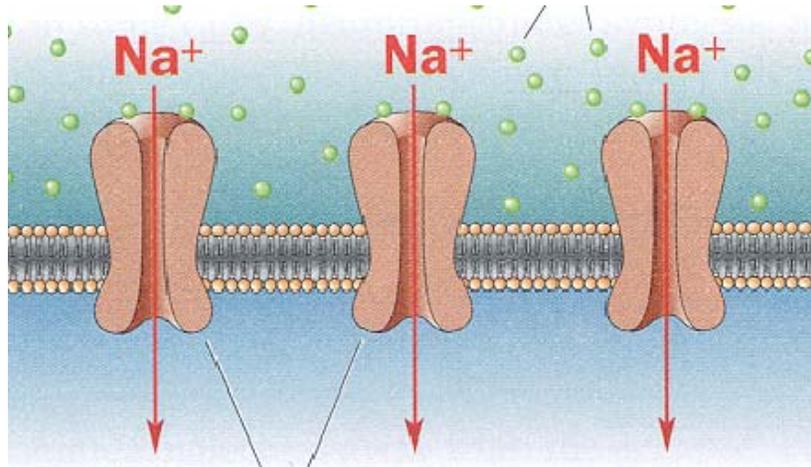
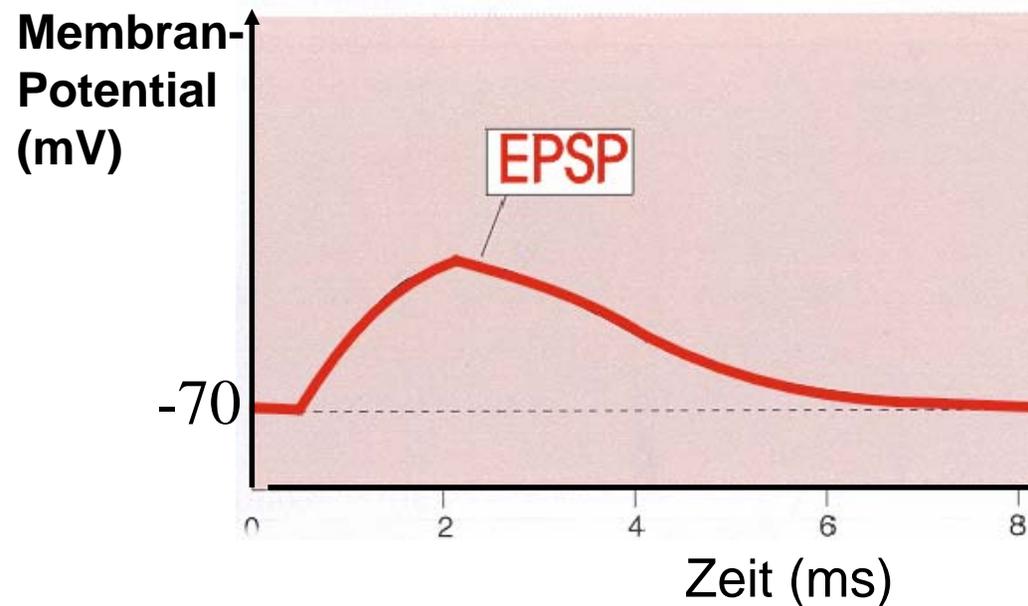


Exzitatorische (erregende) Synapsen



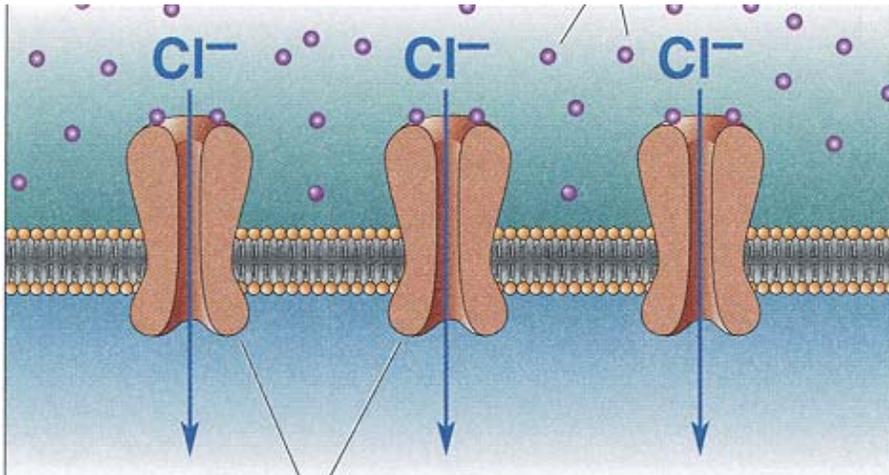
Exzitatorische Neurotransmitter
z.B.
Glutamat

Öffnung von **Na⁺/K⁺** Kanälen



Graduierte Depolarisation
der subsynaptischen
Membran
=
Erregendes postsynaptisches
Potential (EPSP)

Inhibitorische (hemmende) Synapsen

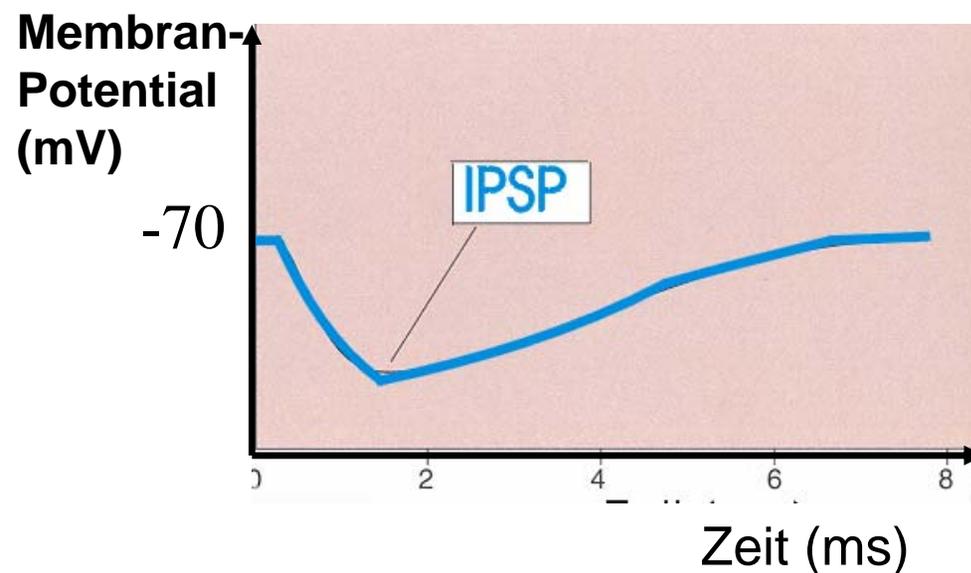


Inhibitorische Neurotransmitter
z.B.

**Gamma-aminobuttersäure
(GABA)**

Glyzin

Öffnen Chloridkanäle



graduierte Hyperpolarisation

inhibitorisches postsynap-
tisches Potential (IPSP)

Neurotransmitterrezeptoren

1. Ionotrope Rezeptoren

LIGANDENGESTEUERTE Ionenkanäle

Beispiel: nikotinischer Acetylcholinrezeptor

AMPA-Glutamatrezeptor

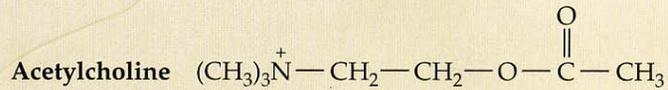
2. Metabotrope Rezeptoren

Rezeptorprotein ist gekoppelt an G-Protein,
aktiviert Enzymkaskade;

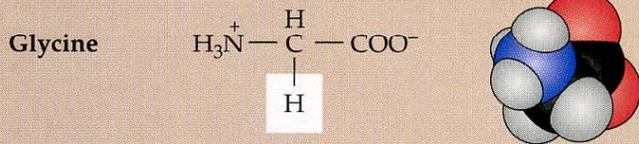
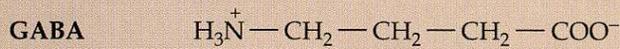
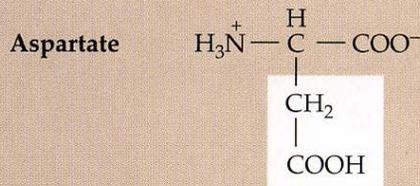
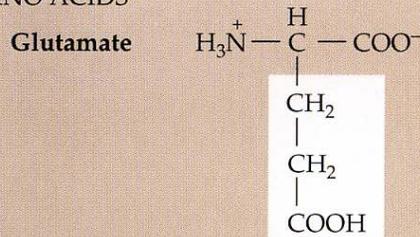
Bildung „second messenger“; Steuerung
von Ionenkanälen

Beispiel: mGlu-Rezeptor

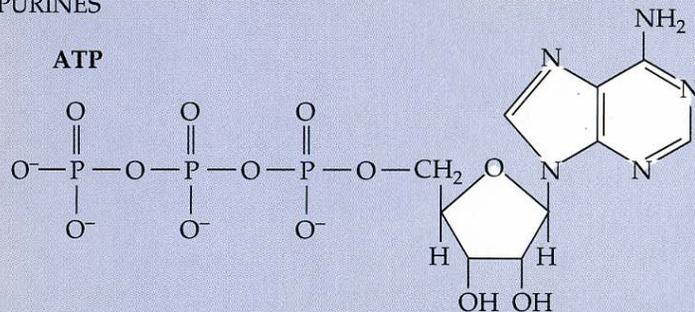
Small-Molecule Neurotransmitters



AMINO ACIDS

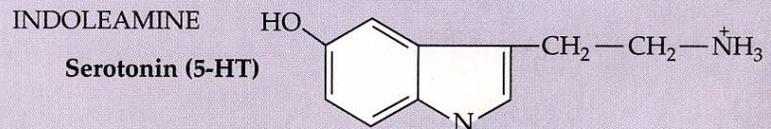
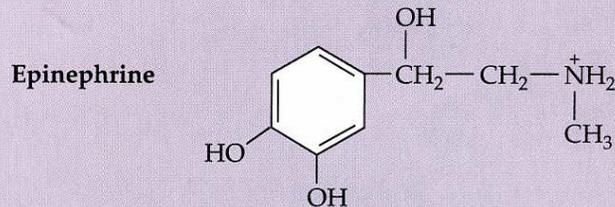
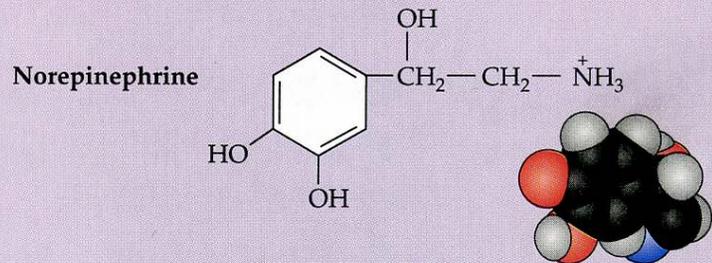
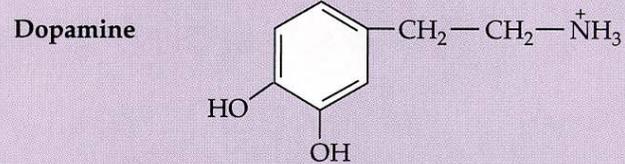


PURINES



BIOGENIC AMINES

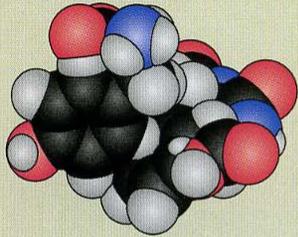
CATECHOLAMINES



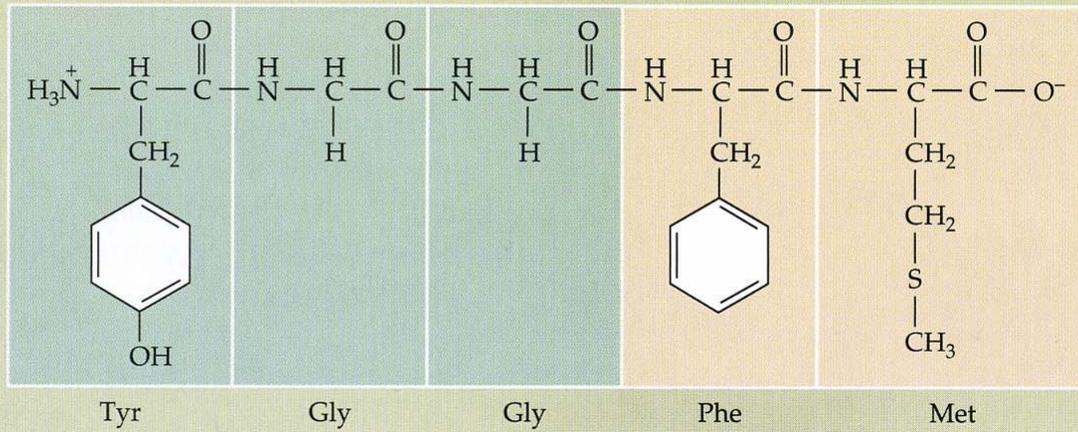
IMIDAZOLEAMINE



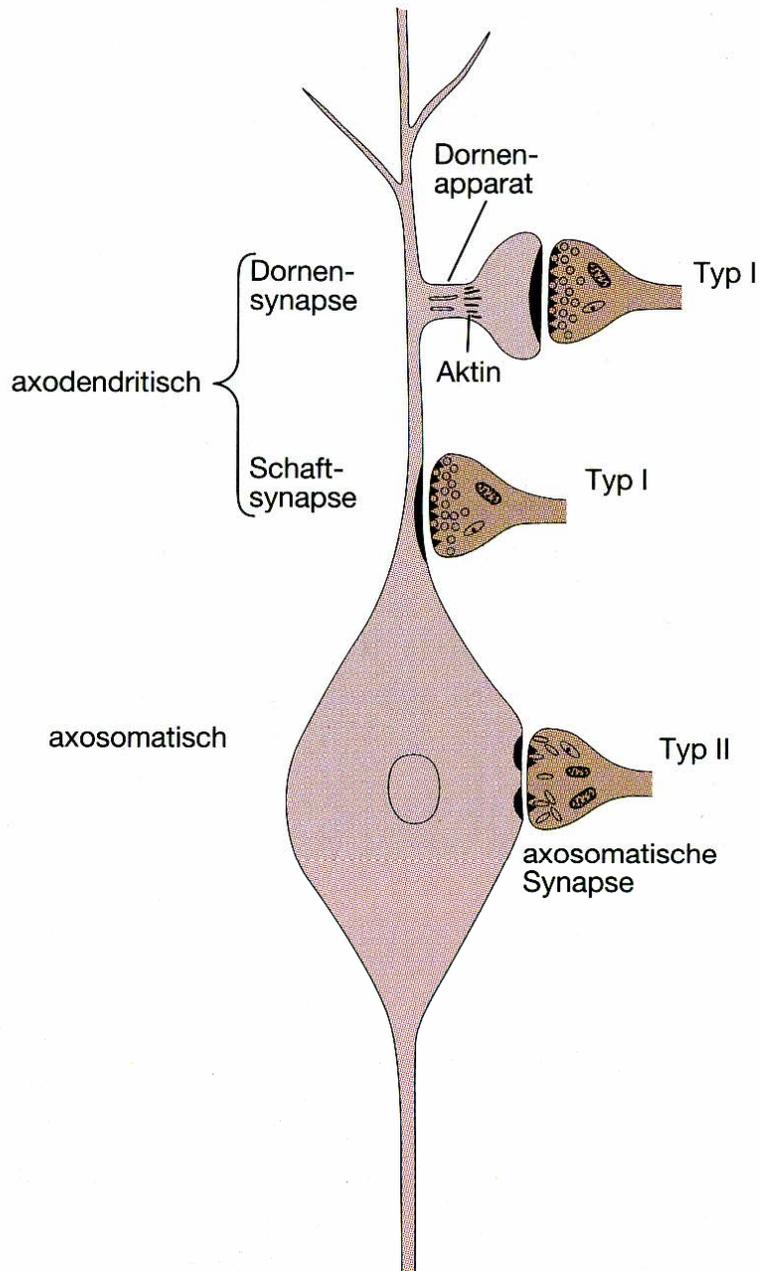
Peptide Neurotransmitters



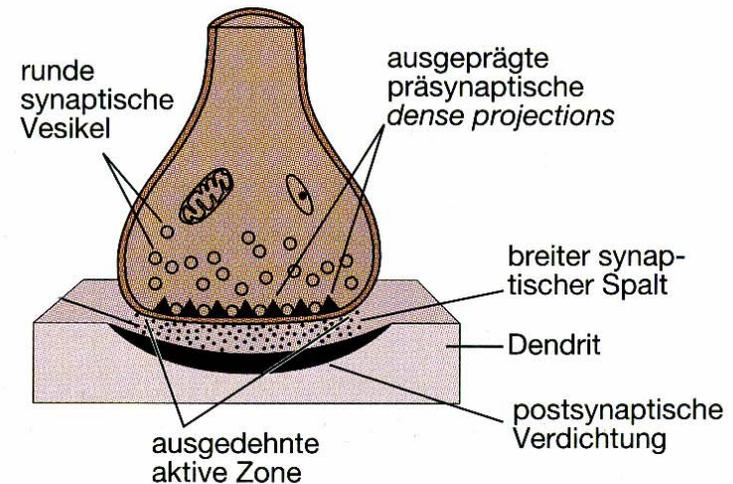
Example: **Methionine enkephalin** (Tyr–Gly–Gly–Phe–Met)



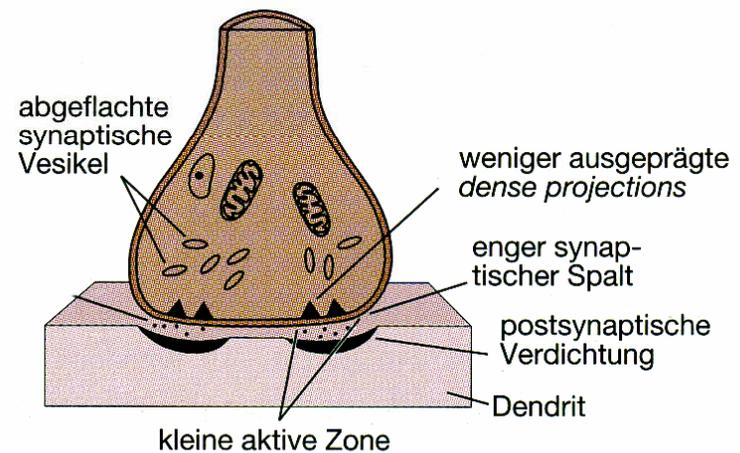
Anatomie erregender versus hemmender Synapsen



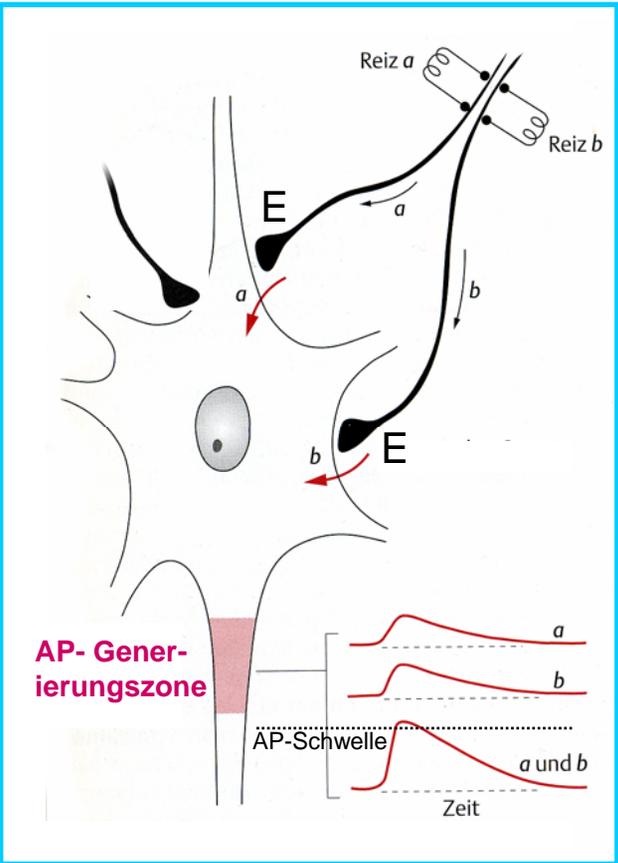
Typ I erregend (glutaminerg)



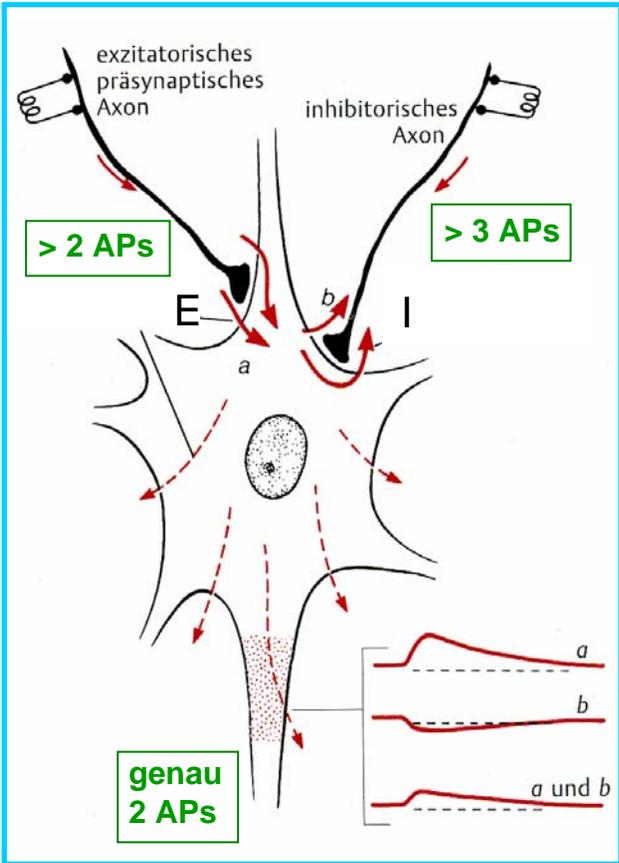
Typ II hemmend (GABAerg)



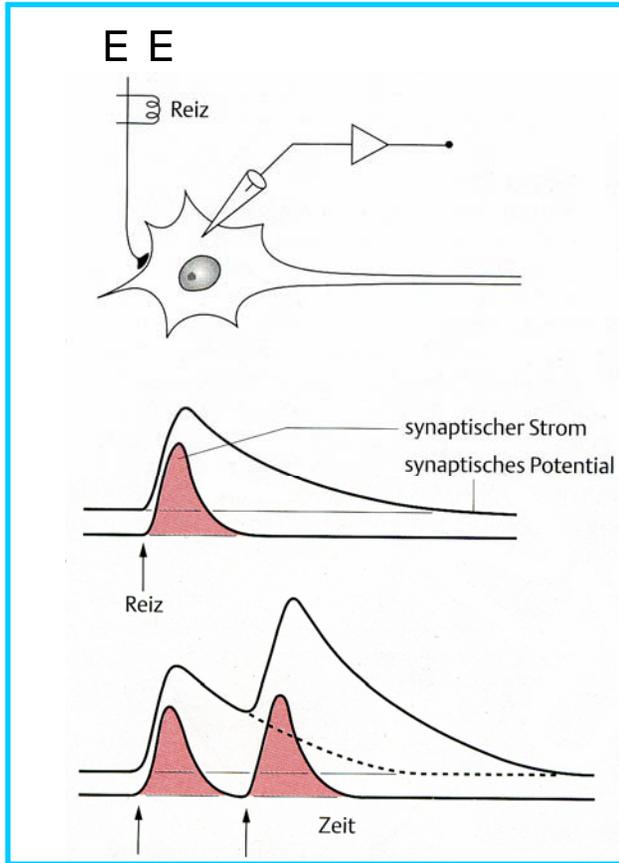
Neuronales Rechnen



Räumliche Summation



Räumliche Subtraktion



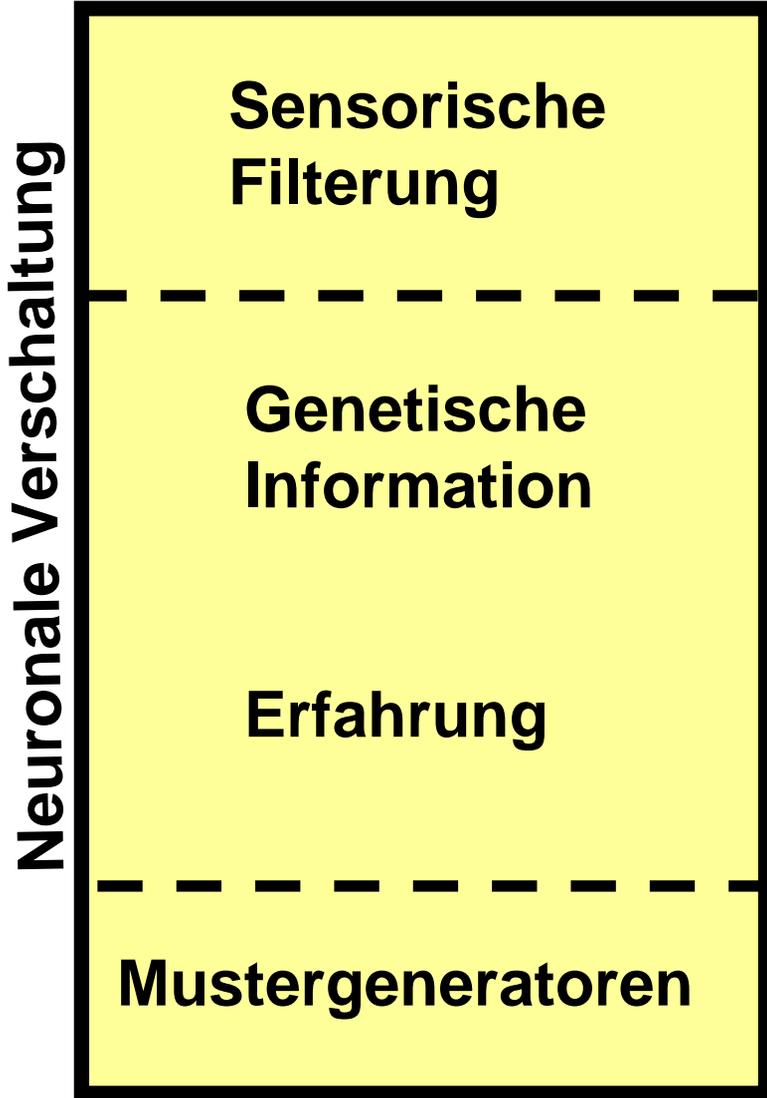
Zeitliche Summation

Zusammenfassung: **Synaptische Übertragung**

- **Elektrische versus chemische Synapsen** (Anatomie und Unterschiede: Geschwindigkeit, Genauigkeit, Bidirektionalität, Modulierbarkeit)
- **Synaptische Prozesse:** AP → V-abh.-Ca-Kanäle → $[Ca]^{+}$ → Vesikel fusionieren an präsyn. Membran → Transmitterausschüttung → Postsynaptische Rezeptoren aktiviert → IPSPs oder EPSPs
- Postsynaptische Reaktion hängt vom Rezeptor und nicht vom Neurotransmitter ab
- **Ionotrope** versus **metabotrope** Rezeptoren
- Neurotransmitterklassen: Acetylcholin, Aminosäuren (Glu, GABA, Gly)
Biogene Amine (Dopamin, Noradrenalin), Peptide (Enkephalin)
- Räumlich/zeitliche Summation und Subtraktion durch Neurone

Einfache neuronale Schaltkreise

Sensorischer Input



Neuronale Verschaltung

Sensorische Filterung

Genetische Information

Erfahrung

Mustergeneratoren

Funktionelle Hauptteile des Zentralnervensystems

Sensorische Zentren

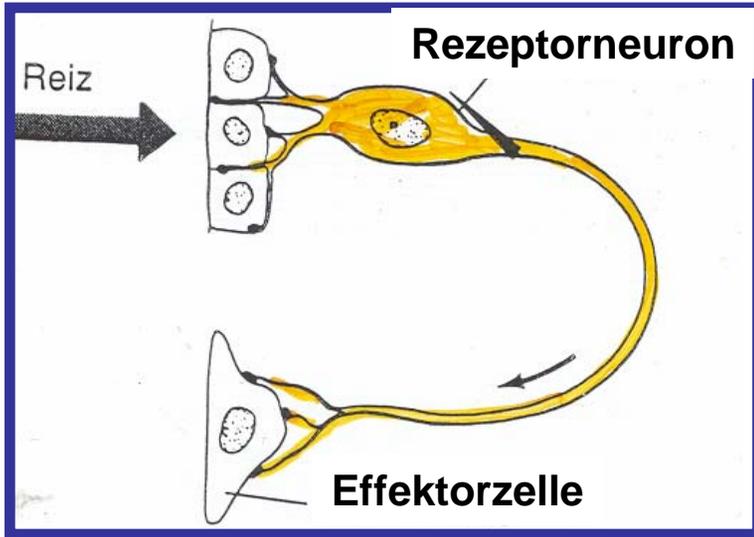
Assoziative Schaltkreise

Motorische Zentren

Motorischer Output

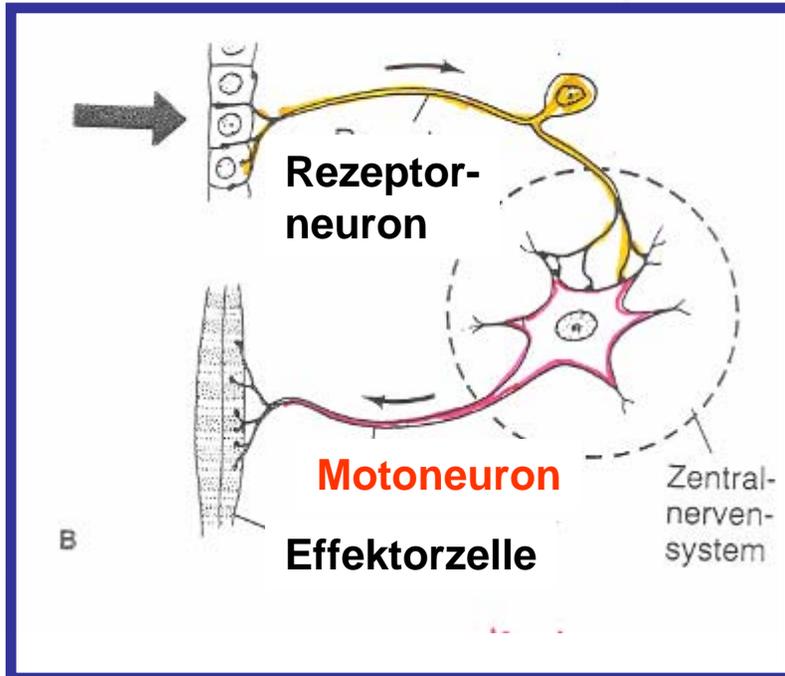


Hypothetischer Ausgangszustand

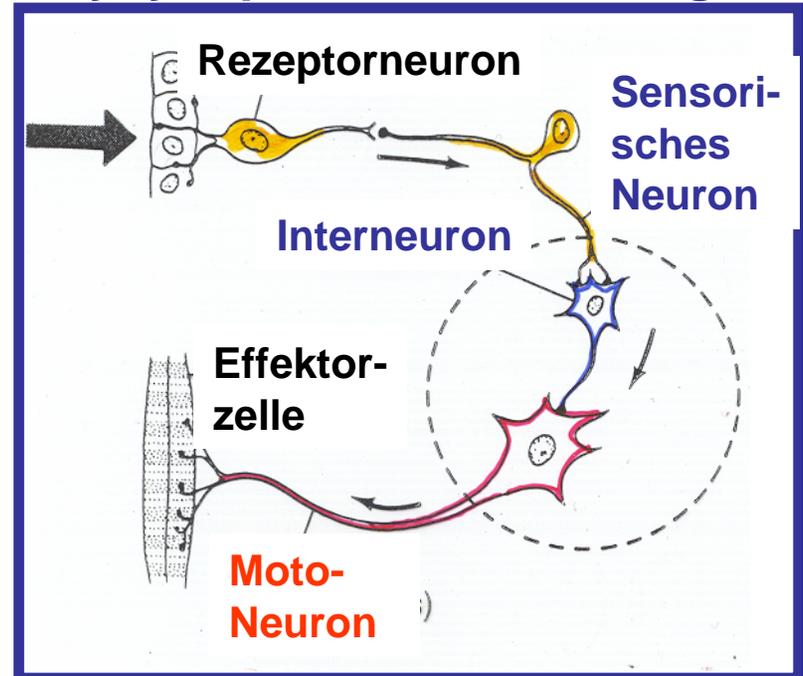


Einfache neuronale Schaltkreise

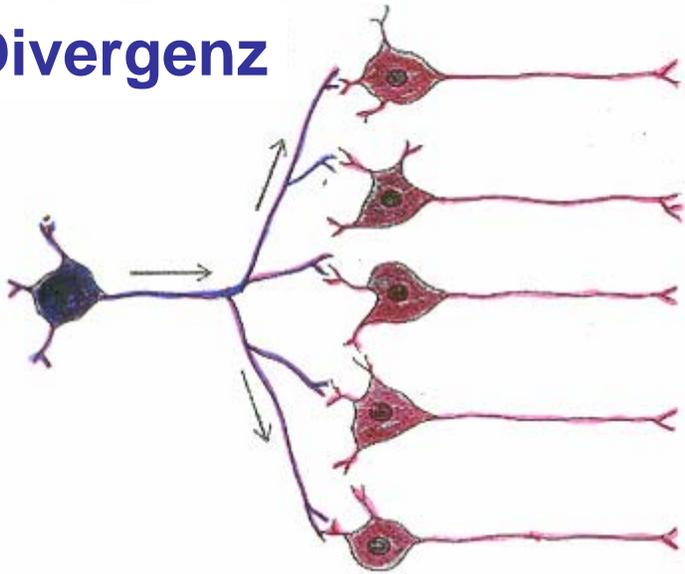
Monosynaptischer Reflexbogen



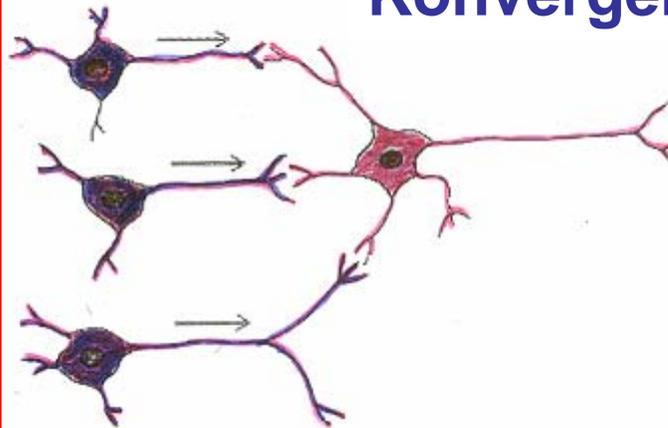
Polysynaptischer Reflexbogen



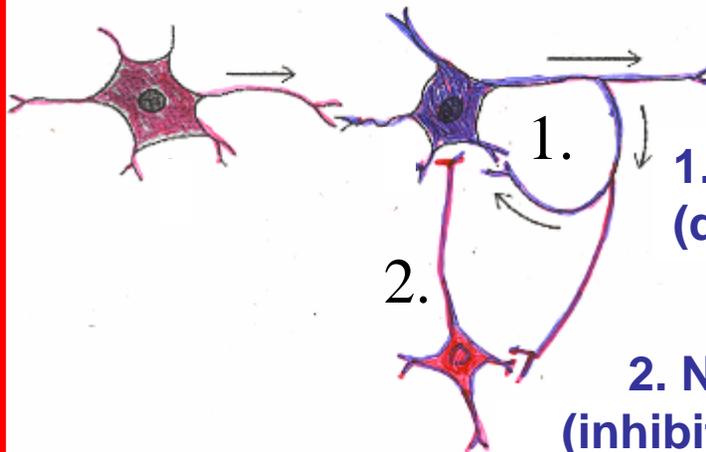
Divergenz



Konvergenz



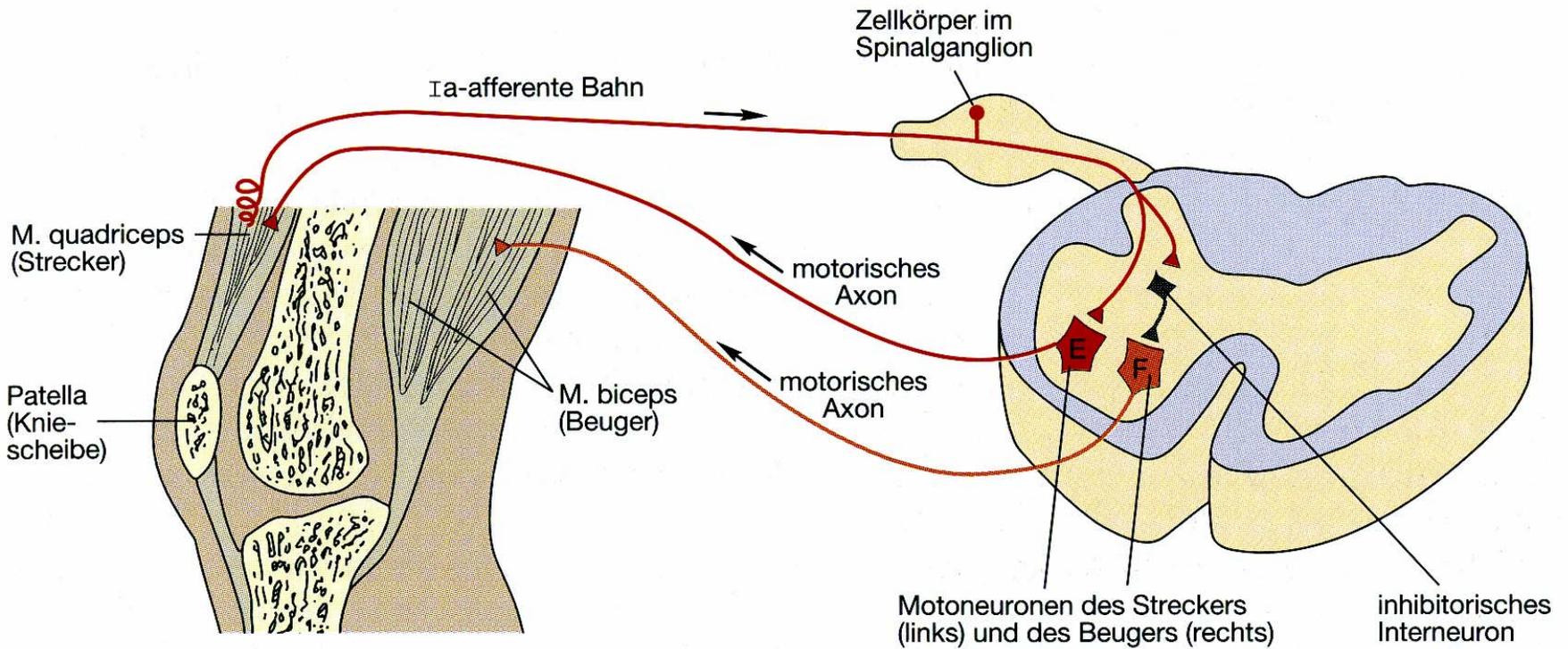
Feedback



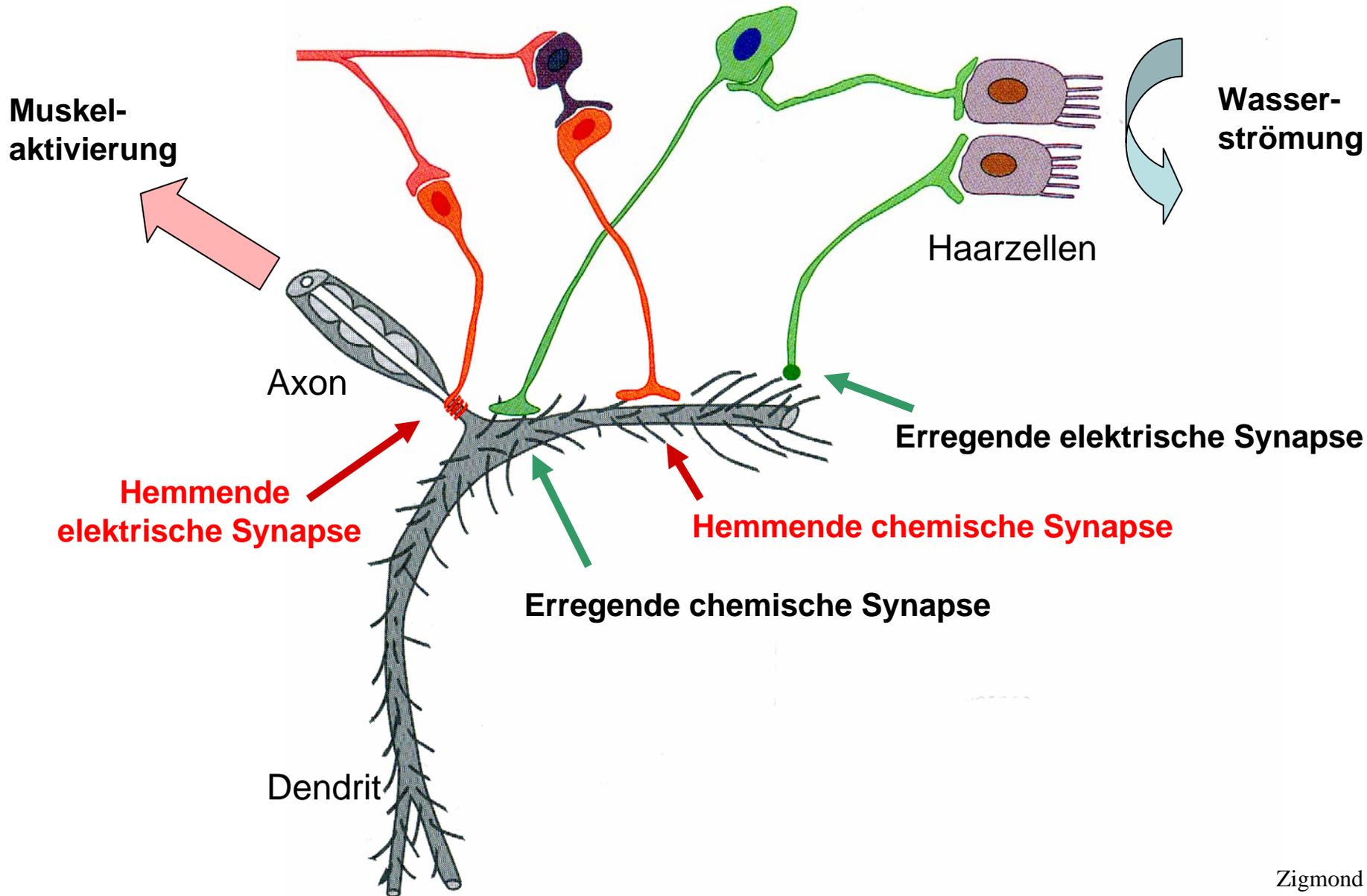
1. Positives Feedback
(direkt exzitatorisch)

2. Negatives Feedback
(inhibitorisches Interneuron)

Ein einfacher Schaltkreis: Kniesehenenreflex



Die Mauthner Zelle → Fluchtreflex bei Knochenfischen



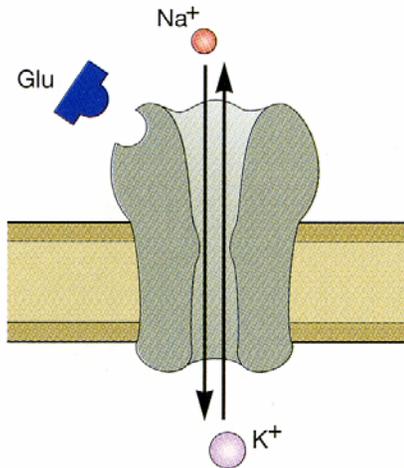
Zusammenfassung: Einfache Schaltungen

- Verschaltungsprinzipien: **Divergenz, Konvergenz, Feedback**
- **monosynaptische /polysynaptische Reflexbögen**
 - Kniesehenreflexspiel
 - Mauthnerzelle - Fluchtreflex

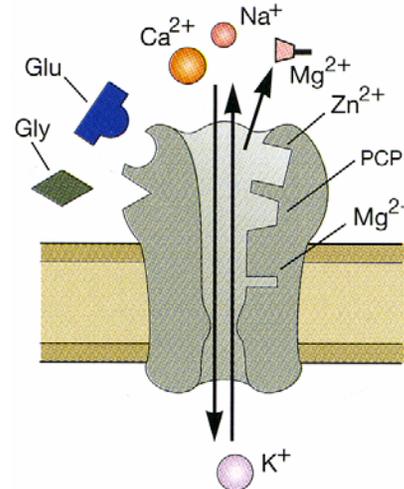
Modulation von Synapsen

Die wichtigsten erregenden Rezeptoren: Glutamatrezeptoren

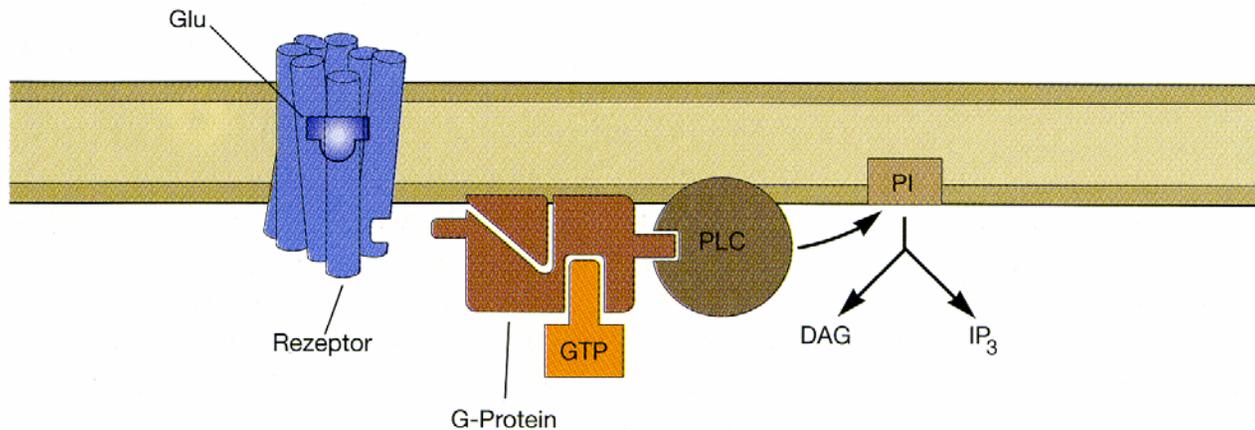
AMPA - Rezeptor
(Kainat, Quisqualat)



NMDA - Rezeptor



**Ionotrope
Glu-Rezeptoren**



**Metabotroper
Glu-Rezeptor**

Verhalten unterschiedlicher ionotroper (I) und metabotroper (M) Rezeptoren und ihre Neurotransmitter

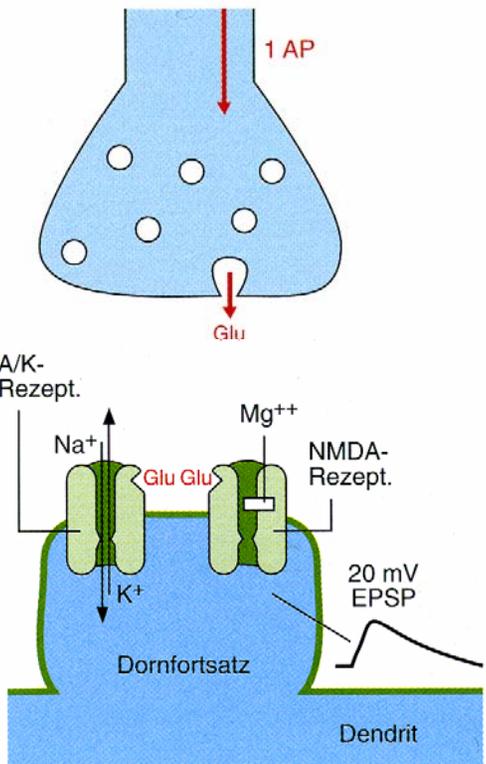
Synaptic Receptor Types

Neurotransmitter	Receptor	E_{syn}	Type	Comments
Glutamate	Non-NMDA	0	I	Very fast
Glutamate	NMDA	0	I	Voltage dependent
GABA	GABA _A	-70	I	Fast inhibition
GABA	GABA _B	-100	M	Slow inhibition
ACh	Nicotinic	-5	I	Neuromuscular junction
ACh	Muscarinic	-90	M	Decreases K conductance
Noradrenaline	α_2	-100	M	Increases K conductance
Noradrenaline	β_1	-100	M	Decreases K conductance

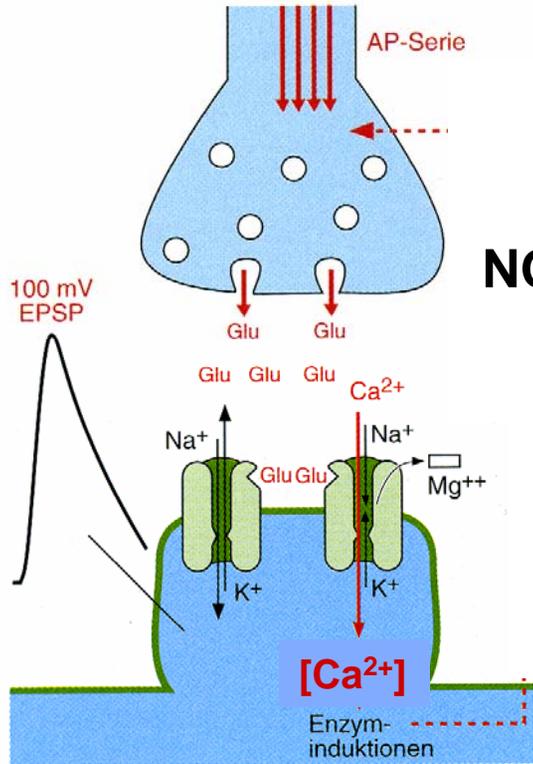
List of major types of synaptic receptors and the associated neurotransmitters. The four top listings are the dominant transmitters used for fast communication in the vertebrate central nervous system. The synaptic reversal potential E_{syn} is specified in millivolts absolute potential. The type corresponds to either ionotropic (I) or metabotropic (M) receptors.

Interaktion zwischen AMPA und NMDA Glutamatrezeptoren

Normale Übertragung



Synapsenpotenzierung



→ Posttetantische Potenzierung
 → Langzeitpotenzierung (LTP)

Präsynaptisch:
 Verbesserung der
 Glutamat-Vesikel
 Ausschüttung

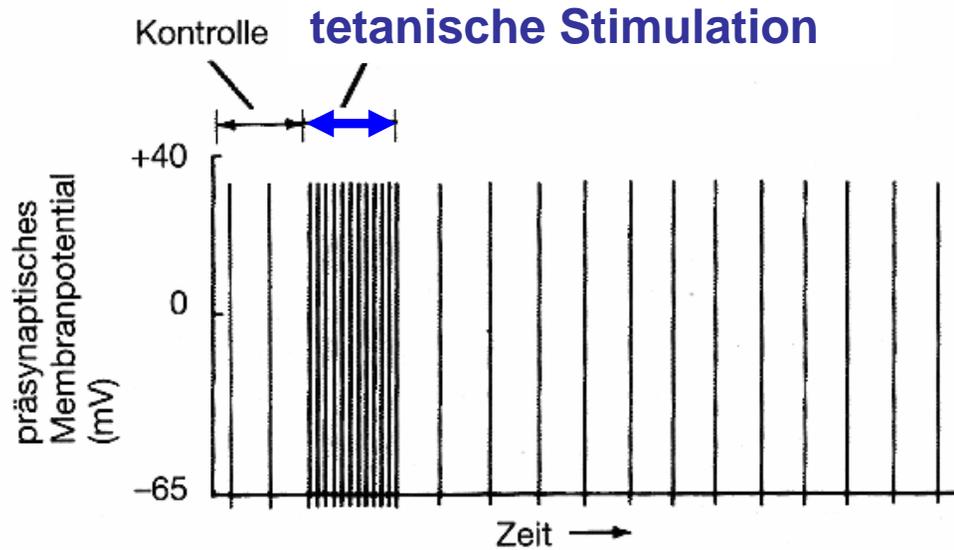
NO-synthase

Calmodulin-kinase,
 Tyrosin-kinase

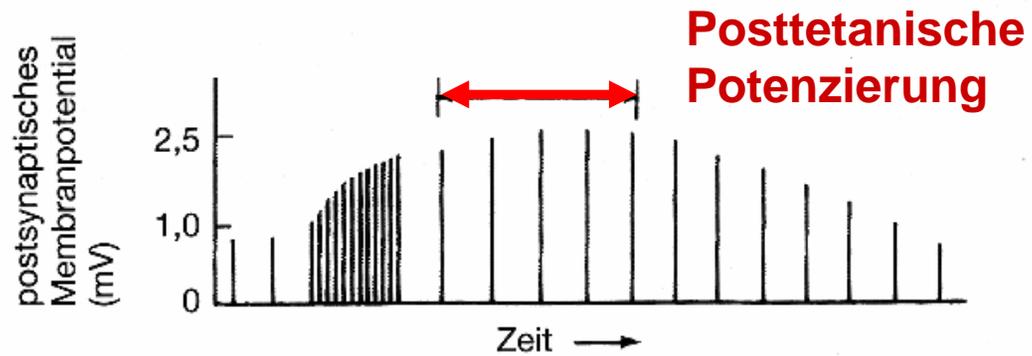
Postsynaptisch:
 Genaktivierung → mehr AMPA-Kanäle
 → Änderung der spine-Form

Posttetanische Potenzierung

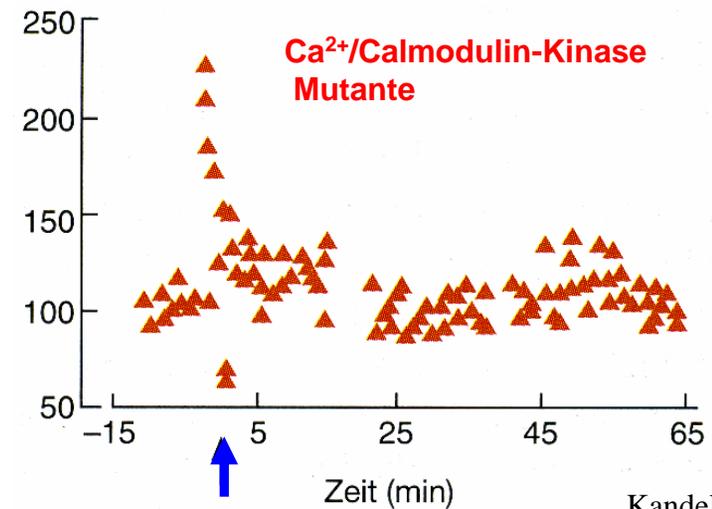
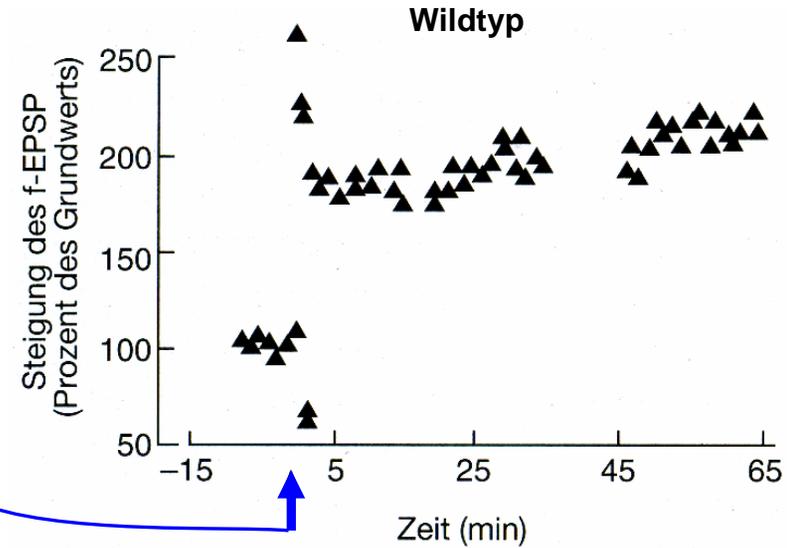
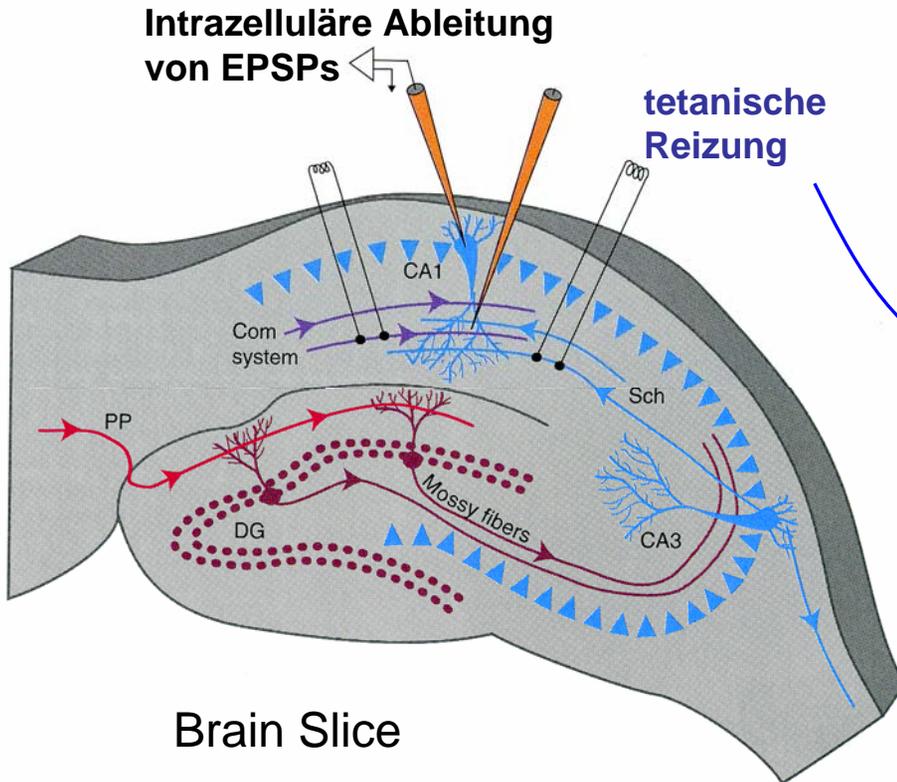
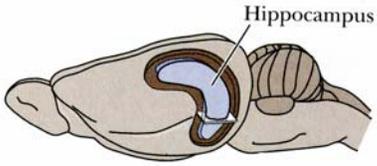
Präsynaptisches Neuron



Postsynaptisches Neuron

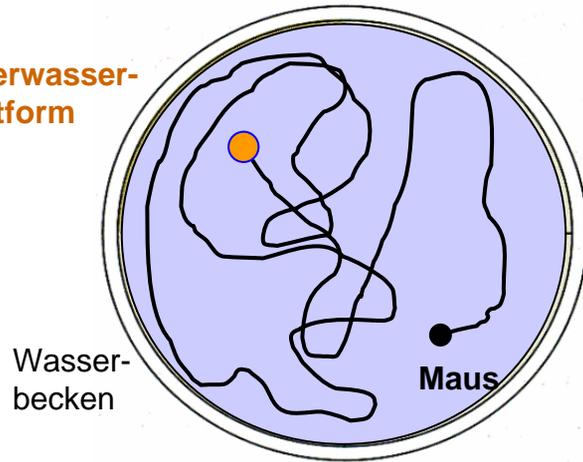


Langzeitpotenzierung im Hippocampus

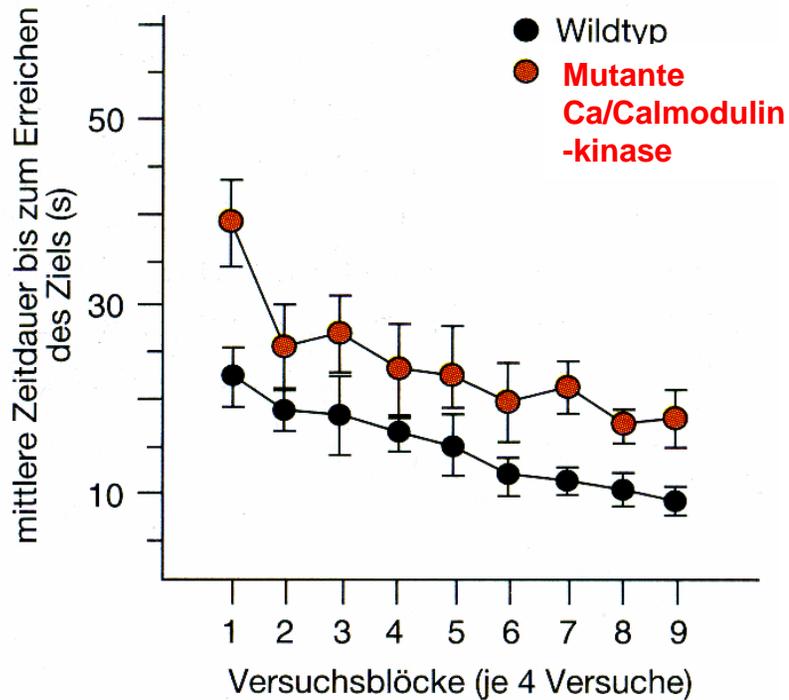
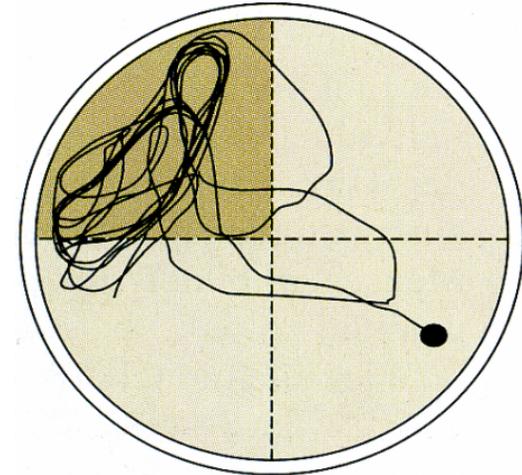


LTP ist wichtig für Raumgedächtniss

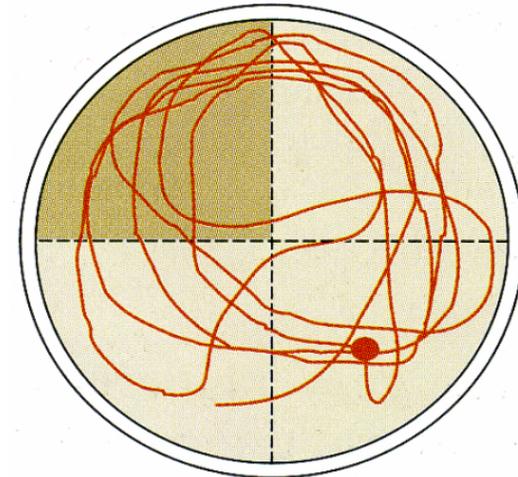
Unterwasser-
plattform



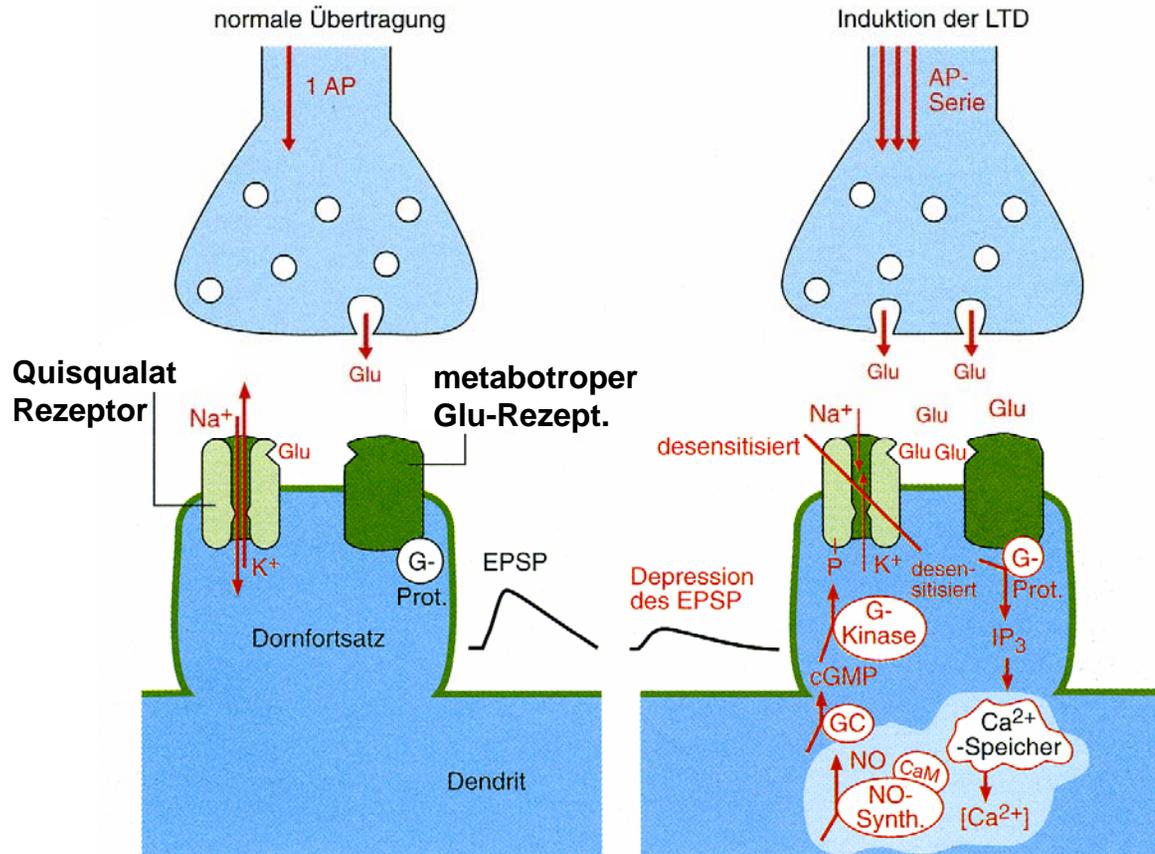
Wildtyp



Mutante (Tyrosin-kinase)



Glutamatrezeptoren: - Langzeitdepression



Präsynaptische Modulation

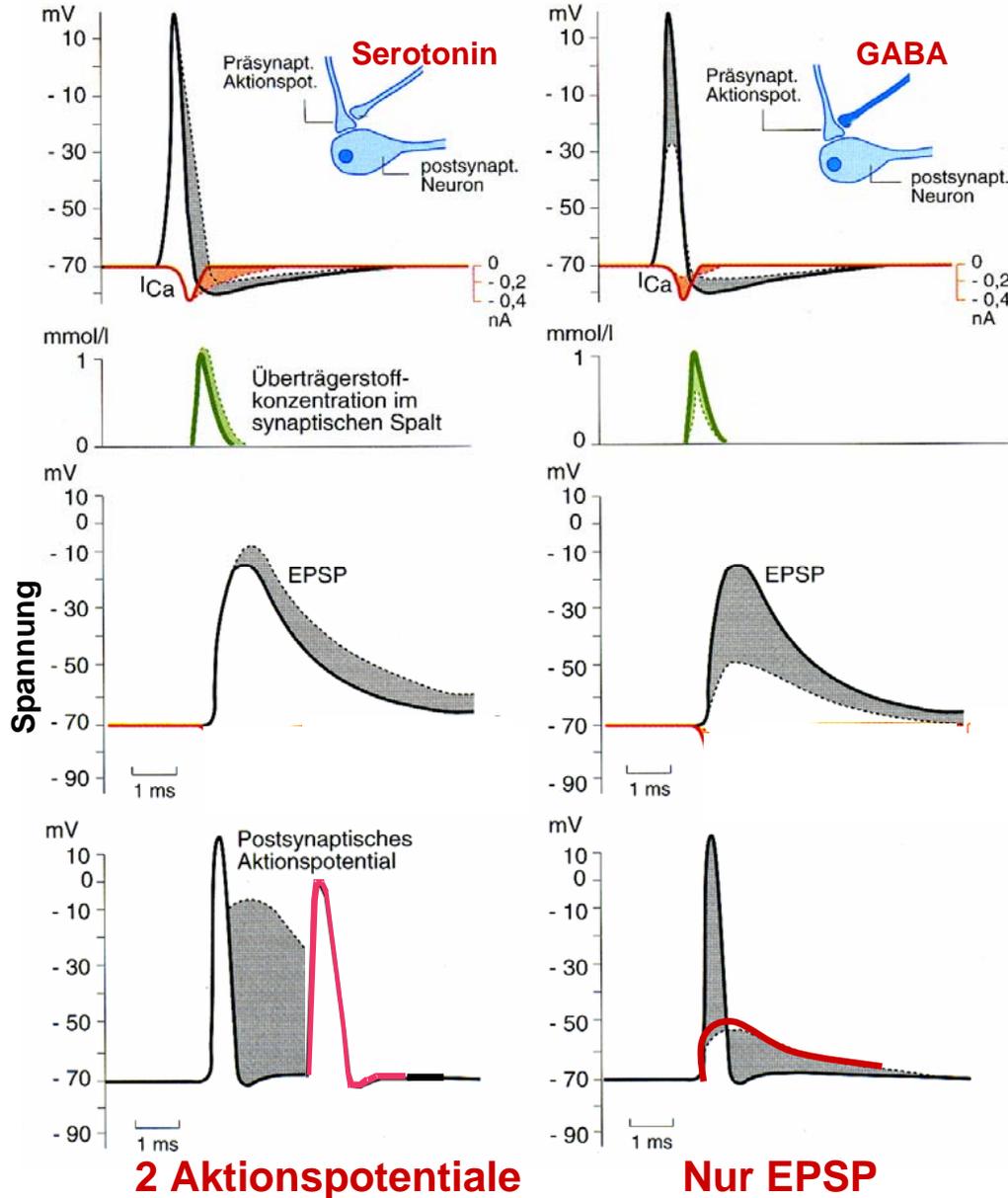
Präsynaptische Bahnung/Facilitation

Präsynaptische Hemmung

Prä-synapse

Synap-tischer Spalt

Post-synapse



Serotonin blockiert K-Kanäle → AP wird verlängert

GABA öffnet Cl-kanäle → AP-Amplitude wird reduziert

2 Aktionspotentiale

Nur EPSP

Zusammenfassung: **Synaptische Modulation**

- Beispiel synaptischer Modulation/Modifikation: Glutamatrezeptoren

Synaptische Potenzierung: AMPA / NMDA Rezeptoren

bewirken präsynaptische und postsynaptische Modifizierung

→ Posttetanische Potenzierung

→ **Langzeitpotenzierung (LTP)** im Hippocampus (Raumgedächtniss)

Langzeitdepression (LTD) bei Zusammenspiel

von **Quisqualat / mGlu** Rezeptoren

- **Präsynaptische Modulation** durch axo-axonale Synapsen:
Hemmung (GABA) oder Bahnung/Fazilitation (Serotonin)