

### **Kapitel 05.10: Grundlagen biologischer Regelung**



Auch wenn man es kaum glauben kann, innerhalb gewisser Grenzen kann sich der Körper gut an Kälte und Wärme anpassen. Die dazu ablaufenden Vorgänge verlaufen geregelt, also an die Situation angepasst.

**Inhalt**

Kapitel 05.10: Grundlagen biologischer Regelung.....	1
Inhalt.....	2
Steuerung und Regelung am Beispiel des Volleyballspielens.....	3
Unterscheidung zwischen Steuerung und Regelung.....	4
Zwei Typen von Regelung:.....	4
Regelung der Pupille im Detail:.....	5
Aufbau eines Regelkreises.....	6
Das Regelkreisschema:.....	6
Anwendungsbeispiele eines Regelkreises.....	7
1) Regelung der CO <sub>2</sub> -Konzentration im Blut (Atemgaskonzentration).....	7
2) Regelung der Körpertemperatur (Kerntemperatur).....	7
Das Reafferenzprinzip.....	8
Regelung und Steuerung über Hormone.....	9
Hormondrüsen beim Menschen.....	9
Vergleich: Nervensystem - Hormonsystem.....	10
Vergleich: Transmitter - Hormon.....	10
Regelung des Blutzuckerspiegels - Regelkreis der Blutzuckerregulation.....	11

## Steuerung und Regelung am Beispiel des Volleyballspiels



- Am Strand spielen zwei Teams Beachvolleyball. Ein Spieler wird vom Gegner direkt angespielt. Über seine Sinnesorgane erhält das **Zentrale Nervensystem (ZNS)** des Spielers alle notwendigen Informationen, um reagieren zu können. Zu diesen Informationen gehören neben der Beschaffenheit des sandigen Untergrundes, auch die Temperatur, die Position seines Mitspielers und die Geschwindigkeit des auf ihn zufliegenden, schnell gespielten Balls.

Diese Vielfalt an Reizen wird durch **sensible Nerven** - in Form elektrischer (!) Signale an sein Zentrales Nervensystem, vor allem das Gehirn weitergeleitet, dort ausgewertet und eine Reaktion vorbereitet.



Innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde gelangt diese „**Antwort**“ des Gehirns über **motorische Nerven** zur Muskulatur. Bestimmte Muskeln kontrahieren sich, der Tennisspieler nimmt die passende Position ein und spielt den Ball zurück über das Netz zum Gegner.

Während der ganzen Zeit werden die Positionsänderungen des Spielerkörpers ständig seinem Gehirn zurückgemeldet. Auch die Position des Gegners wird ständig analysiert. Das Gehirn ermittelt daraus die neue Position, um den schnell zurückkommenden Ball erneut spielen zu können.



- Überraschenderweise fliegt der Ball aber in eine andere Ecke, die auch sein Partner nicht erreichen kann... Nun werden solange durch das Gehirn die verschiedenen Muskelgruppen des Spielers aktiviert, bis die gewünschte Position erreicht ist (=Regelung).



Alle diese beteiligten Vorgänge sind in einem Regelkreis miteinander verknüpft. Es findet also nicht nur eine Reaktion statt, sondern diese wird zugleich kontrolliert und dadurch eine folgende Handlung teilweise schon beeinflusst.

Für den unrealistischen Fall, dass der Volleyballspieler vor dem Zurückschlagen des Balls die Augen schließt, kann man wohl vermuten, dass er wohl den Ball verfehlen würde. Dieses liegt an der so fehlenden (notwendigen!) Rückmeldung zum Gehirn.

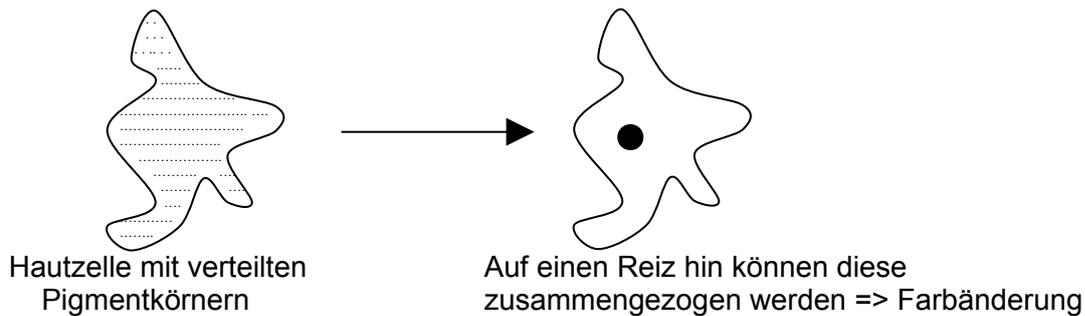
=> Die Muskelaktivierung würde nicht mehr nach dem Ergebnis einer vorangegangenen erfolgen, sondern alleine aufgrund eines Impulses. Dies nennt man **Steuerung**.

### Unterscheidung zwischen Steuerung und Regelung

**Beispiel 1:** Einige wenige Tiere können ihre Hautfarbe an den Untergrund bzw. die Umgebung anpassen (z.B. Chamäleon, Tintenfisch, Scholle, Flunder, usw.). Dies geschieht durch eine feine Steuerung!

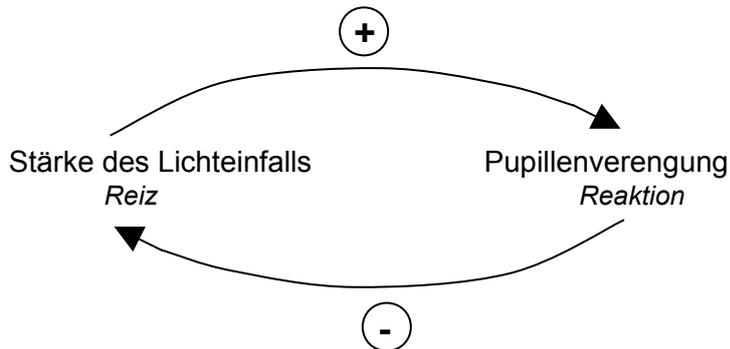
**Helligkeit der Bodenfärbung -- Steuerung --> Helligkeit der Hautfärbung**

Es liegt also eine Kausalbeziehung zwischen Reiz und Reaktion vor => **STEUERUNG**  
Die Reizstärke alleine steuert die Reaktionsstärke! Eine Wirkkontrolle hingegen fehlt!



**Beispiel 2:** Pupillenreaktion der Wirbeltiere:

Wirbeltiere mit Linsenaugen zeigen eine Veränderung der Pupillenweite je nach Lichteinfall!



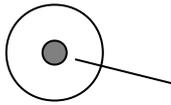
Es liegt in diesem Beispiel ein Kausalkreis mit negativer Rückkopplung vor => **REGELUNG**

**Unter Regelung versteht man also die Selbststeuerung mit negativer Rückkopplung!**  
(Im Falle der „Hautfärbung“ lag hingegen eine Fremdsteuerung vor!)

#### Zwei Typen von Regelung:

1. Proportionalregelung: keine vollständige Kompensation der Schwankungen des Reizes (z.B. beim Pupillenreflex)
2. Integralregelung: jede Reizschwankung wird vollständig ausgeglichen! (z.B. bei der Regelung der Blutzuckerkonzentration, Körpertemperatur, Atemgaskonzentration)

### Regelung der Pupille im Detail:



Iris = Regenbogenhaut

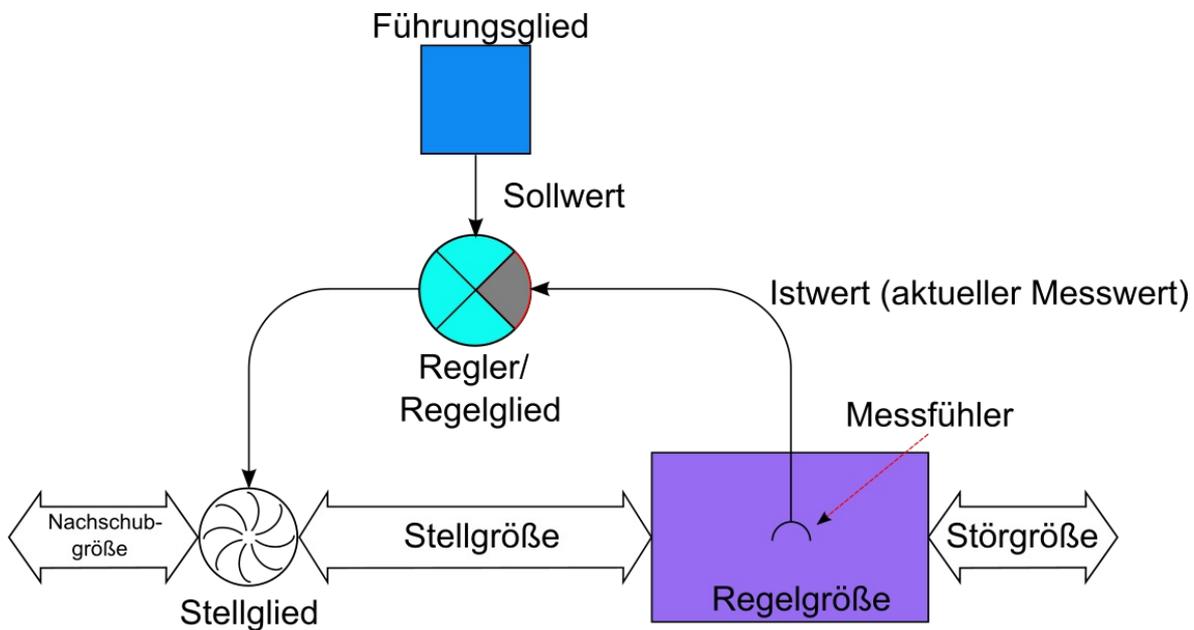
2 verschiedene Muskelbereiche  
(2 *Antagonisten*)

{ Ringmuskeln: Bei Kontraktion Verengung der Pupille  
Radialmuskeln: Bei Kontraktion Erweiterung der Pupille

Die eintretende Lichtmenge kann vom Organismus **selbst gesteuert** werden!

## Aufbau eines Regelkreises

### Das Regelkreisschema:



- I **Regelgröße:** Bereich innerhalb dessen eine bestimmte Größe konstant gehalten werden soll.
- II **Messglied:** Apparat oder Organ, das den jeweiligen Zustand der Regelgröße feststellt und als „Istwert“ an das Regelglied weiterleitet.
- III **Regelglied:** Apparat oder Organ, das den „Istwert“ mit dem „Sollwert“ vergleicht und die Gegensteuerung auslöst.
- IV **Führungsglied:** Instanz, die den „Sollwert“ ausgibt (übergeordnetes Zentrum im ZNS)
- V **Stellglied:** Apparat oder Organ, das nach Anweisungen des Regelgliedes kompensierend auf die Regelgröße einwirkt.

- A **Störgröße:** störender Außeneinfluss auf die Regelgröße
- B **Stellgröße:** korrigierender Einfluss des Regelsystems auf die Regelgröße
- C **Nachschubgröße:** z.B. Nahrungsaufnahme, ATP, Depotfette

- 1 **Istwert:** Information über den augenblicklichen Zustand der Regelgröße
- 2 **Sollwert:** Information über den konstant zu haltenden Wert der Regelgröße
- 3 **Stellwert:** Information über die auszulösende Tätigkeit des Stellgliedes

### **Bezug des Systems auf den Pupillenreflex des Auges:**

Regelgröße: Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut

Störgröße: Lichtstärke

Stellglied: Iris

Stellgröße: Kontraktion der Irismuskulatur

Messglied: Netzhaut

## Anwendungsbeispiele eines Regelkreises

### 1) Regelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Blut (Atemgaskonzentration)

Regelstrecke: Blut  
 Meßglied: CO<sub>2</sub>-Chemorezeptoren (= Carotis-Organ)  
 Regelglied: Atem- und Kreislaufzentrum im Nachhirn  
 Führungsglied: Übergeordnetes Zentrum im ZNS  
 Stellglied: Zwerchfell, Rippenmuskulatur, Herzmuskel

Störgröße: Muskeltätigkeit („Verbrennung“)  
 Stellgröße: Ausatmung (CO<sub>2</sub>-Abgabe)  
 Nachschubgröße: ATP

Istwert: z.B. 7 ml CO<sub>2</sub>  
 Sollwert: 5 ml CO<sub>2</sub>, 20 ml O<sub>2</sub> in 100 ml Blut  
 Stellwert: 2 ml

### 2) Regelung der Körpertemperatur (Kerntemperatur)

Regelstrecke: Körperkern  
 Meßglied: Thermorezeptoren (in der Haut und im Hypothalamus)  
 Regelglied: Wärmezentrum im Hypothalamus  
 Führungsglied: Übergeordnetes Zentrum im ZNS  
 Stellglieder:
 

- Schilddrüse, Leber → Steigerung des Grundumsatzes
- Muskulatur → Erhöhung des Muskeltonus, Muskelzittern
- Hautkapillaren → Verengung oder Erweiterung
- Schweißdrüsen → Verdunstungskälte

Störgröße: Erhöhung oder Erniedrigung der Außentemperatur  
 Stellgröße: Wärmeabfuhr (Wärmeproduktion)  
 Nachschubgröße: ATP (Nahrungsaufnahme, Depotauflösung)

Istwert: 39 °C  
 Sollwert: 37 °C  
 Stellwert: -2 °C

#### **Aufgaben:**

1. Was passiert bei Fieber?  
 => Bei Fieber erfolgt eine Sollwertänderung!

### Das Reafferenzprinzip

Durch das Reafferenzprinzip kann das Zentrale Nervensystem erwartete Reize (geregelt!) abgestuft ausblenden. Es wurde 1950 von Erich von Holst und Horst Mittelstaedt postuliert.

**Eine Efferenz ist eine Erregung über efferente Nervenfasern (vom Gehirn zum Muskel! Effere = wegtragen) - die Afferenz ist die das Signal einer Sinneszelle ans Gehirn (affere - hintragen). Wird nun aufgrund eines Reizes an den Muskel eine (kontrollierende) Rückmeldung gesendet, spricht man von Reafferenz!**

Wenn das Gehirn z.B. die Augenbewegung regeln möchte, dann übergibt nun das Gehirn den Reiz nicht nur an die Augemuskeln, sondern auch eine Kopie des Reizes an das sensorische System (die Muskeldehnungsrezeptoren des Augenmuskels sowie die Netzhaut!).

Diese Kopie des Reizes wird nun mit der Antwort des Sensors auf die Efferenz, die sogenannte Reafferenz (re = zurück) verrechnet und nur der Unterschied (Exafferenz) wird weitergegeben.

So lässt sich durch das Reafferenzprinzip erklären, warum trotz Augenbewegungen die Umwelt als unbeweglich wahrgenommen wird (schließlich bewegt sich ja das Bild auf der Netzhaut!)

**Im Detail:** Bekommen die Muskeln des Auges den Auftrag, das Auge um 10° nach links zu drehen, dann wird diese Information an ein Bildverarbeitungszentrum im Gehirn weitergeleitet. Gleichzeitig meldet die Netzhaut, ein um 10° verschobenes Bild!

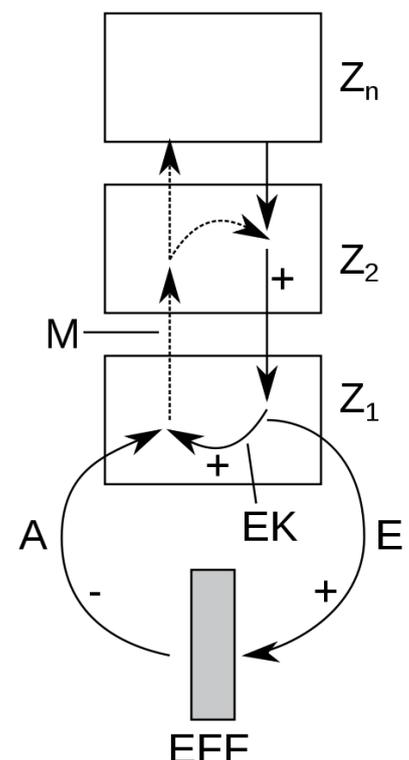
Da nun beide Informationen (verrechnet) zueinander passen, wird die Bildverschiebung durch die Efferenzkopie ausgelöscht und nicht mehr als solche wahrgenommen.

E	= Efferenz	EK	= Efferenzkopie
A	= Reafferenz	EFF	= Effektor
Z <sub>n</sub>	= Zentrum	M	= Exafferenz
Z <sub>1</sub> , Z <sub>2</sub>	= untergeordnete Zentren		

Das ZNS ist das übergeordnete Zentrum für Bewegungen (Z<sub>n</sub>). Es gibt Signale für eine Bewegungsfolge aus. Von dieser abgehenden Efferenz (E) wird eine Kopie des Signals (Efferenzkopie EK) an die untergeordneten Systeme gesendet (Reafferenz A).

Der Effektor EFF ist dann der Bewegungserfolg. Dieser wird durch die Reafferenz wahrgenommen.

So können Bewegungsabfolgen, welche in der Regel ja von übergeordneten Zentren beeinflusst werden kontrolliert und geregelt werden. Die Efferenzkopie stellt dabei der Soll-Zustand, die Position des Effektors den „Ist-Zustand“ und den Unterschied zwischen beiden die Exafferenz M dar.



#### Weitere Beispiele:

- Man kann sich nicht selbst kitzeln, da der Körper die Berührungen der eigenen Hand bereits erwartet.
- Fledermäuse würde ihr selbst produziertes Ultraschallsignal (zur Ortung) stärker hören als die Reflektion des Signals. Durch das Reafferenzprinzip wird das eigentliche Signal der Sensoren von der Efferenzkopie subtrahiert, so dass vor allem nur Reflektion des Signals gehört wird.
- Grillen blenden so ihren eigenen Gesang aus ihrer Hörwahrnehmung aus, um so besser den Gesang anderer Grillen zu hören

Quelle Bild: Public domain/ gemeinfrei by Wikipediauser Curtis Newton; Danke: <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Reafferenzprinzip.svg>

#### Zusatzaufgaben:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Reafferenzprinzip>

## Regelung und Steuerung über Hormone

### Hormondrüsen beim Menschen

Siehe auch Kapitel: 08.04 Hormonsystem des Menschen

Hormondrüse	Hormone	Wirkung
<b>Zirbeldrüse</b>	Epiphysin, Melatonin	regelt den Tagesrhythmus
<b>Hirnanhangsdrüse (Hypophyse)</b>	TSH, FSH	
<b>Somatotropes Hormon</b>	aktiviert die Schilddrüse, Geburtswehen, Milchproduktion, Blutdrucksteigerung, Wasserrückgewinnung, Reifung von Geschlechtszellen, Produktion von Sexualhormonen, Wachstumshormone, Längenwachstum der Knochen, Eiweiß- und Fettabbau	
<b>Schilddrüse</b>	Thyroxin	Wachstum, Regelung der Stoffwechselaktivität - erhöht den Grundumsatz
<b>Nebenschilddrüsen</b>	Parathormon	Regulierung des Mineralstoffwechsels - Calcium- und Phosphatgehalt der Blutes werden erhöht
<b>Thymusdrüse</b>	Thymosin	stärkt die Immunabwehr, Wachstum, Rückbildung bei Geschlechtsreife
<b>Nebennieren</b>	Adrenalin, Noradrenalin, Kortisol	Blutdrucksteigerung, Blutzuckererhöhung, Regelung des Wasserhaushalts und des Mineralstoffwechsels, Glucose- und Glycogenbildung
<b>Bauchspeicheldrüse</b>	Insulin, Glukagon	Blutzuckerregulation
<b>Keimdrüsen</b>	Östrogene, Progesteron	Ausbildung sekundärer Geschlechtsmerkmale, Keimzellenreifung, Sexualverhalten, Zyklus der Gebärmutterschleimhaut

**Vergleich: Nervensystem - Hormonsystem**

	<b>Nervensystem</b>	<b>Hormonsystem</b>
<b>Struktur</b>	eigenes Leitungsnetz	Verteilung über das Blut und durch Diffusion
<b>Informationsübertragung</b>	elektrische Impulse (APs)	chemische Botenstoffe
<b>Ausbreitungsgeschwindigkeit</b>	schnell (bis 120 m/sec)	langsam (Stofftransport durch Blut) (bis 0,5m/sec)
<b>Wirkung</b>	kurzfristig	Langfristige Wirkung
<b>Wirkungsort</b>	Synapsen / postsynaptische Rezeptoren	Zielzellen mit Rezeptoren

**Vergleich: Transmitter - Hormon**

	<b>Transmitter</b>	<b>Hormon</b>
Bildungsort	Endknöpfchen/synaptische Vesikel	Drüsen/Gewebe
Wirkungsort	Postsynaptische Rezeptoren	Rezeptoren der Zielzellen
Reichweite	sehr kurz: synaptischer Spalt	groß: gesamter Körper
Transport	passiv: Diffusion	passiv: Blutstrom
Wirkungsdauer	sehr kurz (msec)	lang anhaltend (min)
Gemeinsamkeiten	Chemische Botenstoffe Bindung an spezifische Rezeptoren Abbau in unwirksame Produkte	

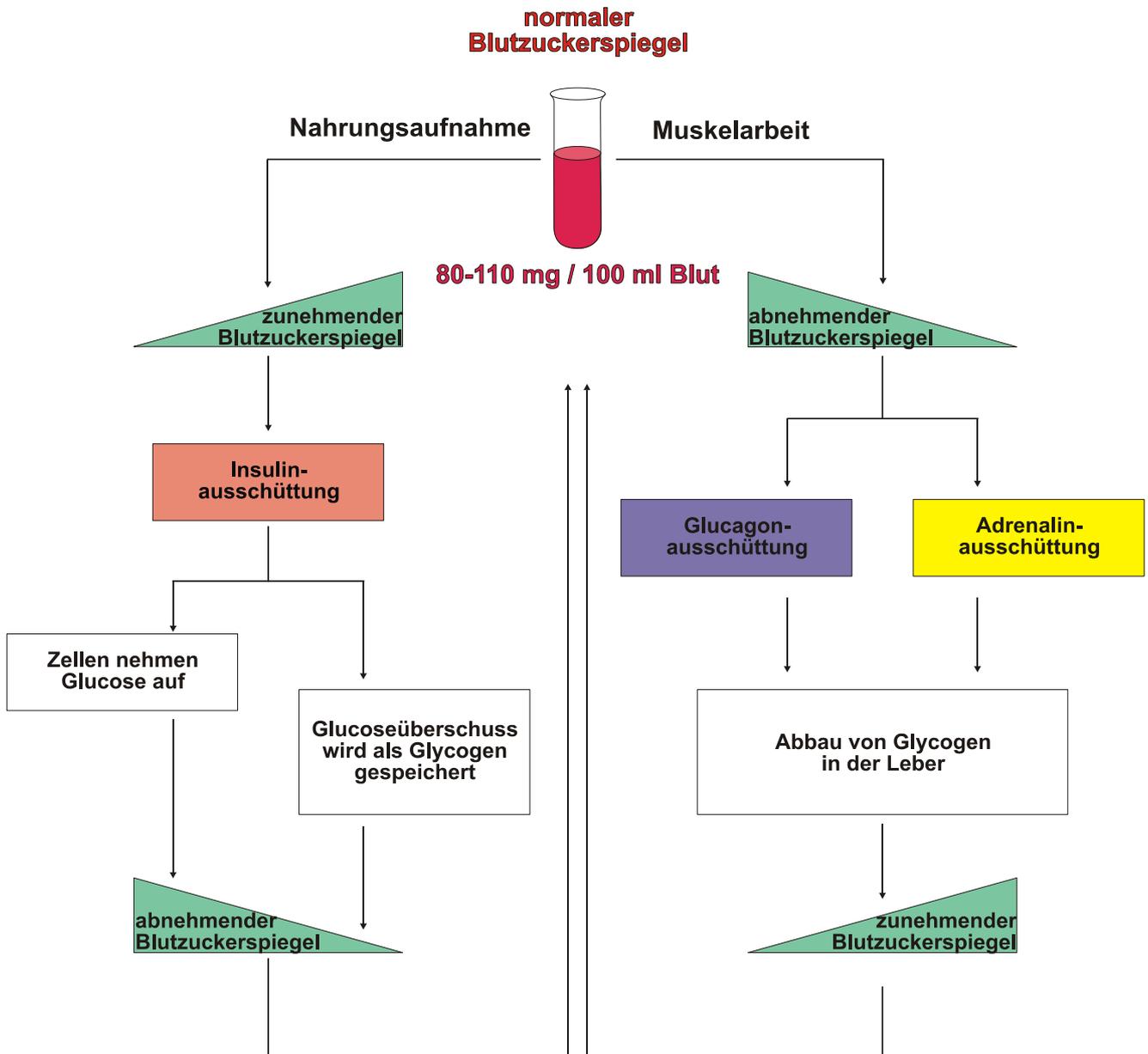
**Das Nervensystem und das Hormonsystem ergänzen sich in ihrer Wirkung!  
 Sichtbar ist dies zum Beispiel bei Stressreaktionen, wo Adrenalin sowohl als Neurotransmitter als auch als Hormon mitwirkt.**

## Regelung des Blutzuckerspiegels - Regelkreis der Blutzuckerregulation

Die Regelung des Blutzuckerspiegels im menschlichen Körper ist ein komplexer Vorgang. Er dient dazu, den Blutzuckerspiegel immer innerhalb der Grenzen 80-110mg/100ml Blut konstant zu halten.

Beteiligt dabei sind zwei miteinander vernetzte Regelkreise. Ein Regelkreis vernetzt mit dem Regelglied Bauchspeicheldrüse, der andere mit dem Regelglied im Hypothalamus.

# Blutzuckerregulation



	<b>Regelkreis 1</b>	<b>Regelkreis 2</b>
<b>Regelgröße</b>	Blutzuckerspiegel	Blutzuckerspiegel
<b>Stellgrößen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insulinkonzentration,</li> <li>• Glucagonkonzentration,</li> <li>• Glucocorticoidkonzentration,</li> <li>• Thyroxinkonzentration,</li> <li>• AdrenalinKonzentration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insulinkonzentration,</li> <li>• Glucagonkonzentration</li> </ul>
<b>Störgrößen</b>	Nahrungsaufnahme, Stoffwechselschwankungen	Nahrungsaufnahme, Stoffwechselschwankungen
<b>Fühlglied</b>	Glucoserezeptoren im Hypothalamus	Glucoserezeptoren in der Bauchspeicheldrüse
<b>Regelglied</b>	Bauchspeicheldrüse	Hypothalamus
<b>Stellglieder</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Glycogendepots in Leberzellen,</li> <li>• Niere als osmotisches Überlaufventil,</li> <li>• Zellen als „Zuckerverbraucher“ (durch die Zellatmung / ATP-Produktion)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Glycogendepots in Leberzellen,</li> <li>• Niere als osmotisches Überlaufventil,</li> <li>• Zellen als „Zuckerverbraucher“ (durch die Zellatmung / ATP-Produktion)</li> </ul>
<b>Istwert</b>	aktuelle Blutzuckerkonzentration	aktuelle Blutzuckerkonzentration
<b>Sollwert</b>	Blutzuckerkonzentration 80-110 mg/100 ml	Blutzuckerkonzentration 80-110 mg/100 ml
<b>Stellwert</b>	Hormonkonzentration in der Leber	Hormonkonzentration in der Leber