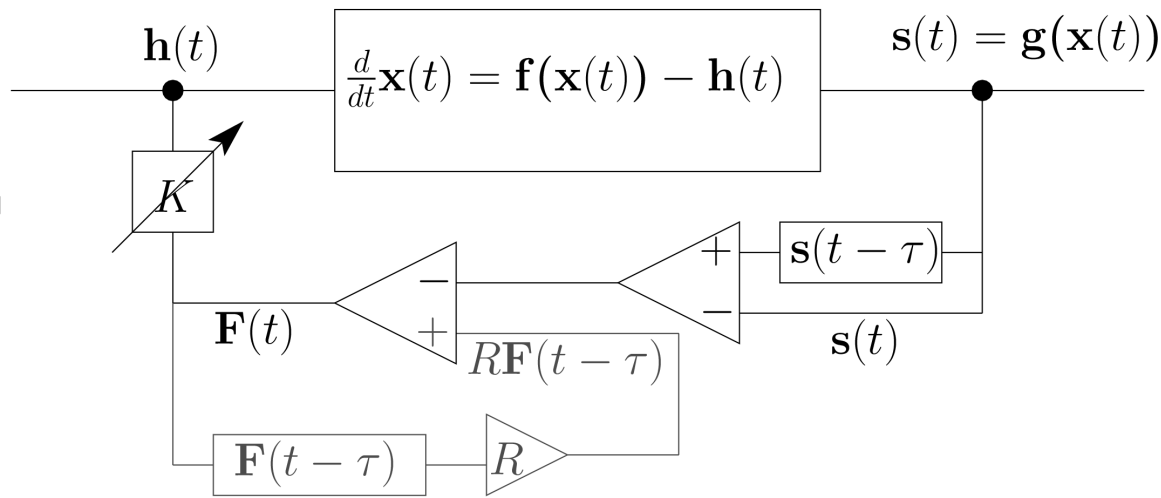


English summary

4. Interplay of noise & delay

4.3 Time-delayed feedback



invented by
Kestutis Pyragas
("Pyragas control")
→ SS 2015 (2014)
"nonlinear dyn.
& control"

applied to:

- (i) subcritical Hopf normal-form: stabilization of unstable period orbit
- (ii) SNIPER/SNIC model: enhancement of

correlation time
regularity of noise-
induced oscillations

5. Dynamik gekoppelter Elemente

5.1 Kontrolle von rausch-induzierten Oszillationen (gekoppelter Neuronen)

5.2 Kontrolle von zeitverzögert gekoppelter Neuronen (kein Rauschen)

5.3 Synchronisation/Desynchronisation von N gekoppelten Neuronen

5.4 Dynamik auf empirischen Netzwerken

Zeitverzögerte (Rück-)Kopplung durch

- (i) Signallaufzeiten
- (ii) biochemische Prozesse
- (iii) hämodynamische Antwort

Rauschen simuliert den Input + sehr vieler anderer Neuronen.

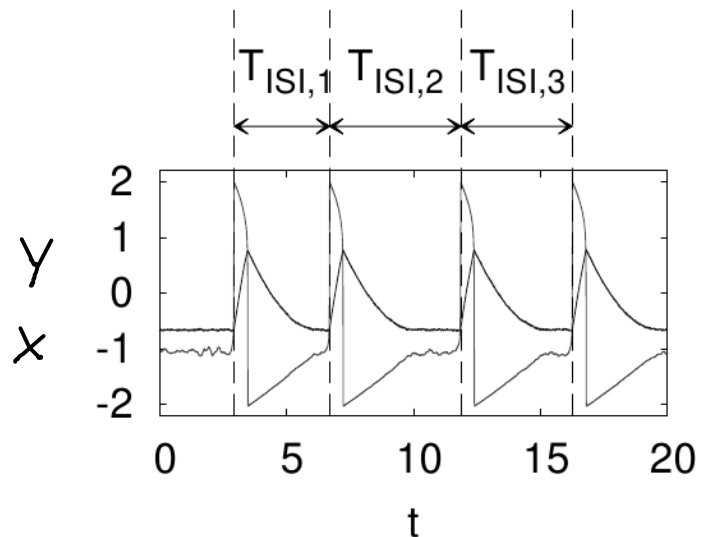
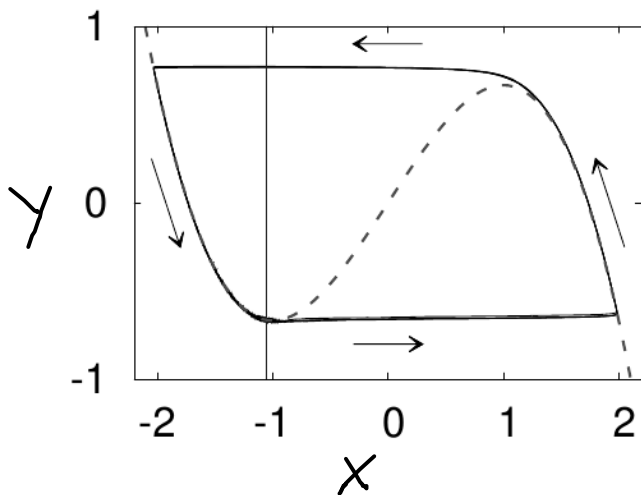
bisher (Kap. 4.2, 4.3): Kontrolle der Kohärenz einzelner Elemente

jetzt: Kontrolle von Synchronisation in gekoppelten Systemen

5.1 Kontrolle von rauschinduzierten Oszillationen in gekoppelten Neuronen

Modellgleichungen: FitzHugh-Nagumo-System ($i=1, \dots, N$)

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_i \dot{x}_i &= x_i - \frac{x_i^3}{3} - Y_i \\ \dot{y}_i &= x_i + a_i \end{aligned} \right\} + \text{Kopplung} + \text{Kontrolle} + \text{Rauschen}$$



$a = 1.05$, $\epsilon = 0.005$, Rauschintensität $D = 0.02$ rauschinduzierten Oszillationen

(1 einzelnes FHN-System)

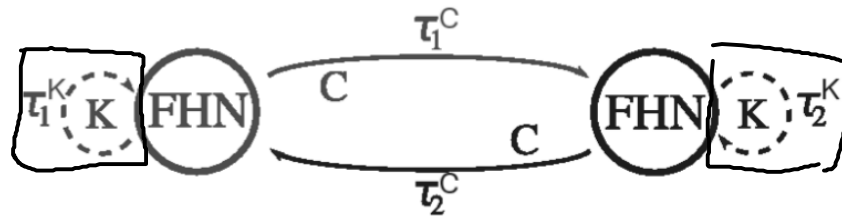
Zusätzlich: **Kopplung** + **Rückkopplungskontrolle**

$$\epsilon_1 \dot{x}_1 = x_1 - \frac{x_1^3}{3} - y_1 + C(x_2 - x_1),$$

$$\dot{y}_1 = x_1 + a + D_1 \xi_1(t),$$

$$\epsilon_2 \dot{x}_2 = x_2 - \frac{x_2^3}{3} - y_2 + C(x_1 - x_2),$$

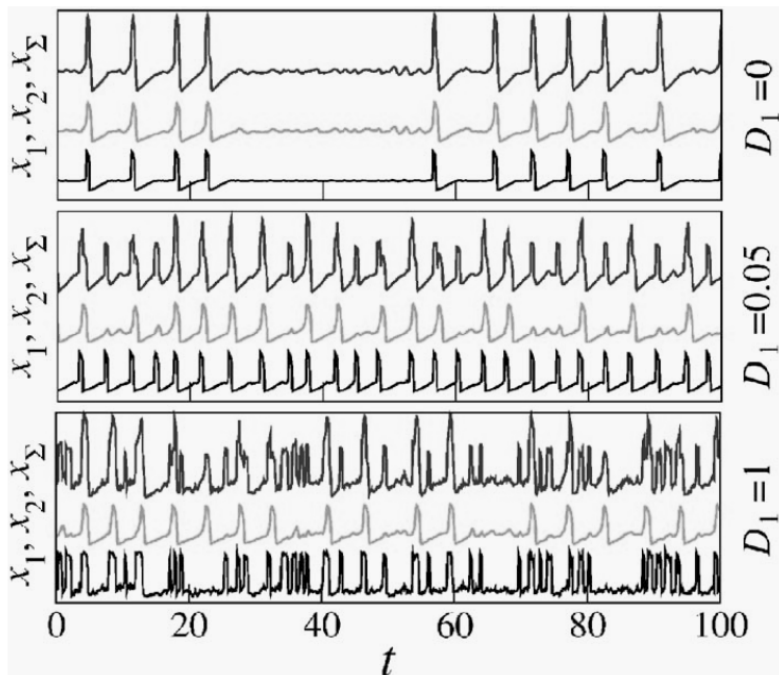
$$\dot{y}_2 = x_2 + a + D_2 \xi_2(t),$$



PHYSICAL REVIEW E 74, 051906 (2006)

Noise-induced cooperative dynamics and its control in coupled neuron models

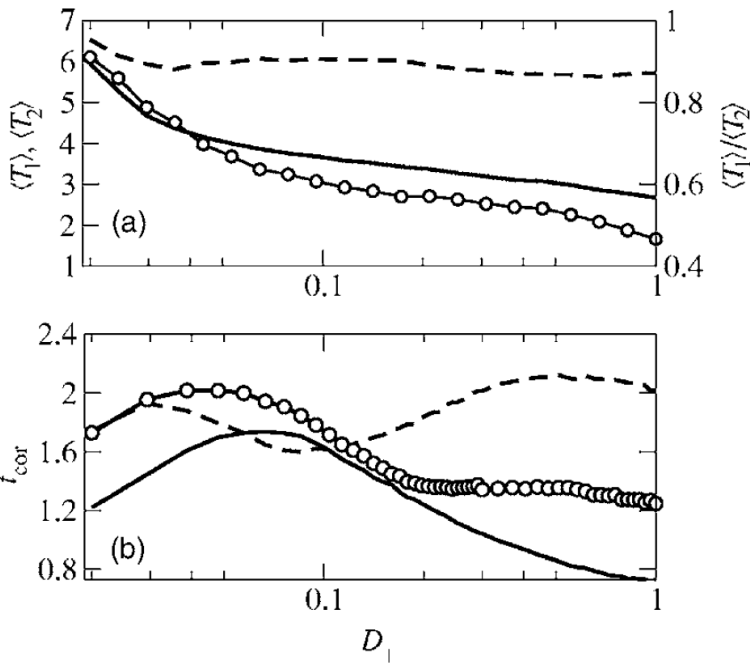
B. Hauschildt,^{1,*} N. B. Janson,^{2,†} A. Balanov,^{1,3,‡} and E. Schöll^{1,§}



$$a = 1.05, \quad \epsilon_1 = 0.005, \quad \epsilon_2 = 0.1$$

$$C = 0.07, \quad D_2 = 0.09$$

Wechselseitige Anregung der beiden System über die Kopplung
(abhängig von Rauschintensitäten D_1, D_2 und C)

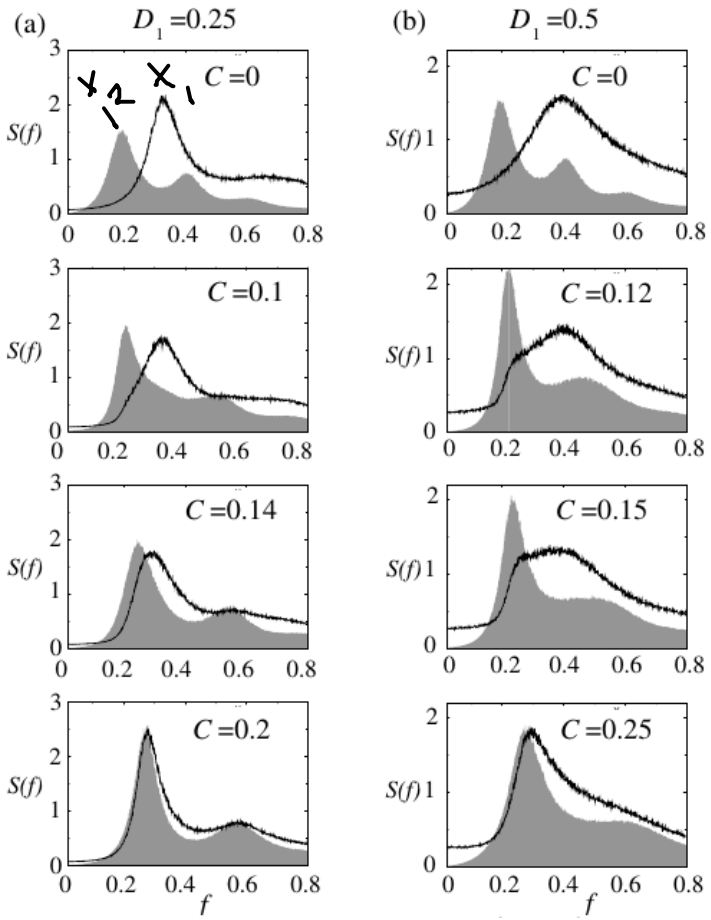


Verhältnis der
Inter-spike-Intervalle

t_{cor} : Korrelationszeit
(Regelmäßigkeit der Spikes)

Kohärenzresonanz
(optimale Rauschintensität)
→ Kap. 4

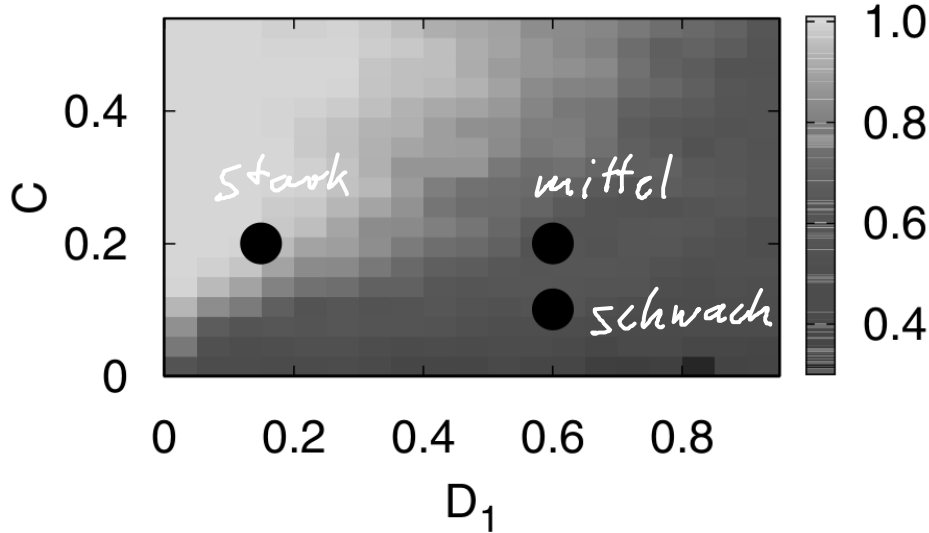
FIG. 3. Time scales and coherence of noise-induced oscillations in two coupled FitzHugh-Nagumo systems, Eqs. (1) and (2), vs D_1 at $C=0.07$. (a) Average ISIs $\langle T_1 \rangle$ (solid line), $\langle T_2 \rangle$ (dashed line), and their ratio (circles). (b) Correlation time t_{cor} obtained from x_1 (solid line), x_2 (dashed line), and x_{Σ} (circles). See text for details.



Analyse der Frequenzen
in den einzelnen Zeitserien x_1, x_2
($D_2 = 0.09$)

(a) Frequency locking
(Einigung auf eine gemeinsame
mittlere Frequenz)

(b) Frequenzunterdrückung
bei x_1



$$\langle T_1 \rangle / \langle T_2 \rangle = 1 \quad (\text{Frequenz-Synchronis.})$$

beide Systeme im Mittel

gleichhäufig angeseht

Stärke der Synchronisation

hängt von Kopplungsstärke

C und Resonanzintensität

D_1, D_2 ab

Frage: Effekt von Kontrolle auf Synchronisation und Zeitstufen in gekoppelten Systemen?

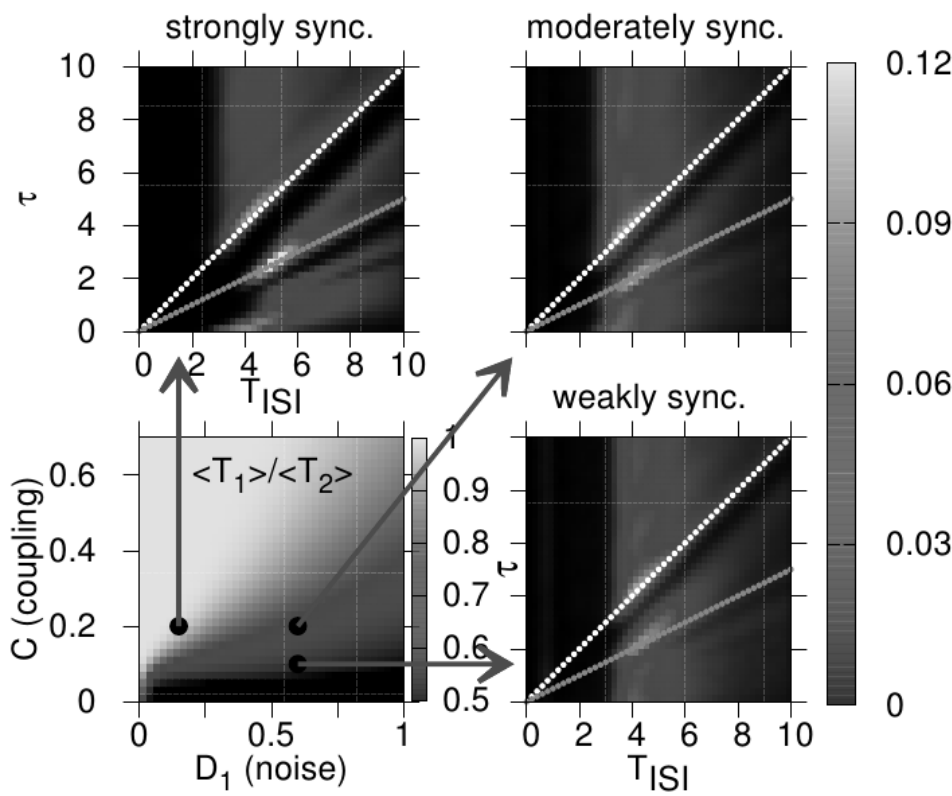
International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 20, No. 3 (2010) 813–825

© World Scientific Publishing Company

DOI: 10.1142/S0218127410026101

CONTROL OF SYNCHRONIZATION IN COUPLED NEURAL SYSTEMS BY TIME-DELAYED FEEDBACK

PHILIPP HÖVEL, MARKUS A. DAHLEM
and ECKEHARD SCHÖLL*



Zeitverzögerte Rückkopplung im 1. Element

1. Element



time delay τ

Farbskala

helle Werte $\hat{=}$ großer

Beitrag in ISI-Verteilung

Unterdrückung von Zeitskalen durch geeignete Wahl der zeitverzögerung.

5.2 Kontrolle/Dynamik zeitverzögert gekoppelter Neuronen

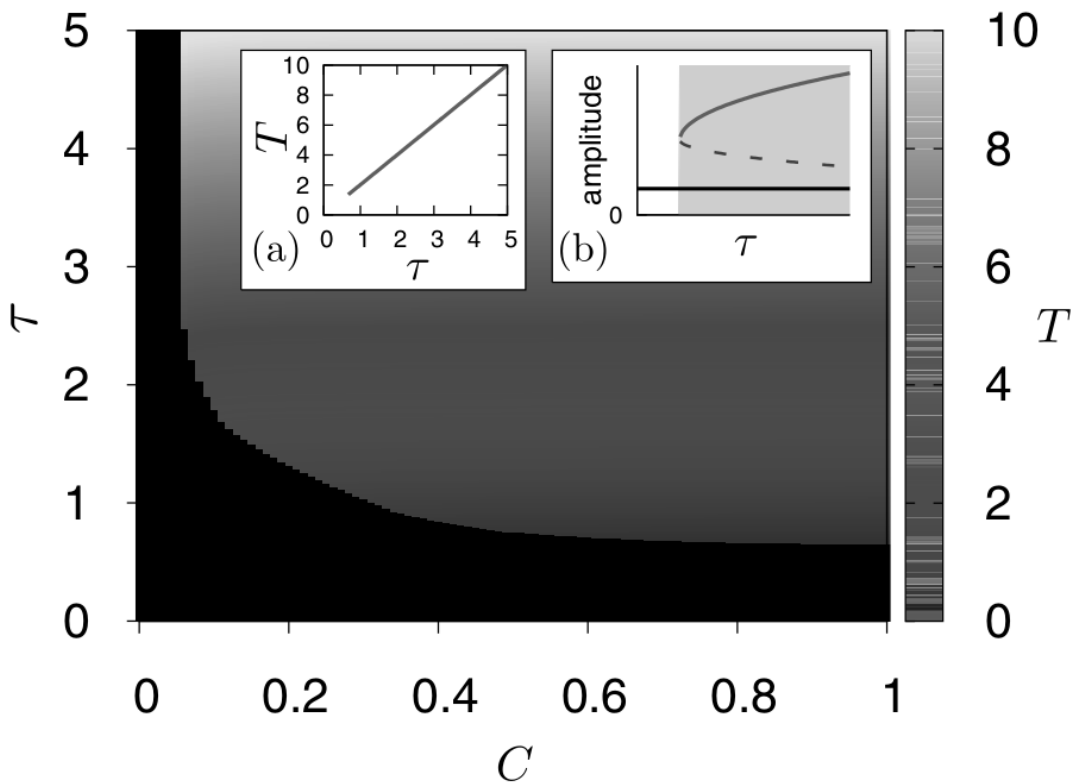
$$\epsilon \dot{x}_1 = x_1 - \frac{x_1^3}{3} - y_1 + C[x_2(t - \tau) - x_1(t)]$$

$$\dot{y}_1 = x_1 + a$$

$$\epsilon \dot{x}_2 = x_2 - \frac{x_2^3}{3} - y_2 + C[x_1(t - \tau) - x_2(t)]$$

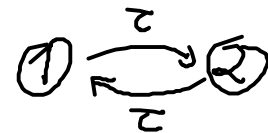
$$\dot{y}_2 = x_2 + a$$

Deterministischer Fall ($D_1 = 0 = D_2$, kein Rauschen)



Interspike-Intervalle:

$$T = 2\tau$$



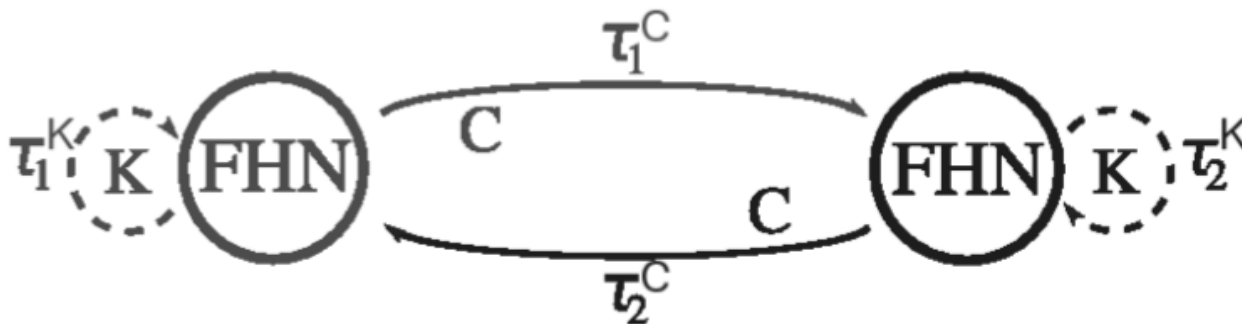
Anregung kehrt nach 2τ zurück

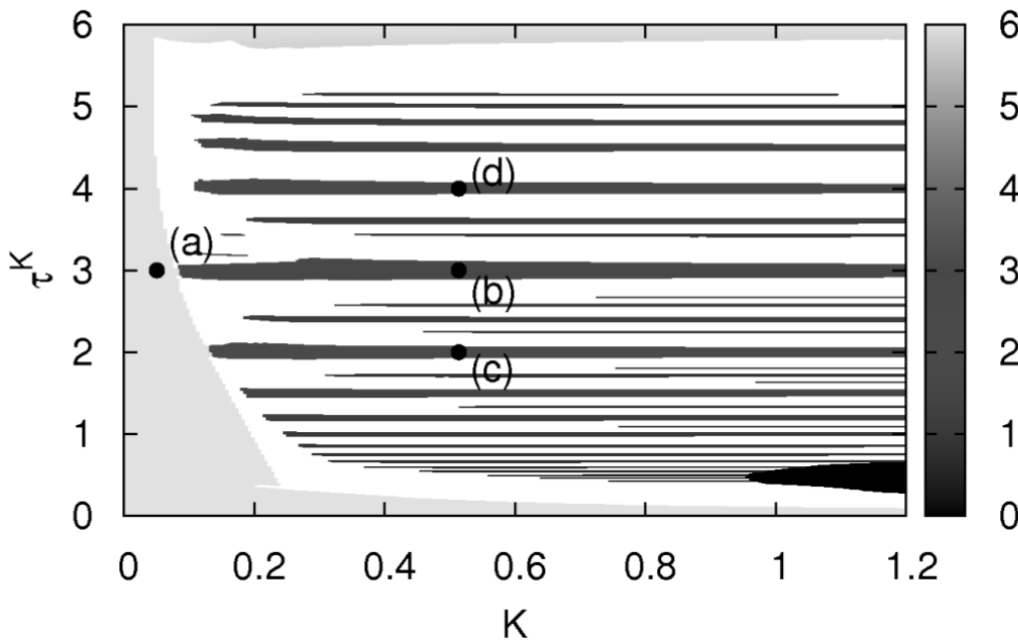
International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 19, No. 2 (2009) 745–753
 © World Scientific Publishing Company

DYNAMICS OF DELAY-COUPLED EXCITABLE NEURAL SYSTEMS

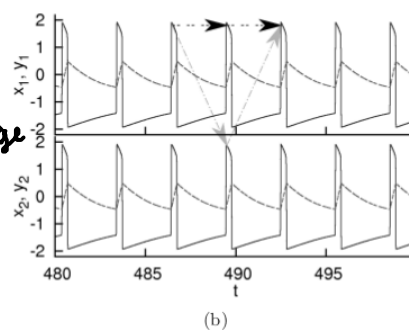
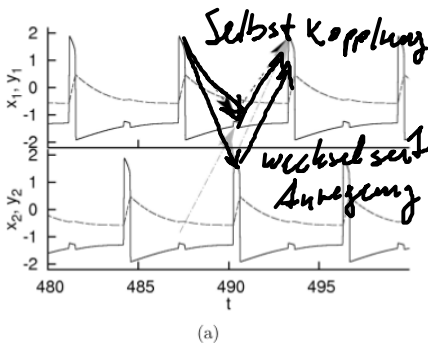
M. A. DAHLEM, G. HILLER, A. PANCHUK* and E. SCHÖLL

Wechselwirkung der Zeitverzögerung in der Kopplung und Rückkopplungskontrolle?

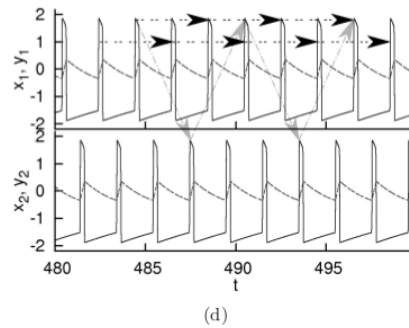
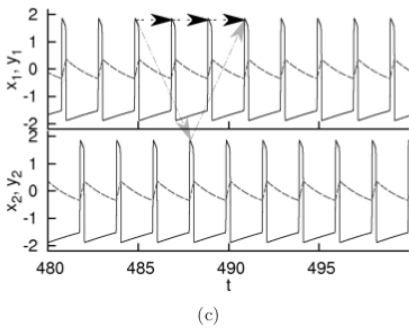




$C = 0.5$
 $\tau^c = 3$
 Farbskala
 (reguläre/regel-
 mäßige Oszill.)
 $n \tau^k = m \tau^c$
 $n, m \in \mathbb{N}$



(a) unterschwellige Anregung
 durch Selbstkopplung
 (K zu klein)
 (b) In-Phasen-Synchronisation
 (c) Anti-Phasen-Synchronis.



(d) " " " "
 (längere Transiente als in (c))

Fazit: Kopplung und Kontrolle (Rückkopplung) führen zu
 reichhaltigen dynamischen Szenarien, Synchronisation etc.
 (bereits bei 2 gekoppelten Elementen)