

4 Die Hormone und ihre Beziehung zum Seelischen

Benjamin Bembé & David Martin², Universität Witten/Herdecke

(BB: ehemals Freie Waldorfschule Landsberg)

Einführung

Mit unserem Hormonsystem besitzen wir – neben dem vegetativen Nervensystem – ein zweites Steuerungs- und Regulationssystem. Hormone werden von unserem Organismus eingesetzt, um gezielt Informationen zwischen Organen oder Geweben zu verbreiten, welche sich stets wechselseitig beeinflussen. Dadurch haben sie Auswirkungen auf die verschiedenen Ebenen des Organismus bis hin zur seelisch-geistigen. Hormone sind somit **Botenstoffe**, die in spezialisierten Zellen ganz unterschiedlicher Organe gebildet und ins Blut gegeben werden. *»Das Entscheidende dieses Systems ist, dass die Hormone nicht über das Nervengewebe, sondern über den Blutkreislauf im Körper verteilt werden, also immer ubiquitär vorhanden sind und überall wirken können, wo die Zellen entsprechende Rezeptoren besitzen«* (Rohen 2016: 333).

Die Orte ihrer Entstehung und die Orte ihrer Wirkung, die sogenannten **»Zielorgane«**, sind daher räumlich voneinander getrennt. Der Mensch besitzt ca. 50 verschiedene Hormone. Ihre Wirkung wird oft von kaum vorstellbar kleinen Substanzmengen hervorgerufen. Sie setzt meist langsamer ein als die Wirkung des Nervensystems, kann aber deutlich länger anhalten. Wie lange sich ein Hormon im Blut befindet ist je nach Stoffgruppe unterschiedlich. Manche werden sehr schnell wieder abgebaut, so haben einige Hormone des Hypothalamus nur Halbwertszeiten von unter 10 Minuten (Kleine und Rossmanith 2014). Da Hormone ins Blut gegeben, also *»nach innen abgesondert«* werden, spricht man auch von **Enkreten** bzw. dem endokrinen System. Im Gegensatz zu diesen werden **Sekrete** wie Speichel, Bauchspeichel oder Galle, die ebenfalls in Drüsenzellen entstehen, ins Verdauungssystem abgegeben. Nach außen abgesondert werden dagegen die **Exkrete**, wie dies beispielsweise bei Schweiß- oder Talgdrüsen der Fall ist.

Der Übergang vom Nervensystem zum Hormonsystem ist ein fließender, da viele hormon-ausschüttende Zellen direkt an Nervenzellen anschließen und von ihnen gesteuert werden (z. B. neurosekretorische Zellen des Hypothalamus). Ähnlich, aber noch intensiver als beim vegetativen Nervensystem (Sympathikus/Parasympathikus), hat die Wirkung von Hormonen mit dem Eingreifen der Seele in den Leib zu tun. Beispielsweise helfen uns die Hormone der Nebennieren (Adrenalin, Kortison) Stress zu kompensieren und trotz oder gerade durch

2 Der vorliegende Beitrag entstand im Rahmen des Projektes »Goetheanismus im Unterricht der Waldorfschulen«. Er geht daher inhaltlich etwas über den Vortrag hinaus. Auf der Biologielehrertagung konnte Prof. David Martin nicht anwesend sein, er ist seit 2017 Inhaber des »Gerhard-Kienle-Lehrstuhls für Medizintheorie, Integrative und Anthroposophische Medizin« an der Universität Witten/Herdecke und zudem an der Filterklinik tätig.

seelische Anspannung leistungsfähig zu bleiben. Viele Hormone haben auch eine exkarnierende oder inkarnierende Wirkung und beeinflussen damit das Verhältnis zwischen Körper und Geist.

Neben dem **Hormon-** und dem **Nervensystem** existiert noch ein drittes System in unserem Körper, in dem ebenfalls Informationen weitergegeben und verarbeitet werden. Es ist unser **Immunsystem**. Allen drei Systemen ist gemeinsam, dass sie sowohl durch Nervenverknüpfungen als auch durch Botenstoffe (weite Wirkung: Hormone, kurze Wirkung: Neurotransmitter) gesteuert werden. Alle drei beeinflussen sich wechselseitig und sind daher eng miteinander verknüpft (Kleine und Rossmann 2014).

Die Biologieepoche der 10. Klasse

In der Biologieepoche der 10. Klasse stehen in der Waldorfschule die inneren Organe des Menschen im Mittelpunkt. Oft werden ausgehend vom Blut das Herz-Kreislaufsystem, die Atmungsorganisation, die Verdauungs- und Ausscheidungsorgane und das Nervensystem durchgenommen (Richter 2016, Zimmermann & Wallmann 2019). All diese Organe, viele lebenswichtige Prozesse und zahlreiche Krankheitsbilder stehen in engem Zusammenhang mit dem endokrinen System des Menschen. Wohl das bekannteste Beispiel hierfür ist der Diabetes, der oft in dieser Epoche besprochen wird und deshalb hier auch relativ ausführlich beschrieben wird.

Unser Hormonsystem nehmen wir – sofern es gesund ist – in keiner Weise bewusst wahr. Mit unserem bewussten Seelenleben steht es jedoch in enger Verbindung, und dies kann für Schüler*innen interessant sein. Um diesen Zusammenhang zu verdeutlichen bietet sich der folgende Versuch von Michael Knöbel an: ein eher ruhiger Schüler, dem man das nun folgende zumuten kann, wird plötzlich vom Lehrer heftig angefahren – etwa mit den Worten: »Du verhältst dich ja wieder unmöglich! Jetzt sei doch endlich leise!« Die Ermahnung muss heftig sein, sodass sie wirklich unter die Haut geht. Kurz darauf signalisiert der Lehrer, dass die Zurechtweisung nur gestellt war, um den Schüler (und eventuell auch die Klasse) zu brüskieren und bewusst zu erschrecken. Der betroffene Schüler wird nun gebeten, seine seelische und gegebenenfalls auch körperliche Reaktion (Zusammenzucken, Aufstellen der Nackenhaare) möglichst genau zu schildern. Die Erlebnisse können dann mit der Adrenalinausschüttung in Zusammenhang gebracht werden.

Da das Hormonsystem in den uns bekannten medizinischen und schulischen Lehrbüchern (und Webseiten) nicht in einer Weise dargestellt wird, die sich inhaltlich und vom Umfang her gut für die Unterrichtsvorbereitung eignet, wurde dies im vorliegenden Text versucht. Welche der gegebenen Anregungen letztendlich in die Biologieepoche aufgenommen wer-

den, kann jede*r Lehrer*in selbst entscheiden. Mehrjährige Erfahrung zeigt jedoch, dass es sich lohnen kann, dem Hormonsystem des Menschen ein oder zwei Hauptunterrichte der Biologieepoche zu widmen.

Das endokrine System des Menschen

Die wesentlichen Hormondrüsen des Menschen liegen etwa auf einer zentralen Linie vom Gehirn bis zu den Geschlechtsorganen (Abb. 1). Von oben nach unten sind dies: Epiphyse (Zirbeldrüse), Hypothalamus, Hypophyse (Hirnanhangdrüse), Schilddrüse (mit Nebenschilddrüsen = Epitelkörperchen), Thymus, Pankreas (Bauchspeicheldrüse), Nebennieren, endokrine Zellen im Magen-Darm-Trakt, Eierstöcke und Hoden. Aber auch an vielen weiteren Stellen des Körpers werden Hormone gebildet und ausgeschüttet, wie beispielsweise in der Haut, der rechten Herzkammer, im Nierengewebe (Nierenrinde) und sogar in der Netzhaut des Auges. Ein Organ wird in diesem Zusammenhang meist vergessen, obwohl kein Mensch ohne es leben könnte. Es ist unsere Plazenta, die keine Nerven besitzt und die vielfältige Vermittlung zwischen Mutter und Kind von Beginn an bis zur Geburt ausschließlich über Hormone reguliert, welche sie auch selbst bildet. Bei Schad (2005) wird sie als das universellste aller Organe dargestellt.

Hormone werden nicht gleichmäßig, sondern schubweise ausgeschüttet. Entweder dem jeweiligen Bedarf entsprechend oder nach endogenen Rhythmen. Zahlreiche Hormone stehen über Regelkreise oder Rückkopplungskreise in enger Wechselwirkung miteinander in Verbindung. Solche Regelkreise bestehen zum Beispiel zwischen der Hypophyse und mehreren Hormonen der Schilddrüse oder der Nebennieren.

In den meisten Fachbüchern werden hormonregulierte Prozesse unseres Körpers so beschrieben, als würden sie von einer maschinenartig eingreifenden Steuerungsebene aus gelenkt. Dabei wird zumeist die Frage vernachlässigt, von wo aus wiederum diese Ebene reguliert wird. Gelegentlich wird diffus auf die Gene verwiesen, die jedoch ihrerseits auch reguliert werden. Mittlerweile weisen zahlreiche Biologen darauf hin, dass es eine solche Steuerungsebene nicht gibt, sondern dass sich alle Ebenen im Organismus im Sinne eines **biologischen Systems** wechselseitig beeinflussen (Weiss 1970, Nobel 2006, Rosslénbroich 2011, 2020). Von einem maschinenartigen Abspielen von Programmen und der Kontrolle durch einzelne privilegierte Strukturen oder Regulationsebenen kann dabei keine Rede sein. »Das ist genau das Gegenteil einer Maschine, in der die Struktur des Produktes in kritischer Weise von den starr vorprogrammierten Operationen der Einzelteile abhängt. In einem System bestimmt **die Struktur des Ganzen die Tätigkeit der Teile**; in einer Maschine bestimmt die Tätigkeit der Teile das Ergebnis.« (Weiss 1970:22, zitiert nach Rosslénbroich 2020, Hervorhebung BB).

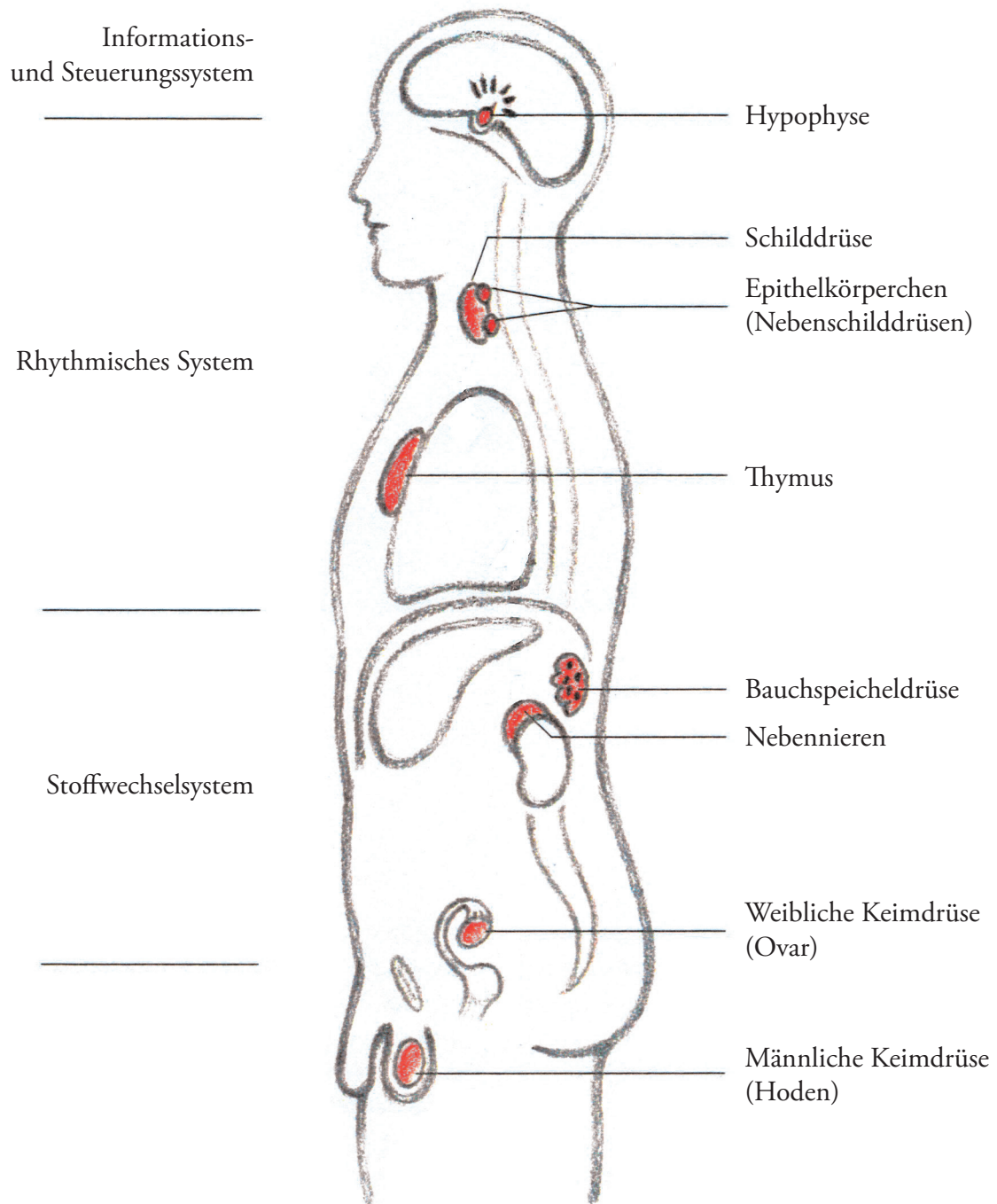


Abb. 1 Die Lage der wichtigsten Hormondrüsen im Körper (aus Rohen 2016, S. 337: Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung des Verlags Freies Geistesleben, verändert)

In populärwissenschaftlichen Darstellungen findet sich mitunter sogar die Formulierung, dass Hormone von sich aus etwas regeln oder steuern würden. Eine solche Formulierung suggeriert eine Eigenaktivität oder eine Tätigkeit des Hormons, die eine solche chemische Substanz aber gar nicht haben kann. Ein zutreffendes, organisches Bild entsteht vielmehr,

wenn man beschreibt, dass unser Organismus die Hormone zur Steuerung zahlreicher Prozesse nutzt, wobei er stets Einflüsse aus anderen Regulationsebenen mit einbezieht.

Auf derartige Weise durch Hormone reguliert werden beispielsweise zahlreiche Stoffwechselprozesse, unser Salz- und Wasserhaushalt, der Blutzucker, der Wärmehaushalt, der Kreislauf, der Blutdruck und das Blutvolumen, Sexualfunktionen, der weibliche Menstruationszyklus, die Reaktion auf Angst und Stress, Appetit und Hunger, der Schlaf-Wach-Rhythmus, das Knochenwachstum, der Muskelaufbau und weitere Entwicklungsprozesse in den Wachstumsphasen.

Biochemisch betrachtet sind Hormone zumeist Peptide, Steroide, Glykoproteine oder Abkömmlinge einer Aminosäure (so die Tyrosinderivate der Schilddrüse, Dörner 1989). Bei manchen dieser vom Körper gebildeten Hormone handelt es sich chemisch um dieselben Substanzen, die man bereits lange Zeit vor ihrer Entdeckung im Menschen als hoch wirksame Pflanzengifte kannte (z. B. Fingerhutgifte, Sommer 2010a).

Wirkung in geringsten Mengen

Die Substanzmengen mancher Hormone sind so gering, dass sie mit den Mengen homöopathischer Arzneimittel verglichen werden können. Um sich ein Bild davon zu verschaffen, in wie geringen Mengen Hormone wirksam werden, kann man sich folgendes Beispiel vor Augen führen: Das Hormon Kortison³ wurde in den ersten Jahrzehnten des 20. Jh. von Tadeus Reichstein und seinen Mitarbeitern entdeckt und isoliert. Um 1/10 g Kortison zu erhalten, mussten die Forscher die Nebennieren von über 25.000 Rindern »verarbeiten«, die bei Schlachtabfällen anfielen. Um 1 g dieses Hormons zu isolieren, hätten sie also mehr als 250.000 Rinder bzw. über eine halbe Million Nebennieren benötigt (Sommer 2010b).

Ein weiteres Beispiel für die Wirkung extrem geringer Substanzmengen bietet das weibliche Geschlechtshormon **Östrogen**. Dieses Hormon wird nicht nur bei Mädchen, sondern auch in sehr geringem Maße bei Jungen in der Pubertät gebildet. Dadurch kommt es bei einem Drittel bis zur Hälfte aller Jungen in diesem Lebensabschnitt zu einem leichten Brustwachstum, welches sich in der Regel bald wieder vollständig zurückbildet. Da dieses Phänomen keine Seltenheit ist, ist es durchaus sinnvoll, es im Sexualekundeunterricht anzusprechen. Betroffene Junges werden oft stigmatisiert oder schämen sich derart, dass sie sich nur mit nach vorne gebeugten Schultern durch die Welt bewegen, um ihre Körperform möglichst zu verbergen.

³ Der Verständlichkeit halber werden hier die beiden Begriffe Kortison und Kortisol synonym verwendet. Kortison, welches auch als Medikament Anwendung findet, ist die durch Oxidation inaktivierte Form (also eine Vorstufe) des eigentlichen Hormons Kortisol.

Diese körperliche Veränderung kann hervorgerufen werden durch einen Östrogenspiegel von 10 pg/ml (= 0,01 pg/l). Dieselbe Konzentration in einer Flasche würde man erreichen, indem man 1 g Östrogen 11 Mal 1/10 verdünnen würde. Das würde einer homöopathischen D11 Potenz entsprechen. Das heißt allerdings nicht, dass man etwas bewirken würde, wenn man 20 Tropfen (= 1 ml) Östrogen D11 verabreichen würde, denn diese wäre wiederum im Körper auf 1 ml zu ca. 50 Liter (= 50.000 ml) verdünnt, abgesehen davon, dass die Leber ca. die Hälfte des Östrogens bereits bei der ersten Passage abbauen würde. Dafür müsste man ca. 100.000 mal mehr Östrogen verwenden, was in etwa einer D6-Potenz (1 µg) entsprechen würde.

Aus der ärztlichen Praxis (allerdings bei Mädchen und nicht bei Jungen) weiß man, dass eine tägliche Dosis von 1 µg Östrogen bereits eine leichte Veränderung bewirken kann. Transdermale Östrogenpflaster enthalten 25 µg, und diese werden geviertelt oder sogar geachtelt, um die Pubertät bei Mädchen langsam zu induzieren. (Auf diese Weise therapiert man Mädchen, deren Eierstöcke nicht ausreifen und die folglich von alleine nicht oder nur unvollständig in die Pubertät kommen. Dies ist am häufigsten der Fall bei Mädchen mit genetischen »Erkrankungen« (wie dem Turner-Syndrom = Monosomie X) oder deren Eierstöcke in Folge einer Chemotherapie oder Bestrahlung bei Krebs in Mitleidenschaft gezogen wurden.) Demnach bewirken 3,125 µg Östrogen pro Tag *durch die Haut* in der Tat bereits erste Anzeichen der Pubertät bei einem Mädchen.

Neuerdings ergaben Studien, dass noch viel geringere Konzentrationen eine Wirkung haben können, vor allem, wenn sie rhythmisch angewendet werden. So könnten bereits kleinste Mengen von Hormonen aber ebenso Substanzen aus Plastik oder Insektizide körperliche Veränderungen verursachen (Vandenberg et al. 2012). Ein Beispiel ist das heute allgegenwärtige **Bisphenol A** aus zahlreichen Kunststoffen, das zu den **hormonellen Schadstoffen** gehört, die bereits in winzigen Mengen in unseren Hormonhaushalt eingreifen können. Im Fall von Bisphenol A zeigen Untersuchungen, dass es die Wirkung weiblicher Sexualhormone verstärkt und die männlicher Sexualhormone sowie der Schilddrüsenhormone hemmt (Umweltbundesamt 2010).

Mögliche Beispiele für den Unterricht

Für den Unterricht kann beispielsweise so vorgegangen werden, dass zuerst eine allgemeine Einführung zum Hormonsystem des Menschen gegeben wird, in der das bisher Ausgeführte zusammenfasst wird. Für einen zweiten Teil bietet es sich an, einige ausgesuchte Hormone, Regelkreise oder Krankheitsbilder zu bearbeiten. Hierzu möchten wir einige Beispiele anbieten.

Die Blutzuckerregulierung

Die Blutzuckerregulierung wird durch die gegensätzliche Wirkung der beiden Hormone Insulin und Glukagon erreicht: durch **Insulin** wird der Blutzuckerspiegel gesenkt, durch **Glukagon** erhöht.

Die beiden Hormone werden durch die Bauchspeicheldrüse (das Pankreas) ins Blut gegeben, ein Organ, das uns erlaubt, ständig die richtige Menge an Energie für Bewusstsein und Bewegung an allen Körperstellen zur Verfügung zu haben. Es ermöglicht uns ein fortwährendes dynamisches Gleichgewicht auf der Ebene des Zuckers, der stoffgewordenen Sonnenenergie. Damit dieses Organ gesund bleibt, ist es neben einer ausgeglichenen Ernährung wichtig, dass die peripheren Organe, vor allem die Muskeln, sich in lockerer, entspannter Bewegung betätigen. (Dies weist darauf hin, dass zwischen unserem Stoffwechsel- und unserem Gliedmaßensystem ein enger funktioneller Zusammenhang besteht, weshalb wir beide gemeinsam als Stoffwechsel-Gliedmaßen-System ansprechen. Dagegen verbrauchen unsere Nervenzellen im Gehirn den Zucker ohne die Vermittlung von Insulin.) Ist die Ernährung oder die Bewegung stark unausgeglichen, so bekommen wir eine Insulinresistenz und sind auf dem Weg zu einem Typ-2-Diabetes. Deshalb ist es wichtig, dass wir uns ausreichend bewegen, aber auch, dass wir immer wieder ausatmen, entspannen und Stress abbauen können.

Insulin und Glukagon werden in den Langerhans-Inseln der Bauchspeicheldrüse gebildet. Der Blutzuckerspiegel ist hierbei selbst die auslösende Ursache. Er kann von den Zellen des Pankreas im sie umgebenden Blut »wahrgenommen« werden. Dies ist eine Eigenschaft, welche die Leber, die letztendlich den Blutzuckerspiegel reguliert, nicht besitzt. Der Leber stehen, als unserem wichtigsten Stoffwechselorgan, alle Sinnes- und Bewusstseinsprozesse ferner als jedem anderen Organ. Daraus wird verständlich, dass sie nicht in der Lage ist, physiologisch den Blutzuckergehalt wahrzunehmen (zu »schmecken«). Deshalb muss die Bauchspeicheldrüse diese Funktion übernehmen. Im Inneren der Leber befinden sich nicht einmal Schmerzrezeptoren. Dafür besitzt die Leber die größten Regenerationskräfte des Körpers: müssen operativ drei Viertel der Leber entfernt werden, so hat sie das Potenzial, sich wieder komplett zu regenerieren.

Steigt der Blutzuckerspiegel nach einer Mahlzeit an, so nimmt die Bauchspeicheldrüse dies wahr und gibt die entsprechende Insulinmenge ins Blut. Dieses fließt über die Pfortader direkt und komplett in die Leber. Diese reagiert auf die Insulinmenge und fixiert entsprechend Blutzucker (Glukose) in Form von Glykogen (Leberstärke). Bis zu 10 % ihres Eigengewichtes kann unsere Leber Glykogen in sich einlagern. Sinkt der Blutzuckerspiegel ab (bei zunehmendem Hunger), so wird dies wiederum von der Bauchspeicheldrüse wahrgenommen und sie gibt die passende Menge Glukagon ins Blut. Je nach Höhe des Glukagonspiegels spaltet die Leber entsprechend Glykogen auf und gibt die daraus entstandene Glukose ins Blut

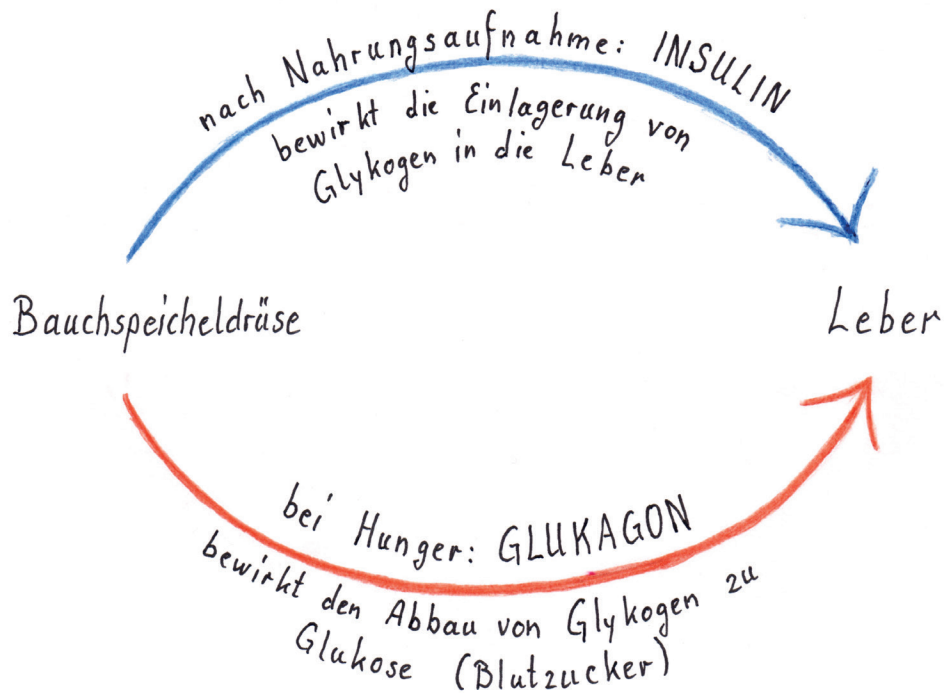


Abb. 2 Die Blutzuckerregulierung durch die Hormone der Bauchspeicheldrüse.

(Abb. 2). Die beiden Hormone werden ebenfalls in der Leber relativ schnell wieder abgebaut (bis zu 50 % bei der ersten Leberpassage, »first pass effect«, Girke 2010).

Obwohl man die Blutzuckerregulierung durch ein solches Schema gut erklären kann, sollte man dabei nicht vergessen, dass man die Realität damit vereinfacht (und leicht verfälscht).

Denn die Insulinrezeptoren sitzen bei weitem nicht nur in der Leber, sondern überall in der Skelettmuskulatur und auch im Fettgewebe (Girke 2010). Das merken Menschen mit Diabetes sehr deutlich: an Tagen in denen sie intensiv Sport treiben, brauchen sie viel weniger Insulin bei gleicher Nahrungs- und Kohlenhydratmenge. Wie alle physiologischen Parameter unseres Körpers ist auch der Blutzuckerspiegel nicht den ganzen Tag über exakt konstant, sondern schwankt tagesrhythmisch (Rosslenbroich 1994). Auch die Empfindlichkeit des Körpers auf Insulin ist am Morgen und am späteren Nachmittag höher als zu anderen Zeiten des Tages.

Ist unser Insulinstoffwechsel gestört, so kommt es zur Zuckerkrankheit: dem **Diabetes mellitus**. Hierbei unterscheidet man zwei Typen: den Typ-1-Diabetes (juveniler Diabetes) und Typ-2-Diabetes (Altersdiabetes). Die Namen können verwirren, da beide Diabetesformen grundsätzlich auch in anderen Lebensaltern auftreten können. Seit einigen Jahren sind Patienten mit Typ-2-Diabetes im Jugendalter leider keine Seltenheit mehr. Die beiden Krankheiten unterscheiden sich polar, da beim Typ-1-Diabetes die Bauchspeicheldrüse zu wenig Insulin produzieren kann. Es handelt sich folglich um einen **Insulinmangel**. Bei den Betroffenen

zerstört das eigene Immunsystem die insulinproduzierenden Zellen der Bauchspeicheldrüse. Bei Typ-2-Diabetes liegt dagegen eine **Insulinresistenz** vor, d. h. die Leber, aber auch die gesamte Skelettmuskulatur und das Fettgewebe reagieren immer schwächer auf die vorhandene Insulinmenge, was dazu führt, dass die Bauchspeicheldrüse immer mehr arbeitet, bis sie dadurch erschöpft ist. In beiden Fällen muss daher künstlich Insulin ins Blut gegeben werden. In Deutschland leben derzeit etwa 7 Millionen Menschen, die wegen Diabetes mellitus behandelt werden. Dies entspricht fast 9 % der Bevölkerung. 90–95 % dieser Patienten leiden an einem Typ-2-Diabetes. Die Anzahl aller Diabetespatienten hat seit Beginn der Aufzeichnungen am Anfang der Sechzigerjahre kontinuierlich zugenommen (aktuelle Angaben: siehe Bundesministerium für Gesundheit oder Wikipedia: Diabetes, Häufigkeit in Deutschland). Die beste Vorbeugung gegen Diabetes ist eine gesunde Ernährung und regelmäßiges körperliches Training. Als Risikofaktoren für die Entwicklung eines Typ-2-Diabetes zählen Übergewicht, ungesunde Ernährung mit reichlich Zuckerkonsum, fehlende Bewegung und in nicht unerheblichem Maße auch Bildschirmkonsum. (In einer groß angelegten prospektiven Studie zeigte sich eine Risikozunahme besonders im Zusammenhang mit körperlicher und mentaler Inaktivität beim Fernsehen: jeweils 2 Stunden mehr Fernsehen pro Tag erhöhte das Risiko für Übergewicht um 20 % und für Diabetes um 14 %. Interessanterweise führte eine zweistündige Zunahme des Sitzens bei der Arbeit nur zu einem Anstieg des Übergewichtes um 5 % und zu einem Anstieg des Diabetesrisikos um 7 %. Die beiden polaren Formen der Zuckerkrankheit sind ausführlich dargestellt bei Girke 2010: 296 ff. sowie bei Bie et al. 2016)

Somatropin

Durch Somatropin (auch Somatotropin, Wachstumshormon, GH, growth hormone), das in der Hypophyse entsteht, werden verschiedene Stoffwechselprozesse in der Leber angeregt, die daraufhin das Wachstum fördern. Dieses Hormon wird vor allem nachts in den Tiefschlafphasen schubweise ausgeschüttet. In den Wachstumsphasen der Pubertät ist seine Ausschüttung am höchsten. Bei Mangel in der Kindheit kommt es zu Kleinwuchs, bei einem Überschuss zu Riesenwuchs (Gigantismus, Akromegalie).

Bei Kindern aus Kriegsgebieten, die schwer traumatisiert sind, kommt es vor, dass der Nachtschlaf und damit auch der Tiefschlaf jede Nacht durch schwere Alpträume gestört wird. Dadurch ist die Ausschüttung des Wachstumshormons geringer und sie bleiben kleiner.

(Man kann sich heute die Frage stellen, ob etwas Vergleichbares auch durch das Smartphone neben dem Bett auftreten kann. Der Schlaf kann dadurch massiv gestört werden – in ständiger Erwartung einer neuen Nachricht aus der Peergroup. Es liegen dazu bisher allerdings nur wenige Untersuchungen vor – siehe auch www.medienfasten.org)

Oxytocin

Dieses Hormon ist ein Neuropeptid, das unter anderem in der Hypophyse gebildet wird. Durch Oxytocin, welches von der Plazenta (bzw. vom Chorion, dem vermittelnden Organ zwischen Mutter und Embryo) gebildet wird, werden die Wehen und damit der gesamte Geburtsvorgang ausgelöst. Außerdem steuert es den Milcheinschuss der Brustdrüsen in der Stillzeit und fördert die Mutter-Kind-Bindung. Weiterhin verringert es den Blutdruck, beschleunigt die Wundheilung, wirkt stressverringern und vertrauensbildend. Seine Ausschüttung wird angeregt bei jeglichem angenehmen Hautkontakt, wie Streicheln, Umarmungen, Sex, Massagen, interessanterweise aber auch beim Singen. Daher hat dieses Hormon viele verschiedene Namen bekommen wie »Bindungshormon«, »Liebeshormon« oder »Kuschelhormon«.

Diese vertrauensbildende Seite ist allerdings nicht uneingeschränkt zutreffend. Hier hilft eine Studie aus Holland weiter: dort wurde festgestellt, wenn man Menschen Oxytocin in die Nasenlöcher spritzt und ihnen Bilder von Personen zeigt, die ihnen nahestehen, so fühlen sie sich diesen näher und vertrauter. Zeigt man ihnen aber Bilder von fremden zum Beispiel sehr fern stehenden Menschen oder Volksgruppen dann fühlen Sie sich diesen entsprechend ferner, abgeneigt und sogar antipathischer. Durch Oxytocin werden also bereits bestehende seelische Zu- oder Abneigungen im Menschen verstärkt.

Erythropoetin und Doping

Erythropoetin (Erythropoietin, EPO) wird in sauerstoffmessenden Zellen der Nierenrinde gebildet und freigesetzt. Im Knochenmark fördert es die Ausreifung der Vorläuferzellen der roten Blutkörperchen, die sich daraufhin zu Erythrozyten ausdifferenzieren. Das Fehlen von EPO bewirkt daher einen Erythrozytenmangel und führt zu Anämie (Blutarmut). Zusätzliches EPO steigert dagegen die Kapazität des Blutes Sauerstoff zu transportieren, dadurch ist es zur Modedroge für Ausdauersportler geworden. Enthält das Blut zu viele rote Blutkörperchen kann es jedoch zu Gefäßverstopfungen (Thrombosen) kommen, welche im Gehirn, im Herzmuskel und in den Lungen lebensbedrohliche Folgen haben können. Da der Körper das Hormon selbst bildet, kann die Einnahme von EPO im Gegensatz zu anderen Dopingmitteln nicht direkt nachgewiesen werden. Deshalb wird bei zu hoher Blutdichte nur ein Wettkampferbot erteilt, aber keine Dopingsperre (Kleine und Rossmann 2014). Trainieren Leistungssportler allerdings für mehrere Tage im Hochgebirge, so regt der geringere Partialdruck des Luftsauerstoffs ebenfalls die Bildung von EPO an und es werden deutlich

mehr Erythrozyten gebildet als dies bei gleichem Training in tieferen Lagen der Fall wäre. Diese effektive Trainingsform ist selbstverständlich legal und hat nichts mit Doping zu tun.

Manche Substanzen sind Hormon und Neurotransmitter zugleich

Dopamin wirkt sowohl als Hormon als auch als Neurotransmitter. Es fungiert als Zwischenprodukt bei der Entstehung von Noradrenalin und Adrenalin und wird im Zentralnervensystem und im Nebennierenmark gebildet. Durch das Hormon Dopamin wird die Durchblutung der Verdauungsorgane geregelt und es ist an der Steuerung der Nieren beteiligt. Als Neurotransmitter im Gehirn (im dopaminergen System) wird es bei allen aufregenden Erlebnissen ausgeschüttet, die uns im positiven wie im negativen Sinne seelisch berühren. Hier bewirkt es eine Verstärkung jeglicher Handlungsbereitschaft; es wirkt also antriebssteigernd, stark motivierend, fördert Mut, Bereitschaft und Konzentration. Wahrscheinlich deshalb wird es auch immer wieder mit dem zweifelhaften Begriff »Glückshormon« bezeichnet (s. u.). Dopamin spielt aber auch eine wichtige Rolle in der Drogenproblematik. Substanzen wie Kokain wirken beispielsweise als Dopamin-Wiederaufnahme-Hemmer. Dies hat zur Folge, dass das körpereigene Dopamin im Gehirn von den Zellen nicht wiederaufgenommen werden kann und sich dadurch zunehmend in der Zwischenzellflüssigkeit ansammelt. Die berauschende oder halluzinogene Wirkung entsteht also durch körpereigenes Dopamin und nicht direkt durch das Kokain. Dadurch kann das dopaminerge System jedoch komplett zerstört werden. Dies hat zur Folge, dass keinerlei Handlungsimpulse mehr umgesetzt werden können und keine Freude mehr empfunden werden kann (Entzugsproblematik). – Auch gewöhnlicher Zucker bewirkt einen schnellen Dopaminanstieg im Gehirn und kann aus diesem Grunde ebenfalls suchterzeugend wirken.

Auch **Serotonin** ist sowohl ein Gewebshormon als auch ein Neurotransmitter. Es entsteht im Zentralnervensystem, in den Nerven des Darms und des Herz-Kreislauf-Systems. Durch seine Eigenschaft als Hormon wirkt es beispielsweise auf Blutdruck, Gefäßsystem, Blutgerinnung, Darmtätigkeit und an zahlreichen weiteren Orten in unserem Körper (ein guter Überblick hierzu findet sich auf Wikipedia). Außerhalb des Menschen findet sich Serotonin nicht nur im Stoffwechsel zahlreicher Tiere, sondern auch in Pflanzen und Pilzen. So ist es zum Beispiel für die brennende Wirkung der Brennnessel mitverantwortlich und es ist in vielen Früchten wie Bananen, Tomaten, Kakao (Schokolade) und mit Abstand in höchster Konzentration in Walnüssen enthalten.

Als Transmitter im Gehirn (serotonerges System) wirkt es allgemein harmonisierend. Der Organismus stärkt dadurch Zufriedenheit, Gelassenheit und innere Ruhe. Außerdem vermindert Serotonin Angstgefühle, Kummer oder Aggressivität und macht uns allgemein stress-

resistenter, weshalb ein Serotoninmangel oft auch als mitverantwortlich für Depressionen gesehen wird. Auch für Serotonin trifft man immer wieder auf den Begriff »Glückshormon«, was schon deshalb nicht richtig ist, da die Substanz die Blut-Hirn-Schranke nicht überwinden kann. Es gelangt also nicht aus dem Körper ins Gehirn, während der umgekehrte Weg möglich ist. Wie auch für Dopamin ist dieser Begriff aber auch deshalb nicht richtig, da Serotonin zwar als Neurotransmitter Glücksempfindungen vermittelt, nicht aber als Hormon. Die Wirkung mancher Drogen wie Ecstasy beruht darauf, dass quasi das gesamte Serotonin des Gehirns auf einmal ausgeschüttet wird. Auch hier wird die Wirkung direkt durch die körpereigene Substanz und nur indirekt durch die Droge ausgelöst. Eine Einzeldosis kann hier ausreichen, um das serotonerge System dauerhaft zu schädigen oder zu zerstören, sodass u. a. kein Glücksgefühl mehr möglich ist.

Die Schilddrüsenhormone als Beispiel für einen Regelkreis

Anfangs wurde über die Regulationsebenen des Organismus gesprochen, in welche auch das Wirkungsgefüge der Hormone eingegliedert ist. Innerhalb ihrer Ebene stehen alle Hormone über Regelkreise miteinander in Verbindung. Hierfür ist die Schilddrüse mit ihrem thyreotropen Regelkreis ein gutes Beispiel (Abb. 3).

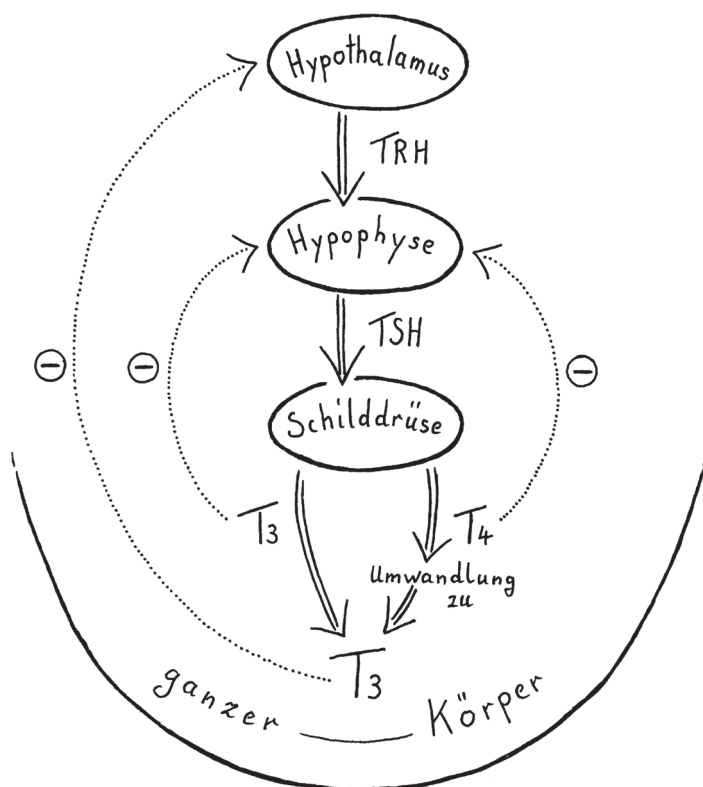


Abb. 3

Der thyreotrope Regelkreis der Schilddrüsenhormone. Erklärung im Text.

Vereinfacht kann man diesen Regelkreis so beschreiben: Die Hirnanhangsdrüse (Hypophyse) schüttet das Steuerhormon Thyreotropin (Thyreoida-stimulierendes Hormon = TSH) aus, welches die Schilddrüse dazu veranlasst, die Hormone Thyroxin (T₄) und Trijodthyronin (T₃) zu bilden und ins Blut zu geben. Im Körper wird T₄ in T₃ umgewandelt. T₃ ist vor allem das aktive Schilddrüsenhormon. Sowohl T₃ als auch T₄ wirken hemmend auf die Ausschüttung von TSH, so dass weniger T₃ und T₄ ausgeschüttet werden (negative Rückkopplung).

Dieser TSH-T₄-T₃ Regelkreis ist wiederum beeinflusst von einem übergeordneten Regelkreis, bei dem der Hypothalamus die TSH-Ausschüttung durch das Thyroid-Releasing-Hormone (TRH) ankurbelt. Die TRH-Ausschüttung wird ebenfalls durch T₃ gehemmt. Schon hieran sieht man, dass die frühere Vorstellung eines einfachen Regelkreises zwischen TSH und freiem T₄ eine grobe Vereinfachung war. Noch lebendiger wird es, wenn man weiß, dass auf jeder dieser Ebenen eine Vielzahl weiterer Faktoren Einfluss aufeinander nehmen können. Daher kann man auch nicht linear sagen, welches Organ von welchem geleitet wird, sondern es ist der ganze Organismus, der sich fortwährend selbst reguliert.

Der Bezug zum Seelisch-Geistigen des Menschen

Die Wirkung der meisten Hormone hat mit dem Eingreifen der Seele in den Leib zu tun. Dies kann man sich an den Hormonen der Nebenniere verdeutlichen, vor allem an **Kortison** und **Adrenalin**. Sie stellen uns Energie für die Anforderungen der Gegenwart zur Verfügung und erleichtern uns die Stresskompensation bei großer Anstrengung. In stressfreien Zeiten, vor allem im Schlaf, baut der Körper dieses Zukunftspotenzial wieder auf.

Markus Sommer (2010b: 24) schreibt über das Adrenalin, welches uns durch den bekannten Adrenalinstoß erleichen lässt und damit das Herz zum Rasen bringt: *»in der Hand des Notarztes kann es dazu beitragen, ein stillstehendes Herz wieder zum Schlagen zu bringen. Hier sehen wir unmittelbar, dass eine Seelenregung über die Nebenniere im Leib wirksam werden kann. Umgekehrt kann dieses Nebennierenhormon dazu beitragen, die Seele »im Leib zu halten«, die sich bei Herzstillstand von ihm löst.«* Daran lässt sich zeigen, dass das Hormon primär in einem seelischen Zusammenhang steht, sekundär aber körperliche Funktionen auslöst. In diesem Beispiel übernimmt es sogar eine inkarnierende Funktion.

In der Nebennierenrinde entstehen außerdem ähnliche Sexualhormone wie in den Geschlechtsorganen, welche das Sexualleben regeln und viele Prozesse in der Pubertät steuern und beeinflussen. Die Sexualhormone sind ebenfalls intensiv mit dem Seelenleben des Menschen verknüpft. Weitere Hormone der Nebennierenrinde (Glucocorticoid- und Mineralocorticoid-Hormone, z. B. Kortison) regulieren Zucker- und Salzgehalt des Blutes und unseren Blutdruck. Ist ihre

Produktion beispielsweise durch die »Addison-Krankheit« eingeschränkt oder unterbunden, so ist der Patient nicht mal mehr in der Lage selbstständig aufzustehen. Sein Blutdruck kann sich dem jeweiligen Bedarf des Körpers nicht mehr anpassen und lässt ihn beim ersten Schritt zusammenbrechen. Außerdem hat der Addison-Kranke keine Stresskompensationsmöglichkeit mehr. Auch hier sind die Aktivitäten des Seelenlebens im Leib sehr stark eingeschränkt. Beim gesunden Menschen ist die **Kortison**-Ausschüttung über den gesamten Tageslauf nicht konstant. Einerseits nimmt sie zu, wenn wir besonders gefordert sind, andererseits steigt sie regelmäßig in den frühen Morgenstunden an und bereitet damit das Erwachen und das Aufstehen vor. Etwa gegen 7 oder 8 Uhr hat sie ihr Tagesmaximum erreicht. Dadurch wird also das regelmäßige Eintauchen der Seele in den Leib vorbereitet, so dass sie ihn gesund ergreifen kann. Auch hier machen sich hormonelle Störungen im Seelischen bemerkbar und sie werden auch durch seelische Überlastung ausgelöst: *»Gerade dieser Tagesrhythmus der Hormonbildung ist bei Menschen, die dadurch krank geworden sind, dass sie den »Stress« nicht mehr bewältigen können, gestört. Das findet man bei Menschen mit so genanntem »Burn-Out-Syndrom«, die lange mit größten Einsatz tätig waren, dann aber nicht mehr die kleinste Anforderung bewältigen und sich wie gelähmt erleben. Da dieser Zustand dem einer Depression sehr ähnelt, wundert es nicht, dass auch hier Veränderungen der Regulation der Nebennierenhormone zu finden sind«* (Sommer 2010b: 25).

Nicht zu vernachlässigen sind auch die Auswirkungen der hormonellen Verhütung durch die Pille auf das Seelische der Frau oder des Mädchens. Heute nehmen über 50 % der Frauen in Deutschland zwischen 14 und 24 Jahren die Pille ein (Maris 2006). Neben Hinweisen auf gefährliche physische Nebenwirkungen finden sich beispielsweise im Internet auch zunehmend Artikel zu nicht unerheblichen seelischen Veränderungen. Diese reichen von Müdigkeit und Stimmungseintrübungen über Verlust der Libido bis zu deutlich höherem Vorkommen von Depressionen. Anschaulich sind die Auswirkungen der Pille auf das Wesensgliedergefüge des Menschen von Bartholomäus Maris (2006) wiedergegeben. Er beschreibt, dass der gesunde Menstruationszyklus einen beweglichen, individualisierten Rhythmus von ungefähr 28 Tagen zeigt, der auf Einflüsse wie Stress, Reisen, Krankheiten oder Gewichtsveränderungen reagiert. Seelisch liegt eine Polarität zwischen der ersten und der zweiten Hälfte des Zyklus vor. Während die Frau in der ersten Hälfte tendenziell leicht extrovertiert veranlagt ist, zeigt die zweite Hälfte eine eher introvertierte Konstitution. In dieser Dynamik zeigt sich ein Wechsel zwischen einem weniger tiefen Eingreifen der oberen Wesensglieder (Astralleib und Ich) in die unteren Wesensglieder (Ätherleib und physischer Leib) in der ersten Hälfte und einem tieferen Eingreifen in der zweiten Zyklushälfte. (Eine anschauliche Grafik zum Hormonverlauf findet sich z. B. bei Zimmermann und Wallmann 2019.)

Durch die Pille wird dieser individuell variable Wechsel beendet. Der Rhythmus wird zu einem von außen bestimmten Takt, welcher dadurch klar berechenbar wird. Sowohl im Kör-

perlichen als auch im Seelischen wird die lebendig-variable Schwingung somit zu einer Art Maschinentakt. Ein lebendig-flexibles Verbinden und wieder Lösen der oberen Wesensglieder mit den unteren ist nicht mehr gegeben. Die Folgen davon sind neben Vitalitätsabnahme (körperliche Nebenwirkungen) die erwähnten seelischen Veränderungen wie Müdigkeit, Libidoverlust und Neigung zu depressiver Verstimmung (Maris 2006).

Ähnlich eng wie mit dem Seelischen steht unser Hormonsystem auch mit dem Geistigen des Menschen in Verbindung. Schon allein die Lage der wichtigsten Hormondrüsen des Menschen (Abb. 1) hat große Ähnlichkeit mit der Lage der Chakren, wie sie von Rudolf Steiner im Kopf- und Rumpfbereich des Menschen angegeben werden (Steiner 1948). Viele Wirkungen des Hormonsystems betreffen bei genauerem Hinsehen inkarnierende oder exkarnierende Vorgänge. Dies beginnt bereits mit der hormonellen Grundlage für unsere Wachheit und Konzentrationsfähigkeit.

Insbesondere auf eine polare Wirkung von Schilddrüse und Nebennieren weist Rohen (2016: 339) hin. So heißt es dort: »Während die **Schilddrüsenhormone** die Inkarnation des Geistig-Seelischen in die Körperlichkeit (Wachstum, Steigerung des Grundumsatzes, Erhöhung des Sauerstoffverbrauches usw.) fördern, unterstützen die **Nebennierenrinden-Hormone** die Lösung der geistig-seelischen Kräfte aus dem Bereich des Lebendigen. Daraus wird auch verständlich, dass diese Stoffe im Bereich des Nervensystems die Wahrnehmungsfähigkeit, die ja auf Abbauprozessen basiert, erhöhen und dass der Alterungsprozess beschleunigt wird.« Man kann daher sagen, dass die **Nebenniere** Energie, Kraft und Vitalität für die *jetzt* notwendige seelische und geistige Regsamkeit des Menschen freisetzt. Allerdings geschieht dies auf Kosten der Zukunft, dies wird deutlich, wenn dem nicht jede Nacht regenerativ entgegengewirkt wird. Durch die Schilddrüse wird hingegen das *Tempo* dieser Regsamkeit reguliert. Wenn man zu wenig Schilddrüsenhormone besitzt, wird man träge, langsam und wässrig bis hin zu einem Hang zum Übergewicht – obwohl man wenig isst. Hat man zu viel Schilddrüsenhormone, wird man hastig, schnell und trocken bis hin zu Untergewicht obwohl man viel isst.

Die Dreigliederung der Hormongruppen

Rohen (2016) führt eine klare Dreigliederung der Hormongruppen (der drei Stoffklassen von Hormonen) an. Er beschreibt eine obere (Hypophyse), mittlere (Schilddrüse) und eine untere (Keimdrüsen) Hormongruppe, welche er jeweils in einen inneren Funktionszusammenhang stellt (Abb. 1).

Die obere Gruppe, das sind im Wesentlichen die **Peptidhormone** des Hypophysen-Vorderlappens (welcher über den Hypothalamus auch mit dem Zentralnervensystem verbunden ist). Diese Hormone stellen sozusagen das »Informationselement« innerhalb des dreiglied-

rigen Hormonsystems dar, indem sie andere Hormondrüsen wie Schilddrüse, Nebennieren oder Keimdrüsen steuern. Die Peptidhormone wirken von der **Zellmembran**, also von außen aus, auf das Stoffwechselgeschehen in der Zelle ein.

Dagegen entfalten die Schilddrüsenhormone, welche sich von der **Aminosäure** Tyrosin ableiten ihre Wirkung vom **Zytoplasma** aus. Sie greifen regelnd und beschleunigend in die Atmungsvorgänge der Zelle ein, d.h. sie beeinflussen die »Verbrennung« in den Mitochondrien und damit den Energieumsatz der Zelle (ATP usw.). Durch ihren Wirkungsbereich im Zytoplasma stellen sie die mittlere Hormongruppe dar.

Die Hormone der unteren Gruppe wirken »im Innersten« der Zelle über den **Zellkern** und die Prozesse der Proteinbiosynthese, die zwischen Kern und Plasma ablaufen. Es sind **Steroidhormone** und damit Lipide, für welche die Zellmembranen wegen ihrer Lipidlöslichkeit keine Schranken darstellen. Zu dieser Hormongruppe hat man vor kurzem etwas Erstaunliches herausgefunden, das diesen dreigliedrigen Ansatz noch untermauert: Die Rezeptoren für fast alle Steroidhormone befinden sich innerhalb der Zelle und nicht wie sonst üblich außen auf der Zellmembran. Das bringt die noch ungeklärte Frage mit sich: »Woher weiß ein Hormon, in welche Zelle es diffundieren soll und in welchen nicht?« (Kleine und Rossmanith 2014: 12). Die Steroidhormone werden von den Keimdrüsen ins Blut gegeben und wirken vor allem im Fortpflanzungsbereich.

Fazit

Mit diesem Text soll ein Überblick zum Thema Hormone gegeben werden, der es ermöglicht, das Thema in die Biologieepoche der 10. Klasse zu integrieren, um damit ein besseres Verständnis für den ganzen Menschen zu vermitteln. Die Grundaussage soll dabei nicht diejenige sein, wir wären weitgehend hormongesteuert – wie man es oft lesen kann; etwa im Sinne von: »*Körpereigene Botenstoffe und Hormone sind auch für unsere Launen und Gefühle verantwortlich*« (Surholt 2019). Sondern es soll ein Grundverständnis dafür aufgebaut werden, wie unser Körper Substanzen – in diesem Falle die Hormone – gezielt einsetzt. Manche Hormone stehen primär in einem seelischen Zusammenhang und lösen sekundär bestimmte körperliche Funktionen aus. Diese stehen beim gesunden Menschen immer wechselseitig in einem dynamischen Gleichgewicht und sind dadurch lebendig miteinander verknüpft.

Literatur

- Bie G van der, Ghelman R, Loes H van den, Luske K, Maaren M van** (2016): Endocrinology – A methodological approach towards integrative understanding. Bolk's Companions on the practice of medicine. Driebergen
- Bundesministerium für Gesundheit** (2019): <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/praevention/gesundheitsgefahren/diabetes.html> (abgerufen am 17.9.2019)
- Dörner K** (Hrsg.) (1989): Klinische Chemie. Stuttgart
- Girke M** (2010): Innere Medizin – Grundlagen und therapeutische Konzepte der anthroposophischen Medizin. Berlin
- Kleine B, Rossmannith W** (2014): Hormone und Hormonsystem – Lehrbuch der Endokrinologie. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg
- Maris B** (2006): Orale Kontrazeption und ihre Auswirkung auf die Frau. *Der Merkurstab* 59 (5), 441–444
- Nobel D** (2006): The music of life – Biology beyond genes. Oxford
- Richter T** (2016): pädagogischer Auftrag und Unterrichtsziele – vom Lehrplan der Waldorfschule. 4. Aufl. Stuttgart
- Rohen JW** (2016): Morphologie des menschlichen Organismus. Stuttgart
- Rosslbroich B** (1994): Die rhythmische Organisation des Menschen – Aus der chronobiologischen Forschung. Stuttgart
- Rosslbroich B** (2011): Outline of a concept for organismic systems biology. *Seminars in Cancer Biology* 21 (3), 156-164. DOI: 10.1016/j.semcancer.2011.06001
- Rosslbroich B** (2020): Eigenschaften des Lebendigen. Schritte zu einem eigenständigen Begriff von Organismus. In: Rosslbroich (Hrsg.) *Perspektiven einer Biologie der Freiheit*. Stuttgart
- Schad W** (Hrsg.) (2005): Die verlorene Hälfte des Menschen. Die Plazenta vor und nach der Geburt in Medizin, Anthroposophie und Ethnologie. Stuttgart
- Sommer M** (2010a): Unser innerer Heilpflanzengarten – Pflanzen bilden Menschenhormone – der Mensch Pflanzengifte. *A Tempo* 1 (2010), 24–25
- Sommer M** (2010b): Die Nebenniere – Organ der Seele. *A Tempo* 2 (2010), 24–25
- Steiner R** (1948): Wie erlangt man Erkenntnisse der höheren Welten? (1904/1905). Stuttgart
- Surholt B** (2019): Alles eine Frage der Chemie. *Die Techniker, Das Magazin* 1 (2019)
- Umweltbundesamt** (2010): Bisphenol A – Massenschadstoffe mit unerwünschten Nebenwirkungen. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3782.pdf>
- Weiss PA** (1970): Das lebende System: Ein Beispiel für den Schichtendeterminismus. In: **Koestler A, Smythies JR** (Hrsg.): *Das neue Menschenbild – Die Revolutionierung der Wissenschaften vom Leben*. Ein internationales Symposium. Molden, Wien, Zürich
- Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, Heindel JJ, Jacobs DR, Lee DH, Shioda T, Soto AM, Saal FS, Welshons WV, Zoeller T, Myers JP** (2012): Hormones and Endocrine-Disrupting Chemicals: Low-Dose Effects and Nonmonotonic Dose Responses. *Endocrine Reviews*. 33(3): 378–455. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3365860/>
- Wikipedia** (2019): Hormone, Endokrinologie, Diabetes mellitus (abgerufen am 17.9.2019)
- Zimmermann Y-M, Wallmann R** (Hrsg.) (2019): *Biologie in der Waldorfschule – Ein Praxis- handbuch für Oberstufenlehrer*. Stuttgart

