

Chaos – Fraktale – Strukturen

oder

Von den Schwierigkeiten die nichtlineare Dynamik zu den Schülern zu bringen

Friederike Korneck,

Institut für Didaktik der Physik,
J.W.-Goethe-Universität Frankfurt

Seit der Entwicklung der nichtlinearen Dynamik setzen sich Fachdidaktiker mit der Elementarisierung dieses Forschungsgebietes auseinander. Für Schule und Lehrerbildung entstanden so in den letzten Jahren die verschiedensten Ansätze, um die aktuellen Forschungsergebnisse den Schülerinnen und Schülern nahe zu bringen.

Obwohl inzwischen die nichtlineare Dynamik in einigen aktuellen Lehrplänen und Schulbüchern aufgenommen wurde, hält sie in den Schulen kaum Einzug. Fachlich schwierig, sehr mathematisch und damit aufwendig zu unterrichten wird sie von Lehrerinnen und Lehrern als ein Thema für Spezialisten angesehen. Um sich mit diesem Problem auseinanderzusetzen, werden zunächst einige aktuelle Lehrpläne und Schulbücher analysiert und auf dieser Basis verschiedene Vorschläge erarbeitet, um die nichtlineare Dynamik doch noch in den Schulen zu etablieren.

„Chaos ist für mich Mathematik - da habe ich keine Lust auf Lehrerfortbildungen.“ „Was man im Studium niemals kennengelernt hat, eignet man sich später im Lehreralltag auch nicht selber an.“ „Erst durch den Kontakt mit Dir habe ich gesehen, dass die nichtlineare Dynamik elementarisierbar ist. Ich habe gedacht, das ist zu schwer für die Schule.“

Dies sind Zitate aus Gesprächen mit einigen Oberstufenlehrerinnen und -lehrern ausgehend von den Fragen, ob sie der Meinung sind, dass die nichtlineare Dynamik ein geeigneter Unterrichtsgegenstand für die gymnasiale Oberstufe ist und ob sie die nichtlineare Dynamik selbst unterrichten würden, wenn sie als Wahlthema im Lehrplan stünde. Es zeigte sich in den Gesprächen, dass die Bedenken, Themen der nichtlinearen Dynamik selbst zu unterrichten, groß sind. Sie überwiegen bei weitem die positiven Argumente, die sich fast ausschließlich auf den Alltagsbezug der nichtlinearen Dynamik beschränken. Hier noch einige weitere Zitate:

„Andere Themen hat man drin, da weiss man den Zeitrahmen.“ „Das Thema ist so komplex und der mathematische Hintergrund so kompliziert und an der Uni habe ich noch nie etwas davon gehört.“ „Im hessischen Plan würde das in Klasse 11 passen. Zu Mechanik und Thermodynamik. Aber wir schaffen ja kaum die Thermodynamik und schon gar keine Extrathemen.“ „In 13/2 haben wir freie Wahlthemen. Aber da wird die nichtlineare Dynamik schon gar nicht erwähnt.“

Aus dem Briefwechsel mit dem Mitglied einer Lehrplankommission stammen folgende Zitate: „Sie haben Recht mit der Feststellung, dass viele Lehrer bei diesem Thema eine hohe Hemmschwelle haben.

Wir haben das Thema seinerzeit in den Lehrplan gesetzt, da es nach unserer Auffassung paradigmatischen Charakter für ein modernes Physikverständnis hat. ... Inzwischen ist aber das Interesse an dem Thema merklich zurückgegangen. Wir führten auch damals mehrere Lehrerfortbildungen zu dem Thema durch, das allerdings z.Z. wieder ‚aus der Mode gekommen ist‘.“ Er beschreibt die Herangehensweise in Lehrplan und Handreichung, die den Zugang zur Chaosphysik über das Thema „Schwingungen“ vorsieht und schreibt weiter: „Es stellte sich uns die Frage des Zugangs. ... Sympathischer und bildungswirksamer erscheint mir der systemische Zugang über Selbstorganisation und Strukturbildung. Dann aber wäre der entsprechende Baustein ein isolierter Block gewesen.“

1. Bestandsaufnahme

Die folgende Bestandsaufnahme der aktuellen Lehrpläne und Schulbücher zeigt, dass diesem Trend, die nichtlineare Dynamik an das Thema „Schwingungen“ anzugliedern, die meisten Lehrplan- und Schulbuchautoren gefolgt sind. Leider zum Nachteil der Strukturbildung, die sowohl in Lehrplänen als auch in Schulbüchern weniger berücksichtigt ist.

Zur Zeit findet eine Revision vieler Lehrpläne statt: Einige wurden in jüngster Zeit verabschiedet, andere befinden sich in der Anhörungsphase. Deshalb werden zunächst einige der aktuellen Lehrpläne vorgestellt, die die nichtlineare Dynamik aufgenommen haben.

Der zweite Teil der Bestandsaufnahme liegt in der Analyse von Unterrichtsmaterialien - aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen - auf Materialien,

die sich die meisten Lehrer beziehen, wenn sie ein neues Thema vorbereiten.

In meiner Dissertation [1] wurden ausführlich die verschiedenen fachdidaktischen Ansätze zur nichtlinearen Dynamik analysiert. Deshalb an dieser Stelle nur eine Bemerkung: Es sind zwar Arbeiten seither dazugekommen, aber in weiten Teilen ist die Analyse immer noch aktuell: Auch in den letzten zwei Jahren wurden fast ausschließlich Forschungsergebnisse zur nichtlinearen Dynamik auf sehr hohem Niveau aufgearbeitet (z.B. Artikel zur Einführung der Turbulenz, erschienen in „Physik in der Schule“ [2], [3]). In den Veröffentlichungen fehlt der letzte Schritt von den elementarisierten fachdidaktischen Inhalten zur erprobten und evaluierten Unterrichtseinheit für die Schule und die Lehrerbildung. Die Umsetzung wird den Lehrern überlassen und das haben auch die meisten Lehrerinnen und Lehrer im Gespräch moniert.

Auf ein weiteres Anliegen soll ebenfalls nur kurz eingegangen werden: Nicht nur in der Schule, auch in den Vorlesungsangeboten für Lehramtsstudenten kommt die nichtlineare Dynamik zu kurz. Selbst am Fachbereich Physik der Goethe-Universität in Frankfurt, der jahrelang einen Sonderforschungsbereich „Nichtlineare Dynamik“ hatte, taucht das Thema nur in einer Blockvorlesung auf. In den Grundvorlesungen fällt es mit dem gleichen Argument wie in den Schulen weg: Es wäre ja interessant und wichtig, aber leider bleibt keine Zeit ...

1.1. Lehrpläne

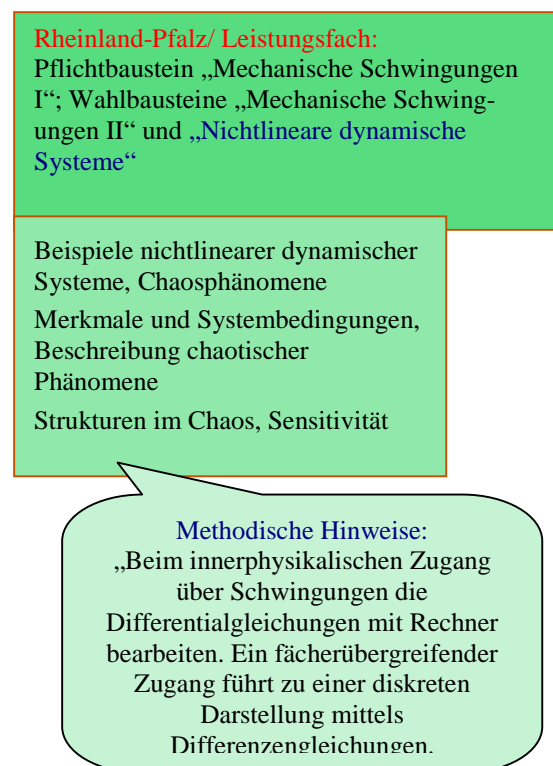


Abb.1: Auszüge aus Lehrplan Physik, Rheinland-Pfalz [4]

Der aktuelle Lehrplan für Rheinland-Pfalz und eine dazugehörige Lehrerhandreichung empfehlen für das Leistungsfach Physik drei Bausteine: Den Pflichtbaustein „Mechanische Schwingungen I“ und die beiden Wahlbausteine „Mechanische Schwingungen II“ und „Nichtlineare dynamische Systeme“. In den ersten beiden Bausteinen sollen ausbaufähige Schwingungsbeispiele gewählt werden und damit die Grundlagen für die nichtlineare Dynamik gelegt.

Das Ziel ist ein „stufenförmiges Vorgehen, an dessen Ende ein angemessener und fundierter Einblick in die Chaosphysik steht“ [5].

Abbildung 1 zeigt die Inhalte und methodischen Hinweise des Wahlbausteins „nichtlineare dynamische Systeme“. Letztere beziehen sich lediglich auf die mathematische Beschreibung der nichtlinearen Systeme.

In diesem Lehrplan ist für das Leistungsfach auch ein Wahlbaustein „Strömungsphysik“ empfohlen. Leider wurde die Chance, die beiden Themenbereiche „Strömungsphysik“ und „nichtlineare Dynamik“ aufeinander aufzubauen und zu koppeln nicht genutzt. Die beiden Bausteine stehen völlig unabhängig nebeneinander. Es würde sich anbieten, Lehrerfortbildungen und evtl. eine Handreichung zu erstellen, die den Zugang zur nichtlinearen Dynamik über Phänomene aus der Strömungsdynamik aufzeigt, wie er in meiner Dissertation ausgearbeitet wurde.

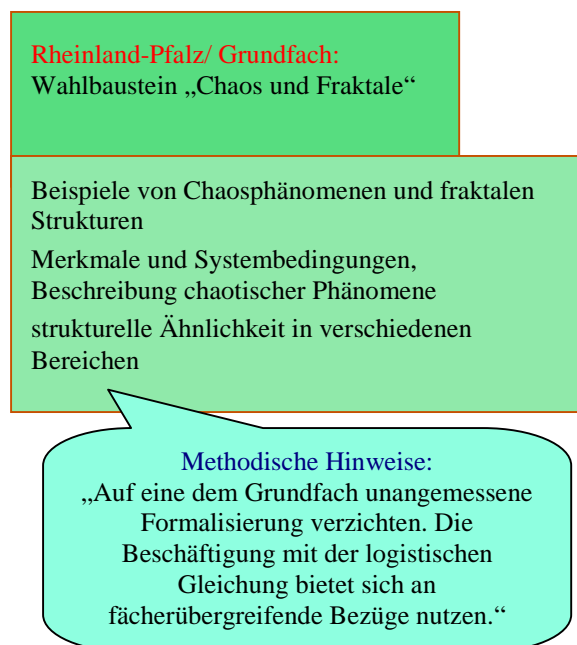


Abb.2: Auszüge aus Lehrplan Physik Rheinland-Pfalz [4]

Für das Grundfach (Abbildung 2) ist ein Wahlbaustein „Chaos und Fraktale“ vorgesehen mit dem Ziel, dem Schüler „einen kontrastiven Einblick in Phänomene und in den transdisziplinären Charakter der Thematik“ zu geben. [5]

Hier soll im Gegensatz zum Leistungsfach, auf eine „unangemessene Formalisierung“ verzichtet werden. Trotzdem wird eine Beschäftigung mit der logistischen Gleichung empfohlen.

Die Anhörungsfassung des baden-württembergischen Bildungsplans [6] für das vierstündige Profil- und Neigungsfach deckt sich in den ersten drei Punkten des Wahlmoduls „Nichtlineare dynamische Systeme“ mit dem rheinland-pfälzischen Lehrplan. Als „regionaler Leckerbissen“ wurde hier zusätzlich die Synergetik aufgenommen und so neben der Chaosphysik die Strukturbildung berücksichtigt (Abbildung 3).

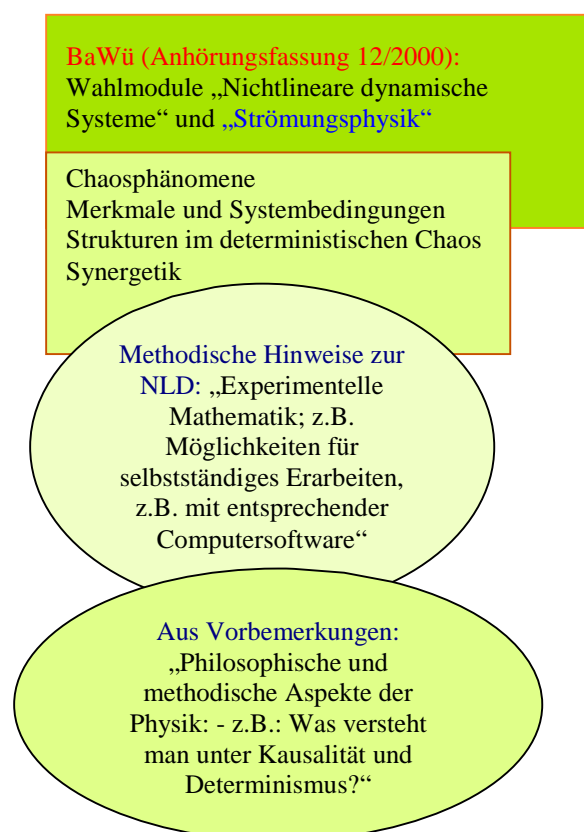


Abb.3: Auszüge aus Bildungsplan für die Kursstufe des Gymnasiums, Baden-Württemberg [6]

Die allgemeinen Vorbemerkungen für diesen Lehrplan stellen, mit der Frage nach Kausalität und Determinismus, u.a. auch philosophische Aspekt in das Zentrum des Unterrichts. Die Diskussion dieser Frage kann ausgezeichnet im Wahlmodul „Nichtlineare, dynamische Systeme“ bearbeitet werden [6]. Die methodischen Hinweise zu den Wahlmodulen selbst weisen allerdings in eine andere Richtung (siehe Abbildung 3).

In diesem Plan stehen die beiden Wahlmodule „Strömungsphysik“ und „Nichtlineare dynamische Systeme“ direkt untereinander, so dass eine thematische Anbindung nahe liegt. Aber im Lehrplan ist dies nicht vorgesehen. Wie in Rheinland-Pfalz wäre auch hier eine Zusammenarbeit z.B. zur Konzeption von Lehrerhandreichungen denkbar.

Im Fachrahmenplan für Bremen taucht die nicht-lineare Dynamik nur als Erweiterungsthema im Bereich „Mechanik“, Unterthema „mechanische Schwingungen“, auf. Außer dem Hinweis auf das Fadenpendel enthält dieser Plan keine inhaltlichen Vorschläge.

Bremen 1998: Themenbereich „Mechanik“, Erweiterungsthema „nichtlineare Schwingungen“ (z.B. Fadenpendel)

Hessen 1994: Inhaltsbereich „Schwingungen und Wellen“, Erweiterungsthema „Chaotische Systeme“

Möglichkeit: „ergänzender Inhaltsbereich“ mit freier Themenwahl

Abb. 4: Auszüge aus Fachrahmenplan Bremen [7] und Kursstrukturplan Hessen [8]

Auch im hessischen Kursstrukturplan ist die nicht-lineare Dynamik nur ein Erweiterungsthema zum Inhaltsbereich „Schwingungen und Wellen“. Allerdings bietet der Kursstrukturplan in Hessen die Möglichkeit, einen Inhaltsbereich frei zu wählen. Diese freien Themen werden meist in der 13/2 unterrichtet. Für diesen Zeitraum war die etwa 30-stündige Unterrichtseinheit meiner Arbeit zur Strömungsdynamik und nichtlinearen Dynamik ursprünglich konzipiert.

In Hessen wird eine Reform der Oberstufe angestrebt. Parallel zu dieser Reform sollen auch neue Lehrpläne erstellt werden, so dass eine stärkere Berücksichtigung der nichtlinearen Dynamik eventuell durchgesetzt werden kann.

Zum Schluß der nordrhein-westfälische Lehrplan, der die nichtlineare Dynamik am stärksten berücksichtigt.

Zunächst sind in diesem Plan „Nichtlineare Schwingungen“ als obligatorischer Gegenstand für Grund- und Leistungskurse innerhalb des Sachbereichs „Mechanik“ vorgesehen (siehe Abbildung 5).

NRW (1999):

Sachbereich „Mechanik“, Thema „Mechanische Schwingungen“

Nichtlineare Schwingungen

Vorhersagbarkeit des Schwingungsverhaltens

Abb. 5: Auszüge aus den Richtlinien und Lehrplänen für die Sekundarstufe II, NRW [9]

Ein weiterer, ausgesprochen ausführlicher Themenbereich zu „Nichtlinearität und Chaos“ findet sich im Sachbereich „Thermodynamik“ als allgemeiner

Strukturtheorie. Sie bietet auch „irreversiblen Phänomenen“, „realen Systemen mit hoher Komplexität“ und „Nichtgleichgewichtssystemen“ die notwendige begriffliche und konzeptuelle Basis [9, S. 119].

Abbildung 6 zeigt Inhalte und Konzepte aus der nichtlinearen Dynamik, die in diesem Plan für die Bearbeitung im Unterricht empfohlen werden.



Abb. 5: Auszüge aus den Richtlinien und Lehrplänen für die Sekundarstufe II, NRW [9]

Damit handelt es sich hier um den einzigen Lehrplan, der auch die Strukturbildung in ausreichendem Maße berücksichtigt.

Dieser Rahmenplan bezieht sich - vielleicht als als einziger - auf die fachdidaktischen Forschungsarbeiten der letzten Jahre. Er weist allerdings auch auf ein Problem hin, das die didaktischen Arbeiten der letzten Jahre betrifft: „Die Untersuchung nichtlinearer Systeme hat erst in den letzten dreißig Jahren gerade auf Grund der während dieser Zeit möglich gewordener umfangreichen Computersimulationen zu wichtigen Erkenntnissen geführt. Eine unterrichtliche Behandlung entsprechender Fragestellungen kann sich daher nicht auf langfristige Erfahrungen stützen und muss von den Lehrerinnen und Lehrern selbstständig erprobt und beurteilt werden.“ [9, S. 127]

Gerade diese Aussichten auf unerprobte Unterrichtsvorschläge lassen die Lehrkräfte vor der nichtlinearen Dynamik zurückschrecken. Immer wieder wird

das in Gesprächen deutlich. Mit der Erprobung und Evaluation dürfen wir die Lehrerinnen und Lehrer nicht allein lassen! Das ist originär die Aufgabe der Fachdidaktiker.

2.1. Die nichtlineare Dynamik in Schulbüchern und Lehrerhandreichung

Immer wieder beklagen sich Lehrerinnen und Lehrer, dass die nichtlineare Dynamik in Schulbüchern nicht ausreichend berücksichtigt sei. Dem ist nicht so. Das zeigt die Analyse einiger aktueller Physikbücher für die gymnasiale Oberstufe [10]–[15]. In Abbildung 7 sind Schulbücher aufgelistet, die die nichtlineare Dynamik bearbeiten. Besonders interessant ist eine Lehrerhandreichung [5] zur nichtlinearen Dynamik, die von Lehrern für Lehrer verfasst wurde. Deshalb wurde sie in die Analyse mit aufgenommen. Da sie allerdings eine andere Zielgruppe hat, wurden die Inhalte, die sie betreffen, grün gekennzeichnet. Von dieser Handreichung wurden nur die Unterrichtseinheiten - nicht die Sachanalyse - ausgewertet.

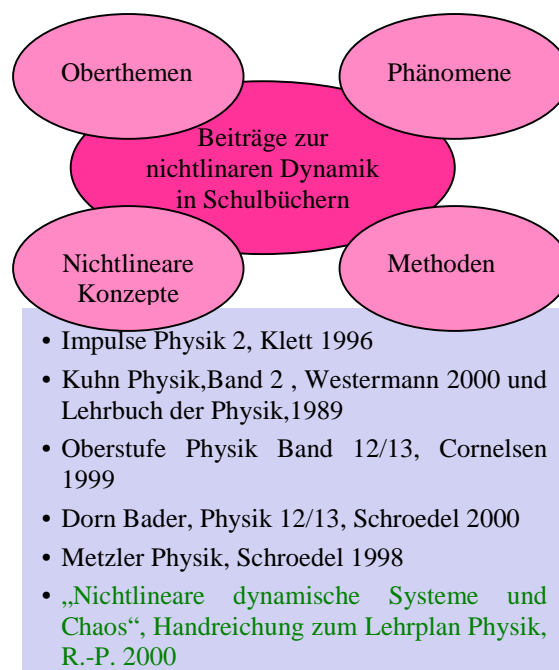


Abb. 7: Analyse von Unterrichtsmaterialien zur nichtlinearen Dynamik

Die Auswertung der Schulbücher und der Handreichung erfolgt nach folgenden Kategorien: Nach Oberthemen, denen die nichtlineare Dynamik zugeordnet wurde; nach den bearbeiteten Phänomenen; nach den nichtlinearen Konzepten und nach den Darstellungsmethoden.

2.1.1. Oberthemen

In vier von fünf Schulbüchern und in der Lehrerhandreichung wird die Chaosphysik unter dem Themengebiet „Schwingungen“ bearbeitet. In zwei Büchern erscheint sie als ein eigenständiges Thema.

Die Strukturbildung findet sich - analog zu den Lehrplänen - nur in zwei von fünf Schulbüchern. In beiden ist sie unter der Thermodynamik angesiedelt.

2.1.2. Phänomene

Die in den Kapiteln zur nichtlinearen Dynamik vorgestellten Phänomene wurden für die folgende Aufstellung der Chaosphysik und der Strukturbildung zugeordnet.

Phänomene	Chaosphysik (6)
	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetpendel, Pohlsches Rad mit Unwucht (je 6) • elektrischer Schwingkreis, Doppelpendel, Populationsdynamik (je 4) • Fraktale (3) • Dreikörperproblem, tropfender Hahn, Ökosysteme (je 2) • Börse, Lorenzsystem, Reibungsoszi., Übergang laminar zu turbulent, Schmetterlingseffekt, Jo-Jo-Wagen, Zwei-Feder-Quer-Pendel, doppeltschiefe Ebene, Duffingoszi. (je 1)
	<ul style="list-style-type: none"> • Alltagsphänomene (Wetter, Luftballone, Glücksspiele, Billiard ...) (je 5) • medizinische Anwendungen, Herzrhythmus, Vorgänge im Gehirn, (je 3)
Strukturbildung (2)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Bénardsystem (2) • Biologische Anwendungen, Lebewesen als dissipative Strukturen (je 2) • Sandriffel, Schüttgüter, Mischen und Entmischen, Übergang zur Turbulenz, chemische Oszillationen, versch. selbsterregte Schwinger (je 1)

Abb.8: Nichtlineare Phänomene in Schulbüchern und Lehrerhandreichung

Die Auflistung erfolgt hierarchisch nach der Popularität der Phänomene. In Klammern steht jeweils die Anzahl der Veröffentlichungen, in denen die jeweiligen Phänomene bearbeitet sind.

So werden in allen Veröffentlichungen das Magnetpendel und das Pohlsche Rad als geeignete Systeme betrachtet, um die Konzepte der nichtlinearen Dynamik einzuführen. Es folgen in der Rangliste der elektrische Schwingkreis, Doppelpendel und die Populationsdynamik und die Fraktale.

In allen Veröffentlichungen außer der Lehrerhandreichung werden auch Alltagsphänomene thematisiert, wobei neben der Wettervorhersage die medizinischen Anwendungen am beliebtesten sind.

Wie bereits erwähnt wird die Strukturbildung in zwei Schulbüchern thematisiert. In beiden Büchern

hat das Bénardsystem eine zentrale Stellung. Im Oberstufenband von Cornelsen nimmt die Strukturbildung mit Alltagsphänomenen wie „Sandriffel“, „Schüttgüter“, „Mischen und Entmischen“ viel Raum ein. Hier erkennt man erfreulicherweise die fachdidaktischen Arbeiten von Nordmeier und Schlichting wieder.

2.1.3. Nichtlineare Konzepte

Abbildung 9 zeigt die physikalischen Konzepte der nichtlinearen Dynamik, die laut den analysierten Schulbüchern und der Handreichung im Unterricht erarbeitet werden sollen.

Nichtlineare Konzepte	Chaosphysik (6)
	<ul style="list-style-type: none"> • Nichtlinearität (6) • schwache und starke Kausalität, Bifurkation seltsamer Attraktor, Laplacescher Dämon, (je 5) • Sensibilität gegen Störungen, stabile und labile Gleichgewichtslagen, Vorhersagehorizont, lineare Modelle, deterministisches Chaos, universeller Weg ins Chaos, Ordnung im Chaos, Phasenraum, versch. Attraktortypen (je 4) • Fraktale, exponentielles Fehlerwachstum, Überlagerungsprinzip bei linearen Systemen (je 3) • Periodenverdopplung, Skaleninvarianz (je 2) • Freiheitsgrad, Kontrollparameter, Synchronisation (je 1)
Strukturbildung (2)	
	<ul style="list-style-type: none"> • offene Systeme/ Nichtggssysteme (2) • Dissipation, Energieentwertung (2) • Natur ist nichtlinear (2) • spontane Strukturbildung oberhalb eines kritischen Wertes (2) • Symmetriebrechung (2) • Zufall als kreatives Element (2) • Rückkopplung (2) • Synergetik: Selbstorganisation, kollektives Verhalten der Teilchen, Ordnungsparameter, Selektion, Versklavung, zirkuläre Kausalität (je 1)

Abb.9: Nichtlineare Konzepte in Schulbüchern und Lehrerhandreichung

Im Vergleich zu klassischen Unterrichtsthemen, wie den Grundlagen der Mechanik oder Optik, wo die physikalischen Konzepte unabhängig vom Schulbuchautor relativ einheitlich sind, findet sich zur nichtlinearen Dynamik ein weites Spektrum verschiedener physikalischer Konzepte. Eine zentrale Rolle spielt die Nichtlinearität als eine Voraussetzung chaotischen Verhaltens. Gefolgt von den Konzepten der Verletzung des Prinzips der schwachen Kausalität, der Bifurkation und des seltsamen Attraktors. In allen Schulbüchern wird auch der

Laplace'sche Dämon als Inbegriff deterministischer Weltansicht thematisiert.

Obwohl die Kapitel zur nichtlinearen Dynamik in den Schulbüchern z.T. sehr ansprechend gestaltet sind, erschwert die große Bandbreite die Auswahl der relevanten Unterrichtsinhalte zur Chaosphysik.

Eindeutiger ist die Auswahl der Konzepte zur Strukturbildung in beiden Schulbüchern, die sich zusätzlich zur Chaosphysik mit diesem Thema beschäftigen. Sie befassen sich beide mit den Bedingungen, die ein System erfüllen muss, um selbstorganisierte Strukturen ausbilden zu können - es muss offen und dissipativ sein und die Teilchen müssen nichtlinearen Bewegungsgleichungen gehorchen. Unter diesen Voraussetzungen können sich oberhalb eines kritischen Wertes des Kontrollparameters spontan Strukturen ausbilden. Ob diese Eindeutigkeit der relevanten Konzepte daran liegt, dass die Strukturbildung nur von zwei Autoren mit einbezogen wird, oder ob es an der Materie liegt, ist nicht eindeutig festzustellen.

2.1.4. Methoden

Methoden

Chaosphysik (6)

Mathematische Darstellungsmethoden:

- **Schematische Darstellungen** (z.B. zu offenen Systemen), **Bifurkationsdiagramm**, **Potenzialdarstellung**, Feigenbaumdiagramm, Phasendiagramm (je 4)
- iterative Berechnungen mit vorgegebenen Gleichungen, Differentialgleichungen, Poincaré-Darstellung (je 2)
- **nichtlineare Kennlinien**, **Potenzialgleichungen**, Abschätzungen (je 1)
- **Versuchsanleitungen** (6) zu Magnetpendel, Schwingkreis, Doppelpendel (je 4); Drehpendel (3); tropfender Hahn (2); ...
- **Praktische Anwendungen der Chaostheorie** (4)
- **Merksätze**, Anekdoten, Analogien, (je 3)
- **Aufgaben**: berechnen/ programmieren (5); diskutieren (4), Heimversuche (1)

Strukturbildung (2)

- **Versuchsanleitungen** (2) zu Bénard-experiment (2), Bärlapp auf vibrierender Platte, Mischen und Entmischen ...
- **Praktische Anwendungen der Strukturbildung/ Naturphänomene** (je 2)
- **schematische Darstellungen** (2)
- **Merksätze**, Anekdoten, Analogien, Freihandversuche, (je 1)
- **Aufgaben**: berechnen/ programmieren (-); diskutieren (2), Heimversuche (1)

Abb.10: Darstellungsmethoden zur nichtlinearen Dynamik in Schulbüchern und Lehrerhandreichung

Auffallend ist, daß die Handreichung, die von Lehrern für Lehrer erstellt wurde, ausschließlich nichtlineare Systeme bearbeitet, die mathematisch erfaßt und modelliert werden können. Dies scheint das Hauptkriterium dafür zu sein, ob ein System in die Handreichung aufgenommen wurde oder nicht: „Ohne Modellbildung, Rechneinsatz und Programmieraufwand ist die Behandlung nicht sinnvoll“ [5, S. 10]

So wird die meiste Unterrichtszeit, folgt man dieser Handreichung, zwangsläufig durch die Modellierung und Programmierung beansprucht. Die nichtlinearen Konzepte sind „Nebenprodukte“, die z.T. nur genannt werden, kaum interpretiert.

Die Schulbücher legen im Vergleich dazu mehr Wert auf Diskussion und Interpretation nichtlinearer Konzepte. Hier ist die Mathematisierung der Theorie eher zweitrangig.

Alle fünf Schulbücher und die Handreichung thematisieren die Chaosphysik, während nur zwei Schulbücher auf die Strukturbildung eingehen. Die Kapitel zur Strukturbildung gehen rein phänomenologisch vor und auch bei der Einführung der synergetischen Konzepte wird auf eine mathematische Darstellung der Theorie verzichtet.

3. Resümee

Einige aktuelle Schulbücher beinhalten die nichtlineare Dynamik - z.T. sehr ansprechend aufgemacht mit Schülerexperimenten, Freihandversuchen und interessanten Aufgaben.

Auch findet sich in immer mehr Lehrplänen die nichtlineare Dynamik als Wahlthema wieder. Leider werden dabei bereits existierende fachdidaktische Ansätze und Zugänge kaum berücksichtigt. Somit profitieren die Lehrer wenig von unseren Arbeiten. Ein Beispiel ist die erwähnte Lehrerhandreichung: Die aktuellste der zitierten fachdidaktischen Arbeiten stammt aus dem Jahr 1994, ist also sieben Jahre alt!

Obwohl Schulbücher und Lehrpläne die nichtlineare Dynamik aufnehmen, lehnen sie viele Lehrer als nicht praktikabel ab. Die Hemmschwelle sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen ist zu hoch.

Gleichzeitig werden Lehrerfortbildungsveranstaltungen zum Thema schlecht besucht (z.B. mußte die Fortbildungsveranstaltung zum Thema „Chaos“ im HELP letztes Jahr mit einer anderen Veranstaltung zusammengelegt werden, damit sie nicht mangels Beteiligung ausfällt).

Es ist möglich, dass inzwischen alle die Lehrer fortgebildet wurden, die die nichtlineare Dynamik von sich aus interessant fanden. Aber anscheinend wirken diese Lehrer nicht als Multiplikatoren. Deshalb müssen wir nun die Lehrer erreichen, deren Bedenken bisher zu groß waren, um sich mit dem Thema zu befassen. Sonst erreicht die nichtlineare Dynamik die Schüler definitiv nicht!

4. Weiterdenken - weiterhandeln

Deshalb stellt sich die zentrale Frage: „Wie begeistern wir auch die Lehrerinnen und Lehrer, die an der nichtlinearen Dynamik bisher wenig Interesse zeigen?“

Natürlich ist der aussichtsreichste Faktor die Lehrerausbildung. Jeder Lehrer bestätigt, dass die Themen, die er im Studium oder Referendariat kennengelernt hat, sich auch in seinem eigenen Unterricht wiederfinden. Deshalb müssen wir dafür sorgen, dass die nichtlineare Dynamik in den Grundvorlesungen thematisiert wird. Da wir als Didaktiker meist die Physikausbildung der zukünftigen Gymnasiallehrer nicht selbst in der Hand haben, müssen wir Überzeugungsarbeit leisten oder Seminare anbieten.

Die zweite Möglichkeit ist die Lehrerfortbildung. Es fanden in den letzten Jahren einige Fortbildungsveranstaltungen statt - von Physikern oder Fachdidaktikern für Lehrer, seltener auch von Lehrern für Lehrer. Aber scheinbar tragen nur wenige Teilnehmer das Gelernte in ihre Lehrerkollegien. Dies ist sicher kein Problem, das nur spezifisch für die nichtlineare Dynamik ist. Aber gerade diese „Wahlthemen“ sind auf die Lehrer als Multiplikatoren“ angewiesen, wollen sie sich in der Schule durchsetzen. Deshalb wären möglicherweise Fortbildungsveranstaltungen auch für uns gewinnbringender, die die Teilnehmer als Multiplikatoren in die Pflicht nehmen.

Wenn sich daraus dann auch Zusammenarbeiten ergeben, z.B. um unsere fachdidaktischen Ansätze zu erproben und zu evaluieren - um so besser. Wie eine solche erfolgreiche Kooperation aussehen kann, zeigt Michael Komorek in seinem Beitrag auf dieser Tagungs-CD.

Bei der Lektüre der verschiedenen Lehrpläne entsteht z.T. der Eindruck, dass den Autoren fachdidaktische Arbeiten zur nichtlinearen Dynamik völlig unbekannt sind. Die Literaturliste der Handreichung, die u.a. von Mitgliedern einer Lehrplankommission geschrieben ist, bestätigt diesen Eindruck. Das heißt, wir müssen uns mehr in die Lehrplandiskussion einmischen und - da wo der Lehrplan bereits verabschiedet ist - evtl. auch Handreichungen schreiben.

Damit eventuelle Bemühungen um Lehrer, Schüler, Studenten, Lehrplankommissionen und Schulbuchverlagen nicht nur zu Einzelaktionen werden, wäre es hilfreich, unter uns Fachdidaktikern eine Art „Minimalkonsens“ zu finden, welche nichtlinearen Konzepte besonders relevant sind. Es geht dabei nicht um eine Diskussion, welcher der verschiedenen fachdidaktischen Ansätze der fruchtbarere ist. Sondern um die Ausarbeitung einer „Empfehlung“, die z.B. Lehrplankommissionen an die Hand gegeben werden kann.

Eine solche Empfehlung - vielleicht sogar von einer „Arbeitsgruppe nichtlineare Dynamik“ - macht es

auch dem einen oder anderen Lehrer leichter, sich für einen eigenen Unterricht zur nichtlinearen Dynamik zu entscheiden. Dann ist die nichtlineare Dynamik nicht mehr ein unübersichtlicher Berg komplizierter Mathematik mit dem kleinen Lichtblick „Alltagsbezug“, sondern eine neue physikalische Theorie, deren Inhalte für Lehrer und Schüler begreifbar werden.

Literatur

- [1] Korneck Friederike: Die Strömungsdynamik als Zugang zur nichtlinearen Dynamik – Entwicklung, Erprobung und Evaluation einer Unterrichtsreihe für die gymnasiale Oberstufe und die Lehrerausbildung; Dissertation, Shaker-Verlag, Aachen 1998, 33 - 56
- [2] Mende Martin: Turbulenz (1); Physik in der Schule 36 (1998),11, 391 – 396
- [3] Mende Martin: Turbulenz (2); Physik in der Schule 36 (1998),12, 427 - 431
- [4] Lehrplan Physik, Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung, Rheinland-Pfalz
- [5] Leisen J.: Nichtlineare dynamische Systeme und Chaos, Handreichung zum neuen Lehrplan Physik in der SII, PZ-Information, Bad Kreuznach 1999
- [6] Bildungsplan für die Kursstufe des Gymnasiums, Anhörungsfassung 12/2000, Ministerium für Jugend, Kultus und Sport, Baden-Württemberg
- [7] Fachrahmenplan Physik, Sekundarstufe II, Gymnasiale Oberstufe, Der Senator für Bildung, Wissenschaft, Kunst und Sport, 1998
- [8] Kursstrukturpläne gymnasiale Oberstufe , Aufgabenfeld III, Physik, Biologie, Chemie, Hessisches Kultusministerium 1994
- [9] Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II – Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, Physik, Ministerium für Schule, Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, 1999
- [10] Impulse Physik 2, Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1996
- [11] Kuhn Physik, Band 2, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig 2000
- [12] Lehrbuch der Physik, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig 1989
- [13] Oberstufe Physik Band 12/13, Cornelsen Verlag, Berlin 1999
- [14] Dorn Bader, Physik 12/13, Schroedel Verlag, Hannover 2000
- [15] Metzler Physik, Schroedel Verlag, Hannover 1998