

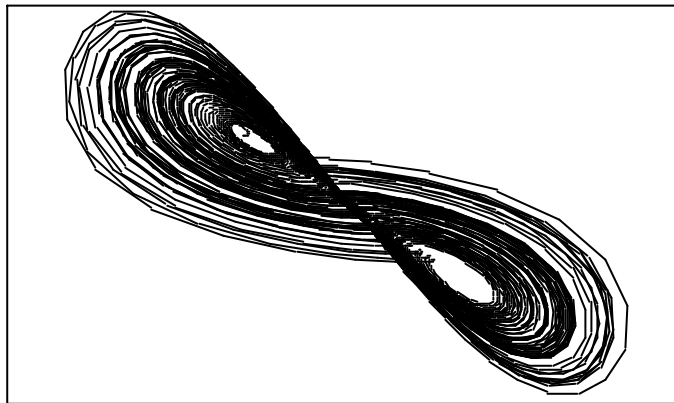
Charakterisierung einer Dynamik im Phasenraum

wie dicht ist der Phasenraum besetzt ?
Selbstähnlichkeit ? Skalenverhalten ?

Information ?
Entropie ?

$x(t+\tau)$

Vorhersagbarkeit ?



$x(t)$

linear ?
nichtlinear ?

deterministisch ?
stochastisch ?

Raum-Zeit-Verhalten ?

modellierbar ?
beeinflußbar ?

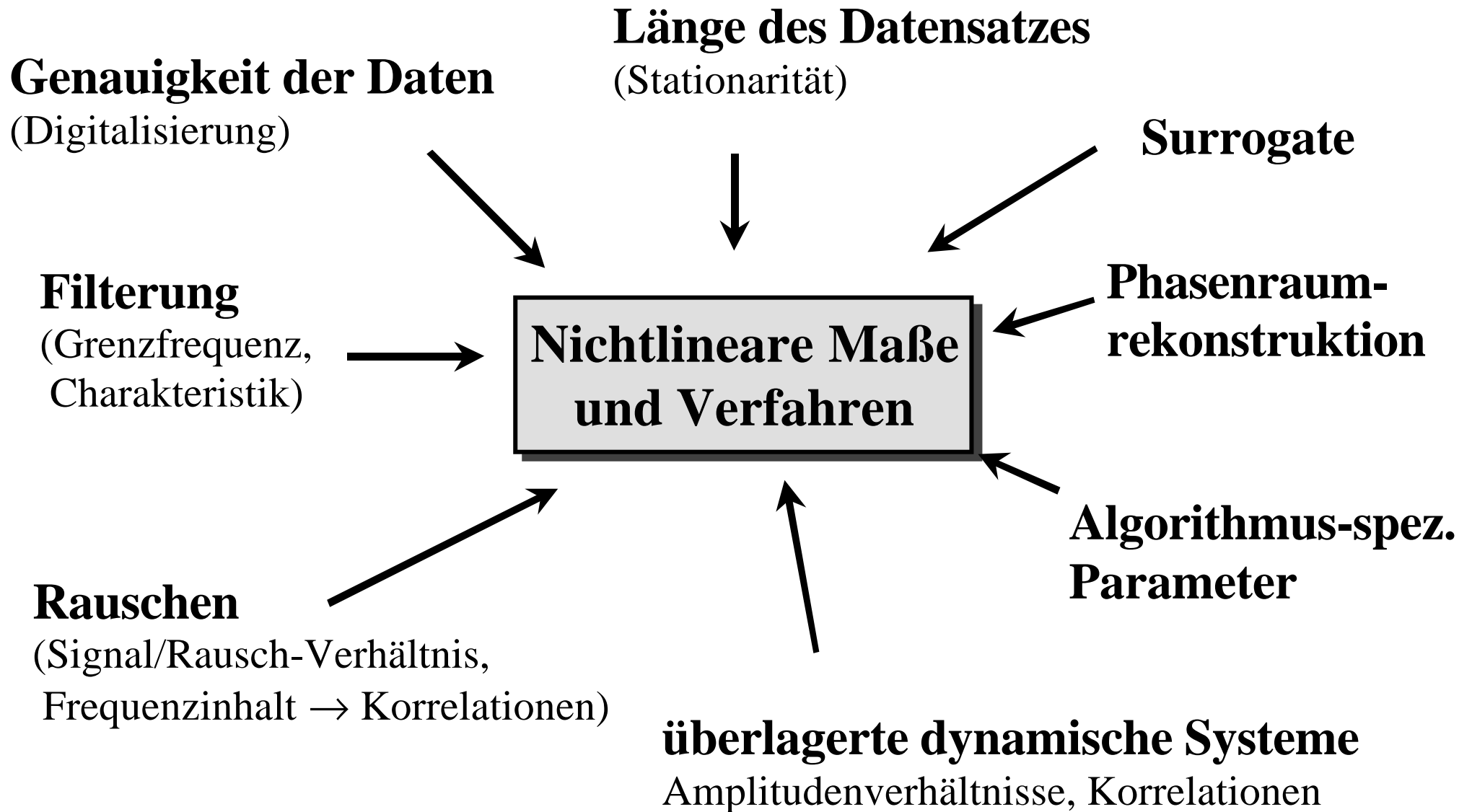
Charakterisierung einer Dynamik

Maß	Eigenschaften	Charakterisierung
Dimension	statisch	Skalenverhalten, Anzahl der Freiheitsgrade, Komplexität
Lyapunov-Exponenten	dynamisch	Divergenz/Konvergenz, Langzeitverhalten, Stabilität, Prädiktionszeit
Entropie	dynamisch	Unordnung, Information, Komplexität, Prädiktionszeit

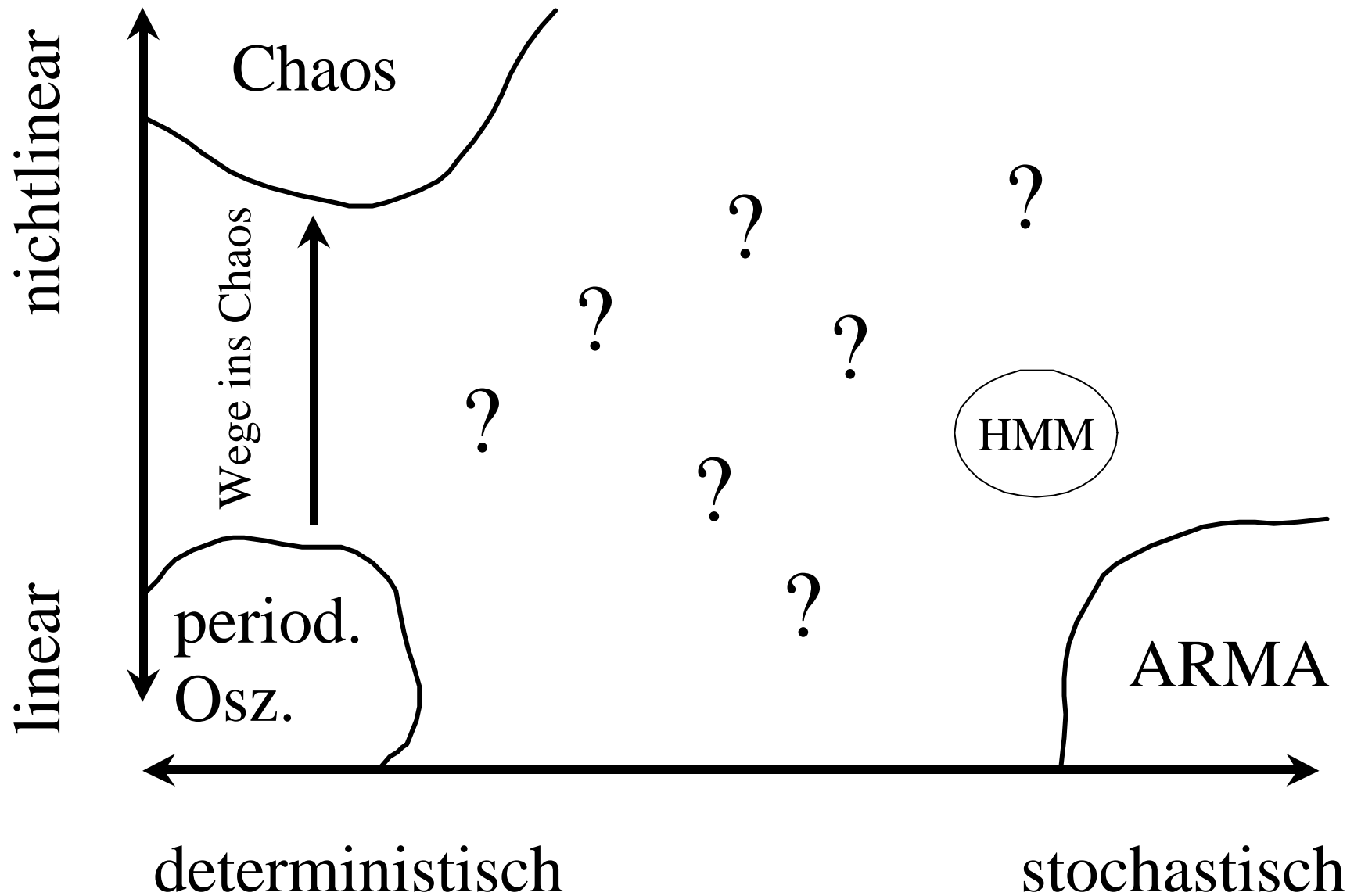
Charakterisierung einer Dynamik

Dynamik	Eigenschaften	charakterisierende Maße
regulär	deterministisch Langzeitverhalten prädizierbar starke Kausalität	D ganzzahlig, $\lambda_1 = K = 0$
chaotisch	deterministisch begrenzt prädizierbar Verletzung der starken Kausalität Nichtlinearität	D fraktal, $(\lambda_1, K) > 0$
stochastisch	Rauschen/Zufall nicht prädizierbar unkontrollierte Einflüsse äußere Störungen	$(D, \lambda_1, K) \rightarrow \infty$

Nichtlineare Zeitreihenanalyse: Beeinflussende Faktoren

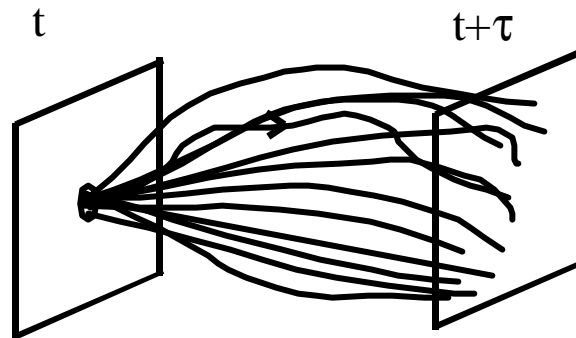


Zeitreihenanalyse - System-Charakterisierung



Nichtlineare dynamische Systeme

Verletzung der starken Kausalität
(ähnliche Ursachen haben unterschiedliche Wirkungen)



offene Systeme, Dissipation, Ungleichgewicht, Irreversibilität



deterministisches Chaos, (Raum-Zeit-)Strukturbildung, Ordnung, Unordnung, Selbstorganisation, kooperative Phänomene, ...

Biologische Systeme

Eigenschaften:

- Energie- und Materieaustausch mit Umgebung
→ Aufrechterhaltung eines Ungleichgewichtszustands
- chemische Reaktionen und Transportphänomene
Regelung abhängig von hochgradig nichtlinearen Faktoren
(Aktivierung, Inhibition, Schwellwerte, Sättigung, ...)
- dissipative Phänomene
- Leben

Biologische Systeme

was ist Leben ?

Leben intuitiv erkennbar, aber auch definierbar ?

Eigenschaften:

- Fähigkeit der Fortpflanzung
- Reaktion auf äußere Reize
- Wachstum

gelten aber auch für unbelebte Systeme (z.B. Flammen, Kristalle, Blasen)

keine eindeutige Trennung außerhalb der sinnlichen Wahrnehmung (z.B. Viren)

Biologische Systeme

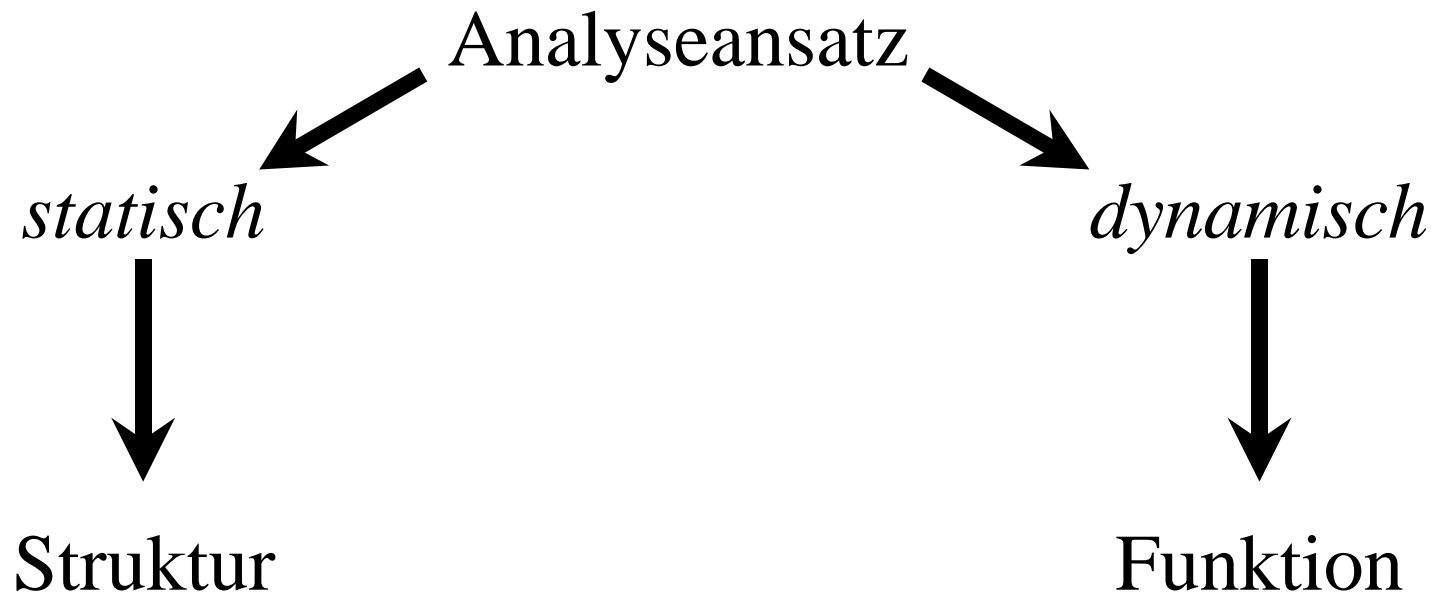
Leben:

naturwissenschaftl. nicht ausreichend durch Einzelmerkmale erklärbar, sondern nur als *komplexes* System mit

- hohem Maß an Organisation
- Anpassungsfähigkeit
- Differenzierbarkeit

Leben: Dynamik zwischen Ordnung und Zerfall

Analyse biologischer Systeme

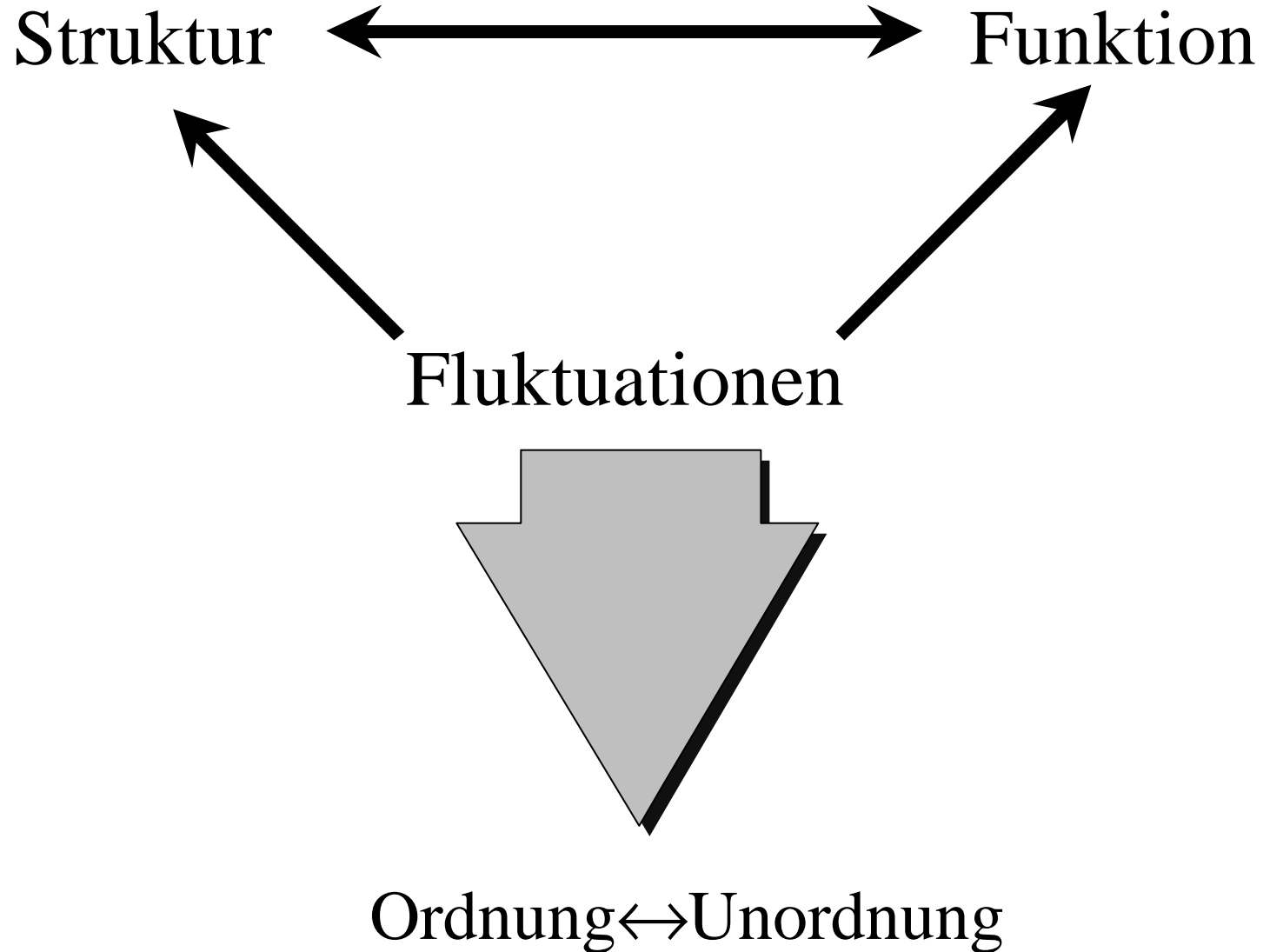


Wahl der Raum-Zeit-Skalen:

top → down

bottom → up

Analyse biologischer Systeme

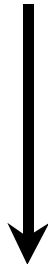


Strukturanalyse biologischer Systeme

biologisches System



typische Form/Gestalt



(Wieder)Erkennen

Einordnen in Gesamtsystem

Verstehen

Erkennen von Fehlstrukturen

Strukturanalyse biologischer Systeme

Mikrostruktur ←————→ Makrostruktur

Formbeschreibung



Grundformen

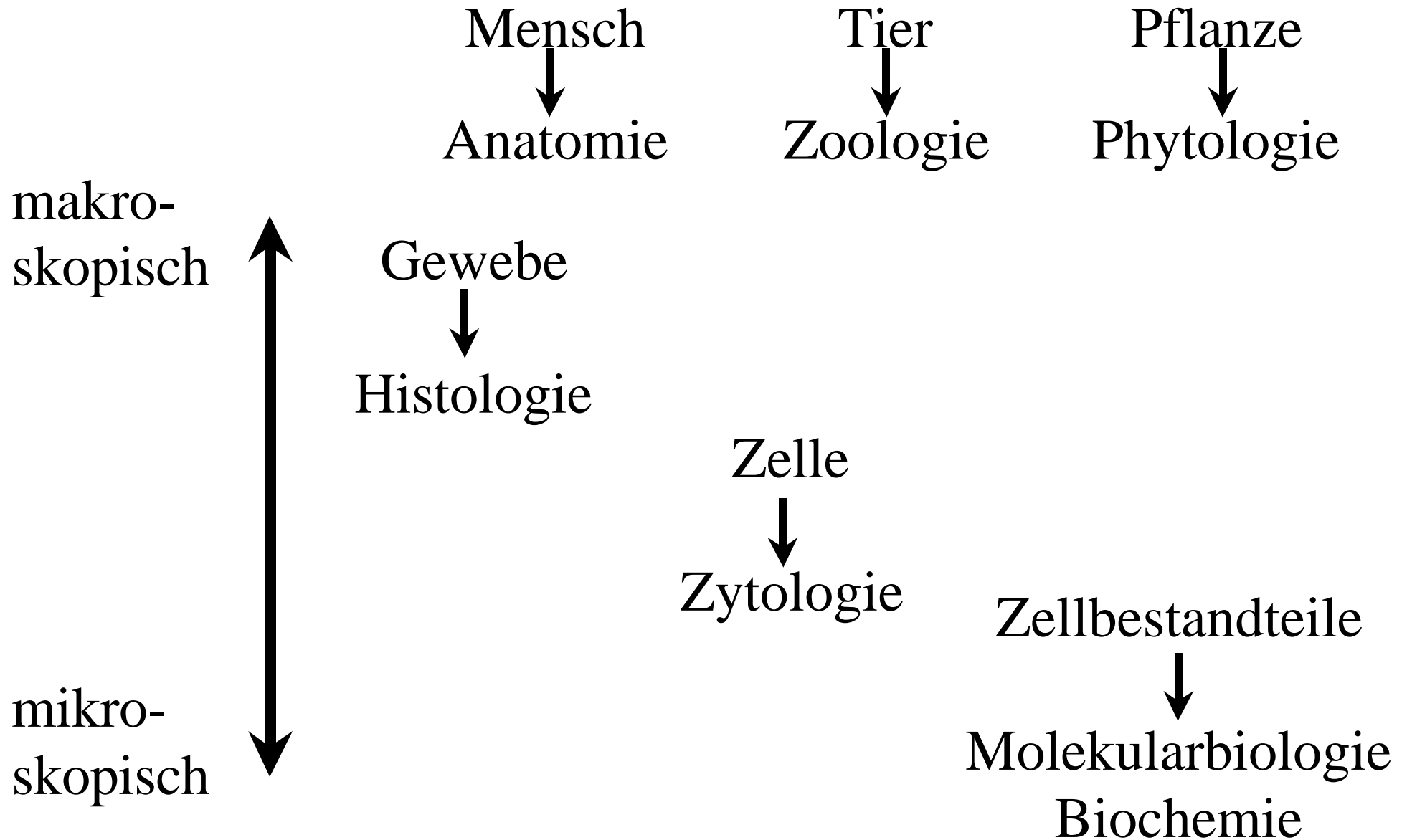


Variationen

mathematisch-physikalische Modelle
Messung, Informationsreduktion

mathematisch-physikalische Modelle
Formenvergleich

Strukturanalyse biologischer Systeme



Strukturanalyse biologischer Systeme

mathematische Analysen

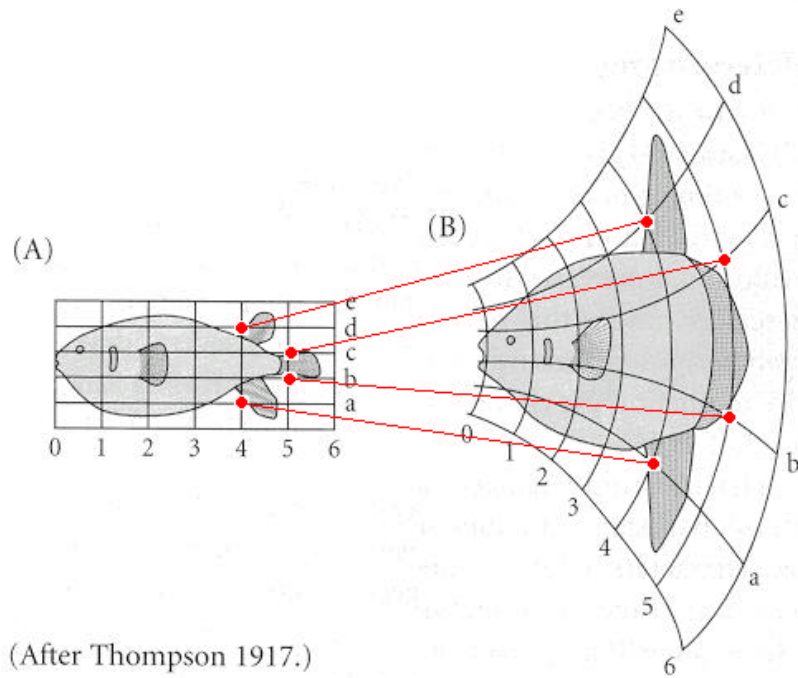
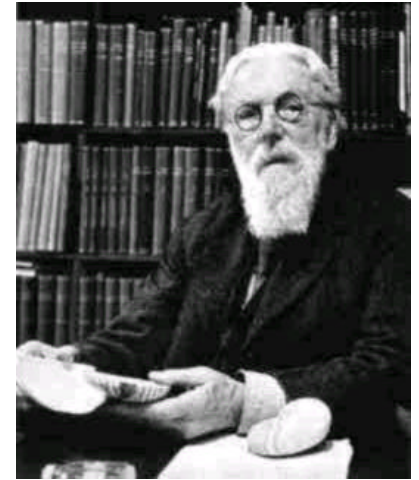
Formenvergleich (W. Thompson D'Arcy)

Es gibt Grundmuster von Bauplänen, die variiert werden können.

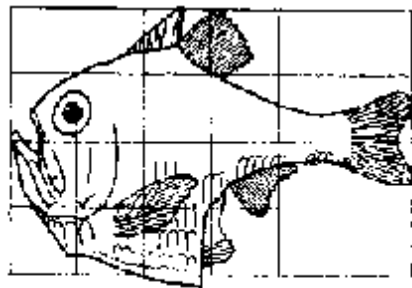
- Koordinatentransformation
(Änderung von Winkeln, Verzerrungen, Maßstabsänderungen)
- Symmetrien, Proportionen, Fibonacci-Reihe $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$
Goldener Schnitt

Strukturanalyse biologischer Systeme

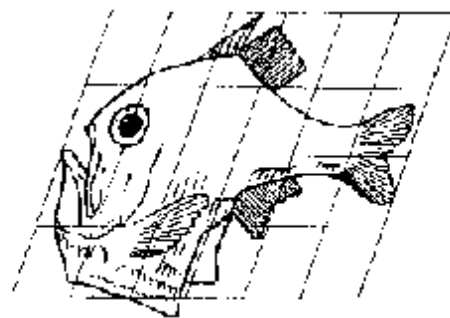
W. Thompson D'Arcy: On Growth and Form (1917)



(After Thompson 1917.)



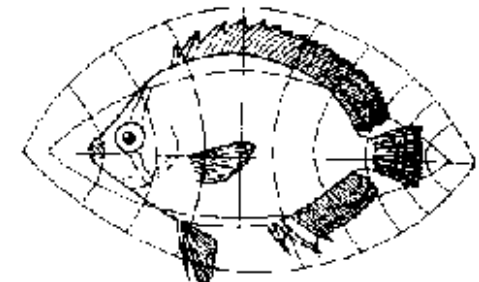
Argyropelecus olfersi.



Sternoptyx diaphana.



Scarus sp.



Pomacanthus.

Strukturanalyse biologischer Systeme

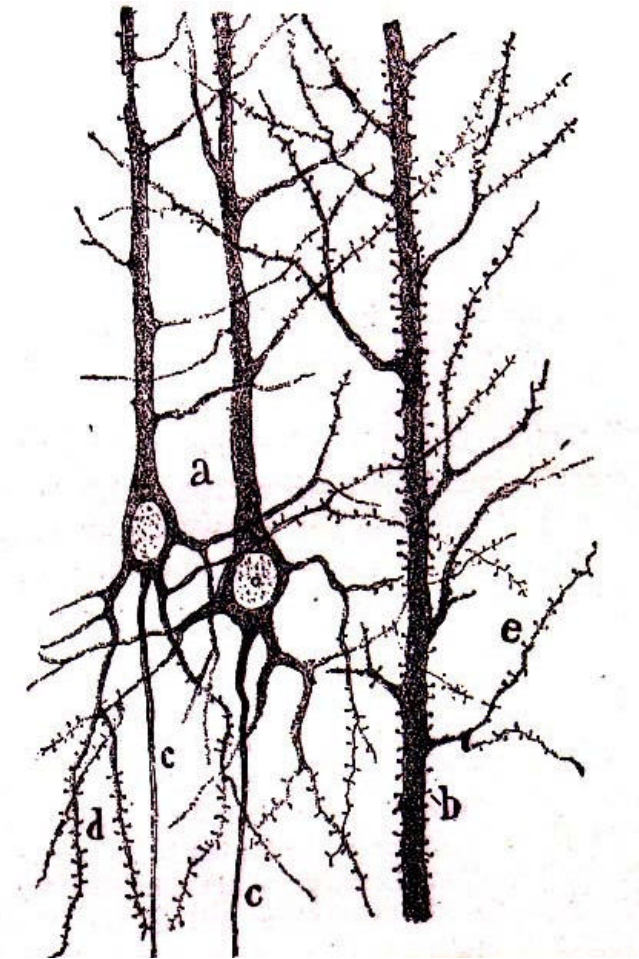
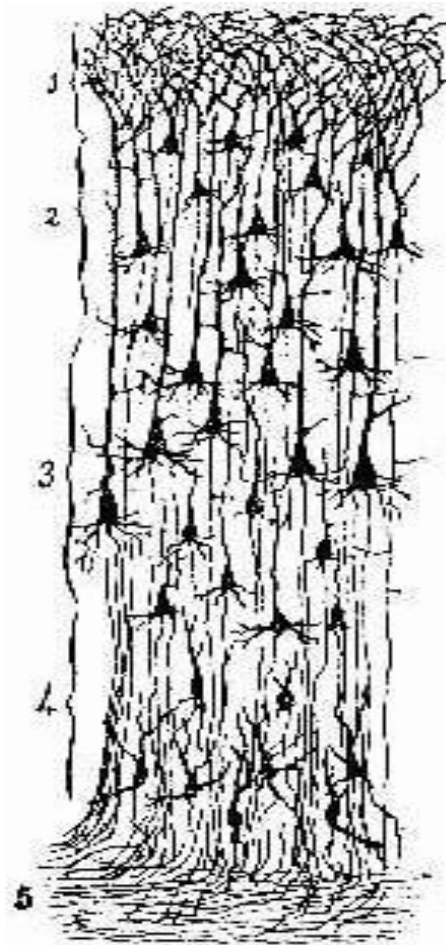
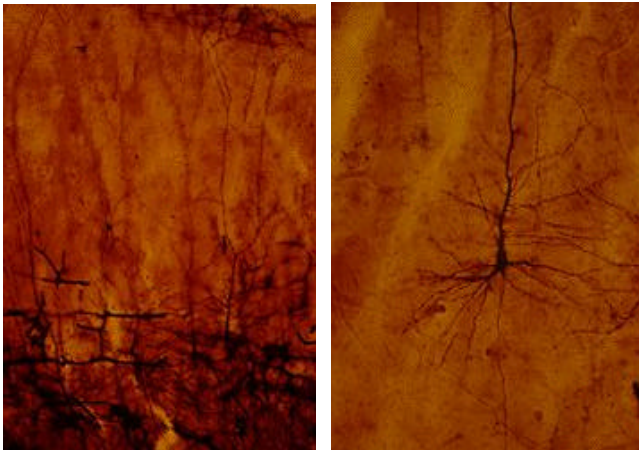
Bildgebende (bio-)physikalische Methoden

- (Licht-, Elektronen-, Rastersonden-)Mikroskopie
- Ultraschall, Dopplersonographie
- Computertomographie (CT)
- Magnetresonanztomographie (MRT)
- Positronenemissionstomographie (PET)
- Single Photon Emission Computed Tomographie (SPECT)
- Szintigraphie
- ...

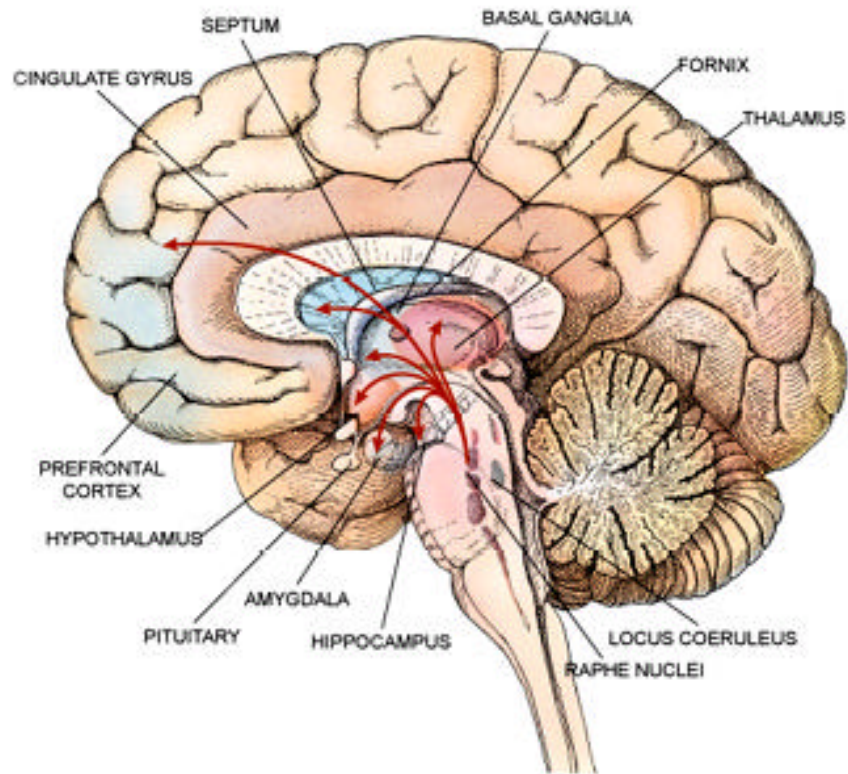
Strukturanalyse biologischer Systeme: Lichtmikroskopie



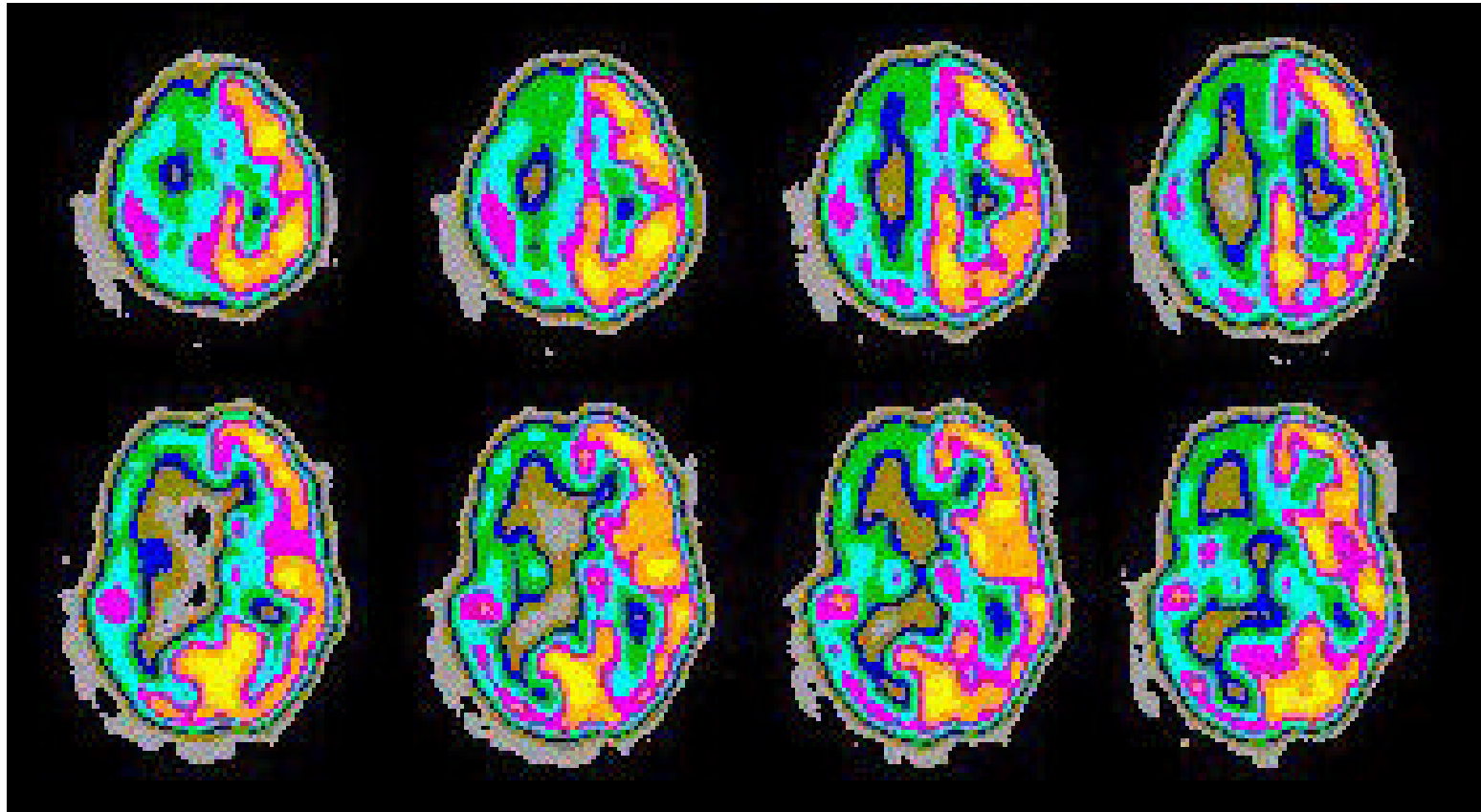
Santiago Ramon y Cajal, 1920



Strukturanalyse biologischer Systeme: MRT

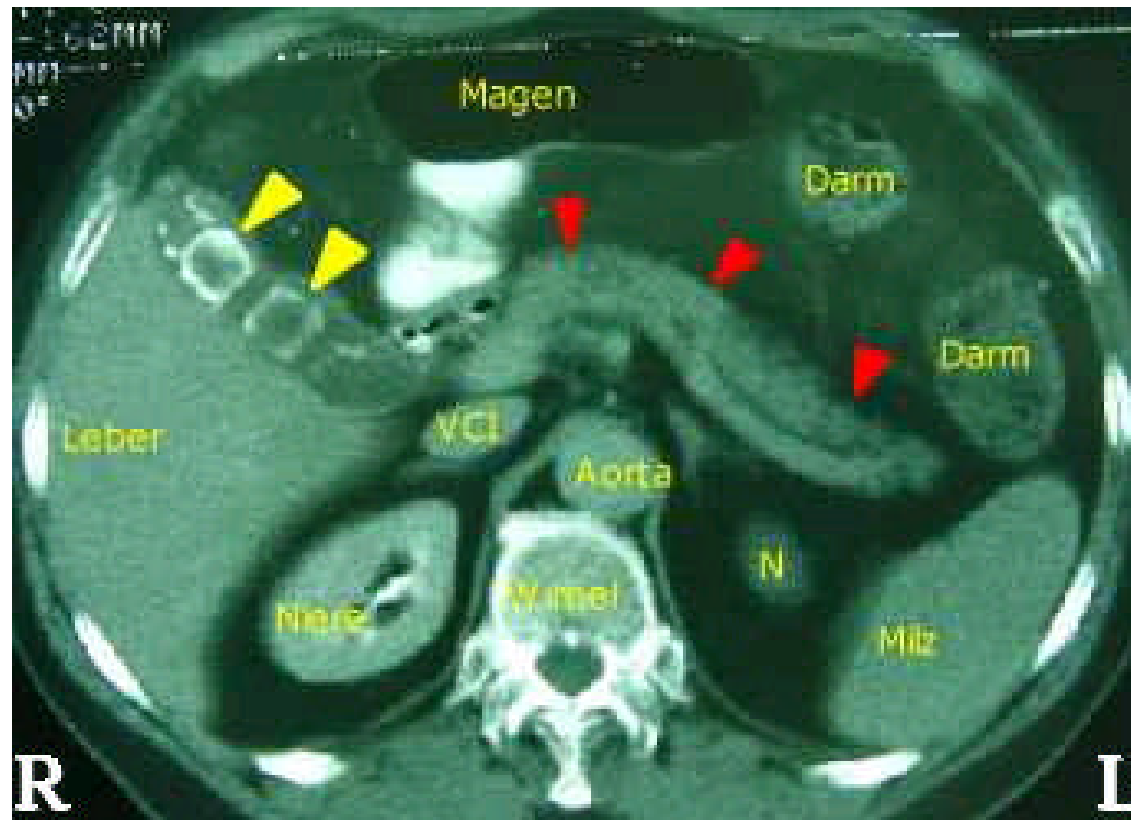


Strukturanalyse biologischer Systeme: PET



rechts-hemisphärische Aktivierung während eines epileptischen Anfalls (in gelb/magenta)

Strukturanalyse biologischer Systeme: CT



Gallensteine (rote Pfeile)

Strukturanalyse biologischer Systeme

Anwendungsmöglichkeiten nichtlinearer Maße und Verfahren

- Wachstum (Fraktalität, Selbstähnlichkeit)
z.B. Pflanzen, Lunge, Herz
- Musterbildung (Reaktions-Diffusions-Modelle)
z.B. Fellzeichnungen
- komplexe Oberflächen
z.B. Faltung des Kortex
- topographische Differenzierung verschiedener Materialien
z.B. weiße - graue Substanz

Strukturanalyse biologischer Systeme

Faltung des Kortex

Majumdar & Prasad, Comput Phys, 1988

Chuang et al. Proc SPIE Image Process, 1991

Free et al., Cerebral Cortex, 1996

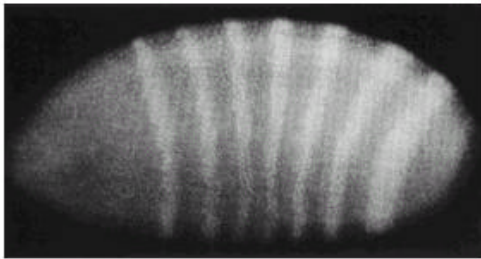
- Dimensionalität eines gewundenen Linienzuges
(Überdeckungsdimension)
- Erweiterung auf gefaltete Oberflächen
- Fraktale Dimensionalität des Kortex (30 gesunde Probanden):

linke Hemisphäre	rechte Hemisphäre
$2,30 \pm 0,008$	$2,30 \pm 0,01$
- signifikante Abweichungen bei krankhaften strukturellen Veränderungen

Strukturanalyse biologischer Systeme

Reaktions-Diffusions-Modelle

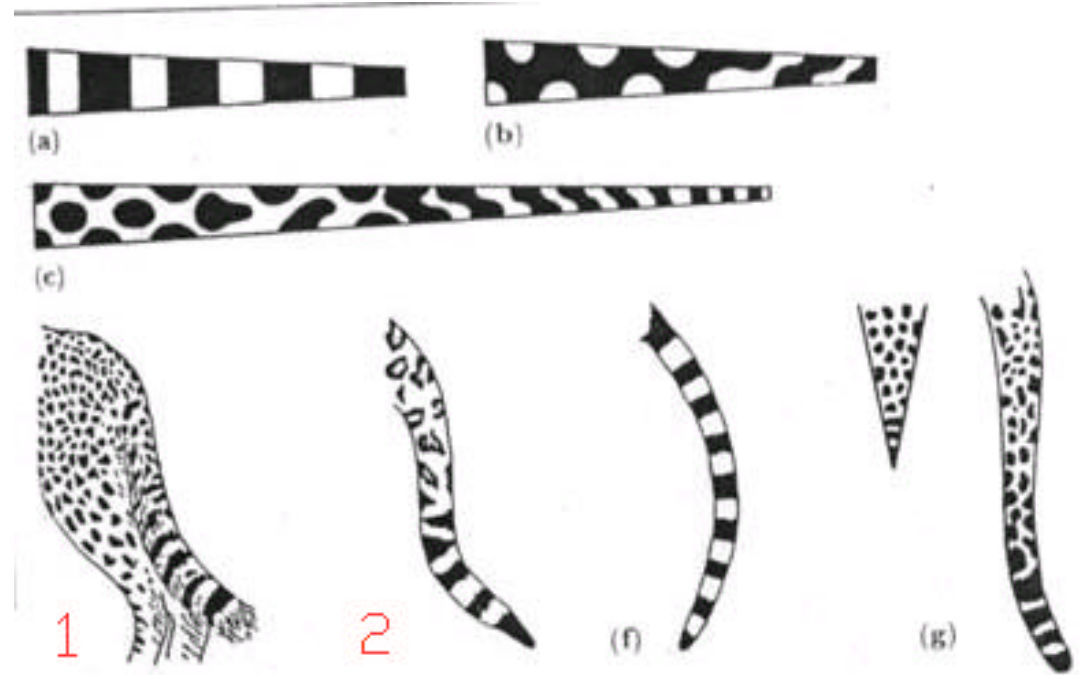
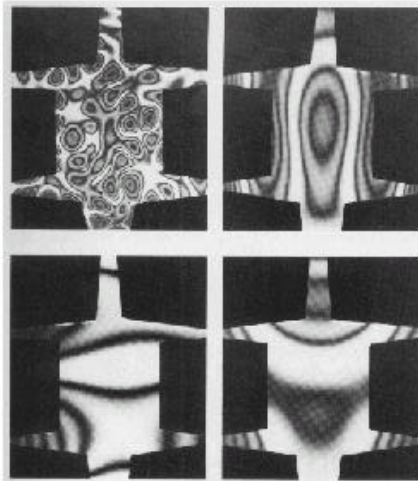
A



B



C



Funktionsanalyse biologischer Systeme

biologisches System



typische Funktion/Dynamik
Signalverarbeitung



(Wieder)Erkennen
Einordnen in Gesamtsystem
Verstehen
Erkennen von Fehlfunktion

Funktionsanalyse biologischer Systeme

Mikrodynamik ←————→ Makrodynamik

Funktionsbeschreibung



mathematisch-physikalische
Modelle

Grundfunktion(en)

Messung, Informationsreduktion



mathematisch-physikalische Modelle

Variationen

Funktionsanalyse biologischer Systeme

Biosignale

Signale von lebenden Systemen

Makro-
dynamik



Ökologie, Biologie, ...

Physiologie

Mikro-
dynamik

Biochemie, Chemie, ...

Funktionsanalyse biologischer Systeme

Biosignale

elektromagnetisch

MP, AP

SEEG/ECOG

EEG/MEG

EP/ERP EF/ERF

EOG/ERG

ENG

EMG

EKG/MKG

thermodynamisch

Blut-/Liquordruck

Körpertemperatur

Lungenvolumen

Uro-/Hämodynamik

Partialdrücke

Gewicht

...

chemisch

pH

Transmitter

Elektrolyte

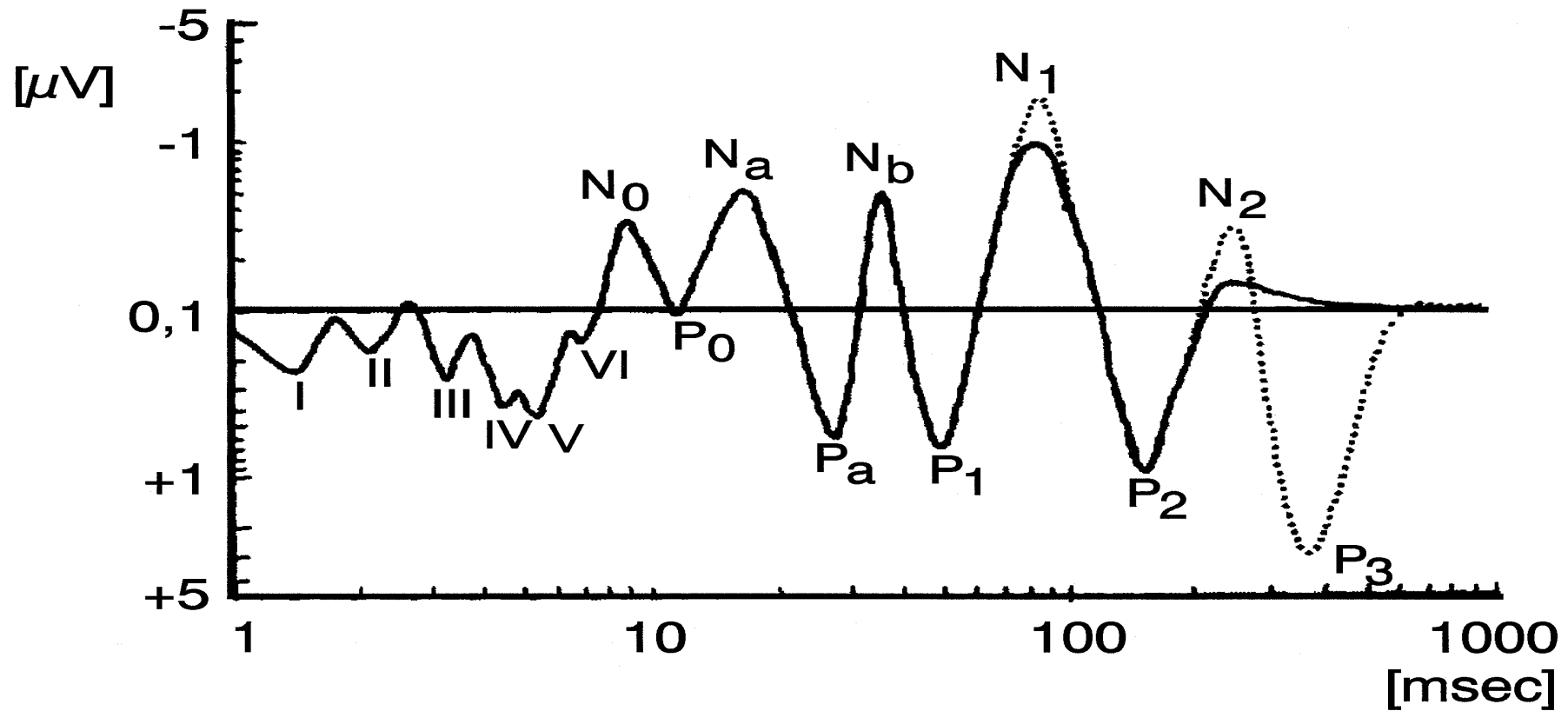
Stoffwechselprod.

Hormone

...

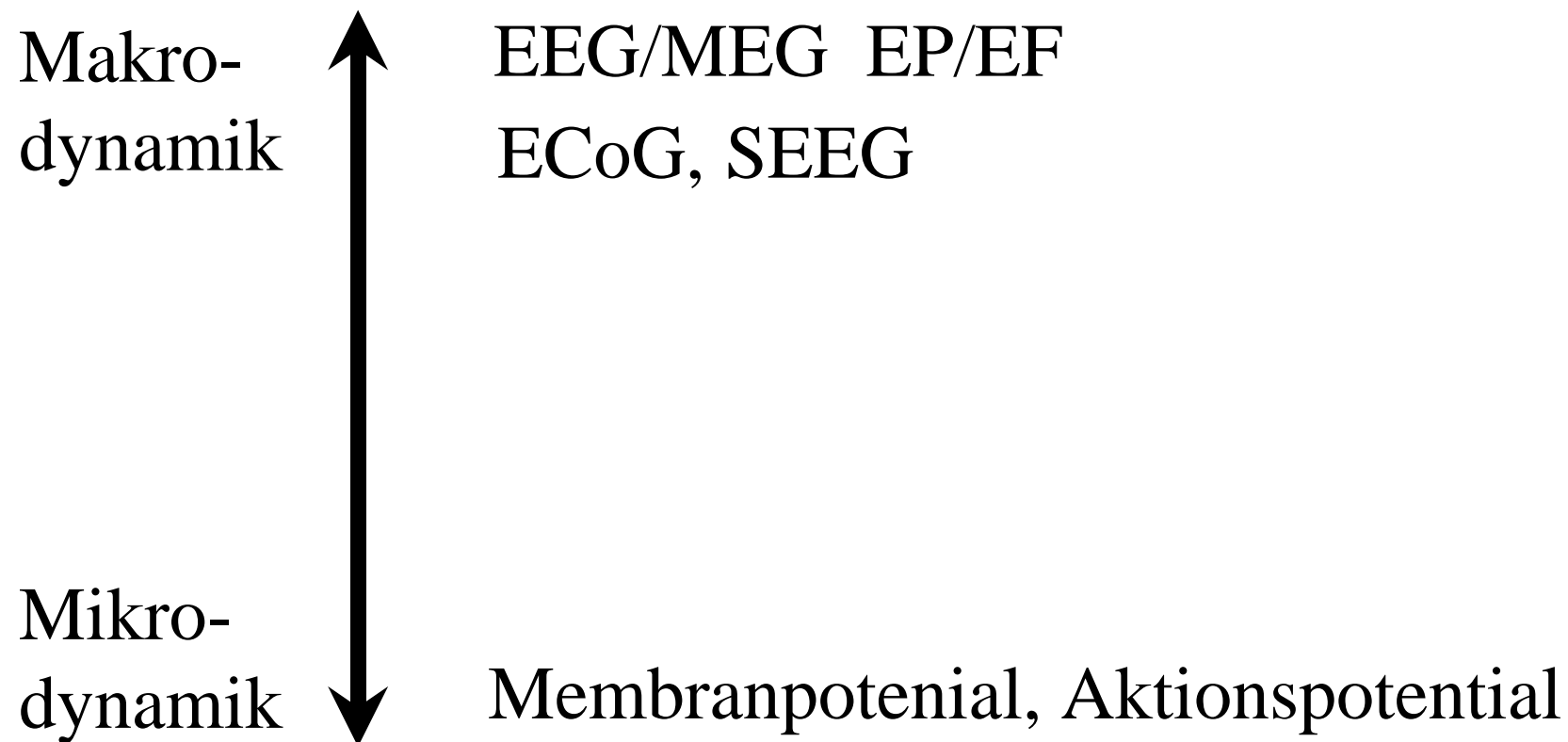
Funktionsanalyse biologischer Systeme

Beispiel: Akustisch evozierte Potentiale (AEP)



Funktionsanalyse biologischer Systeme

Neuronale Signale



Funktionsanalyse biologischer Systeme

Anforderungen an Biosignalerfassung:

- geeignete Meßcharakteristik
- minimale Invasivität
- Bioverträglichkeit der Meßsonden
- hohes Signal-Rausch-Verhältnis
- keine Artefakte (Referenz)
- Auflösung verschiedener Amplituden- / Frequenzbereiche

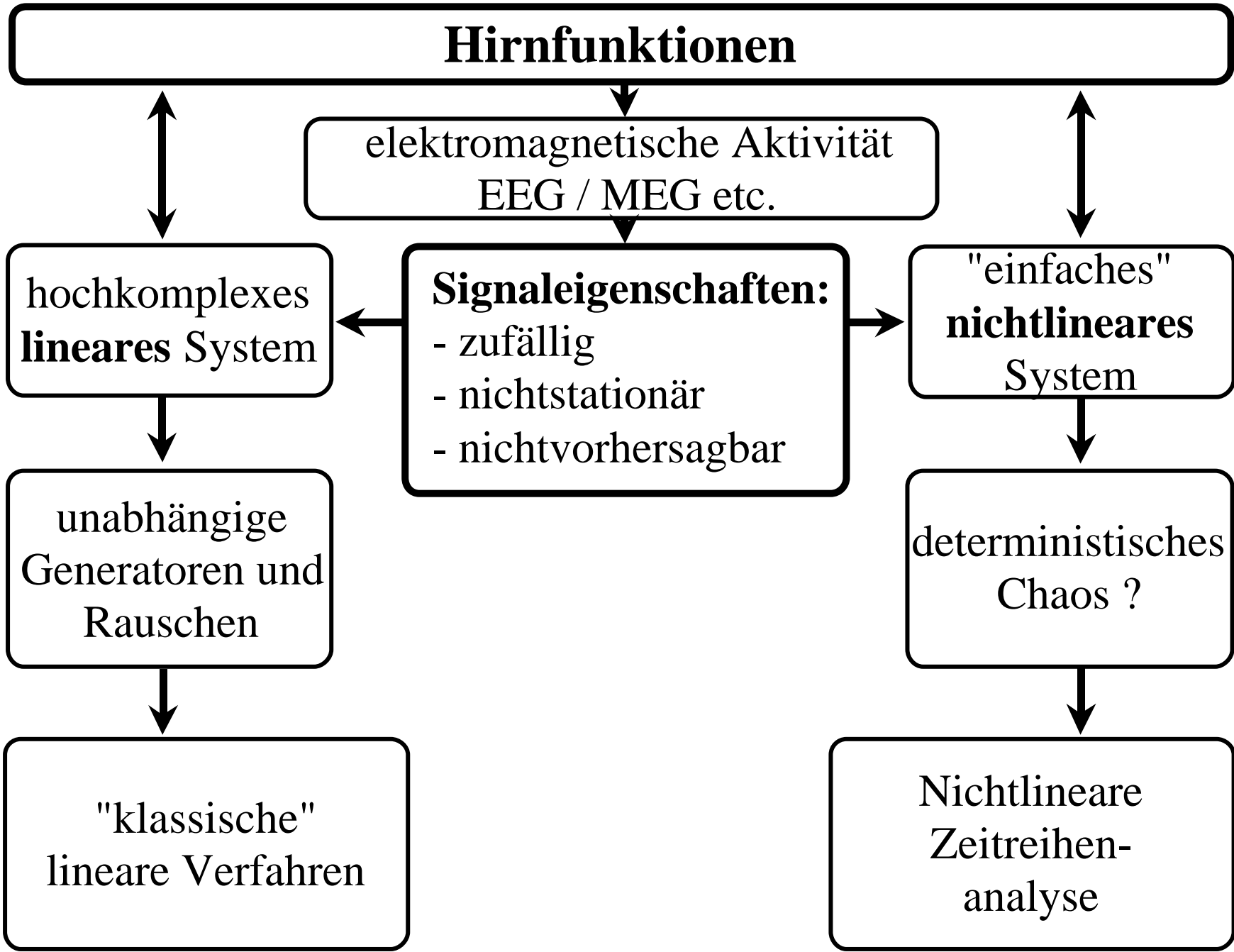
Funktionsanalyse biologischer Systeme

top-down oder bottom-up ?

"Die Schrödinger-Gleichung beschreibt die Bewegung der Elektronen in meinem Gehirn. Aber ich kann bezeugen, daß ich ganz verschiedene Empfindungen habe, wenn ich an eine Primzahl denke, als wenn ich an ein hübsches Mädchen denke.

Wer kann mir den Zusatz zur Schrödinger-Gleichung angeben, der diesen Unterschied ausdrückt ?"

Ausspruch eines
Physik-Nobelpreisträgers



***Ein komplexes System mit komplexen Funktionen:
Eine Herausforderung für nichtlineare Zeitreihenanalysen ?***

Neuron:
hochgradig nichtlineares
Bauelement

ca. 10^{11} Neurone mit je
 10^3 - 10^4 Synapsen

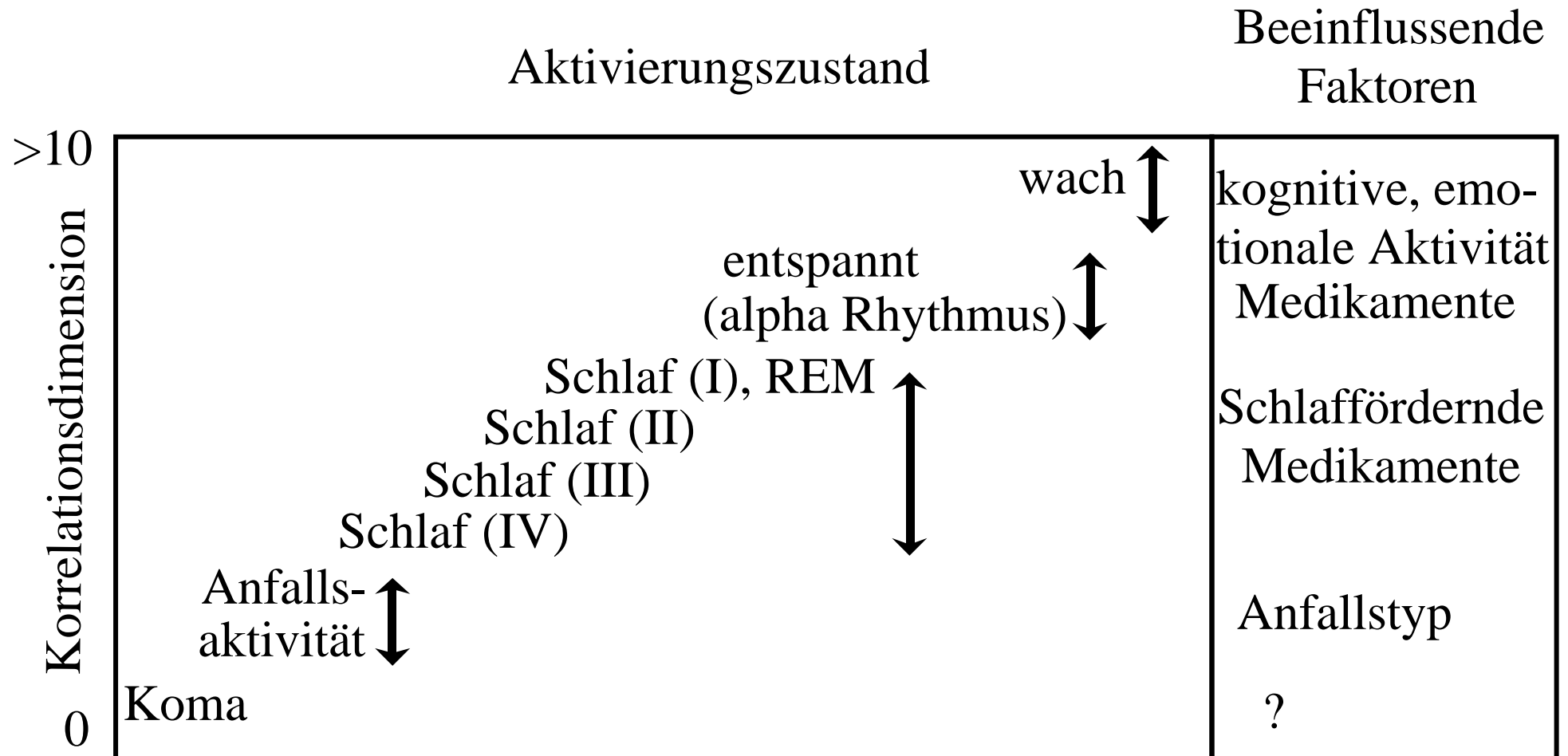
offenes System
Gehirn

Plastizität

Wechselwirkungen
zwischen
Neuronen/Netzwerken:
- elektromagnetisch
- chemisch/biochemisch
- morphologisch

Neuronenverbände:
Netzwerke mit
positiven und
negativen
Rückkoppelungen

Charakterisierung von Zuständen mit einer einzelnen Zahl



Nichtlineare Zeitreihenanalyse von Hirnaktivitäten

- niederdimensionales Chaos ? (eher zweifelhaft)
- Nichtlinearität ? (schwierig wegen Nichtstationarität)
- Modellbildung ? (z. Zt. nicht genügend Information)

?

Alternative: Paradigmenwechsel

