

Leider existieren erst wenige realitätsbezogene Beispiele, die den sinnvollen Einsatz von Computeralgebrasystemen im *Physikunterricht* der Mittelschule eindrücklich illustrieren und mit einfacheren Hilfsmitteln (etwa mit Grafikrechnern) weniger gut oder gar nicht zu bewältigen wären.

Die Mathematiker und CAS-Pioniere Hans Rudolf Schneebeli (Baden) und Alfred Vogelsanger (St. Gallen) haben zwei Arbeiten zur analytischen und empirischen Beschreibung von eindimensionalen Modellatmosphären verfasst [1], [2]. Beide unterrichten vollamtlich an schweizerischen Gymnasien, Schneebeli verfügt daneben über ausgedehnte professionelle Erfahrung bei der Konstruktion, der Instrumentierung und dem praktischen Einsatz von Wetterballonen mit Radiosonden sowie mit der Auswertung der entsprechenden Daten.

Die Modellierung von Temperatur und Druckverläufen in der Atmosphäre kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen, *empirisch* mit einer (notwendigerweise lückenhaften) *Datentabelle* oder *analytisch* mit einer *Differentialgleichung*, die das hydrostatische Gleichgewicht beschreibt.

Im Zentrum von [1] steht das ICAO-Modell der „International Civil Aviation Organisation“, eine Datentabelle, welche numerische Temperatur- und Druckwerte einer Norm-Atmosphäre in Funktion der Höhe über Grund angibt.

Für eine Datenanalyse an diesem theoretischen Modell sind interessanterweise kaum physikalische Kenntnisse nötig; man könnte ebenso gut Börsenkurse analysieren. Deshalb kann diese Analyse schon etwa drei Jahre vor der Maturität im Mathematikunterricht eingesetzt werden. Mit Regressionen und etwas Numerik ist eine überraschend gute und praktisch brauchbare Rekonstruktion einer Druckfunktion aus relativ wenigen Daten möglich.

[1] umfasst viele Aufgaben, zum empirischen Temperatur- und Druckverlauf in der Tropo- und in der Stratosphäre sowie zur barometrischen Höhenbestimmung, die von den umfassenden Fachkenntnissen der Autoren zeugen. Diese Arbeit schließt mit einem mathematischen Anhang zu Interpolations- und Regressionsmethoden.

Für die Autoren ist diese Art der Datenanalyse eine Referenz an *Ptolemäus*, der durch die Untersuchung großer Datenmengen um 150 n.Chr. die *Epizykeltheorie der Planeten* entwickelt und damit die komplexe *Fourierentwicklung* vorweggenommen hat.

Sie vertreten damit eine *genetische Didaktik*, mit dem Anspruch, dass der Mensch in seiner individuellen Ausbildung die kollektive Entwicklung der Wissenschaft nachvollzieht. In der Wissenschaftsgeschichte hat es sich gezeigt, dass neue Wissenszweige, etwa die Astronomie in Babylon, oft nur über umfangreiche Datenlisten verfügen. In einem frühen Stadium kann es deshalb das Ziel der wissenschaftlichen Arbeit sein, diese Daten - rationeller - mit Formeln zu beschreiben.

Für Schülerinnen und Schüler bedeutet [1] eine inhaltliche und mentale Vorbereitung auf [2]. Dabei wird aber noch nicht richtig klar, warum die Druckfunktion in der Atmosphäre so gut rekonstruiert werden kann. Die (physikalische) Antwort darauf gibt [2].

Im Zentrum von [2] steht die hydrostatische Grundgleichung

$$\frac{dp}{dz} = -g(z) \cdot \rho(z),$$

welche den vertikalen Druckgradienten einer eindimensionalen Modellatmosphäre in Funktion der örtlichen Erdbeschleunigung $g(z)$ und der Luftdichte $\rho(z)$ angibt sowie die Zustandsgleichung idealer Gase, die es erlaubt, die Lufttemperatur zu berechnen. Die (schul-) mathematische Behandlung von atmosphärenphysikalischen Prozessen auf dieser Grundlage beschränkt sich damit auf *eine* Dimension (z) und blendet die Dynamik der Atmosphäre (chemische Prozesse, Phasenübergänge von Wasser usw.) aus.

Die einfachsten Fälle einer *homogenen*, einer *isothermen* sowie einer *polytropen* Atmosphäre (konstanter Temperaturgradient) mit trockener oder mit feuchter Luft werden in [2] dargestellt, die zugehörigen Eigenschaften untersucht und wiederum anhand vieler praxisnaher einfacherer, *aber auch* anspruchsvoller Aufgaben für einen CAS-Einsatz illustriert.

Im Unterricht müssen die Schülerinnen und Schüler jetzt das Gasgesetz kennen sowie über elementare Analysiskenntnisse verfügen, damit sie die hydrostatische Grundgleichung verstehen können. Ohne ein hinreichend leistungsfähiges Werkzeug, wie einem CAS-Rechner, der im Minimum über einen numerischen „Solver“ für Differentialgleichungen verfügt, kann eine solche, an unterschiedlichen Modellen orientierte Untersuchung der Erdatmosphäre am Gymnasium, auch im Schwerpunktfach (Leistungskurs), in der knappen zur Verfügung stehenden Zeit kaum angemessen bewältigt werden.

Das in [1] und [2] vorgestellte Material eignet sich im Schulsinsatz besonders für nicht-frontale Unterrichtsmethoden wie Werkstatt, Gruppenpuzzle oder Lernaufgaben. Bei sinnvoller Organisation der Lektionen sind nach Angaben der Autoren für den wesentlichen Kern pro Thema mindestens 12 bis 16 Stunden erforderlich. Die vorgestellten Atmosphärenmodelle können aber auch im Rahmen Fach- oder Maturarbeiten eingesetzt und noch erheblich ausgebaut werden.

Die atmosphärenphysikalisch weniger versierte Physiklehrkraft würde es, nicht zuletzt im Hinblick auf die eigene fachliche Weiterbildung, sicher begrüßen, wenn die Autoren Modelllösungen aller Aufgaben mit praktischen Hinweisen auf einen möglichen CAS- oder Numerik-Einsatz bereitstellen könnten.

Zu diesem Thema ist daher auf Herbst 2009 ein Weiterbildungskurs mit H.-R. Schneebeli und Alfred Vogelsanger für Mathematik- und Physiklehrkräfte in Bern inklusive praktischem Einsatz eines schultauglichen Radiosondensystems (Wetterballons) geplant.

Zudem wird die spannende Fragestellung der Autoren im Rahmen einer T³-Arbeitsgruppe weiter verfolgt, die zur Entwicklung von CAS-Aufgaben für den Physikunterricht im Herbst 2008 in der Schweiz ihre Arbeit aufnimmt.

Download auf: <http://www.swisseduc.ch/mathematik> (Atmosphärenmodelle, ICAO-Modelle)

Literatur

- [1] H. R. Schneebeli, A. Vogelsanger, Modellanalyse der ICAO-Atmosphäre
- [2] H.R. Schneebeli, A Vogelsanger, Modellierung einer stabilen Atmosphäre

Autor:

Dr. Hans Kammer, Köniz (CH)
Gymnasium Köniz-Lerbermatt, Abt. Physik,
hanskammer@bluewin.ch