

# Das didaktische Potenzial des historischen Vorstellungswechsels zur Kreisbewegung

*Josef Leisen*

In der heutigen Wissenschaftsgeschichte geht es darum, auf einer breiteren Basis die Entstehungs- und Durchsetzungsbedingungen wissenschaftlichen Fortschreitens aufzudecken, mit dem Ziel einer ganzheitlichen Darstellung von Vorstellungswechseln, Ideentransformationen und Theorienfolgen auf dem Hintergrund des jeweiligen 'Historischen Raumes' (F. Krafft).

Das Selbstverständnis der Fachdidaktik beinhaltet heute nicht mehr die ausschließliche Tätigkeit der Elementarisierung und methodischen Aufbereitung fachinhaltlicher Wissensbestände. Vielmehr geht es darum, auf breiter Basis die Lernbedingungen fachlicher, lernpsychologischer und wissenschaftstheoretischer Art mit in das didaktische Kalkül einzubeziehen, mit dem Ziel beim Schüler nachhaltig Vorstellungswechsel zu erzeugen, Ideen- und Problembewusstsein zu vermitteln und Sachkompetenz zu erreichen.

Dementsprechend sollte der historische Aspekt im Physikunterricht nicht mehr ausschließlich historische Reminiszenzen beinhalten, die gelegentlich in den Unterricht begleitend eingestreut werden. Stattdessen sollten die Ideenträchtigkeit und die Genese der historischen Wissenschaftsentwicklung so in die Fachdidaktik und in den Unterricht eingebunden werden, dass dem historischen Aspekt didaktische Funktion zugeschrieben wird.

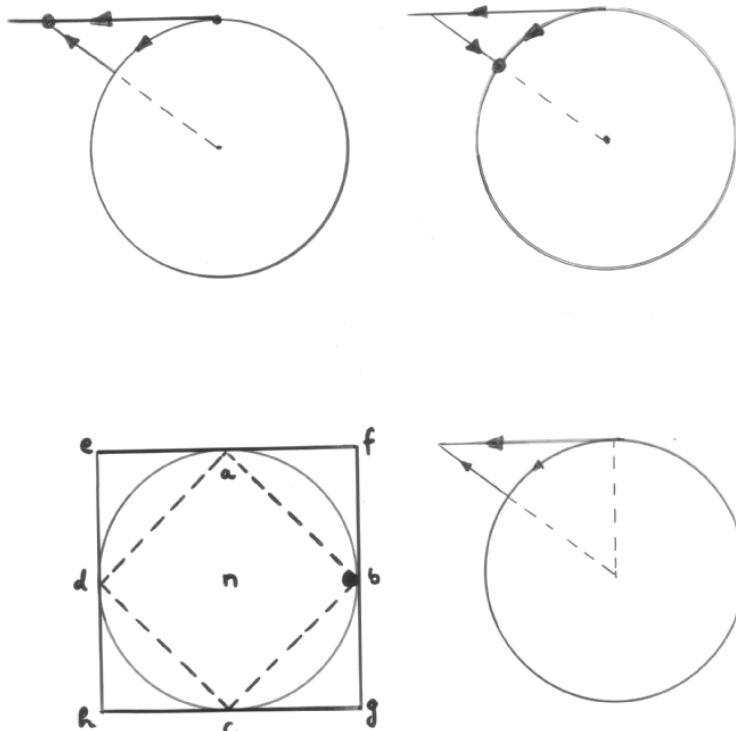
Um Missverständnissen vorzubeugen, sei ausdrücklich betont: Ein historisierender Unterricht lost nicht die Probleme des Physikunterrichts, im Gegenteil. Der Lernprozess des Schülers ist kein in miniaturisierter Form nachzuvollziehender historischer Entwicklungsprozess. Dazu sind die historischen Bedingungen der Wissenschaftsentwicklung zu verschieden von, den Lernbedingungen der Schüler. Das schließt aber nicht aus, dass historische Studien vom Fachdidaktiker und vom Lehrer mit hohem Gewinn in die Fachdidaktik und in den Unterricht einfließen können. Wie viel Historie in den Unterricht eingeht, ist kein Maß für die didaktische Funktion des historischen Aspektes. An einem unterrichtsrelevanten Beispiel, nämlich an dem Vorstellungswechsel von den Zentrifugalkräften zu den Zentripetalkräften, wird im folgenden die didaktische Funktion des historischen Aspektes skizziert. Die Brisanz gerade dieses Vorstellungswechsels wird durch Untersuchungen von W. Jung und H. in (1) und (2) unterstrichen, nach denen Oberstufenschüler und selbst Physikstudenten einem vom Bezugssystem unabhängigen Zentrifugalkraftkonzept anhängen. Unterricht und Studium haben keinen klärenden und nachhaltigen Vorstellungswechsel bewirkt. Es lohnt deshalb diese Vorstellungswechsel einmal historisch zu beleuchten.

In der Diskussion um die Kraftkonzeption im 17. Jahrhundert kam der dynamischen Interpretation der Kreisbewegung eine Schlüsselrolle zu (3). Solange es nämlich nicht gelang die Kreisbewegung von der Dynamik her in den Griff zu bekommen, solange konnte die Dichotomie zwischen geradliniger und kreisförmiger Bewegung kaum überwunden werden, solange blieb das Verständnis vom Vektorcharakter der Bewegung verschlossen und damit auch die Interpretation der Richtungsänderung als eine Beschleunigung. Newtons Überlegungen zur Kreisbewegung starteten nicht mit neuen Bahn brechenden Ideen, sondern auf der Ideenbasis seiner Vorgänger und Zeitgenossen. Die descartessche Erklärung der Kreisbewegung mittels Zentrum meidender Kräfte erwies sich für die Physiker des 17. Jahrhunderts als überaus, bildeten physikalische Erklärung, naturphilosophische Überzeugungen und die alltägliche Primärerfahrung eine befriedigende Komposition. Von

moderner Sehweise aus muss es unverständlich erscheinen, wie Huygens - ähnlich wie Descartes vor ihm - die Kreisbewegung in Kenntnis des Trägheitsprinzips auf der Vorstellung einer vom Zentrum weg gerichteten zentrifugalen Kraft behandelt.

Für Huygens steht die Kreisbewegung nicht in Analogie zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung des freien Falles, sondern in Analogie zur geradlinigen gleichförmigen Bewegung bzw. der Ruhe. Die Kreisbewegung gilt als ein Erhaltungszustand eigener Art. Dass, was wir als Trägheitsphänomen selbst interpretieren, nämlich die tangential Fortbewegung, ist für Huygens das Wirksamwerden einer im Körper eingepprägten Zentrifugalkraft - eine Begriffsschöpfung Huygens' - , die mit der haltenden Kraft des Fadens solange im Gleichgewicht steht, wie sich der Körper auf der Kreisbahn bewegt (4). Der Vorstellungswechsel von der huygensschen (oder frühnewtonschen) zur spätnewtonschen Vorstellung (1680) beinhaltet eine Umkonzeptionalisierung in dreierlei Hinsicht:

1. Das Kraftkonzept muss dahingehend erweitert werden, dass die Richtungsänderung als eine Form von Beschleunigung angesehen wird, und der vektorielle Charakter der descartesschen 'Bewegungsquantität' erkannt wird.
2. Das Zentrifugalkraftkonzept ist durch die im Körper eingepprägte Kraft auf das kreisende Objekt als aktiver Kor— per zugeschnitten, während das Zentripetalkraftkonzept durch die am passiven Körper angreifenden Kräfte den Wechselwirkungspartner mit in den Blickpunkt setzt.
3. Statt die tangential geradlinige Bewegung als Resultante einer originären Kreisbewegung und einer Zentrum meidenden Zentrifugalkraft aufzufassen, muss umgekehrt die Kreisbewegung als Resultante einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung und einer beschleunigten zentripetalen Bewegung aufgefasst werden.



Den Anstoß zu diesem Vorstellungswechsel erhielt Newton 1679 durch den Briefwechsel mit Hooke. Schon 1666 hatte Hooke die Kreisbewegung, ausgehend von der Trägheitsbewegung, mittels Zentrum suchender Kräfte umkonzeptionalisiert. Er war einer der wenigen, die im 17. Jahrhundert das Paradigma für ein Kraftkonzept in der galileischen Kinematik des freien Falles und nicht in den Stoßvorgängen oder in den einfachen Maschinen sahen. Es mochte

wohl die Betätigung in der praktischen Mechanik gewesen sein, die Hooke in die Lage versetzte, die oben genannten Denkhemmnisse der rationalen Mechanik descartesscher Prägung zu überwinden. Nach anfänglichem Zögern konzipierte Newton zw. 1680 und 1684 die Planetenbewegung nach der Methode Hookes, und er bewältigte damit die Planetenbahnen von ihrer dynamischen Seite (6).

Nach I. B. Cohen (7) garantierte der sog. 'Newtonian Style' den Erfolg Newtons. Die Wirkungsgeschichte der Umkonzeptionalisierung der Kreisbewegung durch Newton ist hinlänglich bekannt und in der historischen Wirkung der 'Prinzipia' von 1687 dokumentiert. Der Wechsel vom Konzept der Zentrifugalkraft zu dem der Zentripetalkraft - eine Wortschöpfung Newtons - schließt die Lücke, die zur Erkenntnis der physikalischen Bedeutung der Keplerschen Gesetze und der allgemeinen Gravitation führte. Er bildet die Grundlage der einzigartigen Synthese Newtons. Bezüglich der Zentrifugalkraftformel ist noch eine Bemerkung nachzutragen. Die Abhandlung Huygens' über die Zentrifugalkraft wurde 1659 fertig gestellt und 1673 in Auszügen veröffentlicht. Bereits 1664 hatte Newton unabhängig von Huygens die Zentrifugalkraftformel aus der Stoßfolge einer Kugel an der Bande eines Kreisringes hergeleitet (8). Eine andere Ableitung auf der Basis Zentrummeidender Kräfte durch die Berechnung der tangentialen Abweichung vom Kreis erfolgte etwa zur selben Zeit. Beide Ableitungen sind, zentripetal interpretiert, im Unterricht methodisch verwendbar.

Im Folgenden wird, die historische Studie mit didaktisch relevanten Schlüssen ausgewertet. Der Unterrichtserfahrene weiß um die Fehlkonzeptionen bei Schülern im Zusammenhang mit der Kreisbewegung. Woran liegt es wohl, dass der Unterricht nur unzureichend Fehlkonzeptionen ausräumt. Meine Vermutung geht dahin, dass die denkpsychologischen Hemmnisse im Zusammenhang mit der Konzeptualisierung der Kreisbewegung nur unzureichend didaktisch berücksichtigt werden. Man sollte statt wie üblicherweise die Dynamik von der geradlinigen Bewegung her anzugehen, der Kreisbewegung bzw. den Kegelschnittbewegungen die didaktische Priorität zuweisen. Die Dynamik der geradlinigen Bewegungen auf Luftkissenbahnen verdeckt und umgeht wesentliche Verständnisprobleme. Man steige stattdessen über ein reichhaltiges, erfahrungsgebundenes Beispielmateriale komplexerer dynamischer Probleme (geschleudertes Massereimer, Kurvenfahrt eines Autos, -Kugelschwebe, Fliehkraftregler, Planetenbewegung, u.v.a.m.) ein. Die Schüler sollen vermeintliche Kräfte kennzeichnen und beschreiben und so ihre vorunterrichtlichen Konzeptualisierungen darlegen, damit diese darin thematisiert werden können. Es sollen nämlich die Alltagserfahrungen der Schüler an die physikalischen Fragestellungen des Unterrichts auch wirklich angebunden werden, was allzu oft vernachlässigt wird. Durch die Diskussion der Folgen von Fehlkonzeptionen sollen deren Schwäche erkannt und die Vorteile und das Spezifische der newtonschen Konzeption für den Schüler überzeugend werden. Am Ende sollen nachhaltige Vorstellungen überwinden sein, die auf ein bezugssystemunabhängiges Zentrifugalkraftkonzept hindeuten, und es soll ein Kraftkonzept bereitstehen, das Bewegungsänderung und Richtungsänderung gleichermaßen als Beschleunigung ansieht. Die Herleitung der Zentripetalkraftformel kann, aber muss nicht über historische r erfolgen und sollte erst nach dem Erkenntnisprozess im Experiment bestätigt werden. Man sollte sich darüber im klaren sein, dass es keine methodische Einzelmaßnahme gibt, mit welcher man ad hoc einen nachhaltigen Vorstellungswechsel bewirken kann. Erfahrungsgemäß stößt die Thematisierung und Auseinandersetzung mit Schulervorstellungen zu diesem Thema auf starkes Interesse.

Anstöße zu und die Begründung für ein derartiges Vorgehen kann man - um auf die didaktische Funktion der Wissenschaftsgeschichte zurückzukommen - der Physikgeschichte entnehmen: Die Dynamik der Kreisbewegung spielte eine Schlüsselrolle in der Entwicklung

einer Kraftkonzeption im 17. Jahrhundert. Traditionelle Konzeptionalisierungen haben einen ähnlich hartnackigen Bestand wie die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler. Solange das umfassende System nicht bekannt und beherrscht wird - der Schüler kennt es genauso wenig wie die Physiker des 17. Jahrhunderts — solange wird jedes neu auftauchende Problem neu konzeptualisiert. Das Trägheitsprinzip kennen und um seine Bedeutung wissen sind, wie die Geschichte und die Unterrichtspraxis zeigen, zwei verschiedene Dinge. Ein hookeischer Anstoß allein reicht nämlich auch beim Schüler nicht aus, um einen nachhaltigen Vorstellungswechsel zu bewirken. Zum Wechsel von einem falschen Konzept bezugssystemunabhängiger Zentrifugalkräfte zu dem richtigen Zentripetalkraftkonzept müssen beim Schüler, wie bei den Physikern des 17. Jahrhunderts denkpsychologische Hemmnisse überwunden werden:

1. Das falsch verstandene Konzept der Zentrifugalkraft setzt den kreisenden Körper, der sich in Selbstaktion befindet in den Blickpunkt und lässt den Wechselwirkungspartner außer Acht. (Aktivitätsschema versus Wechselwirkungsschema)
2. Denkpsychologisch ist es nahe liegender die tangentielle Bewegung aus der Kreisbewegung, die ja schon da ist, zu begründen als umgekehrt. Erstere begünstigt falsche Zentrifugalkraftvorstellungen. (Ganzheitserklärungen versus Zerlegungserklärungen)

Der Lehrer sollte über diese Hemmnisse wissen und genau dort ansetzen. Der Unterricht hat Gewinn, und die Wissenschaftsgeschichte zeigt ihre didaktische Funktion, ohne dass historisiert wird. Andererseits kann gerade das Historische dem Schüler auch Mut machen, nämlich im Bewusstsein, dass Verständnisschwierigkeiten und Fehlkonzepte nicht immer nur individuelle Mängel sind, sondern ihre eigene Geschichte haben. Darüber hinaus sollte noch ein weiterer Aspekt nicht unerwähnt bleiben. Das 'wirkliche' Verstehen der Physik umfasst ganz wesentlich auch das Aufnehmen der grundlegenden kulturhistorischen Ideen und Vorstellungen. Ein geschichtsträchtiger Physikunterricht sollte Ideenrahmen schaffen, kulturelle Bezüge herstellen, in Denktraditionen einbinden, sowie die Entstehung und die Genese von 'Ideentransformationen' (7) aufzeigen (9). Ein derartiger Physikunterricht eröffnet bedeutende Einsichten.

## Literatur

- [1] W. Jung und H. Wiesner: Lernschwierigkeiten in der Mechanik bei Schülern der NGO. In: A. Scharmann, A. Hofstaetter, W. Kuhn (Hrsg.): Von der Frühjahrstagung 1980. Giessen 1980, S. 116-121.
- [2] W. Jung und H. Wiesner: Verständnisschwierigkeiten beim physikalischen Kraftbegriff. Eine Untersuchung zum Kraftbegriff bei Physikstudenten. Physik und Didaktik 2 (1980), 111-122.
- [3] R.S. Westfall: Circular Motion in Seventeenth Century Mechanics. Isis 63(1972), 184-189.
- [4] R.S. Westfall: Force in Newton's Physics. The Science of dynamics in the seventeenth century. London: Macdonald 1971.
- [5] M. Wolff: Geschichte der Untersuchungen zum Ursprung der klassischen Mechanik. Frankfurt a.M.: Suhrkamp 1978, 397 S.
- [6] I.B. Cohen: Newtons Gravitationsgesetz. Aus Formeln wird eine Idee. Spektrum der Wissenschaft 5(1981), 100-111.
- [7] I.B. Cohen: The Newtonian Revolution. Cambridge University Press 1980. IX, 404 S.
- [8] J.W. Herivel Newton's Discovery of the Law of Centrifugal Force. Isis 51(1960), 546-553.

[9] J. Leisen Wissenschaftsgeschichte in der Fachdidaktik und im Unterricht. Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 4(1981), 155-162.