

Über den Einsatz von Notebooks in der Ingenieursausbildung am Beispiel der Vorlesung „Numerische Gasdynamik“

Zusammenfassung

Die numerische Simulation ingenieurwissenschaftlicher Probleme erfordert nicht nur ein fundiertes Grundlagenwissen in Bezug auf numerische Verfahren, sondern auch Erfahrung in der Umsetzung und Anwendung der erlernten Methoden. In diesem Projekt wurde ein Konzept entwickelt, wie die beiden Aspekte Theorie und Erfahrung in der numerischen Simulation gemeinsam in Lehrveranstaltungen vermittelt werden können. Ziel ist es, anhand einfacher, aber praxisbezogener Probleme möglichst schnell eigene Erfahrungen mit numerischen Simulationen machen zu können, um spielerisch die unterschiedlichen Methoden kennen zu lernen. Die Komplexität der Aufgaben wird dann mit wachsenden Kenntnissen gesteigert bis hin zur eigenständigen Umsetzung in ein vollständiges Computerprogramm.

Bei der im Folgenden beschriebenen Lehrveranstaltung handelt es sich um die Vertiefungsvorlesung Numerische Gasdynamik mit integrierten Rechnerpraktikum, die für die Studierenden der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart angeboten wird. Die Simulation dreidimensionaler Strömungsvorgänge stellt eine große Herausforderung dar und verlangt den massiven Einsatz leistungsfähiger Rechner. Nötig sind fundierte Kenntnisse aus den Ingenieurwissenschaften, der numerischen Mathematik und der Informatik, aber auch zu einem wesentlichen Teil Erfahrung. Diese Erfahrung zu vermitteln, stellt eine große Herausforderung an die Lehrveranstaltung dar.

Das Besondere und Neuartige an diesem Rechnerpraktikum ist, dass es vollständig auf Notebooks durchgeführt wird, die allen Studierenden während des gesamten Semesters von der Universität Stuttgart leihweise zur Verfügung gestellt werden. Die Aufgaben werden zunächst unter Anleitung begonnen und können anschließend selbständig zu Hause oder an einem beliebigen anderen Arbeitsplatz zu Ende geführt werden. Durch dieses Konzept können wesentlich komplexere und damit anwendungsorientiertere Aufgabenstellungen bearbeitet werden, als es in einer an einen Hörsaal oder CIP-Pool gebundenen Veranstaltung möglich wäre. Die Studierenden erleben außerdem durch die vernetzten Notebooks und die Art der verwendeten Software eine komplexe Arbeitsumgebung, wie sie auch in der Industrie eingesetzt wird. Insgesamt fördert das Projekt die praxisnahe Ausbildung der Studierenden.

1 Einleitung

Die in der Realität auftretenden Phänomene werden durch physikalische Modelle beschrieben, die durch abstrakte mathematische Gleichungen ausgedrückt werden. Die enorme Komplexität dieser Modelle macht im Allgemeinen eine exakte Lösung der Gleichungen unmöglich, deshalb werden sie durch Simulationen näherungsweise gelöst. Die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Berechnung von Näherungslösungen ist Aufgabe der numerischen Mathematik. Zur Durchführung der Berechnungen ist der Einsatz leistungsfähiger Computer unabdingbar, was grundlegende Kenntnisse aus der Informatik erforderlich macht, insbesondere in Bezug auf Datenorganisation und Optimierung. Den gesamten Prozess von der ingenieurwissenschaftlichen Modellierung des Ausgangsproblems bis hin zum Computerprogramm und dessen Anwendung nennt man numerische Simulation, vgl. Abb. 1. Die kritische Auswertung und Interpretation der Simulationsergebnisse in Bezug auf die ursprüngliche technische Problemstellung erfordert Erfahrung mit dem Gesamtprozess, die ohne den direkten Einsatz von Computern in der Lehrveranstaltung nicht vermittelt werden kann. Die rechte Spalte von Abb. 1 skizziert einen Ausschnitt der an der Universität Stuttgart angebotenen Vorlesungen, die auf die Simulation technischer Probleme hinführen. Dabei ist es von essentieller Wichtigkeit, dass die universitäre Ausbildung der Ingenieure nicht ausschließlich bei den theoretischen Grundlagen verweilt, sondern dass der Zugang zu modernen Simulationsverfahren in entsprechenden Vorlesungen zur numerischen Mathematik ermöglicht wird.

2 Konzepte

2.1 Konzeption der Lehrveranstaltung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts Notebook University Stuttgart (NUSS), wurde ein Konzept entwickelt, wie die beiden Aspekte Theorie und Erfahrung in der numerischen Simulation gemeinsam in Lehrveranstaltungen vermittelt werden können. Es sieht eine erste Phase der Lehrveranstaltung vor, in der die Studierenden möglichst schnell eigene Erfahrungen mit numerischen Simulationen machen, anhand konkreter Probleme, welche mit dem Thema des Studiums eng zusammenhängen. Damit werden zum einen Fertigkeiten in der numerischen Simulation erworben, zum anderen die Wichtigkeit und Nützlichkeit der Mathematik dokumentiert und damit die Motivation der Studierenden erhöht im Vergleich zu einer Veranstaltung ohne praktische Anwendungsbeispiele. In der zweiten Phase werden die Studierenden an das Schreiben eigener Simulationssoftware herangeführt, was das Verständnis der in der Vorlesung vermittelten Techniken der numerischen Mathematik vertieft.

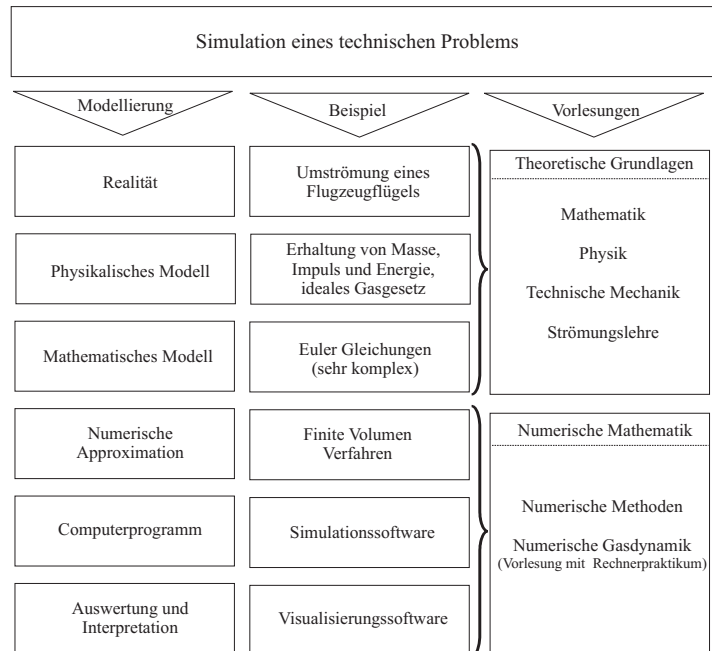


Abb. 1: Simulation eines technischen Problems

Die Vorlesung Numerische Gasdynamik ist in der Vertiefungsrichtung Strömungslehre im Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart angesiedelt, sie hat ca. 15-20 Hörer. In dieser Vorlesung werden die Theorie und Anwendung spezieller numerischer Verfahren für die Simulation von Gasströmungen gelehrt. Die Erfahrung hiermit wird den Studierenden in einem betreuten Praktikum vermittelt, wobei den Studierenden in einer ersten Phase ein schneller Zugang zu praxisorientierten Problemen ermöglicht wird, indem sie zunächst eine fertige Simulationssoftware anwenden. Der Einfluss unterschiedlicher Parameter auf das Simulationsergebnis wird im praktischen Teil der Vorlesung direkt erlebt, ohne das Computerprogramm im Detail zu kennen oder selbst erstellt zu haben. Insbesondere Studierenden mit geringen Programmierkenntnissen wird dadurch der Zugang zu numerischen Verfahren erleichtert. Sind diese Erfahrungen verfestigt, setzen die Studierenden den Vorlesungsstoff dann auch in komplexe Computerprogramme um, die in der höheren Programmiersprache Fortran 95 realisiert werden. Diese selbsterstellten Programme werden an Anwendungsbeispielen getestet, anschließend werden die Ergebnisse vorgestellt und anhand theoretischer Vergleichslösungen kritisch interpretiert. Dadurch wird ein intensiver Umgang mit dem Vorlesungsstoff erreicht und die Studierenden entwickeln ein Gefühl für die Eigenschaften der unterschiedlichen numerischen Methoden. Vor dem Hintergrund der eigenen Erfahrungen der Studierenden werden die Ergebnisse dann zusammen mit dem Dozenten in der Vorlesung diskutiert und die Unterschiede der einzelnen Verfahren herausgearbeitet. Die Verbindung von Verfahrenstheorie, konkreter Umsetzung und selbständiger Präsentation der Ergebnisse in ein und derselben Vorlesung bewirkt eine wesentlich engere Vernetzung von Theorie und Praxis, als dies in früheren, getrennten Veranstaltungen möglich war.

2.2 Über den Nutzen der Notebooks

In einer reinen Vorlesung ohne praktische Umsetzung am Rechner bleiben die theoretischen Kenntnisse über numerische Simulationsverfahren eher oberflächlich weil sie aufgrund mangelnder Anschaulichkeit leicht vergessen werden. Der Nutzen des Erlernen und die Unterschiede der vermittelten Methoden erschließen sich erst in der praktischen Anwendung. Die Möglichkeiten, diese Erkenntnis umzusetzen, sind im universitären Alltag aber oft eingeschränkt. Unterschiede zwischen verschiedenen Verfahren werden an einfachen Beispielen oft nicht sichtbar, komplexe Aufgaben benötigen aber Rechenzeiten von 10-14 Stunden und erzeugen mehrere hundert Megabyte an Daten. Die Rechnungen müssen daher auf ein und demselben Rechner begonnen und beendet werden. Die Komplexität der Aufgabenstellungen erfordert von den Studierenden aber auch die Einarbeitung in eine Vielzahl von Softwaretools, die zur Vor- und Nachbereitung der eigentlichen Rechnungen notwendig sind. Eine ausführliche Betreuung und Anleitung an Beispielen ist daher zwingend erforderlich, wofür die vorhandenen Rechnerpools aber in der Regel nicht ausgestattet sind. Sie sind zum Unterrichten/Vorführen für größere Gruppen nicht geeignet (kein Beamer, zu große Störung für Studien- und Diplomarbeiter).

Das Rechnerpraktikum zur Numerischen Gasdynamik wird daher auf Laptops durchgeführt, die den Studierenden von der Universität zur Verfügung gestellt werden. Durch den Einsatz von Laptops ist es erstmals möglich, aufwändige praxisbezogene Rechnungen im Rahmen einer universitären Lehrveranstaltung durchzuführen. Die Aufgaben werden in der Vorlesung unter Anleitung begonnen und können anschließend selbständig zu Hause oder an einem beliebigen anderen Arbeitsplatz zu Ende geführt werden. Um die gemeinsame Bearbeitung der umfangreichen Aufgabenstellungen in einzelnen Teilgruppen zu ermöglichen, sind die Notebooks mit einer Verbindung zum Funknetz (WLAN) der Universität Stuttgart ausgestattet, so dass die Studierenden Daten und Programmcode untereinander austauschen können. Die Studierenden erleben durch die vernetzten Notebooks und die Art der verwendeten Software eine komplexe Arbeitsumgebung, wie sie auch in der Industrie eingesetzt wird. Auch für die Dozenten ergibt sich ein Vorteil, da durch die Notebooks eine einheitliche Software- und Hardware Plattform geschaffen wird, die die Betreuung deutlich erleichtert. Die Laptops sind daher für den Erfolg des didaktischen Konzeptes unverzichtbar.

2.3 Didaktisches Konzept

In diesem Projekt wurde ein Konzept entwickelt, mit dem die beiden Aspekte Theorie und Erfahrung in der numerischen Simulation gemeinsam in Lehrveranstaltungen vermittelt werden können. Es sieht eine erste Phase der Lehrveranstaltung vor, in der die Studierenden möglichst schnell eigene Erfahrungen mit numerischen Simulationen machen, anhand konkreter Probleme, welche mit dem

Thema des Studiums eng zusammenhängen. Ohne besondere Programmierkenntnisse vorauszusetzen, wird eine fertige Software angewandt, um den Einfluss unterschiedlicher Parameter und Verfahren auf das Simulationsergebnis zu erleben. Damit werden zum einen Fertigkeiten in der numerischen Simulation erworben, zum anderen die Wichtigkeit und Nützlichkeit der Mathematik dokumentiert und damit die Motivation der Studierenden erhöht im Vergleich zu einer Veranstaltung ohne praktische Anwendungsbeispiele. In der zweiten Phase werden die Studierenden dann an das Schreiben eigener Simulationssoftware herangeführt, was das Verständnis der in der Vorlesung vermittelten Techniken vertieft. In Bezug auf das didaktische Dreieck, bestehend aus den Eckpunkten **Inhalt – Dozent – Student** und den zwischen ihnen bestehenden Verbindungen, lassen sich die Eigenschaften des Konzeptes wie folgt charakterisieren:

Der **Inhalt** kann aufgrund der Unterstützung durch den Computer deutlich anschaulicher und greifbarer vermittelt werden als mit klassischen Unterrichtsmaterialien. Das Notebook ist in der hier diskutierten Vorlesung unabdingbares Arbeitsmittel, wie z.B. der Taschenrechner im Physikunterricht oder das Wörterbuch in einem Sprachkurs, wobei das Verständnis des Vorlesungsinhalts primär durch dessen selbständige Umsetzung in ein Computerprogramm vertieft wird. Durch die zur Verfügung stehende Rechenleistung und die Mobilität des Arbeitsgerätes können komplexe und praxisnahe Inhalte vermittelt werden, wie es ohne den Einsatz von Notebooks nicht möglich wäre.

Der **Student** erlebt die erlernten Methoden im direkten Einsatz in der Praxis, wo er das in der Vorlesung vermittelte Wissen unmittelbar anwenden und am konkreten Beispiel überprüfen kann. Sowohl die behandelten Beispiele an sich als auch die moderne Arbeitsumgebung sind ein wichtiger Schritt in Richtung Berufsvorbereitung. Die projektbegleitende Evaluation hat für die oben beschriebenen Lehrveranstaltungen eine überwältigende Zustimmung seitens der Studierenden nachgewiesen. Die hohe Motivation der Studierenden zeigte sich nicht nur in einer aktiven Teilnahme am Unterricht, sondern auch in der freiwilligen Fortsetzung des Praktikums in der vorlesungsfreien Zeit mit über den Vorlesungsstoff hinausgehenden Beispielaufgaben.

Der **Dozent** hat zunächst zur erstmaligen Konzeption der Veranstaltung einen höheren Aufwand im Vergleich zum Einsatz herkömmlicher Methoden, wobei auch entsprechende Kenntnisse im Bereich der Informatik vorliegen müssen. Dann aber reduziert die Möglichkeit der ausführlichen Anleitung im Hörsaal den Betreuungsaufwand in den Sprechstunden erheblich. Dadurch, dass die Studierenden durch das einfache Ausprobieren und den spielerischen Umgang mit den einfach zugänglichen elektronischen Medien die in der Vorlesung vermittelten theoretischen Zusammenhänge anhand der zur Verfügung gestellten Beispiele leichter erkennen, wird auch ein effizienteres Lernen erreicht und die Vorbereitung der Vorlesung erleichtert.

Die Beziehung von **Dozent** und **Student** wird in unseren Lehrveranstaltungen dahingehend verbessert, dass die im Rechnerpraktikum erzielten Ergebnisse über einen Beamer direkt in der Vorlesung diskutiert werden können und somit ein di-

rektes Feedback gegeben ist, ob und wie gut der Vorlesungsstoff verstanden wurde. Die direkte Betreuung im Praktikum verbessert den persönlichen Kontakt, die Hemmungen mancher Studenten, Fragen zu stellen, sinken. Dies lässt sich natürlich in einer Veranstaltung für 15-20 Studierende wesentlich intensiver und persönlicher gestalten, als z.B. in einer Vorlesung des Grundstudiums mit 300 Hörern.

Für die Beziehung **Inhalt** und **Student** sehen wir vor allem positive Auswirkungen aufgrund der eigenen Programmiertätigkeit. Die numerischen Verfahren werden erst dann richtig verstanden, wenn sie eigenhändig in Computerprogramme umgesetzt werden müssen bzw. wenn sie spielerisch an praktischen Anwendungen erkundet werden können. Dadurch erschließen sich die Inhalte fassbarer, anschaulicher und praxisnäher. Es erschließen sich vor allem auch komplexere Inhalte, die ohne diese Art der Gestaltung überhaupt nicht vermittelbar wären. Die Inhalte werden von den Studierenden auch als attraktiver und interessanter wahrgenommen, da sie einen direkten Bezug zu ingenieurmäßigen Problemstellungen haben und damit die Nützlichkeit des Vorlesungsinhaltes demonstrieren.

2.4 Technisches Konzept

Das technische Konzept für die Lehrveranstaltung Numerische Gasdynamik wird im Folgenden nach den Gesichtspunkten Hardware und Software unterteilt.

Hardware:

Jeder Studierende erhält für die gesamte Dauer der einsemestrigen Veranstaltung ein Laptop zur Verfügung gestellt, das mit nach Hause genommen werden kann. Die Fördermittel hierfür wurden vom BMBF im Rahmen des Projekts Notebook University Stuttgart (NUSS) zur Verfügung gestellt. Die Universität Stuttgart verfügt zudem über ein Funknetz (WLAN), mit dem weite Teile des Campus und der Studentenwohnheime abgedeckt sind, so dass die Studierenden auch außerhalb des Hörsaals Daten und Programmteile austauschen können. Zur Präsentation werden die Laptops mit einem Beamer vernetzt.

Software:

- Betriebssystem Linux
- Computeralgebrasystem MAPLE
- Intel Fortran 90 Compiler
- Strömungssimulationssoftware Hydsol
- Visualisierungssoftware IBM Data Explorer

Wir verwenden Linux deshalb, weil sowohl an Universitäten wie auch in der Industrie im Bereich Forschung und Entwicklung überwiegend Unix-Betriebssysteme eingesetzt werden. Damit wird den Studierenden eine Arbeitsumgebung geschaffen, wie sie sie auch im Berufsleben vorfinden werden. Ein

weiterer essentieller Vorteil ist, dass unter Linux sehr viel freie, kostenlose Software zur Verfügung steht, von der wir Gebrauch machen können. Anders wäre ein solch softwareintensives Projekt nicht finanzierbar, die Übertragbarkeit wäre nicht mehr gewährleistet.

3 Anwendungsbeispiele

3.1 Anwendung einer fertigen Simulationssoftware

3.1.1 Aufgabenstellung

Im folgenden Anwendungsbeispiel sollen die Studierenden ein Keilprofil in einer Überschallströmung mit einer Anströmmachzahl von $M_0 = 3.0$ bei verschiedenen Anstellwinkeln von 0 bis 20° simulieren. Den Studierenden wird der am IAG entwickelte Finite-Volumen Code Hydsol zur Verfügung gestellt, so dass sie gleich zu Beginn der Lehrveranstaltung das Leistungspotential der dort vorgestellten Verfahren erkennen und damit motiviert werden, sich mit dem Inhalt der Vorlesung eingehend zu beschäftigen. Zu untersuchen sind die qualitativen Strömungsverläufe (Stöße, Verdünnungen und Entropietrennflächen), wie auch quantitative Aussagen über den Auftrieb und den Widerstand, die am Ende der Übung von den einzelnen Gruppen zu einem Polarendiagramm zusammengesetzt werden. Da bei diesem Beispiel eine theoretische Vergleichslösung der Strömung mit Hilfe der Stoss-Expansions Theorie vorliegt, leiten die Studierenden zunächst diese analytische Lösung mit Hilfe des Computeralgebrasystems Maple her. Danach sind die mit Hydsol gewonnenen numerischen Ergebnisse mit der Theorie zu vergleichen.

3.1.2 Lehrziele

- Verständnis der grundlegenden Phänomene einer Überschallströmung
- Anwendung eines Finite-Volumen Codes auf unstrukturierten Gittern
- Herleiten einer Vergleichslösung mit dem Computeralgebrasystem Maple
- Einführung in die Visualisierungssoftware IBM Data Explorer
- Teamarbeit

3.1.3 Simulation und Auswertung der Ergebnisse

Für die in Abb. 2 gezeigte Strömung ist es möglich, eine exakte mathematische Lösung anzugeben, die allerdings eine sehr komplizierte Gestalt annimmt. Mit Hilfe des Computeralgebrasystems Maple ist es dennoch möglich, diese theoretische Vergleichslösung zu bestimmen. Die numerische Simulationsrechnung wird anschließend mit dem Simulationscode Hydsol durchgeführt. Verwendet wird dabei ein so genanntes Finite - Volumen Verfahren auf unstrukturierten Gittern, wie es in der Vorlesung behandelt wird. Abbildung 2 zeigt den numerisch simulierten Dichteverlauf für einen Anstellwinkel von 4° . Die qualitative Übereinstimmung mit dem erwarteten Strömungsverlauf ist gut, was den Studierenden die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Verfahren zeigt.

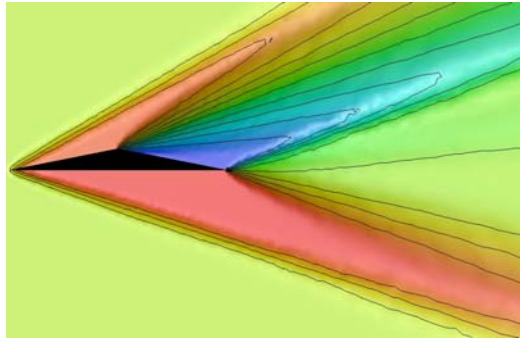


Abb. 2: Ergebnis der numerischen Simulation (Dichteverlauf)

Jeder Studierende errechnet auf seinem Notebook den Auftrieb und den Widerstand für einen einzigen Anstellwinkel und tauscht dieses Zwischenergebnis dann mit seinen Kommilitonen aus. Im Bereich des Flugzeugentwurfs ist eine geschlossene analytische Darstellung dieses Zusammenhangs zwischen Widerstand und Auftrieb (Polare) von großem Interesse. Anhand der Simulationsergebnisse ermitteln die Studierenden die Polare in Form einer Interpolationsparabel, die die gefundenen Werte für Auftrieb und Widerstand verbindet.

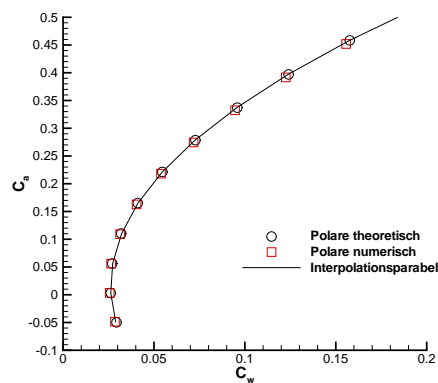


Abb. 3: Gesamtergebnis für Auftrieb und Widerstand (Polare), zusammengesetzt aus den einzelnen Teilergebnissen der Studierenden

3.2 Entwicklung eigener Software durch die Studierenden

3.2.1 Aufgabenstellung

Die am Anwendungsbeispiel aus Kapitel 3.1 erlernten Fähigkeiten im Umgang mit der notwendigen Software zur Vor- und Nachbereitung der Simulation sind Grundvoraussetzung für das Schreiben eigener Computerprogramme. Die Aufgabe ist es in diesem weiterführenden Anwendungsbeispiel, die in der Vorlesung erlernten numerischen Verfahren selbständig mittels der Programmiersprache Fortran 95 umzusetzen. Dies eröffnet die Chance eines tiefergehenden Verständnisses für die in der Vorlesung vermittelten Inhalte, da die eigene Erfahrung unmittelbar bereichert wird.

3.2.2 Konzeption

Da Programmieren unmittelbar mit der Entstehung von Fehlern im Programmtext verknüpft ist, die erst gefunden und behoben werden müssen, bevor das implementierte numerische Verfahren einsatzbereit ist, wird der Lernprozess damit nicht mehr explizit vorhersehbar. Um den Lernprozess jedoch in gewissen vorgegebenen Bahnen zu halten und besser kontrollieren zu können, wird die zu entwickelnde Software zunächst von den Betreuern des Praktikums selbst entwickelt und getestet. Das gesamte Programmpaket ist modular aufgebaut, d.h. in einzelne Elemente zerlegt, die über Schnittstellen miteinander kommunizieren, vgl. Abb. 4. Jedes Element beinhaltet neben der Schnittstelle den eigentlichen Numerikkern, der das jeweilige in der Vorlesung vorgestellte mathematische Verfahren beinhaltet. Da nur der Numerikkern eigentlicher Gegenstand der Vorlesung ist, wird die Kommunikationsschnittstelle zwischen den einzelnen Modulen fest vorgegeben und den Studierenden zur Verfügung gestellt. Der essentielle Numerikkern wird hingegen vor Ausgabe der Aufgabe entfernt und ist von den Studierenden selbst zu programmieren. Somit wird erreicht, dass sich der Lernprozess auf die in der Vorlesung vermittelten Inhalte konzentriert und nicht auf rein formale Gestaltungsmerkmale der Programmiersprache Fortran. Das verfügbare WLAN dient in diesem Beispiel dem Austausch von Programmcode, da sich die Studierenden selbständig in Gruppen organisieren und die jeweiligen Programmmodule entwickeln.

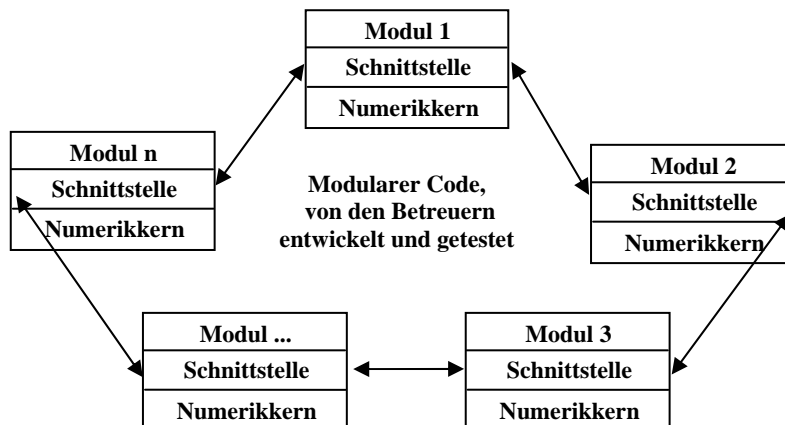


Abb. 4: Aufbau des Praktikumscodes

3.2.3 Ergebnisse

Die von den Studierenden auf diese Weise geschriebene Simulationssoftware wird dann auf ein komplexes strömungsmechanisches Phänomen angewandt, nämlich die sogenannte Richtmyer–Meshkov Instabilität. Für dieses Problem gibt es keine exakte Lösung der strömungsmechanischen Grundgleichungen mehr, sondern man ist auf Experimente und numerische Simulationen angewiesen. Die in Experimenten beobachteten pilzförmigen Strukturen werden von der Rechnung sehr gut wiedergegeben (vgl. Abb. 5), was den Studierenden wiederum die Leistungsfähigkeit und Nützlichkeit der in der Vorlesung gelehrt Verfahren der numerischen Mathematik demonstriert.

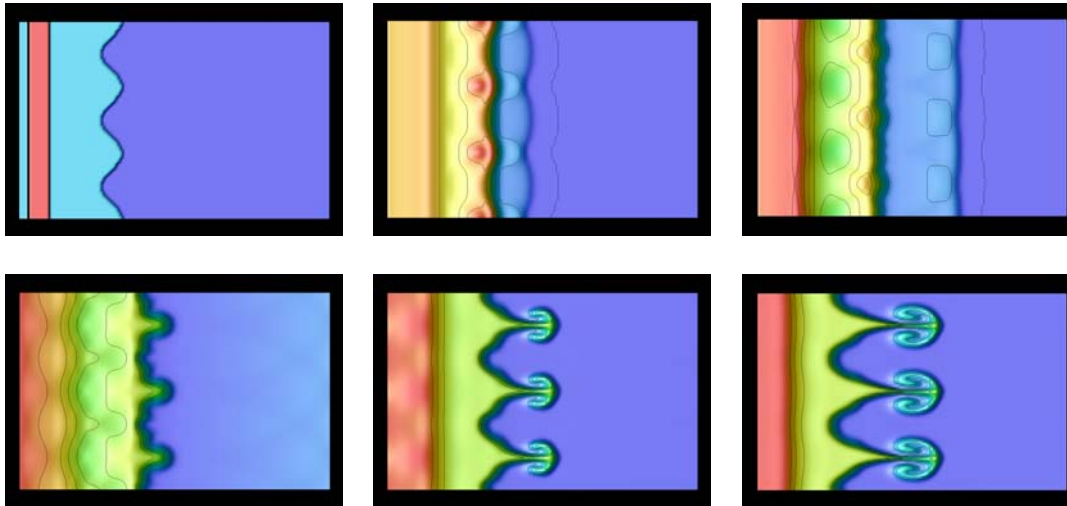


Abb. 5: Simulation einer Richtmyer - Meshkov Instabilität

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Vorlesung Numerische Gasdynamik mit dem Notebook-gebundenen Rechnerpraktikum hat im Wintersemester 2002/03 erstmals in dieser Form stattgefunden. Evaluation seitens der Abteilung für Pädagogik des Instituts für Erziehungswissenschaft und Psychologie der Universität Stuttgart ergab einen überwältigenden Erfolg des Konzeptes und seiner Umsetzung. Eine Erweiterung zu einem einwöchigen Kompaktseminar für Doktoranden und Entwickler in den Forschungsabteilungen in der Industrie ist momentan in Vorbereitung.

Das Notebook wird in Zukunft genauso selbstverständlich Einzug in die akademische Ausbildung halten wie seinerzeit der Taschenrechner. Die Ingenieurwissenschaften können und wollen hier eine Vorreiterrolle übernehmen, da sich die Notwendigkeit praxisbezogener Aufgabenstellungen und die Bereitschaft der Studierenden zu technischen Neuerungen optimal ergänzen.

Literatur

- Richtmyer, R. D. (1960). Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids, *Comm. Pure Appl. Math.* Bd. 13, S. 297-319
- Meshkov, E. E. (1969). Instability of a shock wave accelerated interface between two gases, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Mekh. Zhidk. Gaza* 5, p. 151
- Roller, S., Dumbser, M., Schneider, M., Joos, R. (2003). SCIENCE, Projekt und Evaluation, Projektwebsite. Abruf am 22. Mai 2003
http://www.iag.uni-stuttgart.de/NUSS/projekt_und_evaluation.htm
- Schneider, M., Joos, R. (2003). NUSS-Teilprojekt Evaluation und Didaktik, Kurzbericht IAG: Vorlesung und Rechnerpraktikum "Numerische Gasdynamik". Abruf am 22. Mai 2003
http://www.iag.uni-stuttgart.de/NUSS/Files/Stichpunkte_Evaluation.pdf