

Endokrines System und Hormone

Überblick

Signalübertragung im Gewebe und Körper

- Endokrine Signale
- Parakrine Signale
- Autokrine Signale
- Neuroendokrine Signale

Chemische Klassen der Hormone

- Wasserlösliche Hormone
- Fettlösliche Hormone

Hypothalamus und die Koordination des Hormonsystems

Hormone der Schilddrüse

Hormone der Nebennieren

Regulation von Organfunktionen

- Die Stoffwechselwege in den verschiedenen Organen müssen koordiniert werden
- Reaktionen auf die Umgebung, Jahreszeit und Verhalten benötigen evtl. eine Adaptation der Körperfunktionen (Flucht, Rast, etc.)
- **Nervensystem** und **Hormonsystem** integrieren die Organ und Körperfunktionen
- **Hormone** sind Botenstoffe, die von Hormondrüsen ins Blut abgegeben werden und systemisch wirken

Hormone

- **Hormone** werden von Zellen durch spezifische Rezeptoren erkannt
- Nur Zellen, die entsprechende Rezeptoren besitzen, reagieren daher auf ein Hormon – das sind die Zielzellen eines Hormons
- Die Reaktion auf Hormone hängt vom Zelltyp ab und kann durch anderen Signale beeinflusst werden
- Hormone können unter anderem antagonistisch wirken

Hormone regulieren die Entwicklung

Beispiel: Bei Ecdysozoa löst Ecdyson die Metamorphose aus



© 2011 Pearson Education, Inc.



Evtl. durch «juvenile hormone»
abgewandelt, Häutung statt Verpuppung

© 2011 Pearson Education, Inc.

Überblick: Signalübertragung bei Tieren

- Endokrine Signale (Ausschüttung ins Blut)
- Parakrine Signale (ins umliegende Gewebe)
- Autokrine Signale (Zellen führen Selbstgespräche)
- Neuroendokrine Signale (Nervenzellen ins Blut)
- Synaptische Signale (Nervenzelle spezifisch zu einer Zielzelle – siehe Gehirn und Nervensystem)

Endokrine Signalübertragung

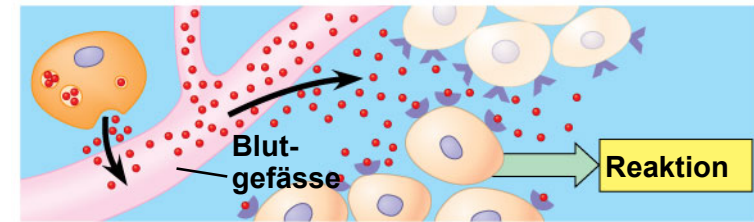
- Hormone werden von endokrinen Zellen in die extrazelluläre Gewebsflüssigkeit abgegeben und erreichen ihre Zielzellen über das Blutsystem
- Endokrine Signale können im ganzen Körper wirken und koordinieren verschiedene Organe um Prozesse, die das innere “Milieu” aufrechterhalten zu regulieren
- Hormone vermitteln auch Antworten auf Umwelteinflüsse, tragen zu Wachstum und Entwicklung bei

Überblick

Wirkung chemischer Signale

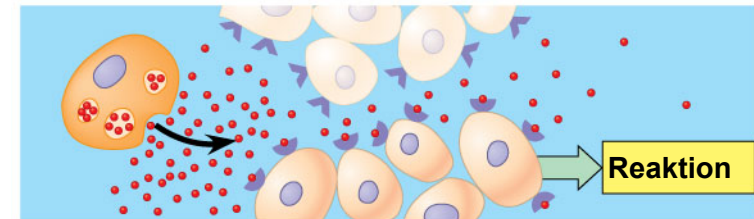
Endokrine Signale

Hormone von
spezialisierten
Hormondrüsen



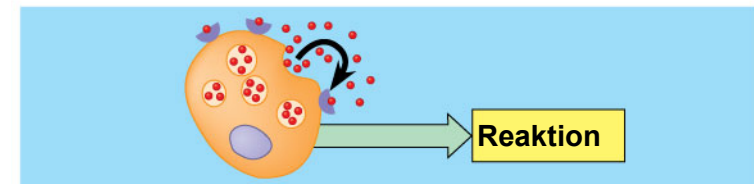
Parakrine Signale

lokale Regulation
im Gewebe



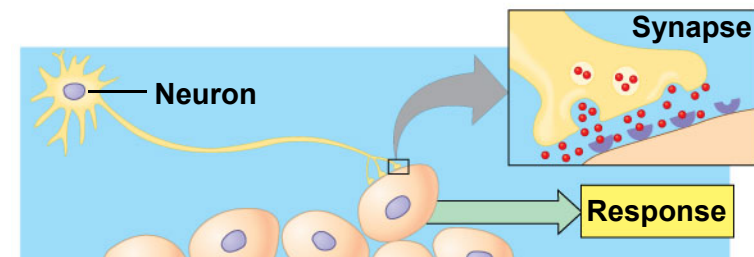
Autokrine Signale

Wie kann verhindert werden,
dass eine Zelle auf
eigene Signale reagiert ?



Synaptische Signalübermittlung

Nervenleitung durch
Neurotransmitter



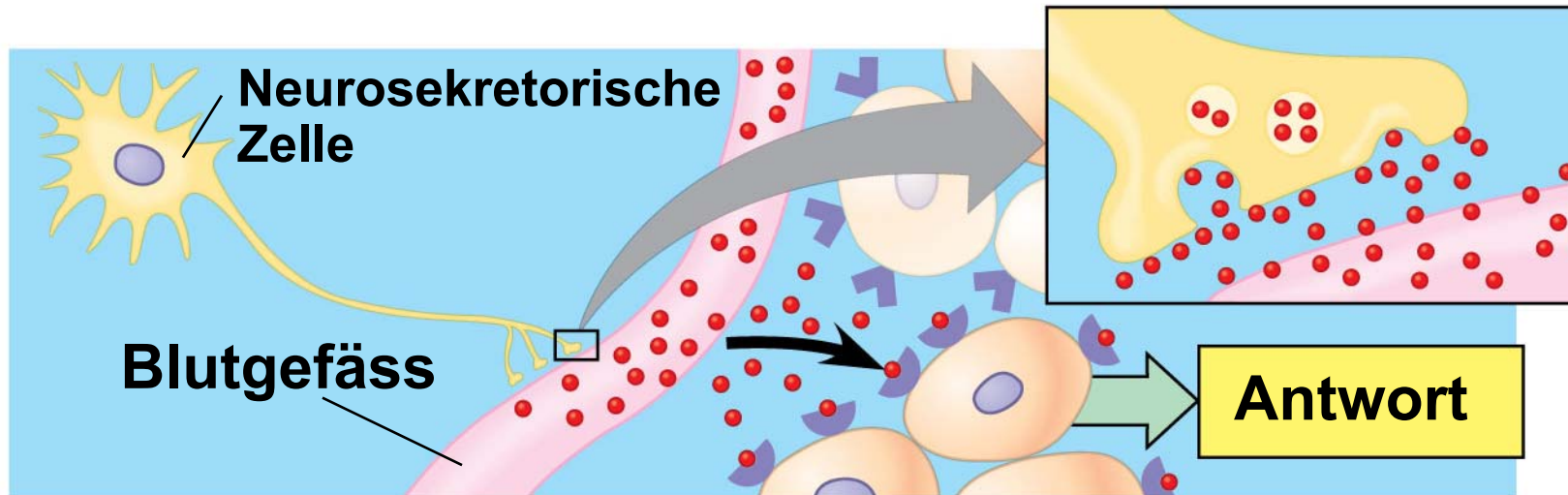
Neuroendokrine Signale

Hormone verbinden
Nerven- und Hormon-
system

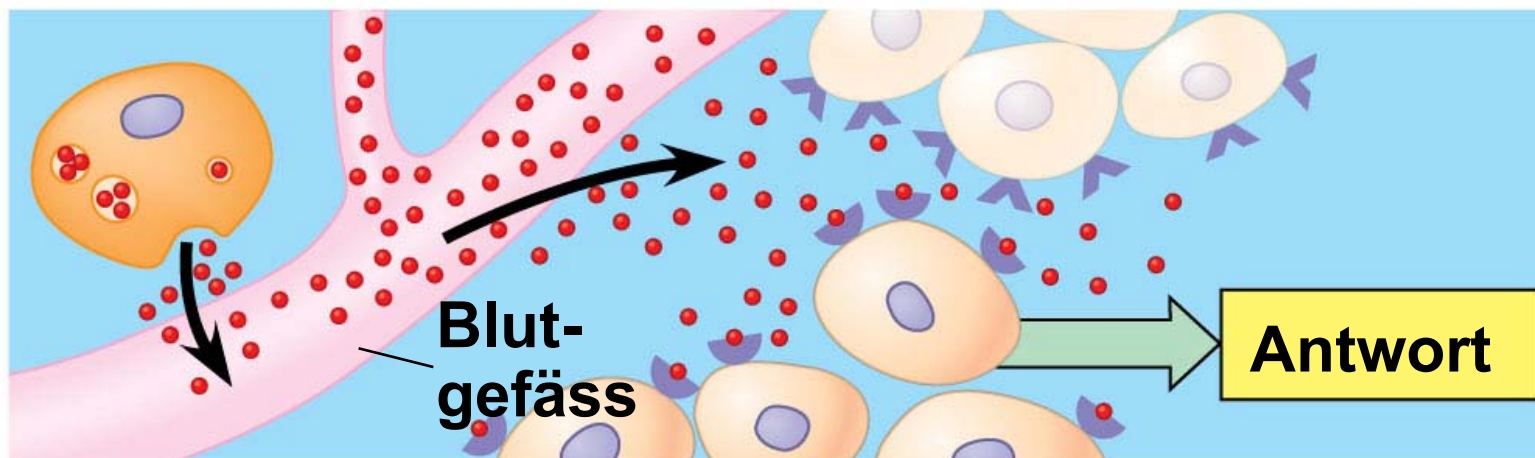


Das Hormonsystem

Neuroendokrine Signale vom Nervensystem steuern das Hormonsystem



Endokrine Signale werden von speziellen Hormondrüsen ins Blut abgegeben. Diese werden durch andere Hormone oder Nerven reguliert



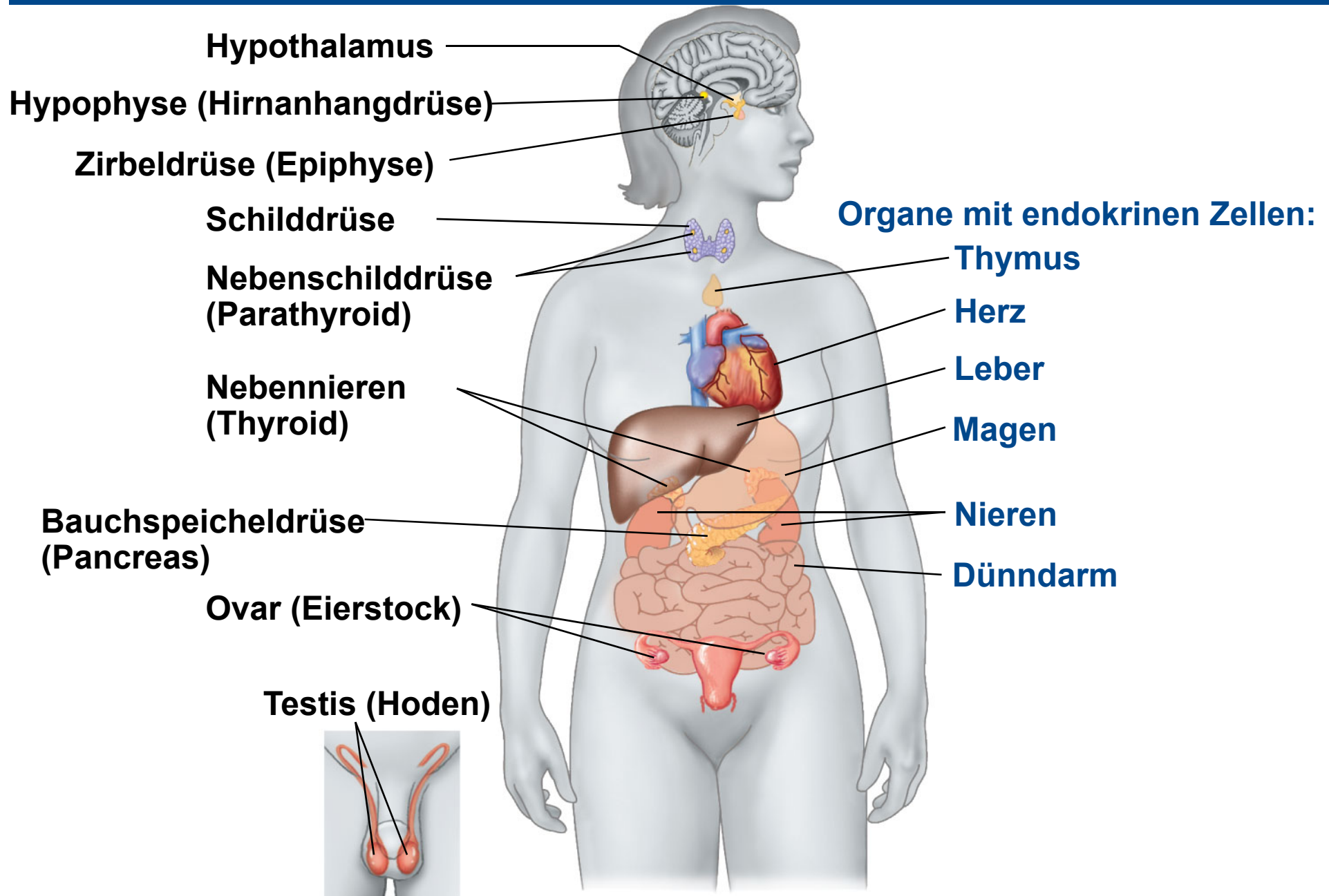
Pheromone

- Pheromone sind Hormonen ähnlich werden aber **nach aussen abgegeben** und dienen der Kommunikation
- Zum Beispiel werden bei Faltern flüchtige Chemikalien abgegeben, die der Signalisierung von Paarungspartnern dienen
- Die Ortung des Paarungspartners ist mittels in den Antennen vorhandenen Rezeptoren auf weite Entfernungen möglich
- Pheromone werden auch zur Markierung von Nahrungsquellen eingesetzt (zB: Ameisenstrassen sind durch Pheromone markiert)

Endokrine Gewebe und Organe

- Endokrine Drüsen geben Hormone direkt in die umgebende Gewebsflüssigkeit ab, von wo sie dann ins Blut gelangen, zB Glukagon von alpha und Insulin von Beta-Zellen der Bauchspeicheldrüse
- Exokrine Drüsen besitzen Gänge durch die Sekrete nach aussen abgegeben werden, zB Verdauungssekrete der Bauchspeicheldrüse werden in den Dünndarm geleitet

Endokrine Gewebe beim Menschen



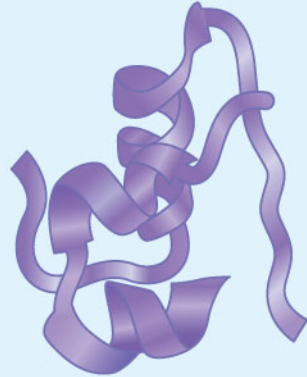
Chemische Klassen von Hormonen

In Wirbeltieren werden drei grosse Gruppen von chemischen Grundstrukturen bei Hormonen beobachtet:

- wasserlöslich {
 - Peptidhormone: Polypeptide, Proteine und Peptide
 - Amine (meist von Aminosäuren abgeleitet)
- fettlöslich {
 - Steroidhormone (sind nicht wasserlöslich und werden von Transportproteinen transportiert. Sie können durch die Zellmembran aufgenommen werden und besitzen meist Rezeptoren innerhalb der Zelle)

Wasserlöslich (hydrophil)

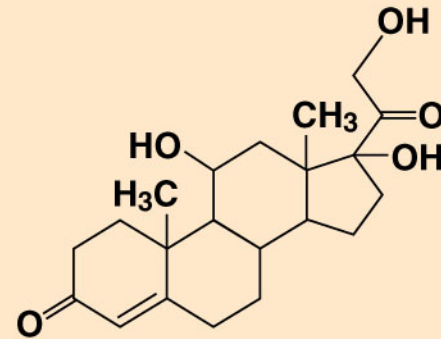
Polypeptide



Insulin

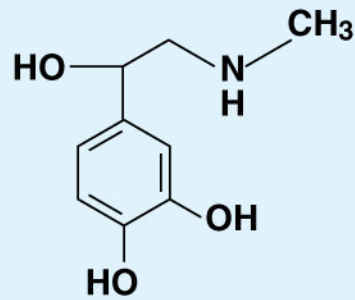
Fettlöslich (hydrophobisch)

Steroide

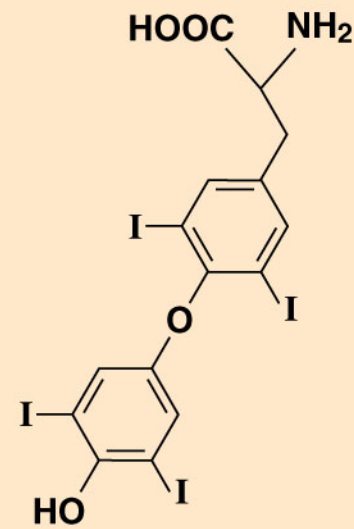


Cortisol

Amine

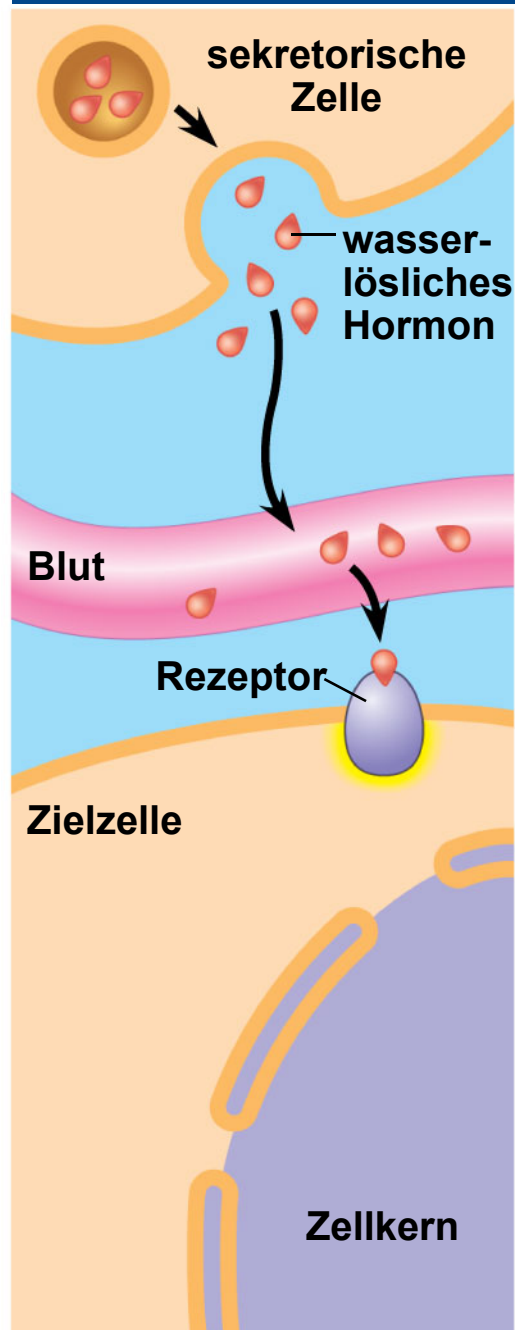


Adrenalin

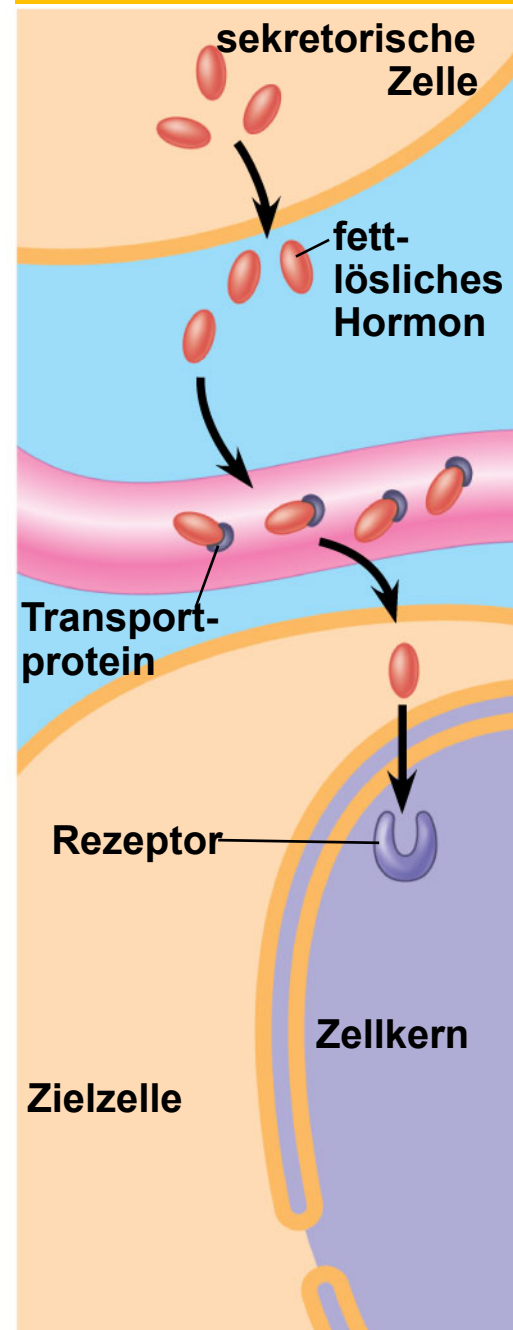


Thyroxin

Wasserlösliche



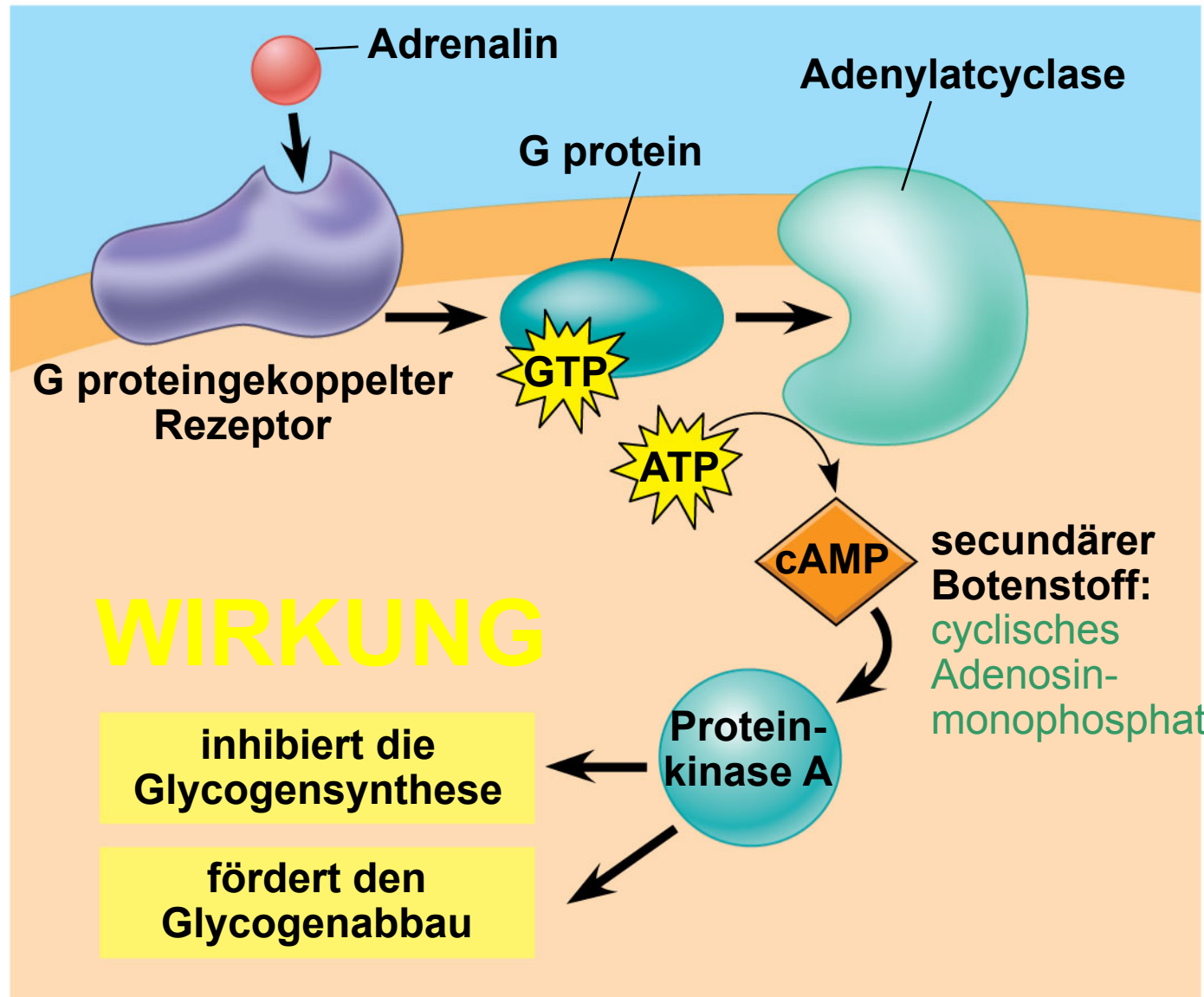
Fettlösliche



Hormone

- Das Hormon **Adrenalin** hat verschiedene Wirkungen um den Körper auf kurzzeitige Stressantworten vorzubereiten
- Adrenalin bindet an Rezeptoren in der Membran von Leberzellen
- Bindung von Adrenalin an die Rezeptoren in Leberzellen verursacht die Freisetzung von Glukose in das Blut und erhöht damit den Blutzuckerspiegel

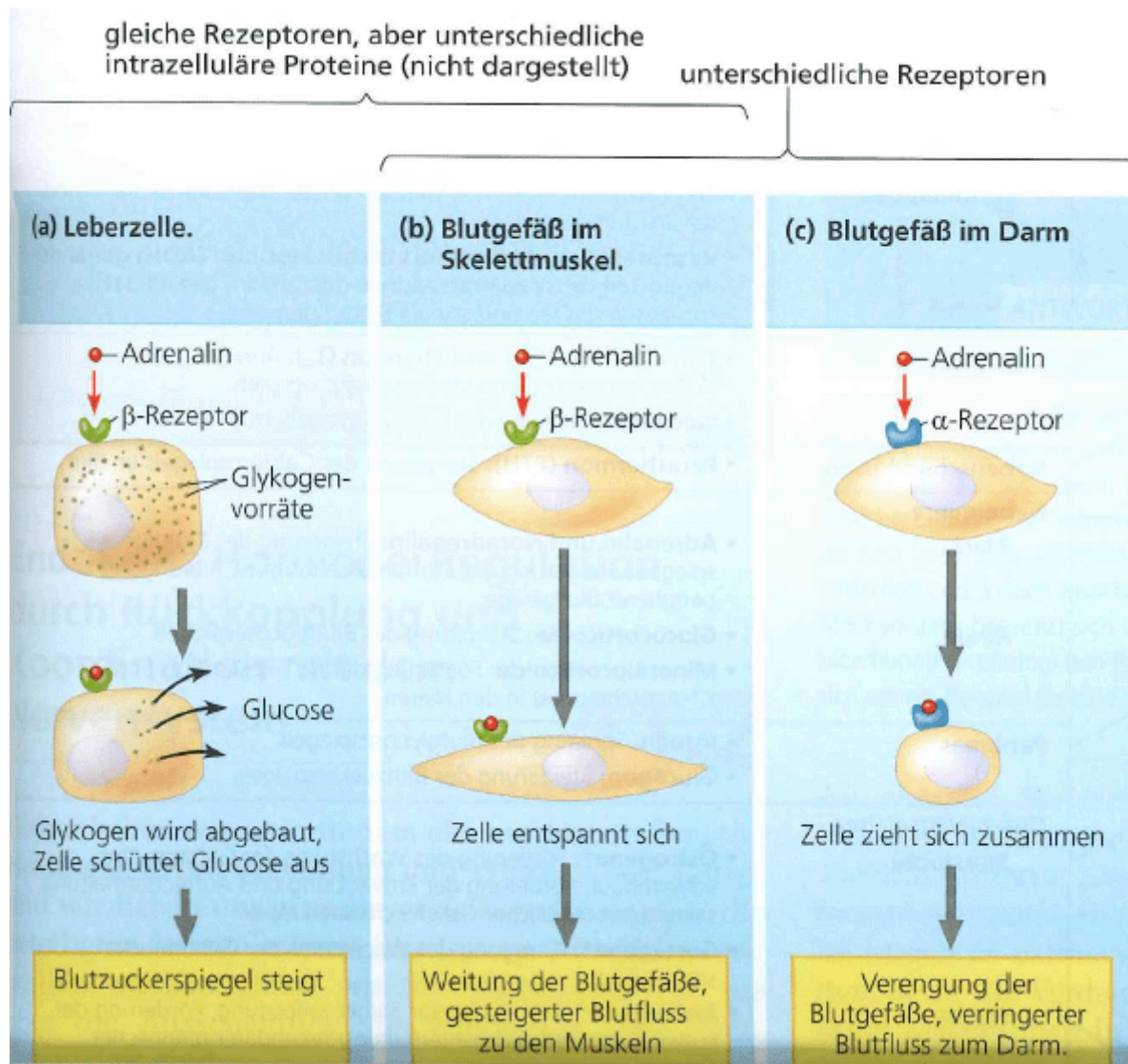
Beispiel: Signalübertragung bei Adrenalin (wasserlöslich)



Adrenalin wird von den Nebennieren produziert und bereitet den Körper auf Leistung vor.

Bei der Signalübertragung wird in der Zelle ein kurzlebiger sekundärer Botenstoff (cAMP) gebildet, der Proteinkinase A aktiviert

Adrenalin löst in verschiedenen Zielzellen unterschiedliche Antworten aus



In der Leber fördert Adrenalin die Freisetzung von Zucker ins Blut. Dabei werden β -Rezeptoren und der cAMP Botenstoff genutzt.

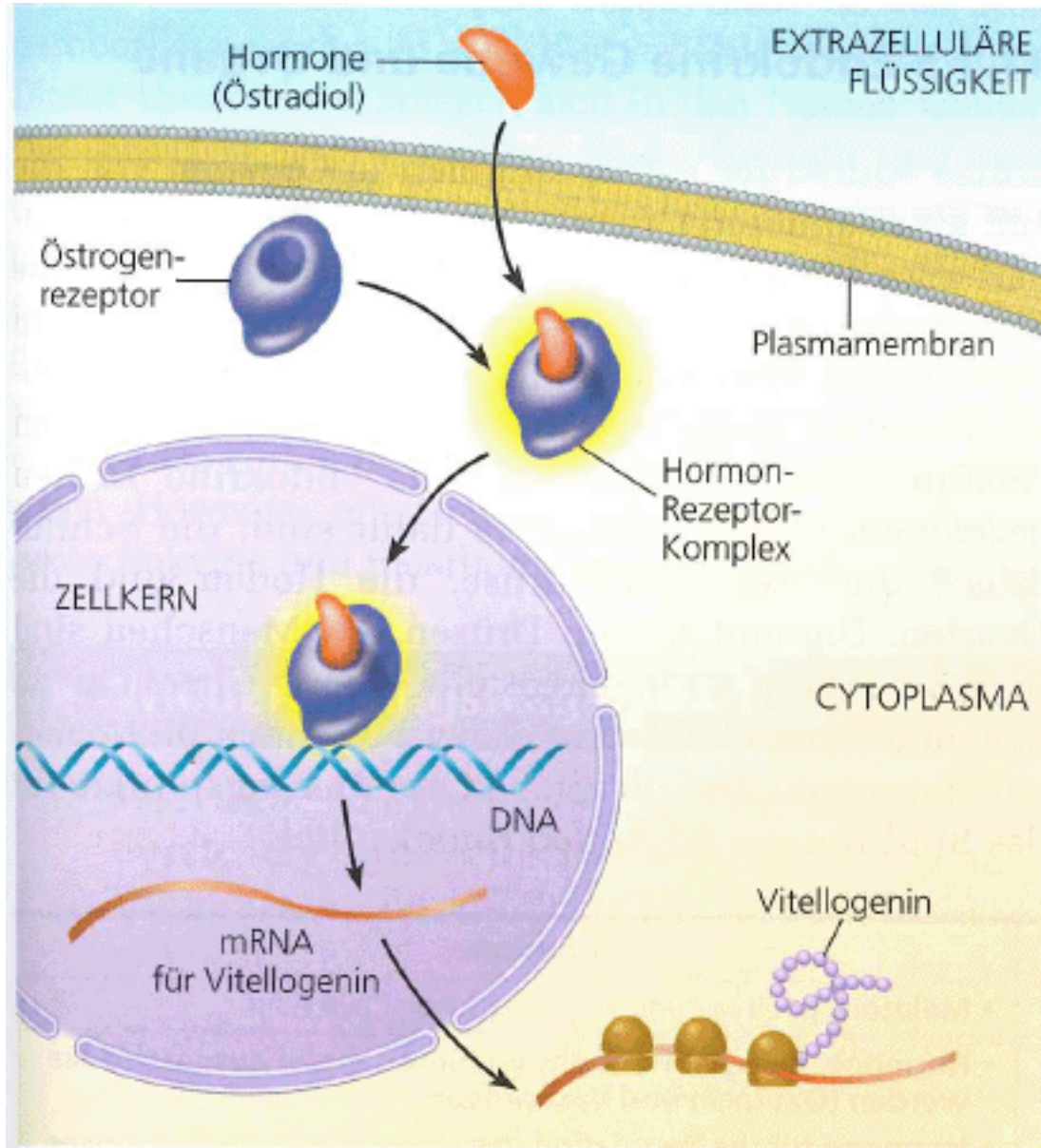
Der selbe Signalweg führt in der glatten Muskulatur der Blutgefäße in den Skelettmuskeln zu einer Entspannung, wodurch der Blutfluss erhöht wird.

α -Rezeptoren in den Muskelzellen der Gefäße der Darmwand bewirken eine Verengung, wobei ein anderer Signalweg genutzt wird.

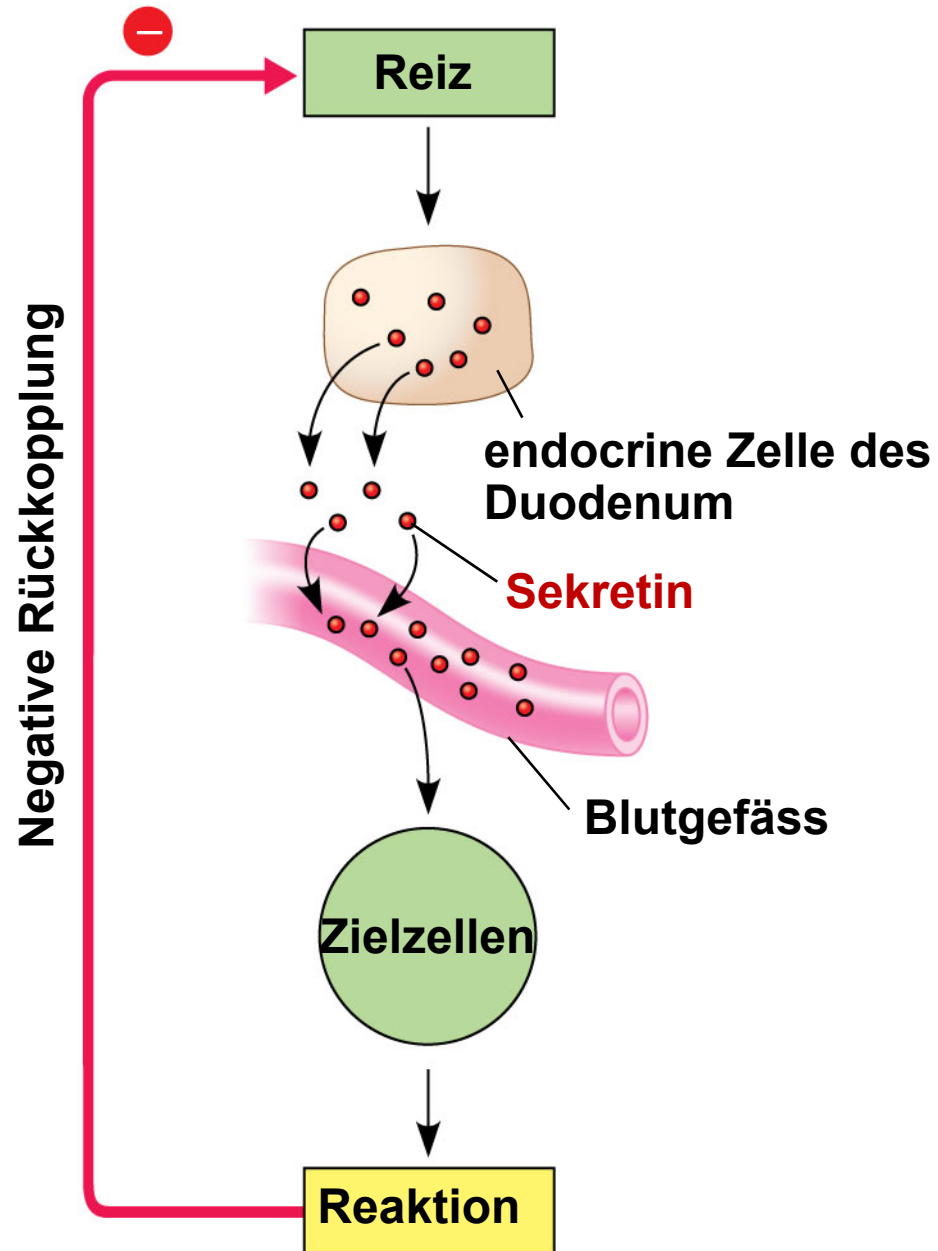
Signalübertragung bei fettlöslichen Hormonen

- Fettlösliche Hormone führen zumeist eine geänderte Genexpression herbei
- Steroid-, Thyroid-hormone, und von Vitamin D abgeleitete Hormone werden durch die Zellmembran aufgenommen und binden innerhalb der Zelle an Rezeptoren
- Die Rezeptoren können im Cytoplasma oder Zellkern vorliegen
- Die Komplexe aus Rezeptor und Hormon wirken dann als Transkriptionsfaktoren, die spezifische Gene anschalten

Beispiel: Östradiol (fettlösliches Hormon)



Koordination des Hormonsystems durch Rückkopplung



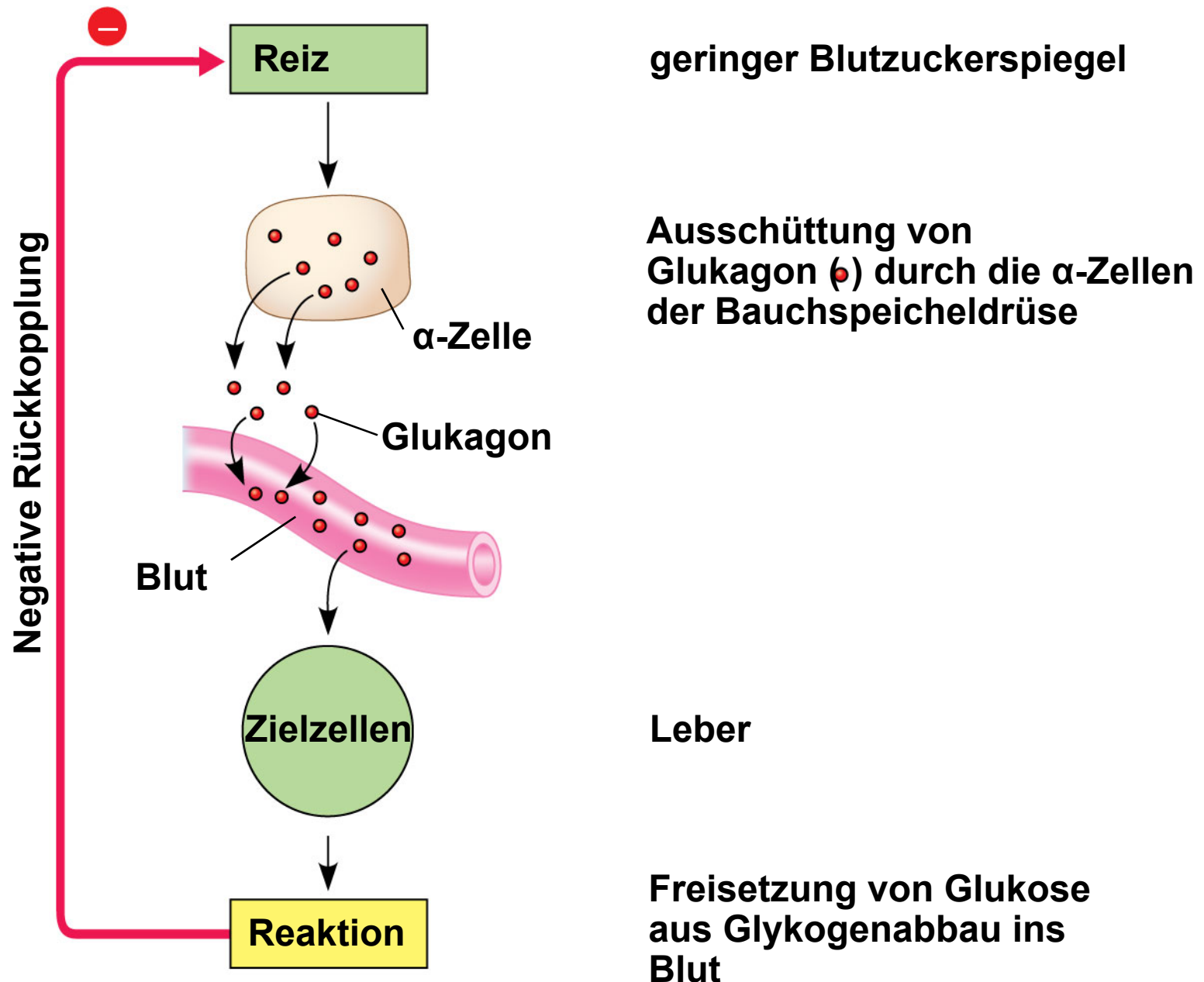
Niedriger pH Wert durch den Eintritt von saurem Verdauungsbrei aus dem Magen in den Zwölffingerdarm (Duodenum)

- S-Zellen des Duodenum schütten Sekretin aus

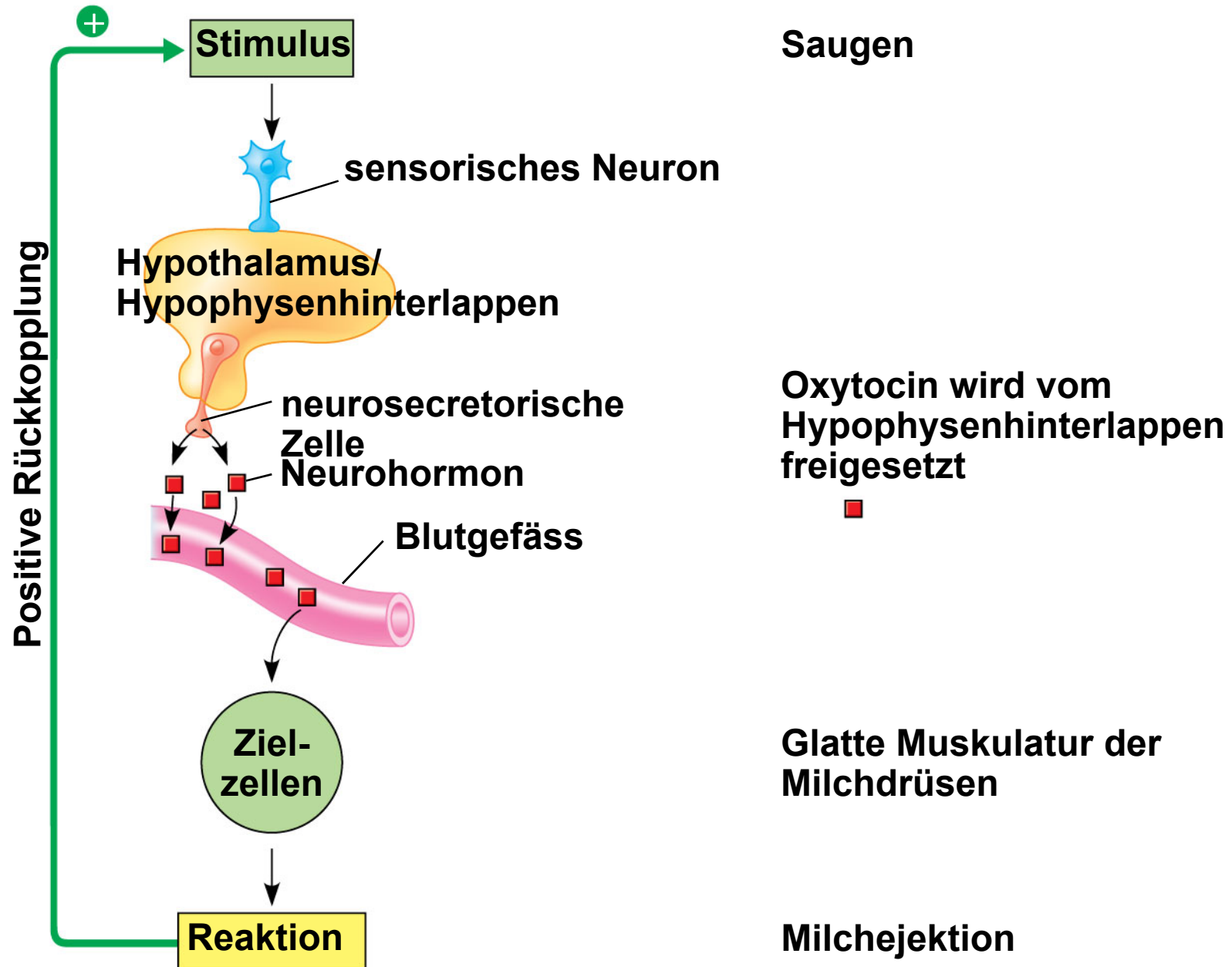
Bauchspeicheldrüse

Bicarbonat Ausschüttung neutralisiert die Magensäure

Beispiel: Regulation des Blutzuckerspiegel durch Glukagon



Koordination durch positive Rückkopplung



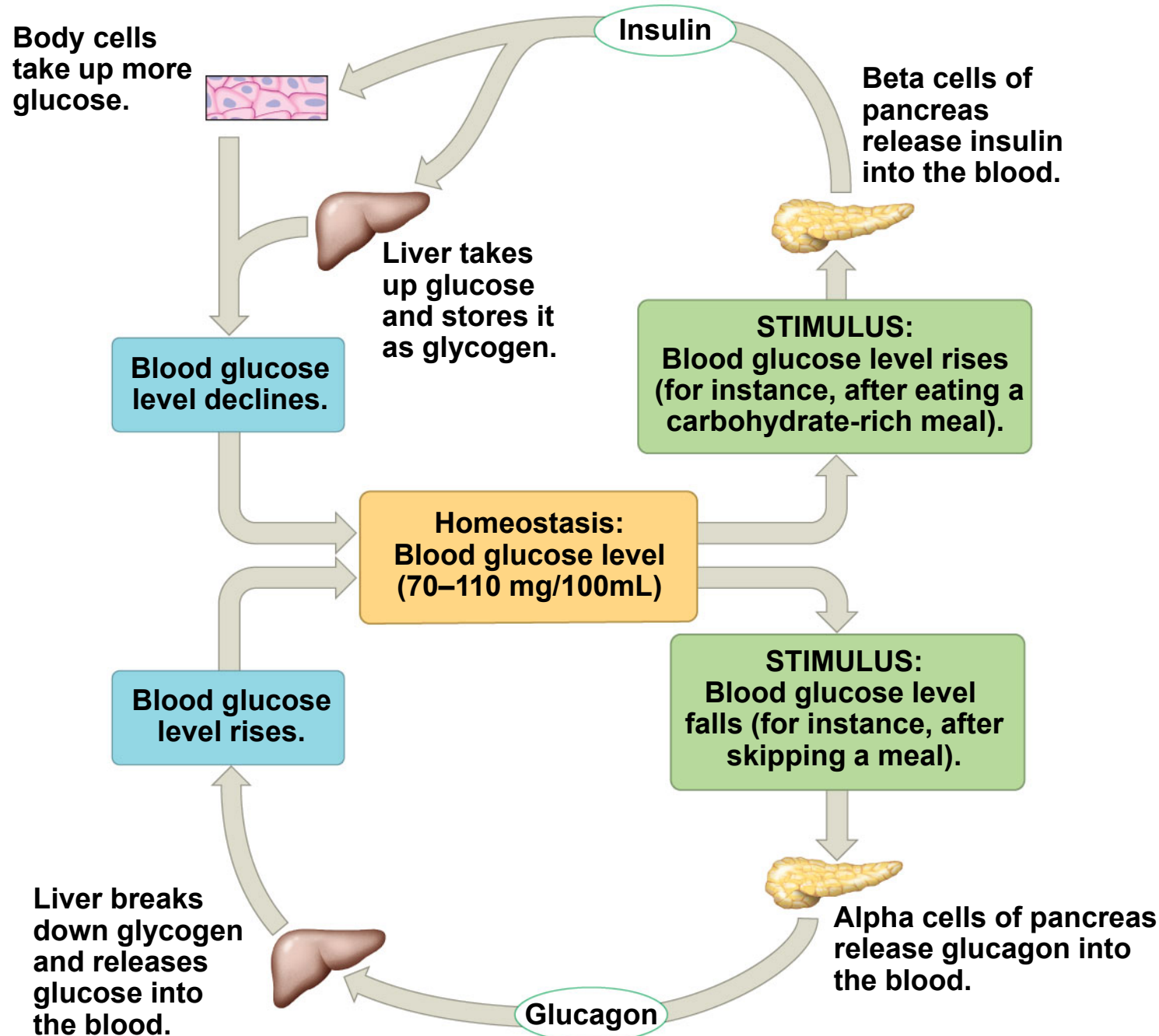
Koordination des Hormonsystems durch Rückkopplung

- Bei **negative Rückkopplung** wird durch die Antwort der auslösende Reiz verringert
- dadurch wird eine weitere Antwort abgeschwächt oder unterbunden. Eine Überreaktion wird dadurch verhindert
- **Positive Rückkopplung** reinforces hingegen verstärkt den auslösenden Reiz und dadurch wird die Antwort immer weiter verstärkt
- zB. Oxytocin Ausschüttung führt zu verstärkter Milchproduktion. Nur durch Abbruch des Saugens kann die Rückkopplung unterbrochen werden

Koordination des Hormonsystems durch Antagonismus

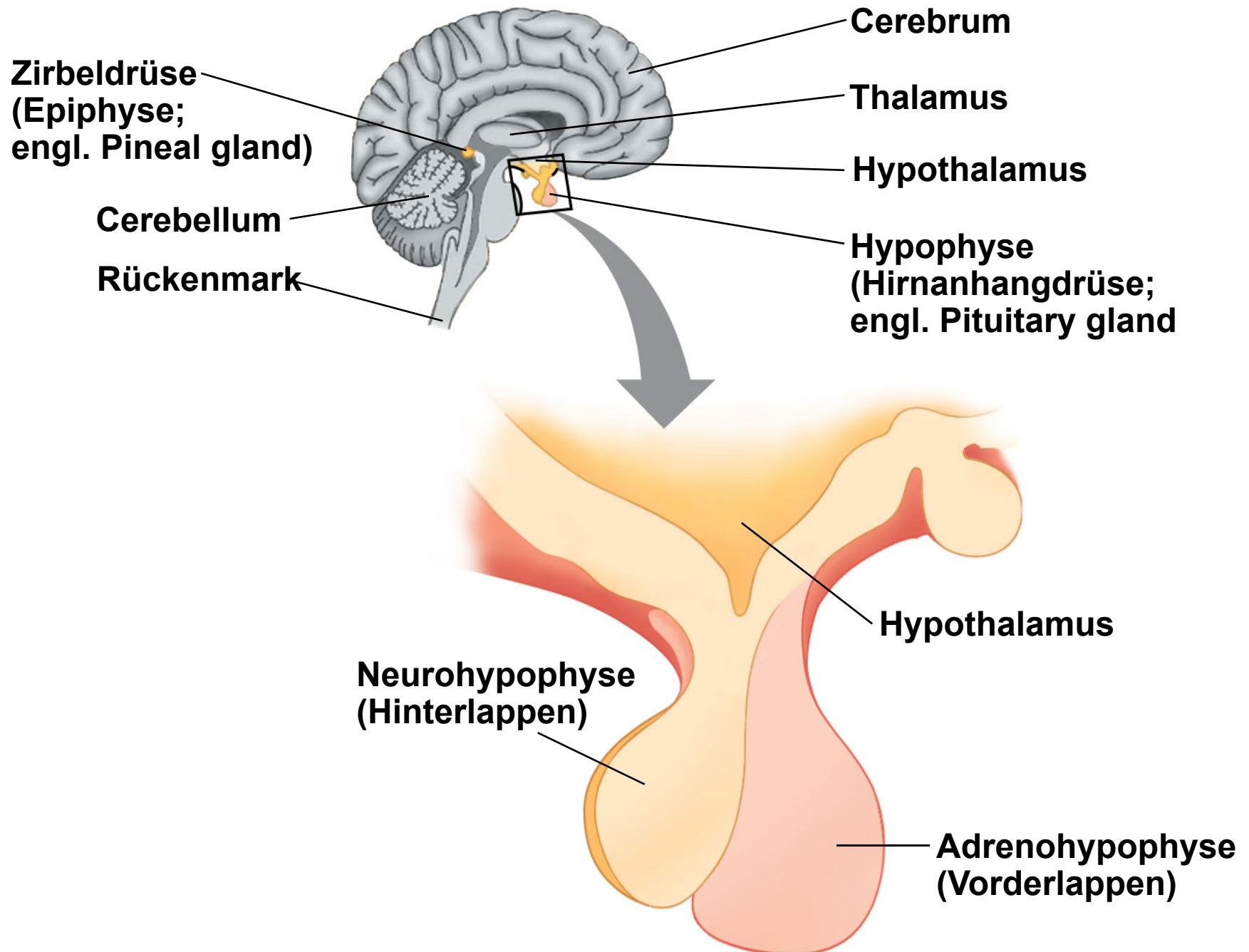
- **Insulin** (verringert Blutzucker) und **Glukagon** (enhört Blutzucker) sind **antagonistische** (haben gegensätzlicher Wirkung) **Hormone** die bei der Glukosehomöstase (5 mM) eine wichtige Rolle spielen
- Beider Hormone werden in der Bauchspeicheldrüse als Antwort auf Blutzucker produziert.
- Die Langerhans'sche Inseln der Bauchspeicheldrüse beherbergen Alpha- und Beta-Zellen, die Glukagon und Insulin produzieren

Zur Erinnerung: Regulation des Blutzuckerspiegels

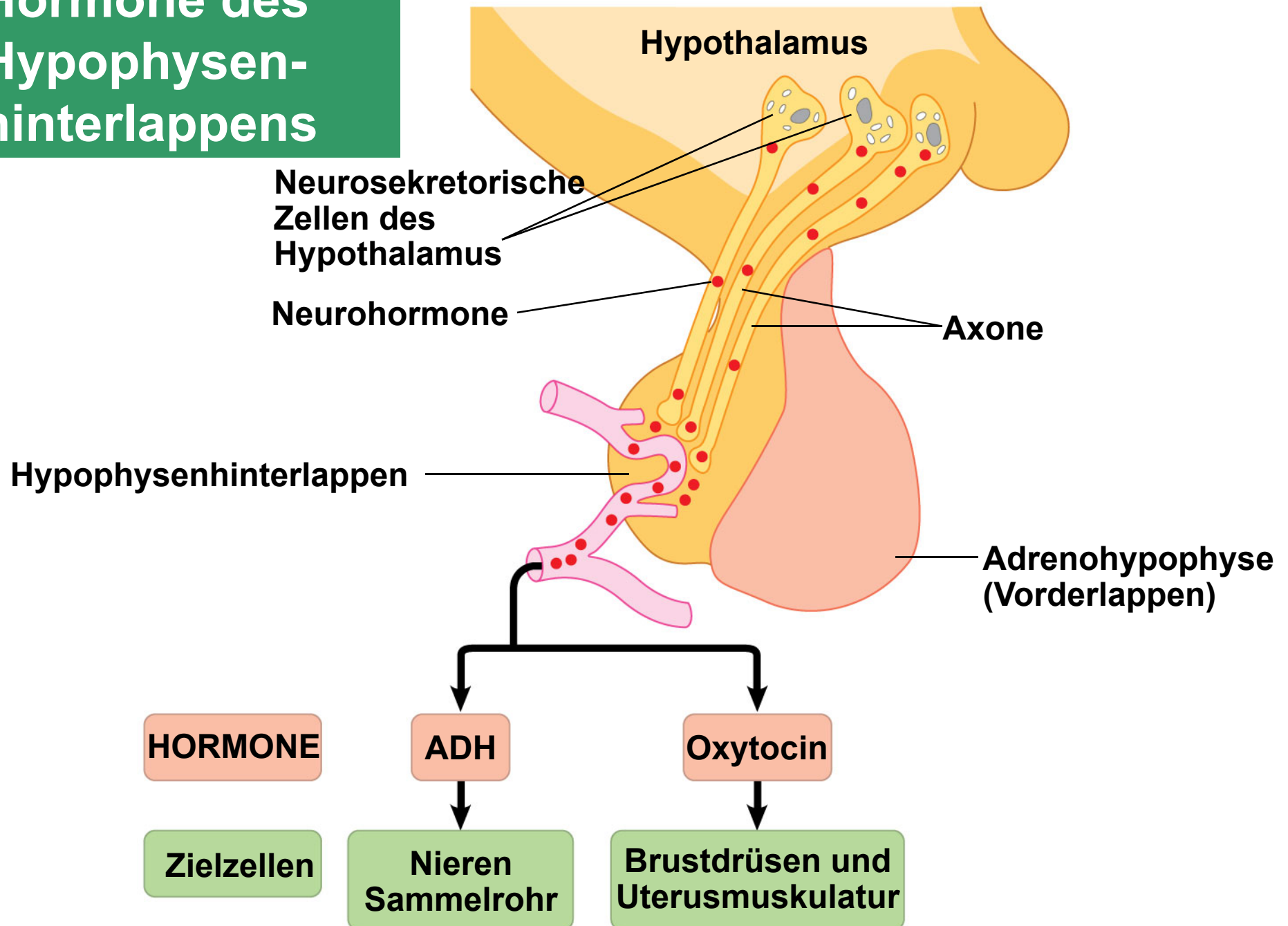


Hypothalamus und Hirnanhangdrüse (Hypophyse) koordinieren das Hormonsystem

- Der Hypothalamus ist eine Region des Zwischenhirns und stellt eine wichtige Verbindung zwischen dem Nervensystem und dem Hormonsystem dar
- Der Hypophysenhinterlappen (Neurohypophyse) enthält Axone von Nervenzellen des Hypothalamus, die neuroendokrine Signale freisetzen: **Oxytocin** und Antidiuretisches Hormon (**ADH; Vasopressin**)
- Der Hypophysenvorderlappen (Adrenohypophyse) ist eine endokrine Drüse (zB **Prolaktin**), die auf Hormone des Hypothalamus selbst reagiert
- Diese Hormone werden «Freisetzungshormone» oder Tropine genannt



Hormone des Hypophysenhinterlappens



Hormone des Hypophysenvorderlappens

- Die Hormonausschüttung im Hypophysenvorderlappen wird durch Releasing- und Inhibiting-Hormone des Hypothalamus kontrolliert
- zB. Prolactin-Releasing Hormon des Hypothalamus fördert die Ausschüttung von **Prolactin (PRL)** durch den Hypophysenvorderlappen, woraufhin die Milchproduktion erhöht wird

Hormone des Hypophysenvorderlappens

Ausschliesslich tropische:

FSH
LH
TSH
ACTH

Ausschliesslich nicht tropische:
Prolactin
MSH

Nicht-tropische and tropische:
GH

Releasing-Hormone
und
Inhibiting-Hormone
aus dem
Hypothalamus

Neurosekretorische
Zellen des
Hypothalamus

Portalvene

Endokrine Zellen der
Adrenohypophyse
(Vorderlappen)

Hypophysen-
hormone

HORMONE

FSH and LH

TSH

ACTH

Prolactin

MSH

GH

ZIELE

Keim-
drüsen

Schild-
drüse

Neben-
nierenrinde

Brust-
drüsen

Melanocyten

Leber,
Knochen, ua.

Follikel
stimulierendes
Hormon

Luteinisierendes
Hormon

Thyreotropin

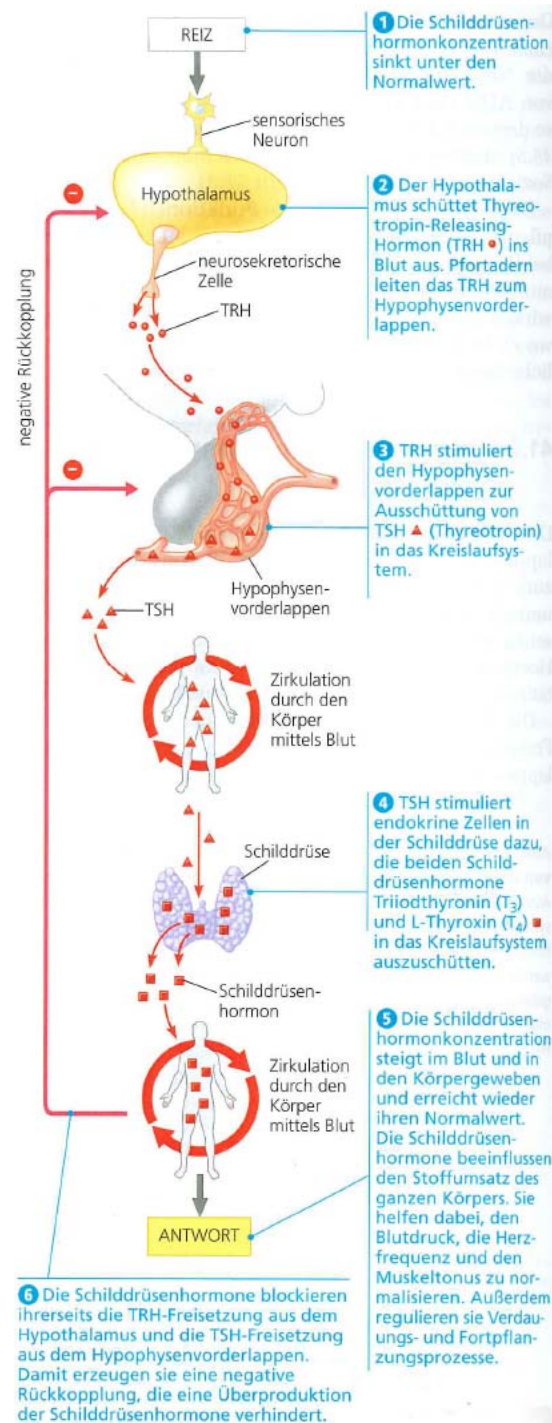
Thyroid
stimulating
hormon

Adreno-
corticotrophes
Hormon

Melanocyten
stimulierendes
Hormon

Wachstums-
hormon

Regulation des Schilddrüsenhormone durch eine Hormonkaskade



Hypothalamus:
Thyreotropin-Releasing Hormone (TRH)











Hypophysenvorderlappen (Adrenohypophyse):
Thyreotropin (TSH;
engl. Thyroid stimulating hormone)

Schilddrüse:
Triiodthyronin (T₃) und L-Thyroxin (T₄)
[diese Hormone enthalten Iod]

Gewebe fast alle Körperzellen:
T₄ wird in der Zelle in das aktivere T₃ umgewandelt und fördert den zellulären Stoffwechsel (Metabolismus)

Wichtige Hormone im Überblick

Rolle bei der Fortpflanzung

Gland		Hormone	Chemical Class	Representative Actions	Regulated By
Hypothalamus		Hormones released from the posterior pituitary and hormones that regulate the anterior pituitary (see below)			
Posterior pituitary gland (releases neurohormones made in hypothalamus)		Oxytocin	Peptide	Stimulates contraction of uterus and mammary gland cells	Nervous system
		Antidiuretic hormone (ADH)	Peptide	Promotes retention of water by kidneys	Water/salt balance
Anterior pituitary gland		Growth hormone (GH)	Protein	Stimulates growth (especially bones) and metabolic functions	Hypothalamic hormones
		Prolactin	Protein	Stimulates milk production and secretion	Hypothalamic hormones
		Follicle-stimulating hormone (FSH)	Glycoprotein	Stimulates production of ova and sperm	Hypothalamic hormones
		Luteinizing hormone (LH)	Glycoprotein	Stimulates ovaries and testes	Hypothalamic hormones
		Thyroid-stimulating hormone (TSH)	Glycoprotein	Stimulates thyroid gland	Hypothalamic hormones
		Adrenocorticotropic hormone (ACTH)	Peptide	Stimulates adrenal cortex to secrete glucocorticoids	Hypothalamic hormones
Thyroid gland		Triiodothyronine (T ₃) and thyroxine (T ₄)	Amines	Stimulate and maintain metabolic processes	TSH
Calcitonin		Peptide	Lowers blood calcium level	Calcium in blood	
Parathyroid glands		Parathyroid hormone (PTH)	Peptide	Raises blood calcium level	Calcium in blood
Pancreas		Insulin	Protein	Lowers blood glucose level	Glucose in blood
		Glucagon	Protein	Raises blood glucose level	Glucose in blood
Adrenal glands		Epinephrine and norepinephrine	Amines	Raise blood glucose level; increase metabolic activities; constrict certain blood vessels	Nervous system
Adrenal medulla					
Adrenal cortex		Glucocorticoids	Steroids	Raise blood glucose level	ACTH
	Mineralocorticoids	Steroids	Promote reabsorption of Na ⁺ and excretion of K ⁺ in kidneys	K ⁺ in blood; angiotensin II	
Gonads		Androgens	Steroids	Support sperm formation; promote development and maintenance of male secondary sex characteristics	FSH and LH
Testes					
Ovaries		Estrogens	Steroids	Stimulate uterine lining growth; promote development and maintenance of female secondary sex characteristics	FSH and LH
		Progestins	Steroids	Promote uterine lining growth	FSH and LH
		Pineal gland		Melatonin	Amine

- **Tropine** sind Hormone, die untergeordnete Hormondrüsen oder endokrine Zellen regulieren (tropische Wirkung)
- Drei wichtige Beispiele sind
 - **Follikel-stimulierendes Hormon (FSH)**
 - **Luteinisierendes Hormon (LH)**
 - **Adrenocorticotropes Hormon (ACTH)**

- **Wachstumshormon (Growth hormone; GH)**
wird vom Hypophysenvorderlappen
ausgeschüttet und hat tropische und nicht-
tropische Wirkungen
- Es fördert das Wachstum, Schlaf und hat
Wirkungen auf den Metabolismus
- Es stimuliert die Produktion von
Wachstumsfaktoren im Gewebe
- GH Überproduktion kann zu Gigantismus,
Unterproduktion zu Zwergwuchs führen

Regulation des Kalziumspiegel im Blut durch Schilddrüsenhormone

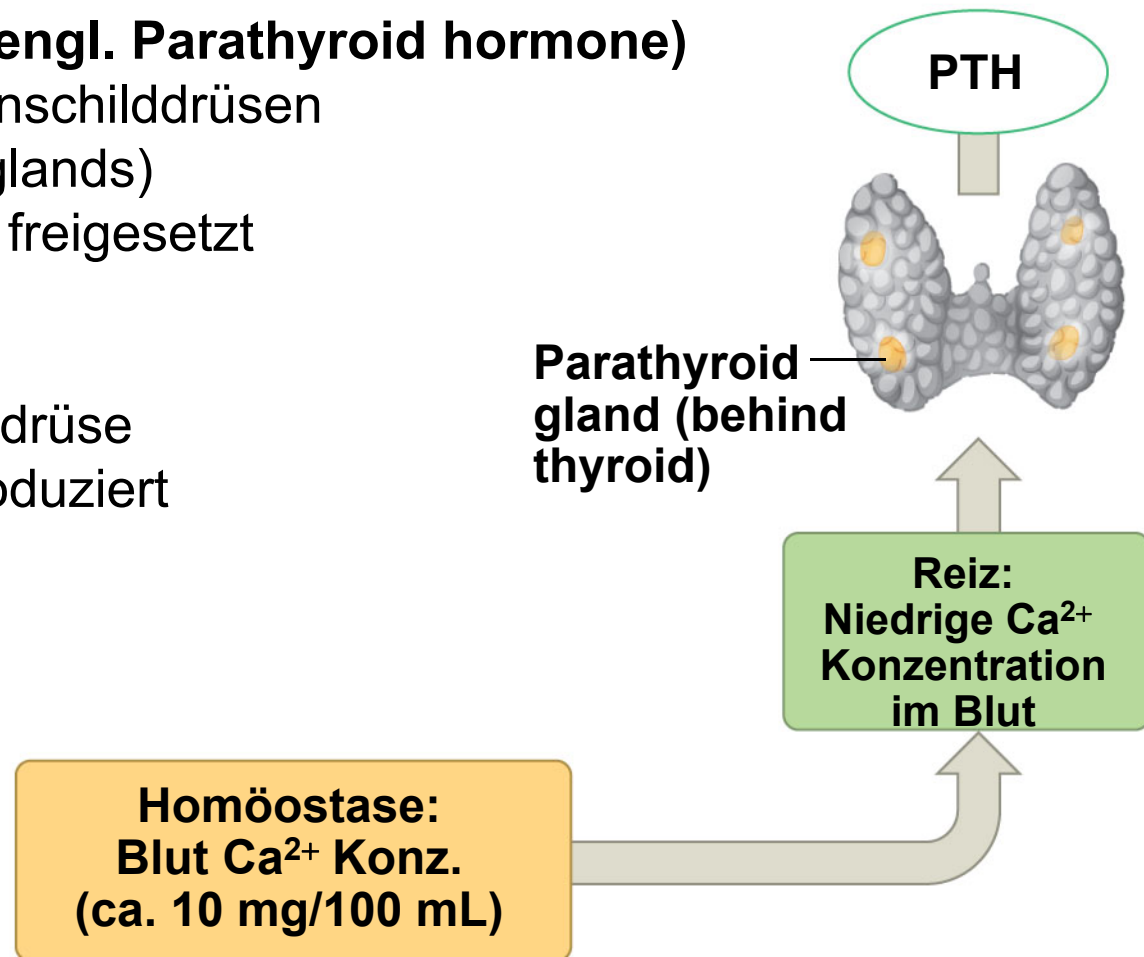
Die Kalzium (Ca^{2+}) Homöostase wird von zwei antagonistischen Hormonen reguliert:

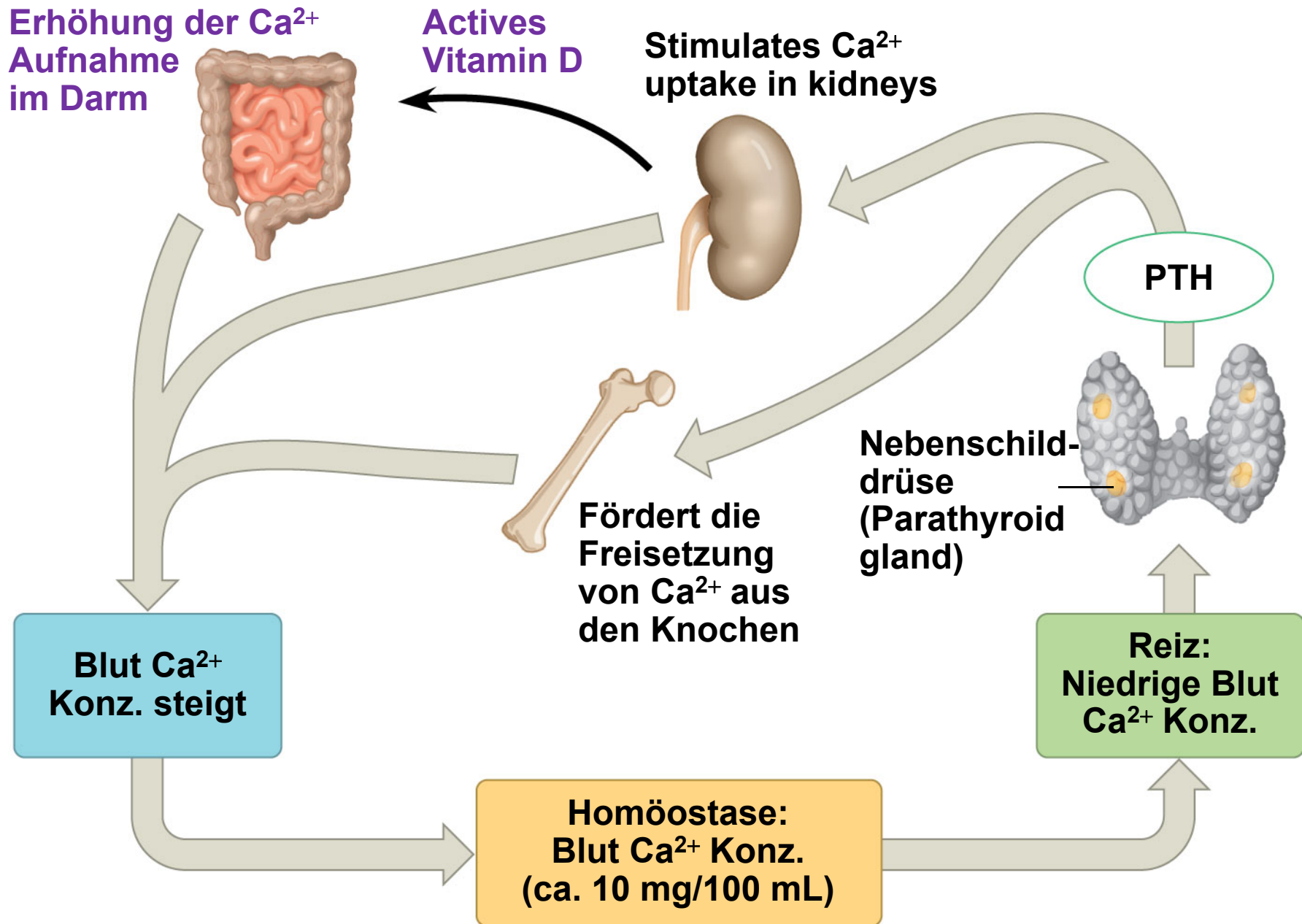
Parathormon (PTH; engl. Parathyroid hormone)

wird von den Nebenschilddrüsen
(engl. parathyroid glands)
bei niedrigem Ca^{2+} freigesetzt

Calcitonin

wird von der Schilddrüse
bei hohem Ca^{2+} produziert





Regulation des Kalziumspiegel im Blut durch Schilddrüsenhormone

- **Parathormon** führt zu einer Erhöhung der Ca^{2+} Konzentration in Blut
 - das wird durch Freisetzung von Ca^{2+} aus den Knochen und Reabsorption von Ca^{2+} in den Nieren erreicht
 - weiter werden die Nieren angeregt Vitamin D zu einer aktiven Form umzuwandeln, die wiederum die Aufnahme von Ca^{2+} von der Nahrung im Darm fördert
- **Calcitonin** im Gegensatz erniedrigt die Ca^{2+} Konzentration im Blut durch Speicherung im Knochen und Ausscheidung durch die Nieren

Hormone der Nebennieren und Stressreaktion

Die Nebennieren sind Hormondrüsen, die in der Nähe der Nieren platziert sind, und aus zwei getrennten Gewebeschichten bestehen:

- Nebennierenrinde (Adrenal cortex)
- Nebennierenmark (Adrenal medulla)

Catecholamine der Nebennieren

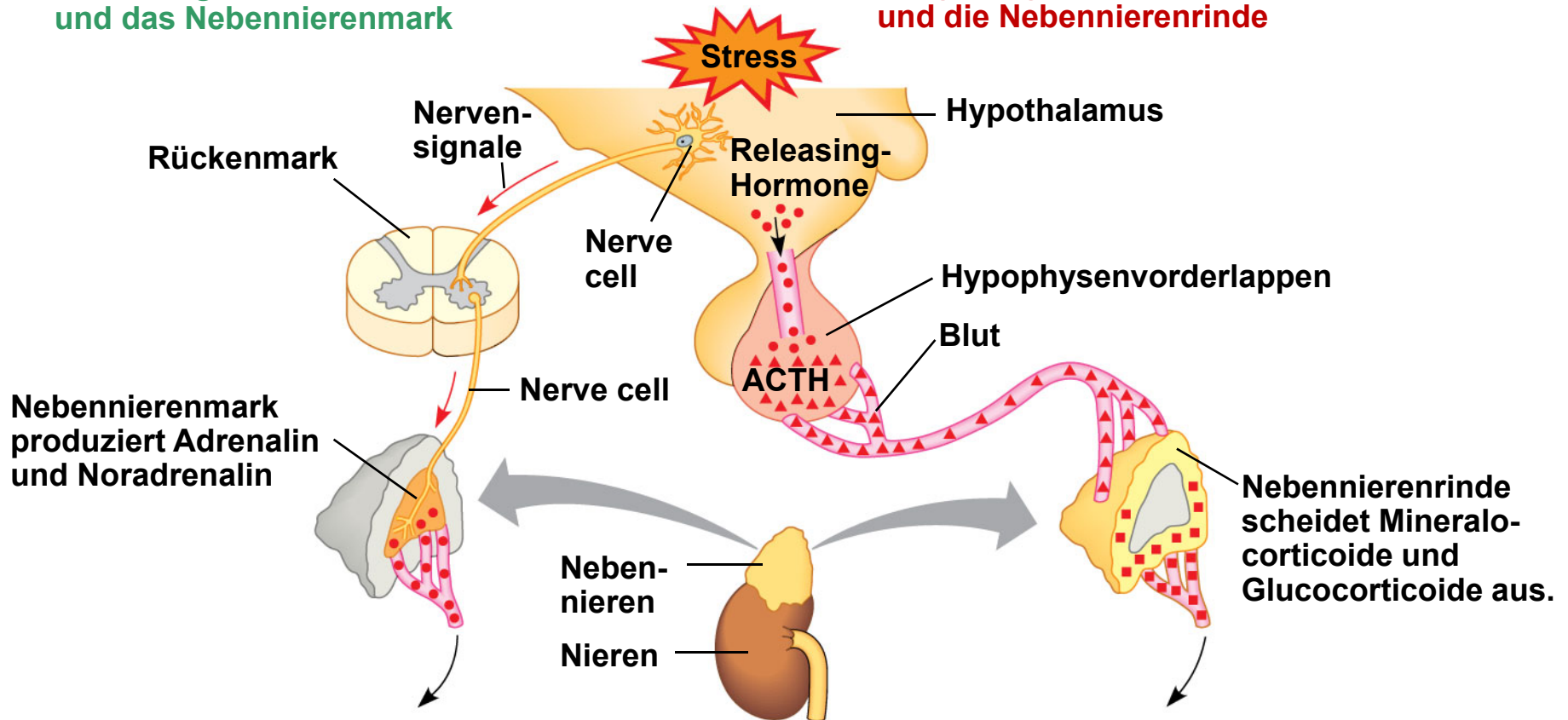
- **Adrenalin** und **Noradrenalin** werden vom Nebennierenmark produziert
- Diese Hormone werden zu der Klasse der Katecholamine gezählt
- Sie werden als Antwort auf Stress durch Impulse des Nervensystems produziert
- Sie bereiten den Körper auf Flucht- oder Kampfverhalten vor

Catecholamine der Nebennieren

- Adrenalin und Noradrenalin
 - Bewirken die Freisetzung von Glukose und Fettsäuren ins Blut
 - Erhöhen den Sauerstofftransport in die Gewebe
 - Steuern den Blutfluss ins Herz, Hirn und die Skelettmuskel
 - Reduzieren den Blutfluss in die Haut, das Verdauungssystem und die Nieren
- Die Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin erfolgt durch unbewusste Nervensignale

Kurzfristige Stressantwort und das Nebennierenmark

Langfristige Stressantwort und die Nebennierenrinde



Wirkung von Adrenalin und Noradrenalin:

- Glykogenabbau zu Glukose und Erhöhung des Blutzuckerspiegels
- Erhöhung des Blutdrucks
- Erhöhung des Athemfrequenz
- Erhöhung des Metabolismus
- Veränderung des Blutflusses zur erhöhung der körperlichen Bereitschaft und Verrinerung der Verdauung und Paarungsbereitschaft

Wirkung von Mineralocorticoiden:

- Rückabsorption von Na^+ und Wasser durch die Nieren
- Erhöhung des Blutvolumens und -drucks

Wirkung von Glucocorticoiden:

- Proteine und Fette werden in Glukose umgewandelt, was zur Erhöhung des Blutzuckerspiegels führt
- Teilweise Unterdrückung des Immunsystems

Die Steroidhormone der Nebennierenrinde

- Die Nebennierenrinde produziert Steroidhormone die als **Corticosteroide** bezeichnet werden
- diese werden als Antwort auf Stress ins Blut abgegeben
- Ausschüttung von Corticosteroiden wird durch eine Hormonkaskade durch den Hypothalamus bewirkt, die den Ausgang im Hypophysenvorderlappen nimmt
- Adrenocorticotropisches Hormon (ACTH)
- Beim Menschen werden zwei Typen von Corticosteroiden freigesetzt:
 - Glucocorticoide
 - Mineralocorticoide

Die Steroidhormone der Nebennierenrinde

- **Glucocorticoide**, zB **Cortison**, beeinflussen den Glukosemetabolismus und das Immunsystem
- **Mineralocorticoide**, zB **Aldosteron**, regulieren den Wasser- und Salzhaushalt
- Die Nebennierenrinde produziert auch geringe Mengen an Steroidhormonen, die als Geschlechtshormone agieren

Melatonin wird von der Epiphyse produziert

- Die Epiphyse (Zirbeldrüse; engl. pineal gland), scheidet **Melatonin** aus
- Der Tag/Nacht Zyklus reguliert die Ausscheidung von Melatonin
- Die primäre Funktion von Melatonin scheint in der Koordination des biologischen Rhythmus und der Vermehrung