

# Zusammenfassung

M.Sc. Naknaimueang, Somprasong:

*”Control of spiral wave dynamics by feedback mechanism via a triangular sensory domain”.*

Gegenstand der vorliegenden Dissertation ist die Untersuchung der Steuerung von selbstorganisierten Raum-Zeit-Strukturen in einem chemischen System. Als Untersuchungsgegenstand wird die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion verwendet, die, ein sowohl experimentell als auch theoretisch gut erforschtes Modellsystem zur Analyse der Strukturbildung in erregbaren Medien darstellt. Bei dieser Reaktion können aufgrund der nichtlinearen Dynamik der Reaktionsprozesse in Verbindung mit Diffusion eine Vielzahl von Erregungsmustern auftreten. Propagierende Erregungswellen sind in ein-, zwei- und dreidimensionalen Systemen beobachtet worden. Im Rahmen der Arbeit sind dabei spiralförmige Erregungswellen von Interesse, die mittels Rückkopplung kontrolliert werden. Das Verständnis der komplexen Dynamik solcher modulierten Spiralwellen ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung von Methoden zur Kontrolle dieser Spiralwellen, die in biologischen Systemen eine hohe Anwendungsrelevanz (Spiralwellen auf dem Herzmuskelgewebe) besitzen.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Trajektorien von Spiralwellenkernen in erregbaren Systemen, wobei die Erregbarkeit des gesamten Systems (globale Rückkopplung) in Abhängigkeit von der Aktivität eines festgelegten Raumbereiches (sensorische Domäne) moduliert wird. Um dies zu erreichen wurden die Experimente mit der lichtempfindlichen BZ-Reaktion durchgeführt, bei der die Lichtempfindlichkeit des Katalysators  $\text{Ru}_3^{2+}$  genutzt wird.  $\text{Ru}_3^{2+}$  wirkt in der Reaktion als Inhibitor und somit kann über die Lichtintensität die Erregbarkeit des Systems reguliert werden. Eine Erhöhung der Lichtintensität bewirkt dabei eine Abnahme der Erregbarkeit. Parallel zu den Experimenten wurden die Ergebnisse mit numerischen Simulationen der entsprechenden Reaktions-Diffusionsgleichungen verglichen.

Als geometrische Form der sensorischen Domäne sind gleichseitige und gleichschenklige Dreiecke verwendet worden. Das Verhalten des Spiralwellenkerns wurde zum einen als Funktion der Domänengröße und zum anderen in Abhängigkeit vom Verhältnis der Basislänge zur Höhe des Dreiecks bestimmt. Die verwendeten Geometrietypen der Domäne ergeben eine Bifurkationsserie, die im Vergleich zu den bisher untersuchten Domänengeometrien (Kreise, Ellipsen, Quadrate, Rechtecke) große Unterschiede aufweist. Die Ursache liegt darin, dass jedem Eckpunkt des Dreiecks eine Seite gegenüberliegt. Insbesondere treten neuartige Formen von Grenzzyklen auf, die durch Variation der Domänengröße zerstört und dann neu ausgebildet werden können.

Es wurde das Konzept von Beschleunigungs- und Stagnationszonen eingeführt. Das sind Bereiche in denen sich die Trajektorien sehr schnell beziehungsweise sehr langsam bewegen. In den Stagnationszonen kann es sogar dazu kommen, dass die Spiralkerne an einem Punkt verharren, das heißt es befinden sich dort stabile Fixpunkte. Für die dreieckigen Domänen erweisen sich die Beschleunigungs- und Stagnationszonen von großer Bedeutung, sie sind dort stärker ausgeprägt als in den anderen Domänengeometrien in denen sie vorkommen (Quadrate). Diese Zonen sind bei der Manipulation von Spiralwellen von Interesse, denn wenn eine Spiralwelle mit hoher Geschwindigkeit von einem Ort zum anderen bewegt werden soll, erweisen sich stabile Fixpunkte und Stagnationszonen als Hindernis.

Um eine Übersicht über das Verhalten von Spiralkernen für eine spezielle Domäne zu geben, wurde ein Vektorfeld berechnet, das die Geschwindigkeit der Spiralkernndrift auf einem Gitter der Domäne sowie ihrer unmittelbaren Umgebung darstellt. Solche Vektorfelder können unter Umständen sehr kompliziert und somit auch schwer zu deuten sein. Zur Interpretations erleichterung wurde eine Farbcodierung entwickelt, die auf der normalisierten Divergenz des Vektorfeldes für jeden Punkt basiert. Dieses Programm erleichtert die Unterscheidung zwischen anziehenden und abstoßenden Grenzzyklen und hebt die Stagnationszonen deutlich hervor.

Desweiteren wurde eine einfache Methode entwickelt, welche wir als Plane wave approximation (PWA) bezeichnen, die zur Charakterisierung der Spiralkernndrift fern der Domäne dient. Diese Methode kann für beliebige Domänengeometrien benutzt werden. Dabei wird angenommen, dass die Teile der Spiralwelle, welche die Domäne durchkreuzen eine Serie von ebenen Wellen bildet. Die PWA ermöglicht es dann die Richtungen zu bestimmen, in der Beschleunigungs- und Stagnationszonen fern der Domäne liegen. Außerdem kann die Stärke des Einflusses dieser Zonen auf die Bewegung des Spiralkerns bestimmt werden. Die Grenzzyklen, auf dem sich der Spiralkern bewegt, setzen sich manchmal (teilweise) aus anziehenden Beschleunigungszonen zusammen. Die PWA ist weiterhin in der Lage den Abstand dieser Bereiche zur Domäne anzugeben.