

Klassifikation akustischer Kommunikationssignale durch  
Heuschrecken: Probleme der Informationsverarbeitung  
Bernd Ronacher, Humboldt-Universität zu Berlin

# Dank:

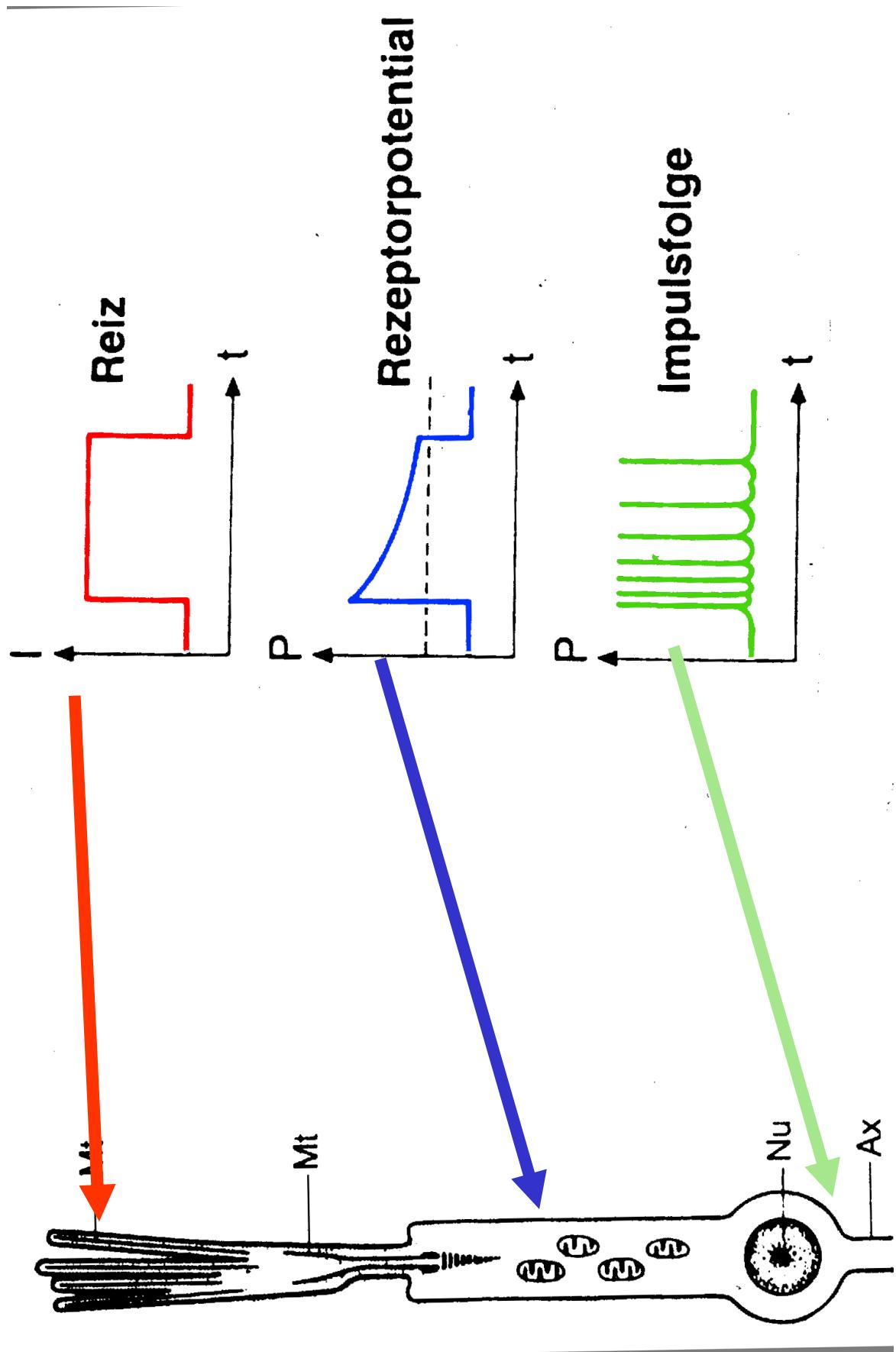
- Dagmar und Otto von Helversen (Univ. Erlangen)
- Norbert Elsner
- **Verhalten und Elektrophysiologie**  
Astrid Franz = Astrid Vogel, Sandra Wohlgemuth,  
Daniela Neuhofer, Rüdiger Krahe, Matthias Hennig
- **Theorie:**  
Andreas Herz, Christian Machens, Martin Stemmler  
(ITB)

## Vorbemerkungen

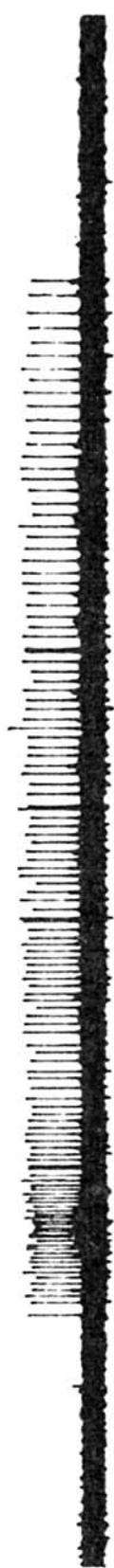
- Das ZNS erhält Information über die Umwelt nur aus Meldungen von den Rezeptoren der Sinnesorgane. Meldungen, d.h. Informationsübertragung im NS in Form von Aktionspotentialen (Spikes).
- Spikes sind sehr kurze ( $\sim 1\text{ms}$ ) Änderungen des Membranpotentials der Nervenzelle (durch Ionenströme durch spezifische Membrankanäle verursacht)
- Alles-oder-Nichts-Ereignisse; i.a. Intensität von Sinnesreizen durch Frequenz von Aktionspotentialen, die Feuerrate, codiert.
- Zusätzliche Information u.U. auch in Zeitmuster der Spikes – aber NS hat keinen externen Bezugspunkt!

- An den Übergängen zwischen zwei Nervenzellen spezialisierte Kontakte, die Synapsen.
- Bei chemischen Synapsen bewirkt AP der ersten Zelle eine Freisetzung eines Botenstoffes (Transmitters), der zur zweiten Zelle diffundiert und dort zum Öffnen von Membrankanälen führt → Änderung des Membranpotentials der postsynaptischen Zelle.
- Synaptische Potentiale i.a. variabel in Höhe (graduiert)
  - wichtig für Informationsverarbeitung (räumliche und zeitliche Summation; hemmende Synapsen)

Rezeptoren wandeln die Reizergie über einen Transduktions- und Verstärkungsprozess in ein Rezeptorpotential um



13 g



0.2 sec

4 g



0.6 g

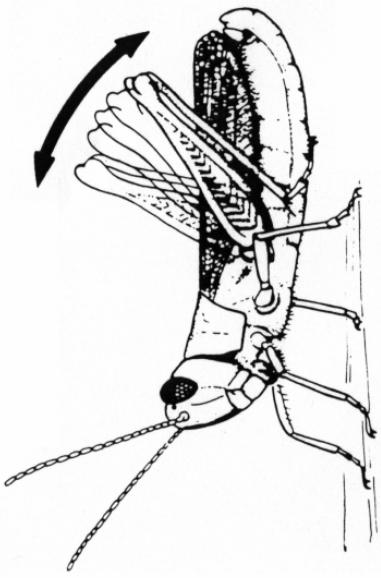


# Gliederung

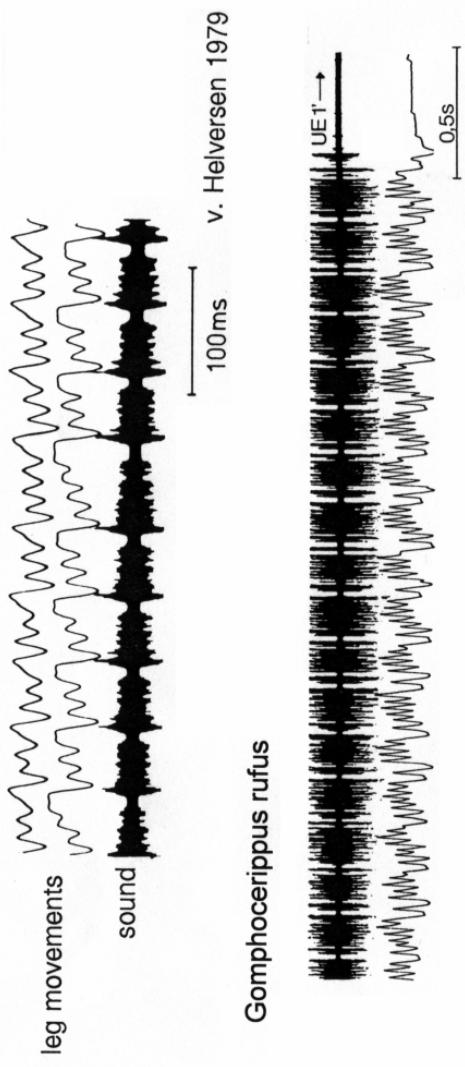
1. Beschreibung der Kommunikation und auftretender Probleme
2. Mögliche Lösungen für Variabilitätsproblem
3. Zwei experimentelle Zugänge
  - a) Stimulus-Rekonstruktionsverfahren
  - b) Spiketrain-Metriken
4. Nutzung der im Prinzip vorhandenen Informationsmenge durch die Tiere ?

# Hauptfunktion der akustischen Kommunikation: Partnerfindung → Extremer Selektionsdruck

*Chorthippus biguttulus*

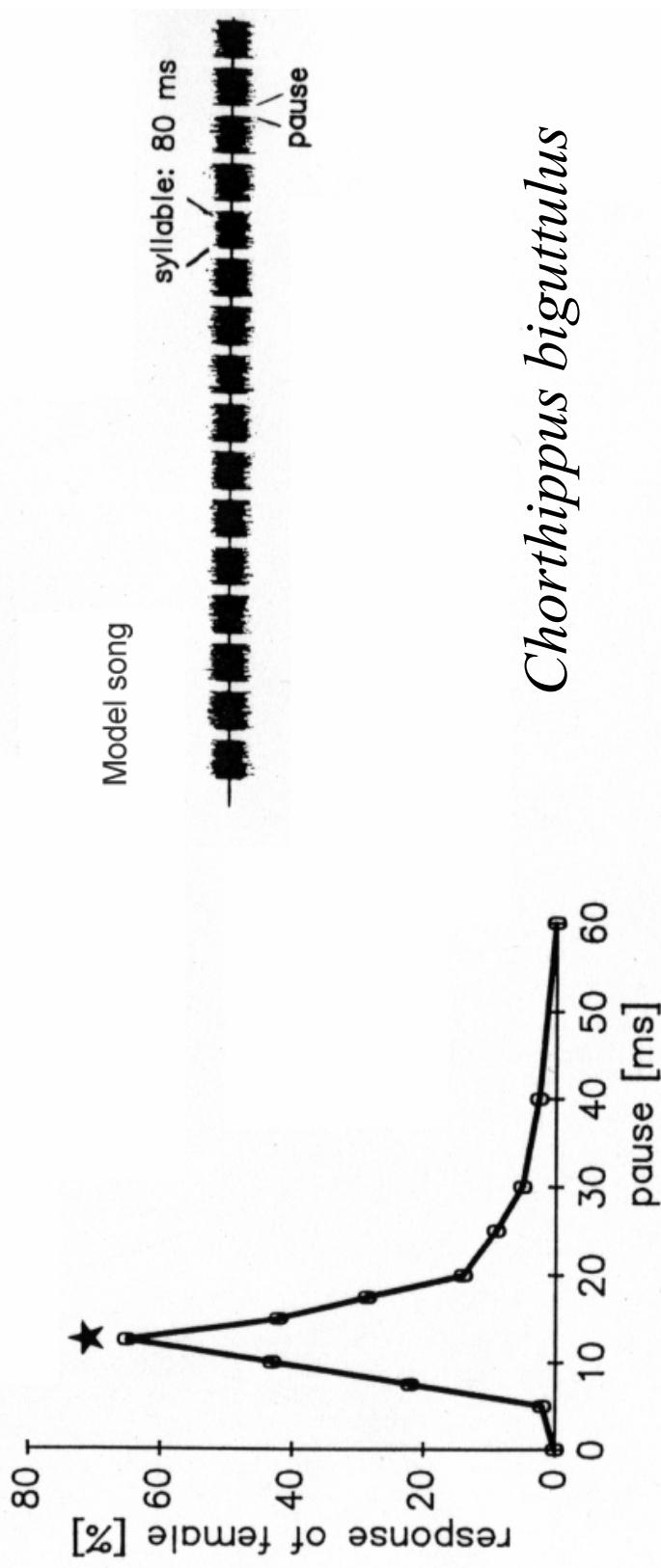


Stereotype, artspezifische  
Beinbewegungen und  
Schallmuster



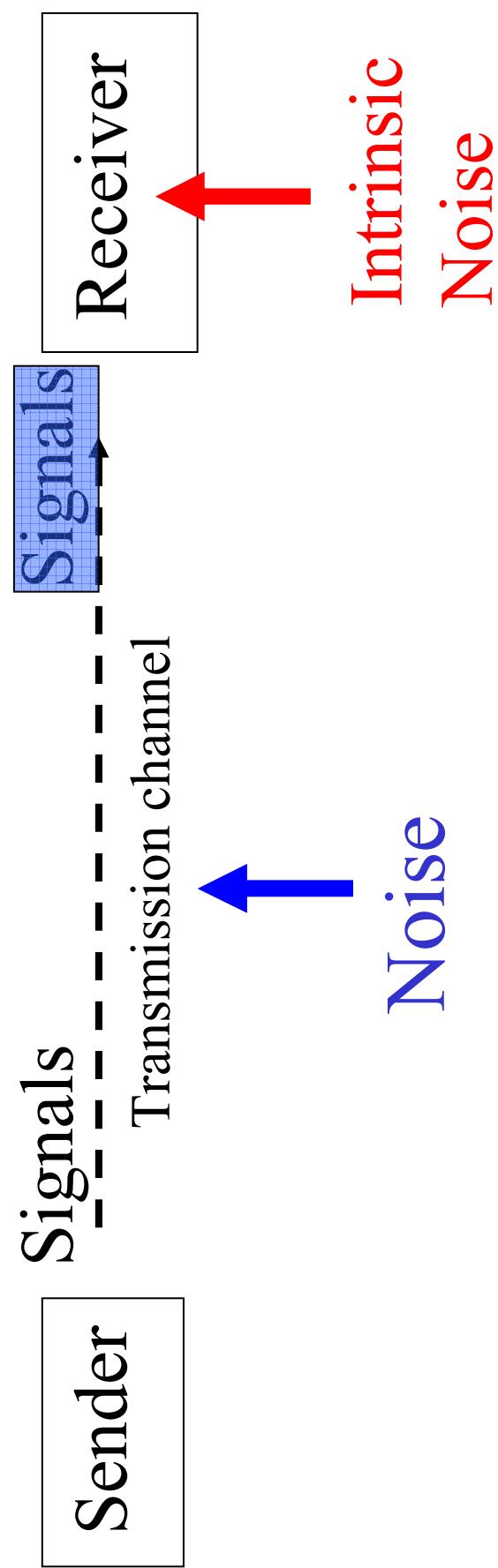
Elsner et al. 1994, 1996

Verhaltenstests zeigen: Signalerkennung beruht auf dem  
Zeitmuster der „Gesänge“  
(D & O von Helversen)



Artspezifische Signale dienen der Partnerfindung, der  
Isolation zwischen Arten und der Auswahl „guter“ Partner

# Allgemeine Struktur von Kommunikation: Problem der Signaldegradation



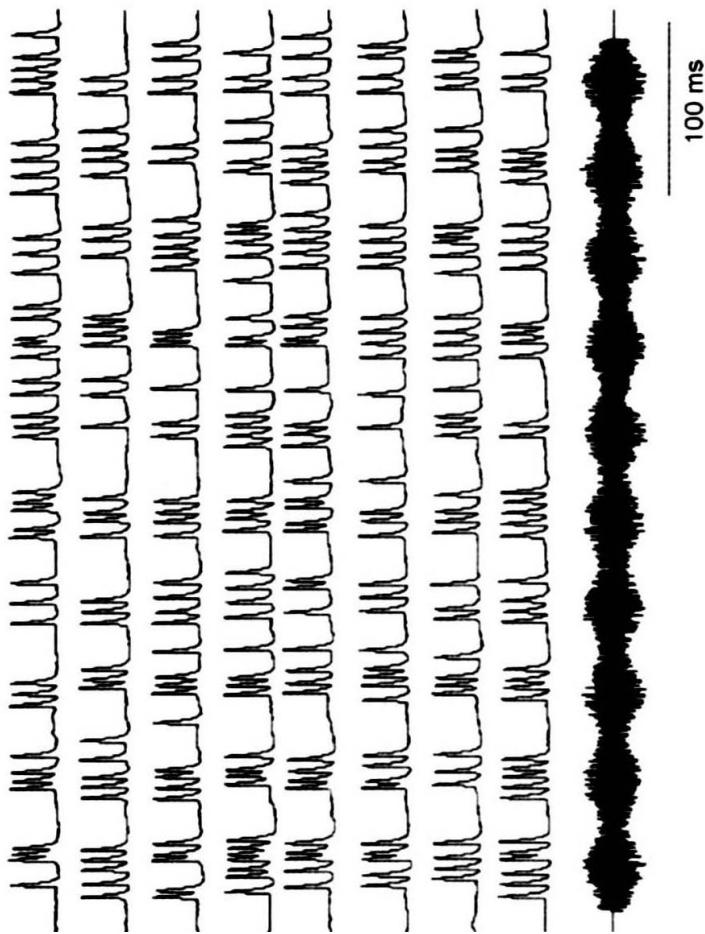
## Erhebliche **intrinsische** Variabilität

Zunahme zu höheren Verarbeitungsstufen hin (Astrid Vogel)

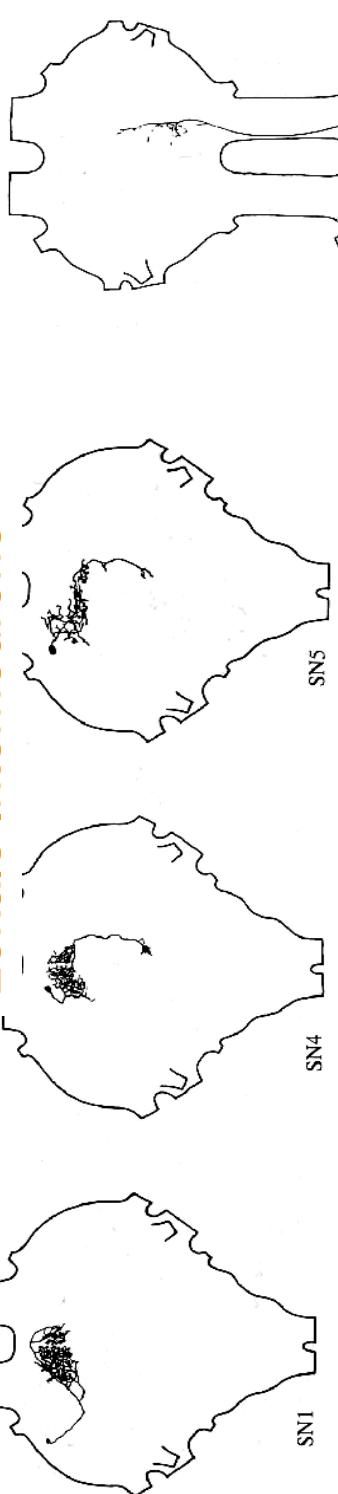
→ Intrinsische Variabilität **muss** zeitliches Auflösungsvermögen und Unterscheidbarkeit sehr ähnlicher Signale begrenzen

→ Diskrepanz zwischen variablen Spiketrains und äußerst präzisen Verhaltensantworten

Antworten eines Rezeptorneurons auf wiederholte Darbietung eines identischen Reizes

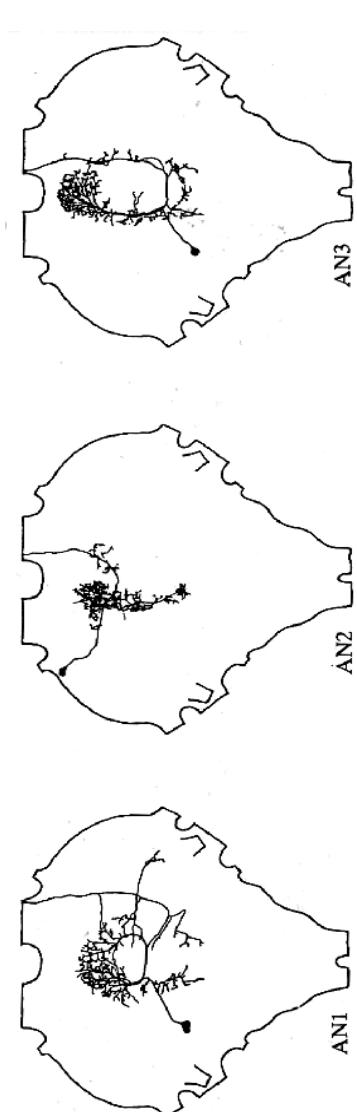


### Lokale Interneurone



BSN1  
250  $\mu\text{m}$

### Aufsteigende Interneurone



AN3

AN2

AN1

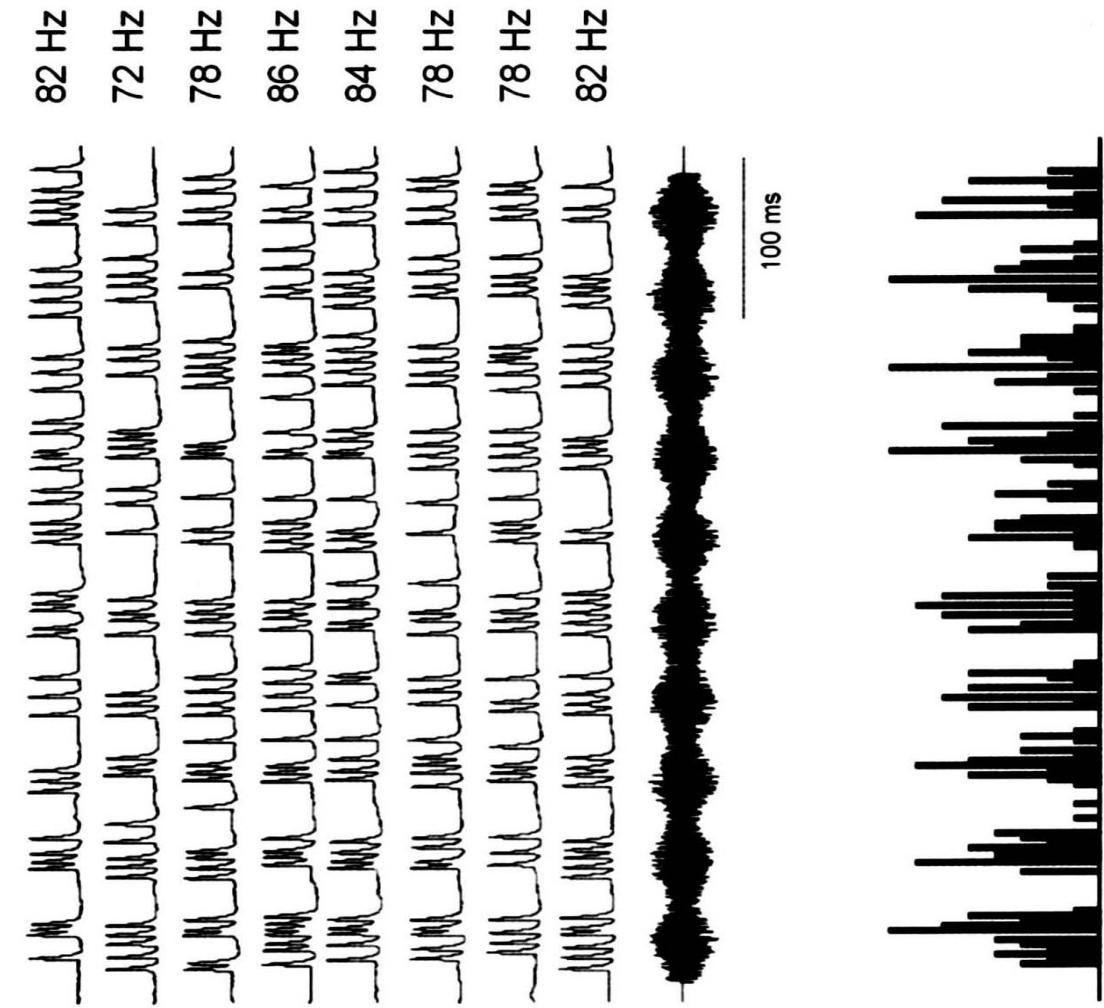
AN6

AN4

# Hauptursachen neuronaler Variabilität

- Störungen bei Signalübermittlung („externes Rauschen“)
  - Temperatur
  - **Intrinsisch: Stochastische Prozesse im NS**
  - **Unterschiedliche Signale versch. Individuen**
  - → Mittel gegen Rauscheinflüsse
- !! ZNS hat nur Info aus Spiketrains zur Verfügung

# Zwei Sorten von Mittelungsprozessen



- Zeitliche Integration  
(Spikeraten)
- „räumliche Summation“  
(Mittelung über parallele Elemente)
- caveat:  
Zeitliche Strukturen sollten durch Integration nicht „weggemittelt“ werden;  
besonders kritisch in Akustik:  
wesentl. Information steckt in Amplitudenmodulationen

Diskrepanz zwischen sehr präzisem  
Verhalten und relativ hoher Variabilität  
neuronaler Signale

- **Mögliche Gegenstrategien der Tiere**

Mittelungsprozesse

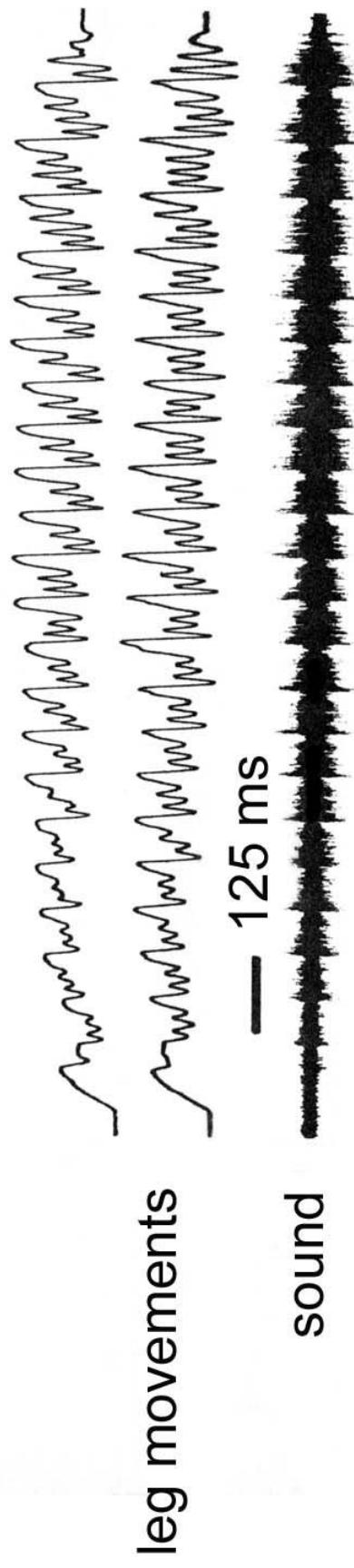
→ über parallele Kanäle

(„räumliche“ Summation)

→ zeitliche Integration

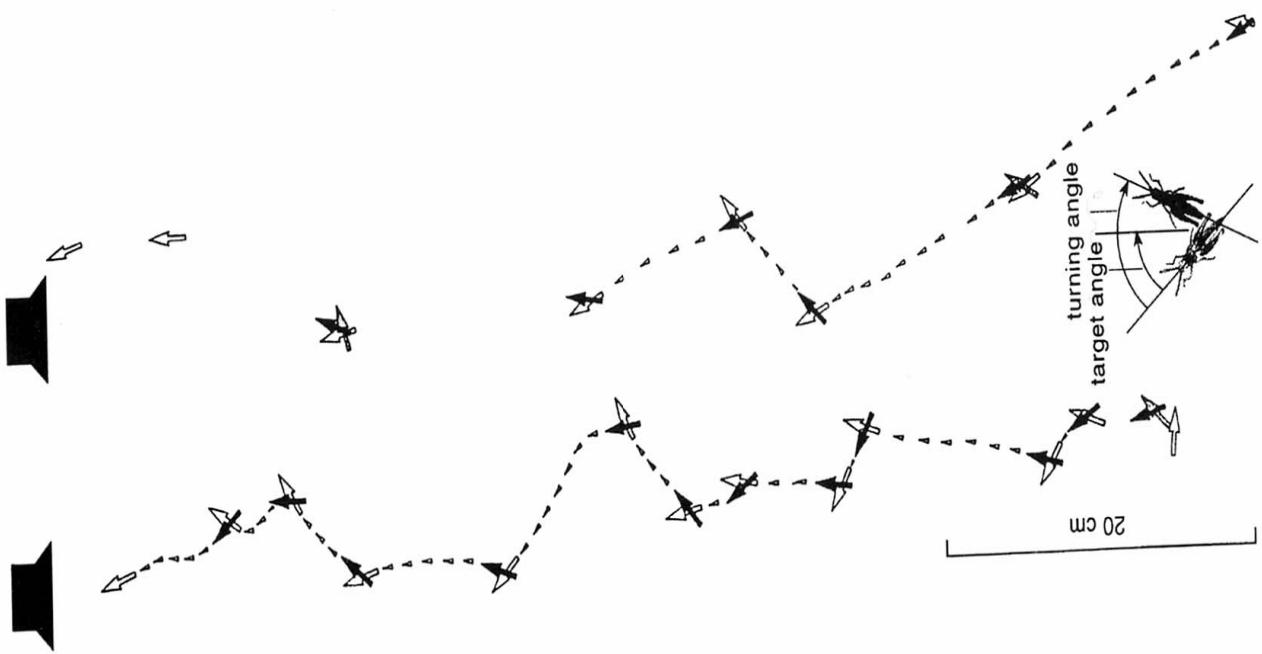
# 1. Frage: Wie stark nutzen Tiere zeitliche Integration?

- Signale mit stereotypen Untereinheiten scheinen dafür prädestiniert
- Redundanz wichtig für Signal-Erkennung?

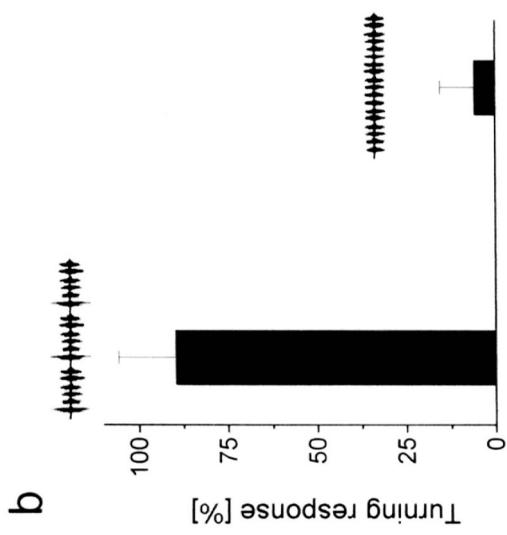
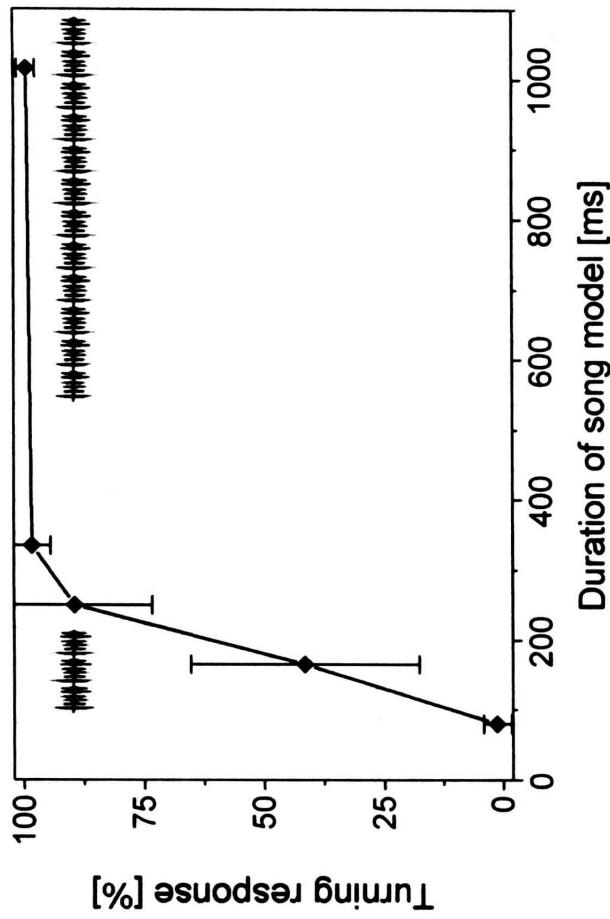


Drehreaktion der Männchen ist  
wunderbarer Anzeiger für  
Gesangserkennung

2 Phonotaxis-Läufe  
(aus D.v. Helversen 1997)



? Für Erkennung minimale Signaldauer ?

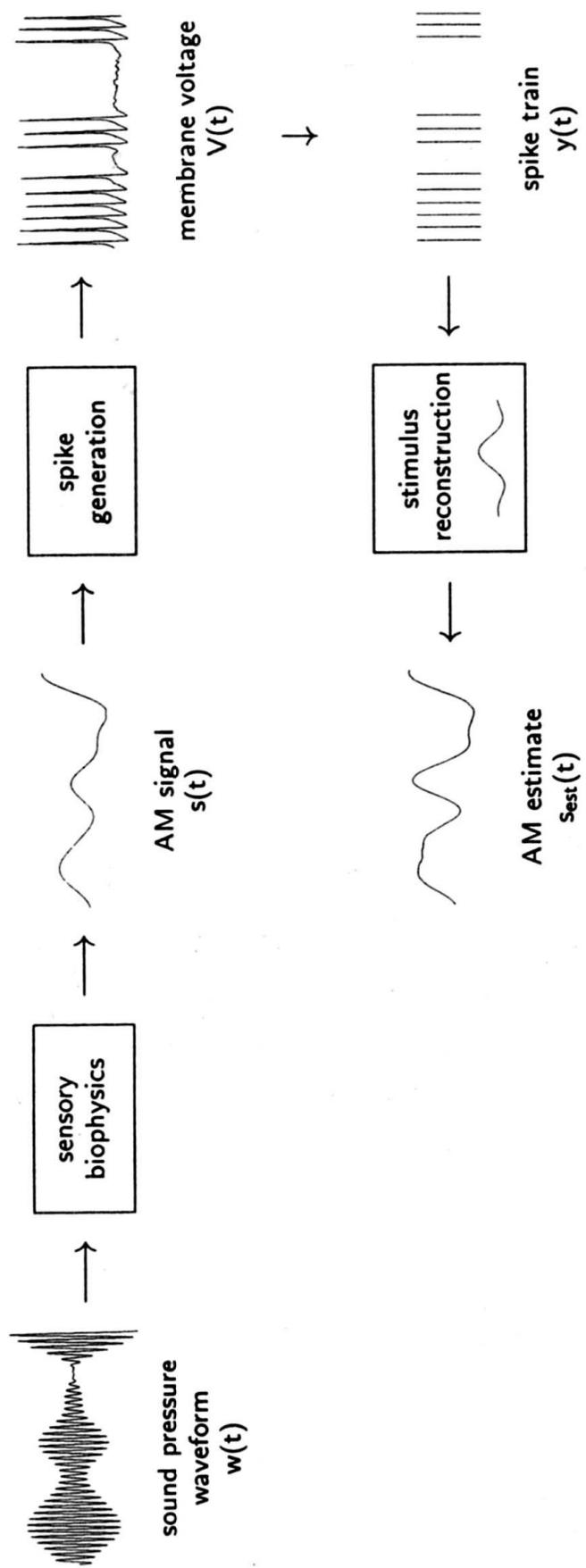


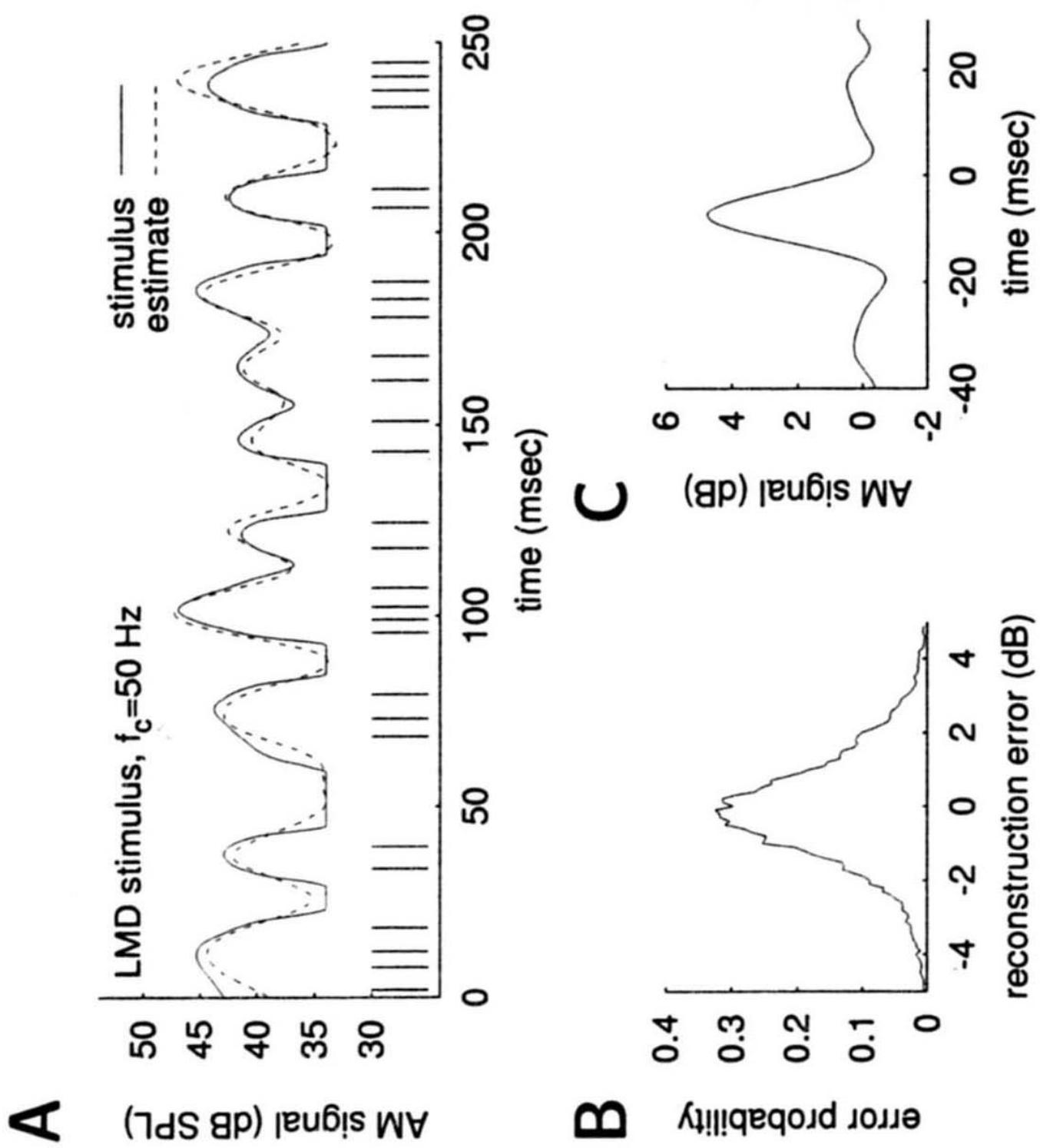
Artspezifische Struktur auch  
bei kurzen Signalen wichtig

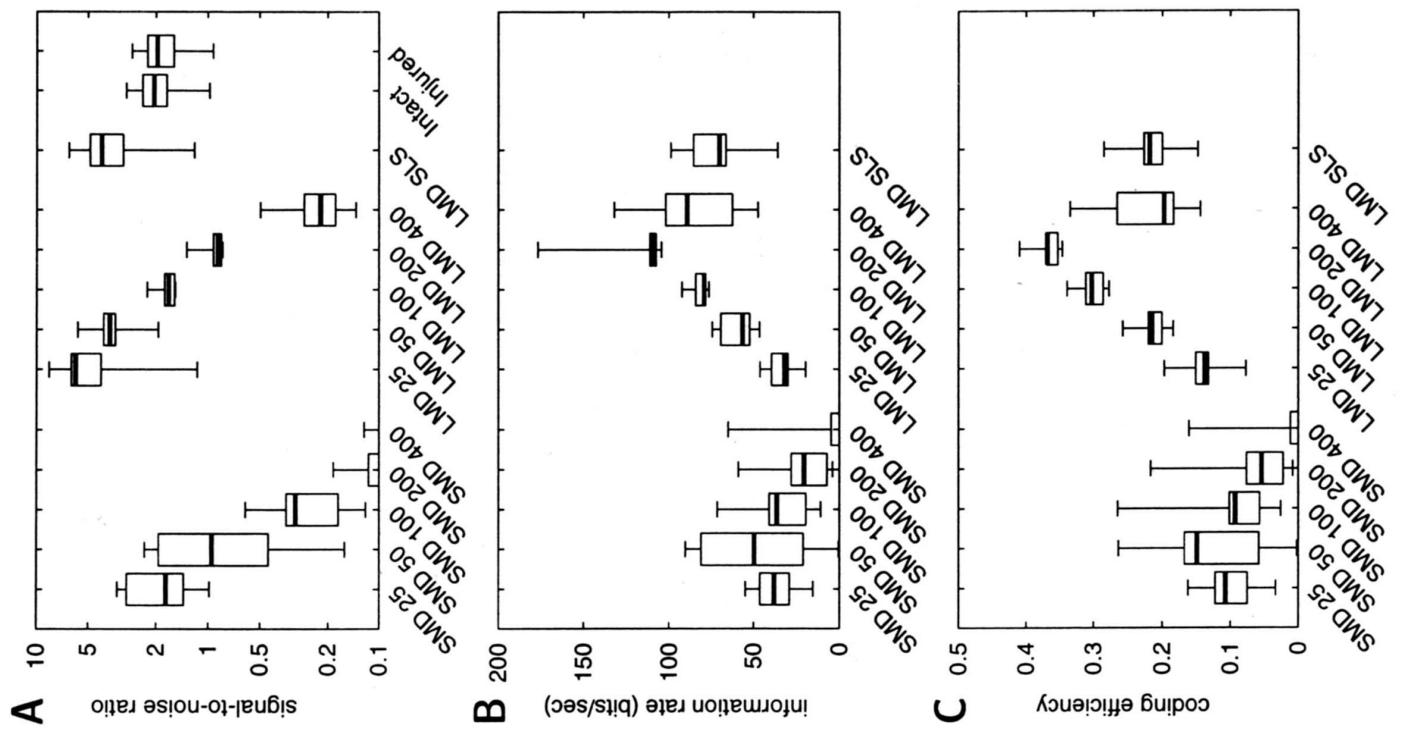
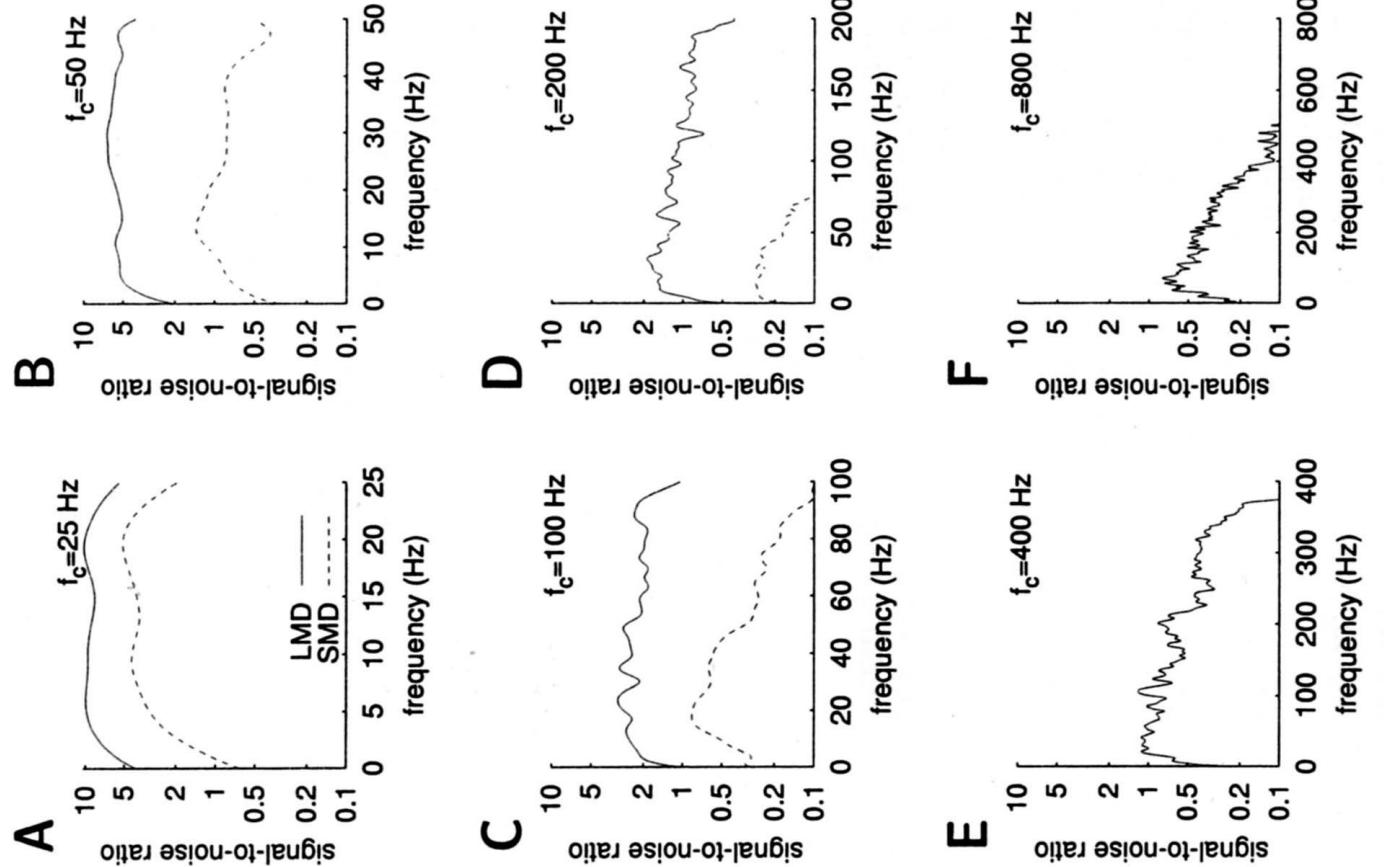
- Minimum: 165-250 ms (2-3 Untereinheiten)
- **Erkennung in Echtzeit!**

- Versuch mit verkürzten Reizen → serielle Redundanz offenbar nicht sehr intensiv genutzt
- Eher Mittelung über viele parallele Elemente
    1. Wie viele Kanäle mit ähnlichen Eigenschaften stehen zur Verfügung?
    2. Wie unabhängig sind deren Antworten?
  - Zwei Ansätze, wie man Informationsgehalt von Spiketrains auf die Spur kommen kann:
    - A) Stimulus-Rekonstruktionsverfahren
    - B) Spiketrain-Metriken

# Stimulus reconstruction (reverse correlation) procedures (Ursprüngl.: W. Bialek et al; C. Machens et al. 2001)







## Anmerkung: Verhaltensversuche setzen Eckpunkte für theoretische Untersuchungen

- Stimulus-Rekonstruktionsverfahren erfordern „Ergodizität“, d.h. dass System sich in eingeschwungenem Zustand befindet
- Daher 10s lange Reize, erste Sekunde nicht in Rechnungen einbezogen
- Auch andere Verfahren benutzen oft lange Reize oder vielfache Reizwiederholungen → nicht normale Situation für ZNS der Tiere
- → Nachdenken über neue Methoden

Sexual selection  
Auswahl des  
besten Partners →  
Motor der Evolution

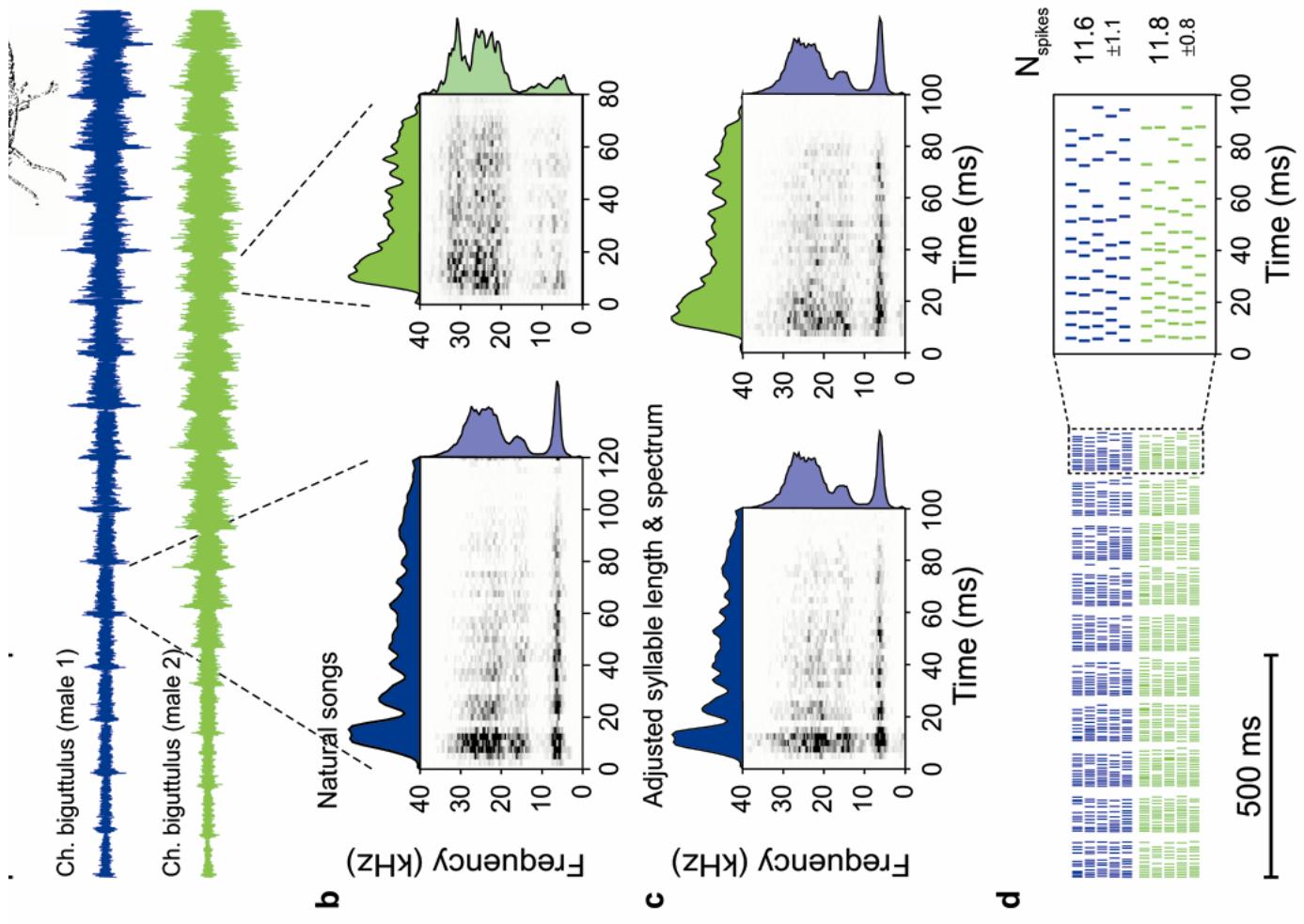
- Voraussetzung ist  
Unterscheidbarkeit der  
Signale verschiedener  
Individuen
- Schwieriger als zwischen  
arteigen und artfremd zu  
unterscheiden

Wie gut können Gesänge verschiedener  
Individuen einer Art anhand der neuronalen  
Signale unterschieden werden ?

Tiere haben keine andere  
Information als Spiketrains !

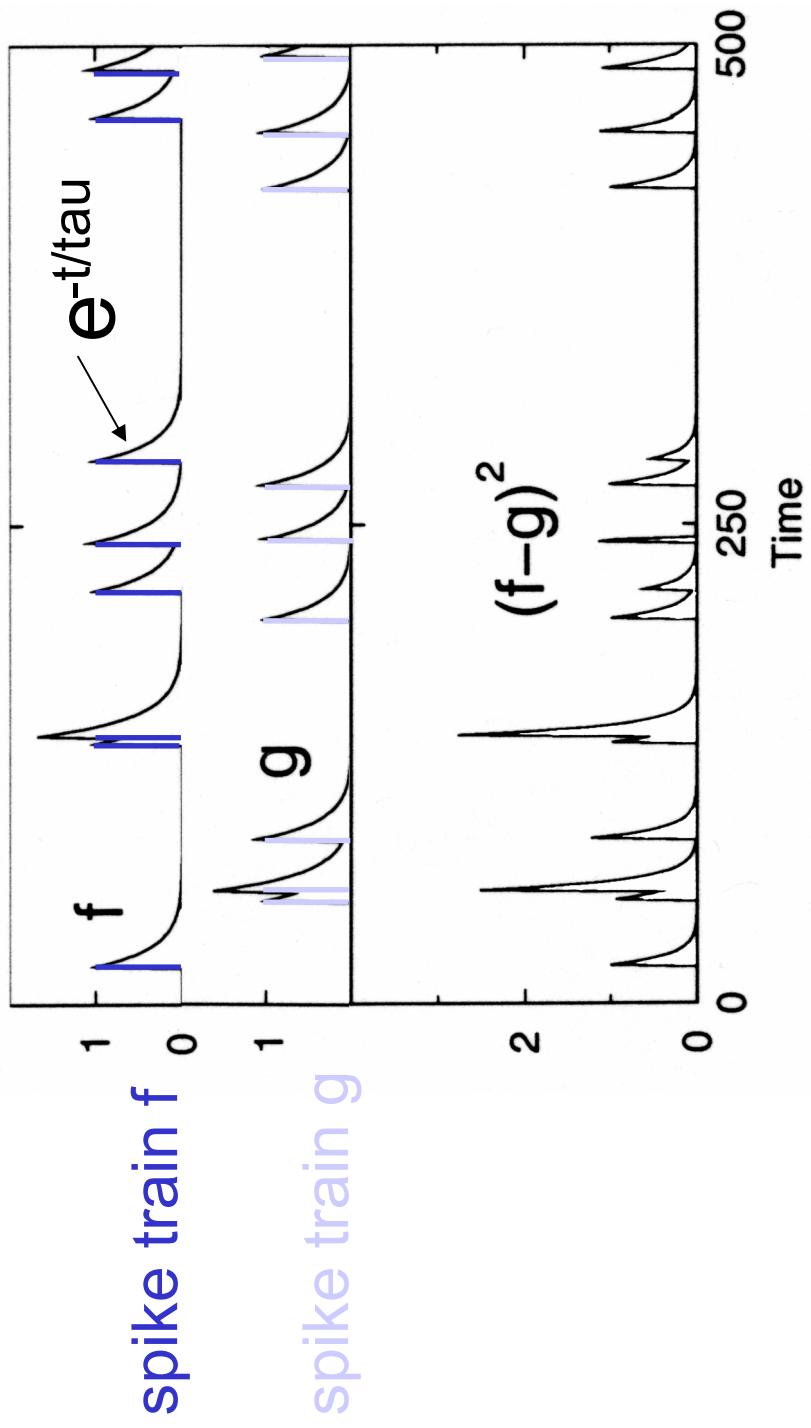
Klassifikation anhand der  
Ähnlichkeit von Spiketrains

→ Problem Variabilität

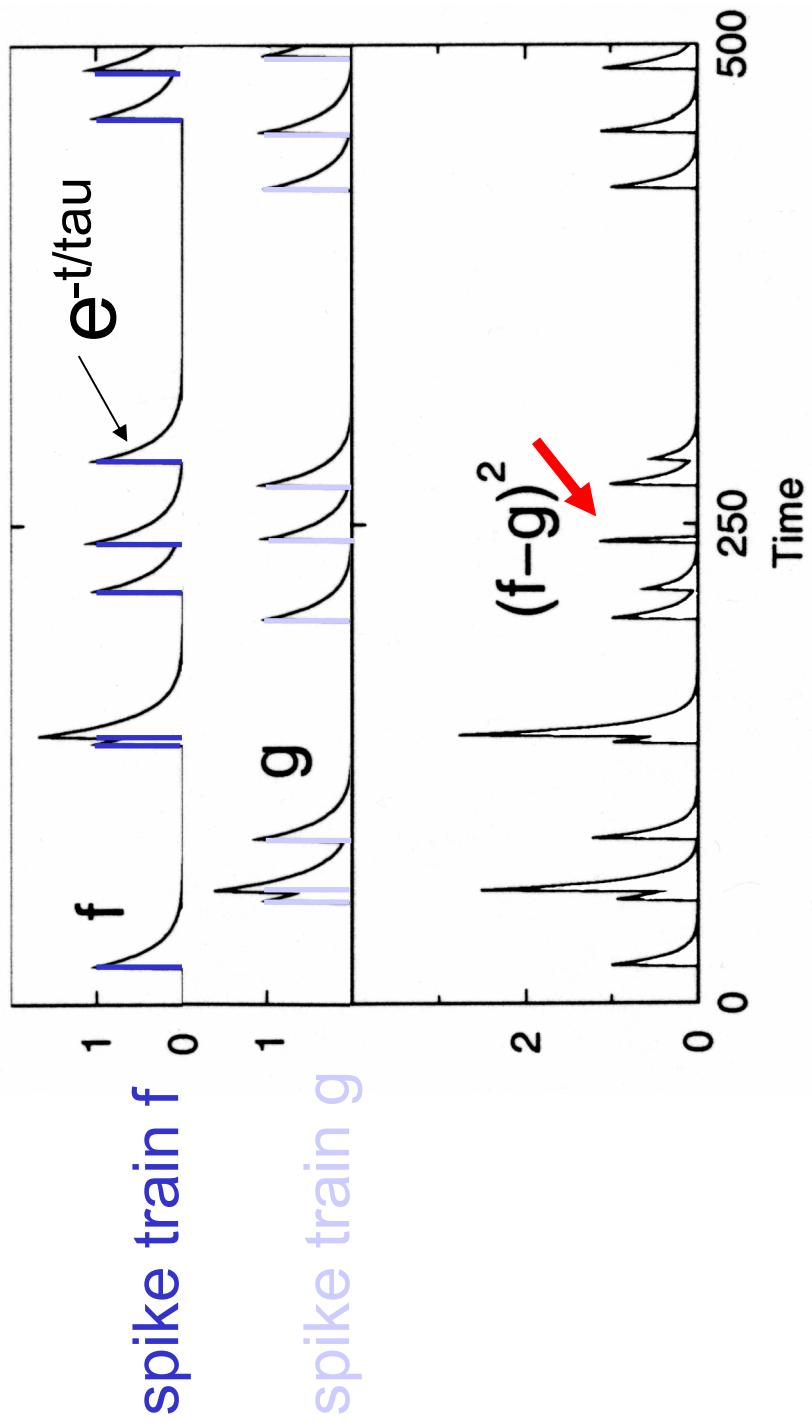


Machens et al. 2003, Nature  
Neurosci. 6: 341-342

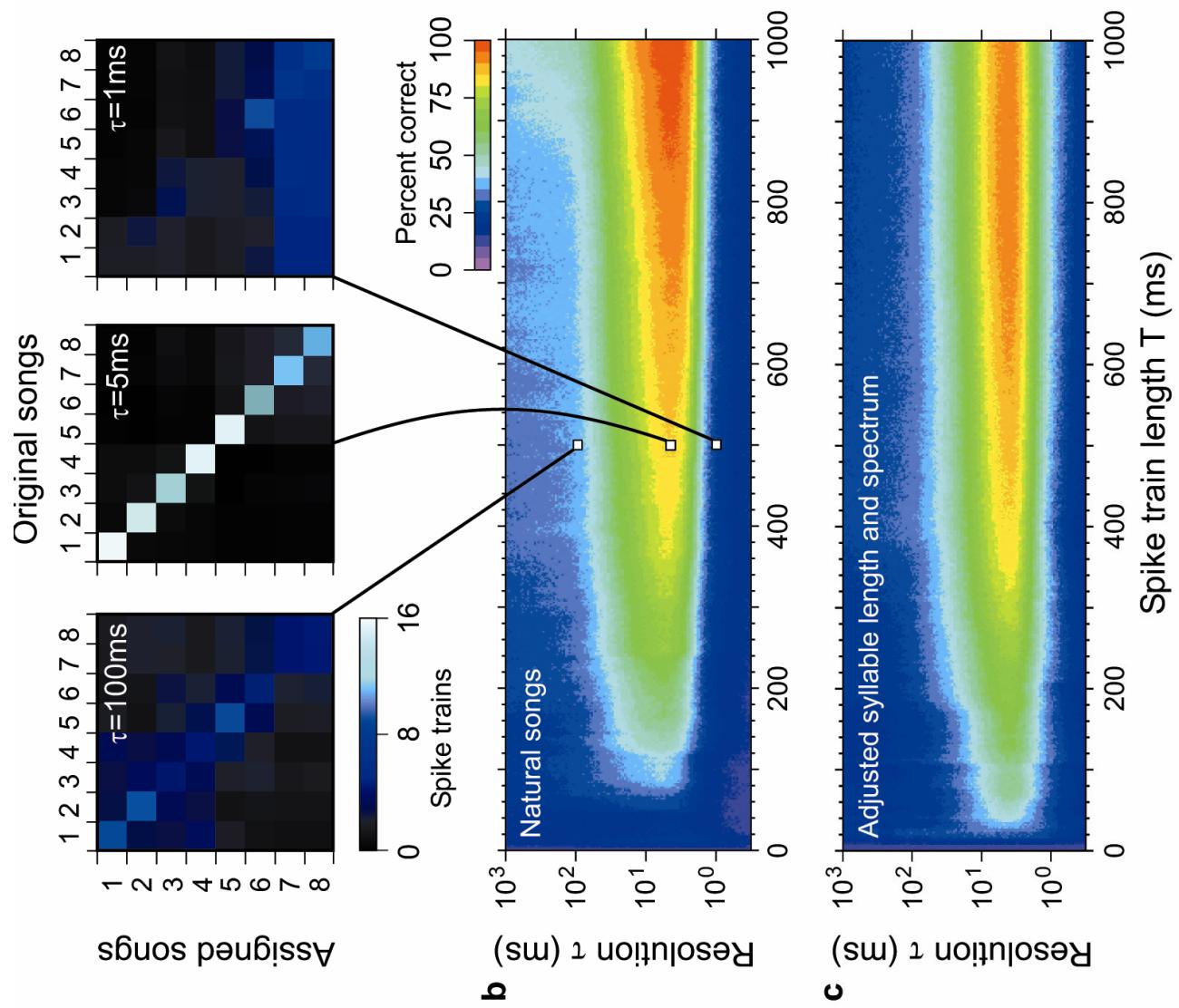
# Ähnlichkeit von Spiketrains Distanzmaß von van Rossum (2001)



# Ähnlichkeit von Spiketrains Distanzmaß von van Rossum (2001)



Parameter  $\tau$  erlaubt, verschiedene Zeitauflösung einzustellen



- Selbst in Spikeantwort eines einzelnen Rezeptors ist Information über Gesänge verschiedener Individuen noch sehr genau enthalten.
- Erstaunlich, angesichts der vorher beschriebenen eher großen Variabilität → vielleicht Hinweis, dass Struktur der Kommunikationssignale optimiert ist in Hinblick auf Zuverlässigkeit der neuronalen Antworten
- Basis: Auswertung mit Zeitauflösung von etwa 5ms
- Gilt für **idealen Beobachter; ob Tiere diese Information in der Genauigkeit nutzen können, ist offen**. Nur gezeigt, dass Information im Prinzip vorhanden. → Versuche

# Fazit:

- Grundproblem für NS: Variabilität der Spiketrains
- Zwei relativ neue Methoden:
  - Stimulus-Rekonstruktions-Algorithmen  
(sehr fruchtbare Umkehrung der Blickrichtung)
  - Metrische Ähnlichkeitsanalyse der Spiketrains
- Auch Grenzen & Probleme bei der Interpretation
- Credo: Kombination von Verhaltensversuchen und Neurophysiologie

# Strong selection pressure upon communication

