jeden Morgen die Cryptochrome- (Cry) und Period (Per)-Gene anschalten. Gemäß genereller Mechanismen des Ablesens genetischer Information werden im Kern der SCN-Nervenzellen zuerst die entsprechenden Boten-RNAs (mRNAs) hergestellt, die dann im Zellplasma in die CRY- und PER-Proteine übersetzt werden. Diese bilden Komplexe und wandern im Verlauf des Nachmittags und des Abends dann wieder zurück in den Zellkern, wo sie die Funktion von BMAL1 und CLOCK blockieren. Dadurch wird die Produktion von Cry- und Per-mRNA abgeschaltet. Im Laufe der Nacht fällt dadurch die Menge an CRY und PER in der Zelle wieder so weit ab, dass die Blockade von CLOCK und BMAL1 zu Ende geht und (gegen Morgen) eine neue Runde der Cry- und Per-Aktivierung beginnt. Dieses Wechselspiel von Genaktivierung und -inhibition definiert den ~24-Stunden-Takt der circadianen Uhr.

(Grafik erstellt von Begger, basierend auf: www.mpibpc.mpg.de/327366/research_report_318255)

Die biologische Uhr ist ein molekularer Mechanismus, der Genexpression und zelluläre Aktivitäten, die periodisch ablaufen, lenkt ([4], S. 1443).

4 Der Nucleus suprachiasmaticus

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen der inneren Uhr, die im Wesentlichen für alle Lebewesen gelten, wenden wir uns nun der inneren Uhr der Säugetiere und damit im speziellen auch des Menschen zu. Für alle Säuger werden circadiane Rhythmen durch eine spezielle Neuronengruppe im Gehirn, den *Nucleus suprachiasmaticus* (SCN), im ventralen Hypothalamus koordiniert. Diese Neuronengruppe erhielt ihren Namen, weil sie dicht über dem *Chiasma opticum* liegt, der Stelle, an der sich die Sehnerven kreuzen. Der SCN steuert unter anderem Schlafzyklen, Körpertemperatur und die Hormonregulation.

Beim Einstellen der circadianen Rhythmen auf den äußeren Licht-Dunkel-Wechsel ist ein weiteres System, nämlich die retinalen Ganglienzellen, beteiligt ([6], S. 21). Sie befinden sich in der Netzhaut der Augen und enthalten das blaulicht-sensitive Photopigment Melanopsin, mit dessen Hilfe der Zeitgeber „Licht“ wahrgenommen wird. Außerdem wird über diesen Weg die Synthese von Melatonin aktiviert. Somit synchronisiert der SCN mit Hilfe der intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen die innere Uhr mit der natürlichen Tageslänge in allen Zellen des Körpers ([6], S. 21 und [1], S. 103). Wenn die retinalen Ganglienzellen als einzige Sehzellen existieren oder funktionieren, dann ist der Mensch zwar blind, der SCN bekommt jedoch immer noch die Informationen des Melanopsins ([1], S. 103). Hieran lässt sich erklären, warum auch einige blinde Menschen in der Lage sind, ihre biologische Uhr mit der natürlichen Tageslänge zu synchronisieren.

5 Die unterschiedlichen Chronotypen des Menschen

Unsere innere Uhr beeinflusst den Zeitpunkt, an dem wir morgens aufwachen und damit auch, wann wir uns abends müde fühlen und zu Bett gehen. Diese Zeitpunkte können individuell stark unterschiedlich sein, was zur Definition unterschiedlicher menschlicher Chronotypen führt [7]. Hiermit bezeichnet man in der Chronobiologie die unterschiedlichen Kategorien von Menschen, die aufgrund ihrer inneren Uhr bestimmte physische Merkmale in verschiedener Ausprägung besitzen. Als Grundlage für die Unterscheidung dient das unterschiedliche Schlafverhalten der Menschen, wobei man in der Bevölkerung drei „Haupt-Chronotypen“ ausfindig machen kann:

- Frühaufsteher (auch als „Lerche“ bezeichnet)
- Normaltyp, der Großteil der Bevölkerung
- Spätaufsteher (als „Eule“ bezeichnet)

In den unterschiedlichen Kulturen der Erde haben sich verschiedene Nomenklaturen entwickelt, in unserem Sprachraum für diesen Fall die Analogie zur Vogelwelt. Bereits lange bevor die Chronotypen des Menschen entdeckt und untersucht wurden, war bekannt, dass bestimmte Vogelarten zu ganz bestimmten Tageszeiten singen. Da im europäischen Raum die Lerche besonders früh zu singen beginnt und die Eule erst zum späten Abend aktiv wird, wird der Fröhlytp auch häufig Lerche und der Spätlytp Eule genannt [8].

Zwei wichtige Umstände sind jedoch zu beachten. Zum einen werden bei den Vögeln Chronotypen verschiedener Arten betrachtet, während beim Menschen die verschiedenen Chronotypen natürlich derselben Art angehören. Zum anderen erwecken die beiden Begriffe „Lerche“ und „Eule“ den Anschein, man könne alle Menschen fest in zwei Kategorien einteilen. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie die Abbildung 2 verdeutlicht.

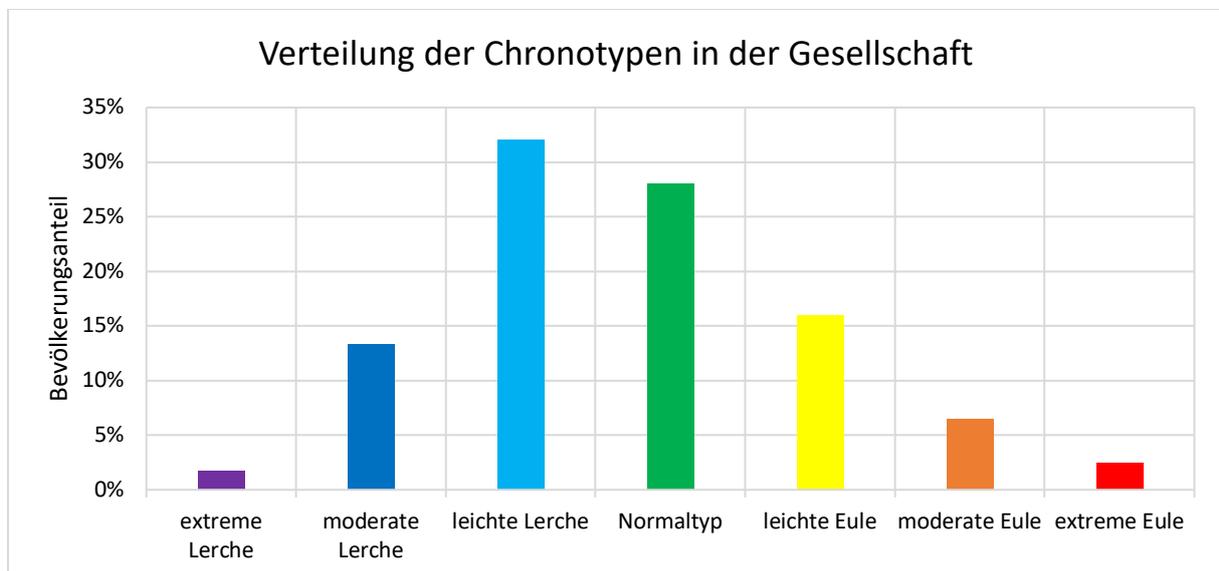


Abb. 2 Verteilung der Chronotypen in der Gesellschaft
(Grafik erstellt von Begger, basierend auf: Munich ChronoType Questionnaire, MCTQ, Auswertungsbogen)

Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass der Normaltyp am häufigsten vorkommt, gefolgt von dem Spätlytp. Die wenigsten Menschen sind Fröhlypten. Wie bei allen biologischen Parametern (zum Beispiel der Verteilung der Körpergröße) ergibt sich auch bei der Verteilung der Chronotypen bei genügend großer Stichprobe annähernd eine Normalverteilung. Die lässt sich daran erkennen, dass man über die Säulen des Diagramms eine Gauß'sche Glockenkurve legen könnte.

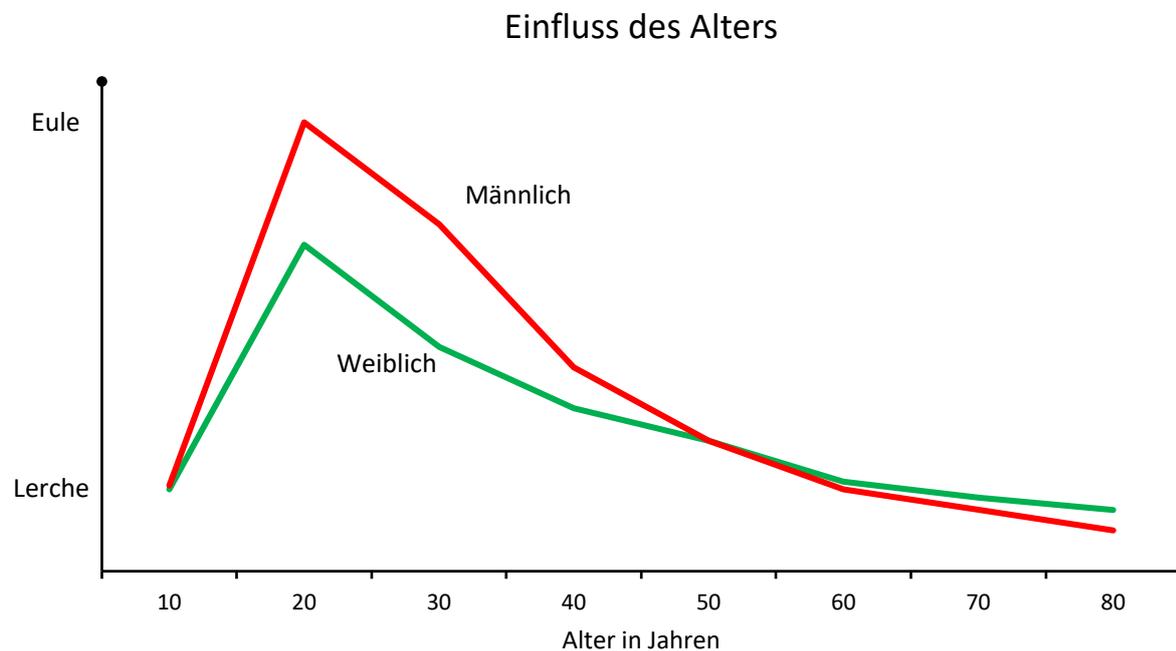


Abb. 3 Einfluss des Alters auf den Chronotyp eines Menschen

(Grafik erstellt von Begger, basierend auf: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chronotype_and_age.svg)

Weiterhin ist wichtig, zu beachten, dass der Chronotyp sich mit dem Alter verändert (Abb. 3); so sind Kleinkinder meist Lerchen ([9], S. R1038-R1039). Insbesondere in der Pubertät und als Heranwachsende wandelt sich der Chronotyp häufig von einem Früh- in einen Spättyp (Abb. 3). Das Maximum bei Frauen wird mit 19,5 Jahren erreicht, bei Männern mit 20,9 Jahren. Nachdem der Extrempunkt erreicht wurde, fällt der Graph wieder ab, das heißt, dass die Schlafmitten wieder früher in der Nacht liegen. Ab einem Alter von circa 55 Jahren ändert sich der Unterschied von Männern und Frauen; ab diesem Zeitpunkt liegt die Schlafmitte der Frauen später als die der Männer ([9], S. R1038-R1039).

6 Der Fragebogen zur Chronotypbestimmung

In der Praxisphase der Unterrichtsreihe sollen die Schülerinnen und Schüler mittels eines einfachen Fragebogens zum Ankreuzen ihren Chronotyp bestimmen.

Dazu wird eine leicht adaptierte und übersetzte Version des Fragebogens von James A. Horne und Olov Östberg verwendet. Mit diesem Test wurden seit dem Jahr 1976 die Chronotypen vieler 1000 Menschen bestimmt und er findet bis heute breite Anwendung [8].

Es ist sinnvoll, den Fragebogen am Anfang einer längeren Unterrichtseinheit zum Thema Chronobiologie einzuplanen, wenn noch kein allzu großes Wissen zum Thema Chronobiologie vorhanden ist, um eine willentliche Beeinflussung des Testverlaufs möglichst gering zu halten.

7 Didaktische Überlegungen

Neue Kernlehrpläne für gymnasiale Oberstufen (z. B. für NRW, gültig ab 01.08.2014, [10]) orientieren sich an sogenannten Kompetenzerwartungen und Basiskonzepten. Sie sollen ermöglichen, „Sachverhalte situationsübergreifend [...] anzugehen“ und „übergeordnete Strukturen [...] eines vielseitig verknüpften Wissensnetzes“ zu bilden [10]. Dabei soll die Anschaulichkeit der vorliegenden Thematik das geforderte „Lernen in Kontexten“ umsetzen [10]. Diese Grundlage spiegeln die Arbeitsblätter für den Unterricht wider [10, 11].

Von den Schülerinnen und Schülern werden die meisten bereits selbst bemerkt haben, dass es unter ihnen einige gibt, denen der Unterricht am Vormittag leichter fällt; andere wiederum fühlen sich im Nachmittagsunterrichtmunterer. Besonders häufig vernimmt man Aussagen, die sich darauf beziehen, warum ausgerechnet der Physik- oder Mathematikunterricht in den ersten beiden Stunden stattfinden muss.

Bei dieser Unterrichtseinheit soll es darum gehen, dass die Schülerinnen und Schüler den Begriff Chronotyp kennen lernen und sich mit ihrem eigenen Chronotyp auseinandersetzen. Neben dieser Thematik wird in das Themenfeld der Chronobiologie eingeführt, ein Themengebiet, welches beliebig groß behandelt werden könnte. Aufbauend auf dieser Unterrichtseinheit lässt sich das Themenfeld der circadianen Rhythmen des Menschen ausdehnen, denn unser körperliches Befinden, unsere Stimmung beziehungsweise unsere Gefühlslage, Lernfähigkeit oder auch Arbeitsabläufe werden in vielfältiger Weise von unserer inneren Uhr beeinflusst.

7.1 Begründung des Themas für den Unterricht

Kenntnisse über den eigenen Chronotyp sind förderlich für das Führen eines gesunden und ausgewogenen Lebensstils. Unser persönlicher Chronotyp beeinflusst nicht nur unser Schlaf-Wach-Verhalten und unsere Körpertemperatur, sondern auch viele weitere Vorgänge in unserem Körper. Um nicht ständig gegen seine eigene innere Uhr zu leben und seinem Körper dadurch Schaden zuzufügen, ist es wichtig zu wissen, dass nicht alle Menschen dem gleichen Chronotyp angehören und dass sich somit z. B. unterschiedliche Leistungsmaxima im Arbeitsleben und im Schulunterricht ergeben.

Wenn die Lernenden ein Verständnis für ihren eigenen Chronotyp entwickelt haben, ist es ihnen möglich, ihr neu erworbenes Wissen gesundheitsförderlich und gewinnbringend in ihrem alltäglichen Leben einzusetzen.

Aufbauend auf diesem Thema lässt sich sehr gut die Thematik „Schichtarbeit“ erarbeiten.

Weiterhin ist dieses Beispiel kaum Inhalt von Lehrbüchern und daher eine zweckmäßige Ergänzung zum Regelunterricht.

7.2 Unterrichtliche Voraussetzungen

Um das Neugierverhalten von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen zu fördern, ist es manchmal sinnvoll, über den berühmten Tellerrand hinauszuschauen und sich nicht nur strikt am Lehrplan zu orientieren. Das Themenfeld der Chronobiologie, mit alltäglichen Fragestellungen und Problemen, bietet dazu eine sehr gute Möglichkeit junge Menschen primär zu motivieren und das alleinige Lernen für Noten in den Hintergrund zu rücken. Die Chronobiologie schlägt hierbei eine Brücke zwischen allen vier Themengebieten der Qualifikationsphase. Für das vorliegende Themengebiet wäre es allerdings auch möglich, u. a. einen Projektkurs in der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe zu gestalten. Es wäre jedoch sinnvoll, die relevanten Themen der Genetik zuvor kurz zu besprechen. Auch für die Themengebiete Genetik und Neurobiologie eignet sich dieses Thema.

7.3 Vorbereitung des Unterrichts

Für diese Unterrichtsstunde ist eine einwöchige Vorbereitungsphase durch die Schülerinnen und Schüler von Nöten. Sie sollen eine Woche lang ihren Tagesablauf protokollieren. Das Protokoll soll Wach-, Ruhe- und Schlafenszeiten enthalten; außerdem die Zeiträume, in denen die größte Aufmerksamkeit beziehungsweise die größte Erschöpfung auftrat. Fragen, wie „*Wann hatte ich mein Leistungshoch an diesem Tag?*“ sollen stichpunktartig beantwortet werden. Unter Ruhephasen sei unter anderem das Folgende verstanden: Schülerin X liegt auf ihrem Bett, entspannt und hört Musik oder Schüler Y liegt auf der Couch und schaut fern.

7.4 Unterrichtliche Umsetzung

Nach der Begrüßung der Schülerinnen und Schüler durch die Lehrkraft wird direkt das Arbeitsblatt 1 ausgeteilt, das sie in den vorgegebenen Arbeitsformen bearbeiten sollen. Die Lehrkraft steht währenddessen für Fragen zur Verfügung und kann zusätzliche Hinweise und Informationen geben. Mögliche physische Merkmale, nach denen auf dem Arbeitsblatt gefragt wird, sind die Körpertemperatur oder der Hormonhaushalt.

Nachdem die Arbeitsphase vorbei ist, stellen die Schülerinnen und Schüler im Plenum ihre Arbeitsergebnisse vor; dabei kann die Lehrkraft die wichtigsten Aspekte stichpunktartig an der Tafel festhalten.

Anschließend bekommen die Schülerinnen und Schüler den Arbeitsauftrag ihr in der Hausaufgabe angefertigtes Protokoll auszuwerten und zu analysieren. Auch sollen sie Hypothesen aufstellen,

welchem Chronotyp sie angehören. Es ist wichtig, dass sie hierbei beachten, dass es nicht nur die zwei klassischen Extremwerte „Lerche“ und „Eule“ gibt, sondern auch viele Übergangsformen existieren. Anschließend werden die Lernenden aufgefordert sich in kleinen Gruppen zu maximal drei Personen zusammenzusetzen. In diesen Kleingruppen sollen sie sich über ihre gemachten Erfahrungen austauschen, ihre Werte vergleichen und weiterführende Hypothesen entwickeln, zum Beispiel, wie das Schlafverhalten mit dem Chronotyp zusammenhängt.

Wenn alle Gruppen ihre Arbeit beendet haben, werden die gewonnenen Ergebnisse im Plenum erörtert und diskutiert.

Nun kann der Kernaspekt der Sitzung beginnen, nämlich die Bestimmung des eigenen Chronotyps mittels des zur Verfügung gestellten Fragebogens (Arbeitsblatt 2). Sollten Fragen bestehen, können diese zuvor im Plenum geklärt werden.

Die Lernenden sollen ihre Auswertung genau analysieren; anschließend wird eine anonyme Umfrage gestartet, in der die Schülerinnen und Schüler ihren Chronotyp aufschreiben. Die Ergebnisse dieser Umfrage, also die Verteilung der Chronotypen in der Klasse beziehungsweise im Kurs, können nun an der Tafel gesammelt und diskutiert werden. Weiterhin ist es möglich, dass jede Schülerin und jeder Schüler ihren/seinen zuvor erratenen Chronotyp mit demjenigen vergleicht, den der Testbogen ausgegeben hat.

Nun sind die Lernenden mit ihrem neu erworbenen Wissen in der Lage, zu begründen, warum jeder Mensch unterschiedliche Leistungsmaxima im Tagesverlauf besitzt. Sehr anschaulich lässt sich dies anhand des Sports darstellen. Die Schülerinnen und Schüler werden sich alle schon einmal gefragt haben, wann es für sie persönlich sinnvoll ist, Sport zu treiben. Einige treiben gerne vormittags und mittags Sport, andere schlüpfen vor dem Abendessen zwischen 16:00 und 17:00 Uhr in die Sportkleidung und wiederum andere werden kurz vor der Tagesschau aktiv. Wer nicht nach seiner inneren Uhr trainiert, büßt im Tagesverlauf bis zu 26 Prozent seiner Leistung ein. Dabei sind die Frühaufsteher, also die Lerchen, mittags am fittesten, die Mischtypen am Nachmittag und die Spätaufsteher, sprich die Eulen, abends. Die Frühtypen und die Mischtypen ähneln sich: Sie sind knapp sechs beziehungsweise knapp sieben Stunden nach dem Aufstehen am fittesten. Die Spättypen erreichen erst nach circa elf Stunden ihr persönliches Leistungshoch ([12]).

Hieran zeigt sich, wenn bereits eine Differenz von einem Prozent darüber entscheidet, ob man bei dem 100-Meter-Sprint den ersten oder vierten Platz belegt, dass ein Unterschied von 26 Prozent gravierende Auswirkungen haben kann ([13]).

Die Lernenden können abschließend noch auf den folgenden Sachverhalt aufmerksam gemacht werden: Viele Zeitschriften raten den Leserinnen und Lesern zu bestimmten Zeiten zum Zahnarzt zu gehen, da um diese Zeit die Schmerzen am geringsten seien oder wann Sporttraining am sinnvollsten und effektivsten ist ([8], S. 31). Über diesen Sachverhalt lässt sich eine abschließende Diskussion führen, in der sich zeigt, ob die Schülerinnen und Schüler das Thema „Chronotypen“ verinnerlicht haben und sie die Individualität der inneren Uhr erkannt haben.

8 Literatur

- [1] Oster, H.: Circadiane Uhren und Energiemetabolismus. In: *Biologie unserer Zeit*. (2014). Heft 44. Weinheim: Wiley-VCH Verlag. S. 100-106
- [2] Staiger, D.: Biologische Zeitmessung bei Pflanzen. In: *Biologie in unserer Zeit*. (2000). 30. S. 76-81
- [3] Rudolf, F., Wehrle, F., Staiger, D.: Slave to the rhythm. In: *The Biochemist*. (2004). 26. S. 11-13
- [4] Campbell, N. A., Reece, J. B. (2009). *Biologie*. München: Pearson Studium
- [5] Engelmann, W. (2007, überarbeitete Version). *Rhythmen des Lebens – Eine Einführung anhand ausgewählter Themen und Beispiele*. Tübingen. Im Internet zugänglich unter: <https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/49271>
- [6] Linkwitz, M.: Licht und das Ticken der inneren Uhr. In: *Unterricht Biologie*. (2006). Heft 320. Seelze: Friedrich Verlag. S. 21-27
- [7] Roenneberg, T., Wirz-Justice, A., Mellow, M.: Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. In: *J Biol Rhythms*. (2003). 18. S. 80-90
- [8] Horne, J. A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.
- [9] Roenneberg, T. et al.: A marker for the end of adolescence. In: *Current Biology*. (2004). Heft 14 (24). USA: Elsevier. S. R1038-R1039.
- [10] Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW (Hrsg.) (2013): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. *Biologie*. In: Schule NRW, Ritterbach, Düsseldorf, Frechen 2013.
- [11] Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW (Hrsg.) (2014): Vorgaben zu den unterrichtlichen Voraussetzungen für die schriftlichen Prüfungen im Abitur 2015: *Biologie*, online abrufbar: www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de, 09.10.2016.
- [12] Garms, A. (2015): Innere Uhr bestimmt Leistungsniveau bei Sportlern, online abrufbar: <http://www.welt.de/gesundheit/article136978122/Innere-Uhr-bestimmt-Leistungsniveau-bei-Sportlern.html>, [16.07.2024](#).
- [13] Menne, K. (2015): Sport nach der inneren Uhr – Frühaufsteher glänzen im Fitnesstest, online abrufbar: <http://www.faz.net/aktuell/wissen/sport-nach-der-inneren-uhr-fruehaufsteher-glaenzen-im-fitnessstest-13397698.html>, [16.07.2024](#).