

Kapitel 1

Einleitung

Musterbildende Systeme stellen ein Forschungsgebiet dar, welches in den letzten drei Jahrzehnten [1] immer mehr Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat und ständig gewachsen ist. Zu diesem Gebiet gehören die unterschiedlichsten Systeme aus Physik, Biologie und Chemie, deren Gemeinsamkeit darin liegt, daß sie entweder eine zeitliche oder räumliche oder aber eine Kombination aus beidem, eine raumzeitliche Strukturbildung, aufweisen. Als Beispiele seien aus der Physik der Laser [2–4], im Bereich der Supraleitung die „Josephson junction“ [5–7], Phänomene in der Halbleiterphysik [1, 8] und das große Feld der Fluidodynamik, dessen bekannteste Vertreter wohl die Rayleigh-Bénard-Konvektion und der Taylor-Couette-Fluß sind [9–12], genannt. In der Biologie ist z.B. das Herz ein solches Beispiel [13, 14], aber auch Netzwerke aus Nervenzellen [15], der Prozeß der Glykolyse [16, 17], der Lebenszyklus des Schleimpilzes *Dictyostelium discoideum* [17, 18] oder der Verlauf [19] bzw. die Ausbreitung von Krankheiten [20–23] können zeitliche, räumliche oder raumzeitliche Phänomene zeigen. Als Beispiele für musterbildende Systeme in der Chemie seien die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion (BZ-Reaktion) [24–26], die elektrochemische Reduktion von Periodat in der Anwesenheit von Kampfer an Gold [27] und die CO-Oxidation an Platin erwähnt (z.B. [28]). Auch außerhalb der Naturwissenschaften gibt es Systeme, die ein Verhalten zeigen, welches an das der gerade erwähnten Systeme erinnert. Das prominenteste Beispiel dürfte wohl das Verhalten der Finanzmärkte, insbesondere der Devisenmärkte, sein [29].

Die Modellbildung zur Erklärung der Musterbildung ist in vielen Fällen bereits weit fortgeschritten, sowohl in einer mechanistischen als auch in einer allgemeinen Betrachtungsweise. So wurde z.B. mit der komplexen Ginzburg-Landau-Gleichung eine Gleichung entwickelt, die zur Modellierung einer Vielzahl von Systemen herangezogen werden kann, deren Untersuchung aber noch lange nicht abgeschlossen ist (für einen Überblick siehe [30]). Für

den speziellen Fall der CO-Oxidation an Pt(110), welche Gegenstand dieser Arbeit ist, existiert das Krischer-Eiswirth-Ertl-Modell [31], welches die bekannten Mechanismen wie z.B. die Adsorption und Desorption der Reaktionsgase in ein spezifisches mathematisches Modell überführt und somit das System konkreten numerischen Simulationen zugänglich macht.

In letzter Zeit richtete sich das Augenmerk bei der Untersuchung musterbildender Systeme verstärkt auf die Möglichkeit der Kontrolle bzw. allgemein der Einflußnahme von außen auf diese Systeme. Oft sind die Auswirkungen spontaner Musterbildung unerwünscht wie z.B. bei der Epilepsie, bei der man gerne die anfallartige Dynamik unterdrücken würde, ohne jedoch die Aktivität des betroffenen Nervengewebes völlig zum Erliegen zu bringen [32]. Aber nicht nur die Unterdrückung unerwünschter Dynamik wurde untersucht. Viele andere Arten der Einflußnahme auf nichtlineare dynamische Systeme wurden betrachtet: die Auswirkungen von Variationen eines zeitlich veränderbaren Parameters in Form von periodischen Anregungen [33–41] oder mit Hilfe der Rückkopplung einer globalen [42–45] oder lokalen [46, 47] Zustandsvariablen auf diesen Parameter, die Auswirkungen, die ein verstärktes Rauschen haben kann [48–52] oder aber der Einfluß räumlicher Variationen eines Parameters in Form eines Gradienten [53–57] oder eines vorgegebenen Musters [58–63].

Die hier vorgestellte Arbeit beschäftigt sich ebenfalls mit der Einflußnahme von außen auf ein musterbildendes System, das der CO-Oxidation an Pt(110). Mit Hilfe eines fokussierten Laserstrahls wird die Temperatur des Kristalls lokal erhöht und somit ein wesentlicher Parameter der Reaktion gezielt verändert. Da der Laserstrahl durch zwei computergesteuerte Spiegel frei auf der Probe positionierbar ist, kann dieser lokale Eingriff in das System im Gegensatz zu vorgefertigten Mustern auf der Probe auch zeitlich variiert werden. Dadurch wird das Spektrum der Manipulationen von den stationären lokalen Variationen auf zeitlich variable lokale Variationen erweitert.¹

Die Arbeit läßt sich in zwei Teile gliedern: Im ersten Teil werden die Grundlagen des untersuchten Systems und das Experiment vorgestellt (Kapitel 2 und 3). Im darauf folgenden vierten Kapitel wird dann die Erwärmung der Pt(110)-Probe durch den Laser näher untersucht. Der zweite Teil dieser Arbeit (Kapitel 5–10) stellt die Ergebnisse der verschiedenen Messungen dar und vergleicht sie mit Simulationen. Anschließend werden in Kapitel 11 diese Ergebnisse zusammengefaßt.

In Kapitel 5 wird mit der denkbar einfachsten Störung des musterbildenden Systems begonnen, einem stationären Laserspot. Im anregbaren Bereich findet man, daß durch die lokale Erwärmung der Probe im CO-bedeckten

¹Kürzlich (Juni 2002) wurde auch bei der licht-sensitiven BZ-Reaktion eine lokale zeitlich variable Manipulation der Musterbildung realisiert [64].

anregbaren Ausgangszustand Sauerstoffwellen ausgelöst werden können. Es wird eine kritische Schwelle bestimmt, die sowohl die Laserleistung als auch die benötigte Heizdauer betrifft, und das Ergebnis wird mit Simulationen verglichen. Im oszillatorischen Bereich werden verschiedene Phänomene (lang- und kurzreichweitige Wellenquellen sowie „reinlaufende“ Zielscheibenmuster) gefunden und mit Ergebnissen von Simulationen verglichen.

In den folgenden Kapiteln wird nunmehr die Komplexität der Störung durch den Laser schrittweise erhöht bis hin zu geschlossenen Rückkopplungsschleifen zwischen dem Experimentator oder dem Computer und dem untersuchten Reaktions-Diffusions-System in Kapitel 10. Dazu wird in Kapitel 6 die räumliche Beschränkung des Laserspots auf einen einzelnen Punkt aufgehoben. Es wird der Fragestellung nachgegangen, inwieweit zwei räumlich und/oder zeitlich getrennte unterkritische „Erwärmungsereignisse“, die jedes für sich keine Sauerstoffwellen auslösen können, zusammen ein kritisches erzeugen können. Am Ende des Kapitels wird der Laserspot dann entlang einer Linie bewegt. Bei nicht zu hoher Geschwindigkeit erzeugt er machkegelartige Sauerstoffwellen, die bei mittleren Geschwindigkeiten an einigen Stellen unterbrochen sind.

Diese Art der Bewegung wird in Kapitel 7 wieder aufgegriffen: Eine unterkritische lokale Erwärmung, die von sich aus keine Sauerstoffwellen erzeugen kann, wird benutzt, um eine spontan entstandene Sauerstoffwelle entlang einer Linie zu beschleunigen. Dieses Phänomen wurde „Dragging“ genannt. Computergestützte Simulationen verdeutlichen den Mechanismus des Dragging.

Analog zu den weiter oben bereits erwähnten Arbeiten [33–41] wird in Kapitel 8 der Einfluß einer lokalen periodischen Anregung auf das System untersucht. Zudem wird ein sogenannter „Lupen“-Effekt beschrieben, bei dem der bewegte Laserspot scheinbar wie eine Lupe die vorhandene Musterbildung im Oszillatorischen vergrößert.

In Kapitel 9 wird die Anwendung des variabel positionierbaren Laserspots in zwei Rückkopplungsexperimenten demonstriert. Die Aufenthaltsdauer des fokussierten Laserstrahls an vier vorbestimmten Punkten wird bei diesen Versuchen durch Rückkopplung des Systemzustandes, der in vier Bereichen der Probenoberfläche – einer für jeden Punkt – gemessen wird, bestimmt.

Die Ergebniskapitel werden mit Kapitel 10 abgeschlossen, in dem Experimente gezeigt werden, bei denen die CO-Oxidation auf Pt(110) aktiv gesteuert wird. Es wird demonstriert, wie man CO-Wellen entlang eines vorbestimmten Pfades führen kann und wie man die raumzeitlich variable Operation des fokussierten Lasers dazu nutzen kann, Strategien zur Verbesserung der Reaktionsrate zu testen.

In Kapitel 11 werden die Resultate zusammengefaßt.

