

Strukturanalyse von Physik Studiengängen

– Ein Beitrag des Studienreform Forums –

Daniela Kern-Michler*, **Stefan Brackertz⁺**, **Sophie Penger⁺**, **Manuel Längle[†]**, **Christoph Kronberger[‡]**, **Annemarie Sich⁺**, **Lisa Lehmann[§]**, **Wanda Witte[§]**, **Amr El Miniawy[#]**

*ZaPF e.V., c/o Goethe Universität Frankfurt, Raum _ .208, Max-von-Laue Str. 1 60438 Frankfurt/Main, ⁺Universität zu Köln, Fachschaft Physik, Zülpicher Straße 77, 50937 Köln, [†]Universität Wien, Studierendenvertretung Physik, Boltzmannngasse 5 1090 Wien, [‡]TU Wien, Wiedner Hauptstraße 8-10, 1040 Wien, [§]TU Dresden, Fachschaftsrat Physik, Haackelstr. 3, 01069 Dresden, [§]Universität Rostock, Fachschaft Physik, Albert-Einstein-Straße 24, Raum 107, 18059 Rostock, [#]Humboldt Universität Berlin, Fachschaftsinitiative Physik, Newtonstraße 15, 12555 Berlin

studienreformforum@zapf.in

Kurzfassung

Mit Hilfe eines frei verfügbaren Webtools wurde die Struktur von 14 Physik-Bachelorstudiengängen (nur Einfach-Bachelor, kein Lehramt) qualitativ und quantitativ untersucht. Dabei wurden die Strukturen von Inhalten und Voraussetzungen sichtbar gemacht. Unterschieden wurde zwischen formalen Abhängigkeiten, d.h. Regelungen in den Prüfungsordnungen, die verhindern, dass Module belegt werden, bevor andere abgeschlossen sind, und inhaltlichen Abhängigkeiten. Typische Flexibilitätshindernisse wurden identifiziert und diskutiert. Darüber hinaus wurde in Rücksprache mit Studierendenvertreter*innen betroffener Studiengänge analysiert, worin genau Modulabhängigkeiten bestehen. Erste Überlegungen zum Verhältnis dieser Modulabhängigkeiten zu didaktischen Konzepten wurden herausgearbeitet.

1. Einleitung

Die vorangegangenen Debatten im Rahmen des Studienreform-Forums (z.B. [1]) haben den Bedarf an Informationen über die Ausgestaltung von Physikstudiengängen gezeigt. Dies betrifft insbesondere die Frage, ob und wie sich Studiengänge so gestalten lassen, dass sie in verschiedenen Geschwindigkeiten und/oder in verschiedenen Reihenfolgen studiert werden können. Gerade bei Reformen von Studiengängen kann es von Interesse sein, ob ein bestimmtes Konzept andernorts bereits etabliert ist und Erfahrungsberichte eingeholt werden können. Eine besondere Herausforderung dabei ist allerdings, erprobte Konzepte so weit zu abstrahieren, dass sie sich überhaupt auf andere Studiengänge übertragen lassen. Als Ergebnis der oben genannten Diskussion und eines Beitrags derselben Konferenz [2] wurde ein Tool entwickelt, das der systematischen Erfassung der „Strukturformeln“ von Studiengängen dient [3] und genau diese Abstraktion mit einer möglichst flächendeckenden Erhebung des Status quo der Physik-Studiengänge im deutschsprachigen Raum verbinden soll.

2. Methode

Bei der Analyse von Studiengängen kann man zwei unterschiedliche Aspekte in den Fokus nehmen. Zum einen können die Inhalte und Module betrachtet werden, zum anderen die Zusammenhänge und Voraussetzungen zwischen den Inhalten und Modulen.

Aus vorangegangenen Umfragen sind hauptsächlich Daten über die Inhalte und den Umfang von Themen gewonnen worden. Durch das Projekt zur Erfassung von Strukturformeln von Physikstudiengängen über ein Webtool [4] konnten nun beide Aspekte gemeinsam ausgewertet werden.

Im Webtool werden Module und/oder Veranstaltungen des Studiengangs und ihre Verknüpfungen untereinander eingetragen und in einer MySQL-Datenbank auf dem Webserver gespeichert. Ein Pydot-Skript zeichnet daraus eine entsprechende „Strukturformel“ des Studienganges, die unmittelbar angezeigt wird.

Die Angaben in der Datenbank zu Modulen und Inhalten erlauben die Darstellung der „Summenformel“ eines Studienganges in einem Inhaltsprofil.

Die horizontale Achse zeigt die Anzahl an Leistungspunkten, während die unterschiedlichen Gebiete in verschiedenen Farben dargestellt sind.

Das Webtool erstellt gleichzeitig die „Strukturformel“ des Studienganges. Module werden als Kästen mit normalen Ecken dargestellt, Veranstaltungen als Kästen mit abgerundeten Ecken. Das Themengebiet ist erneut durch die Farbe kodiert. Die Leistungspunkteanzahl spiegelt sich in der Breite der Kästen wieder.

Die Zusammenhänge werden mit Pfeilen dargestellt. Rote Pfeile bedeuten, dass der Kasten von welchem der Pfeil ausgeht, eine formale Voraussetzung für den Kasten, auf dem der Pfeil endet, darstellt, d.h.,

dass Regelungen in den Studienordnungen verhindern, dass Module belegt werden, solange die vorherigen nicht erfolgreich abgeschlossen sind.

Schwarze Pfeile stehen für starke und graue Pfeile für schwache Empfehlungen. Dabei ist anzumerken, dass viele, aber nicht alle formalen Voraussetzungen inhaltlich begründet sind; so sind beispielsweise manche formalen Voraussetzungen auch gesetzlichen Vorgaben geschuldet, die z.B. in Österreich den Abschluss einer Studieneingangs- und Orientierungsphase zur Voraussetzung für die weitere Belegung von Modulen machen.

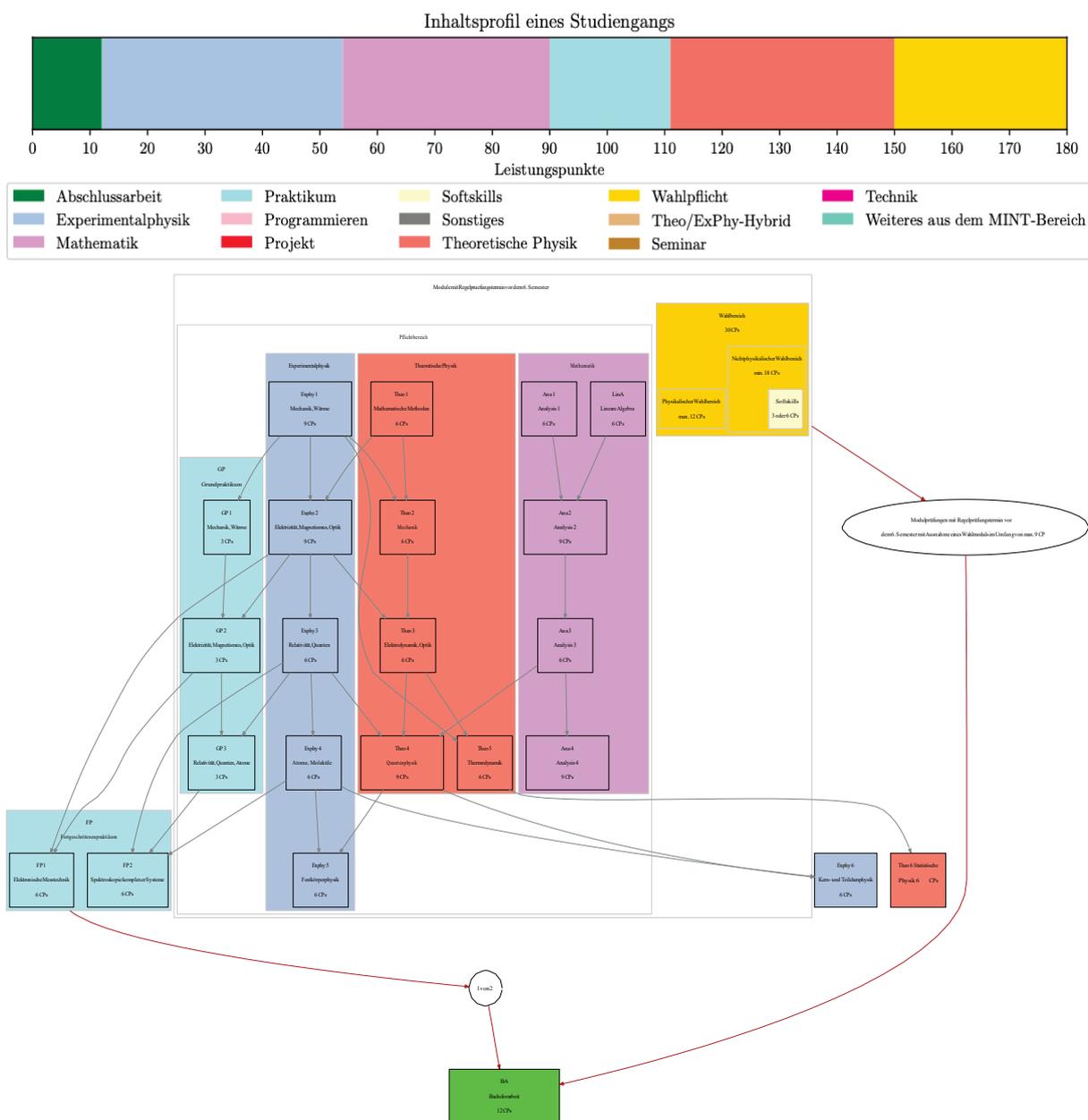
Zusätzlich wurden Kreise eingeführt. Diese symbolisieren Bedingungen, wie z.B. eine bestimmte Anzahl von Leistungspunkten, die erbracht sein müssen oder Regelungen, nach denen 2 von 3 Modulen besucht sein müssen. [3]

Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit gibt es die Möglichkeit, Kästen zu gruppieren. Dies soll die Anzahl der Pfeile reduzieren, wenn beispielsweise mehrere Module die selben Vorkenntnisse oder eine gemeinsame Prüfung haben.

Es wurden 14 Bachelor Physikstudiengänge ausgewertet, wobei nur einfache Bachelor Studiengänge und keine Lehramts- oder Nebenfachstudiengänge berücksichtigt wurden.

Nach dem Studienatlas Physik [5] gibt es in Deutschland 71 Hochschulstandorte, die Physik bzw. physiknahe Studienfächer anbieten. In Österreich gibt es fünf weitere Standorte.

Damit sind 14 Studiengänge noch eine recht kleine, aber signifikante Stichprobe insbesondere im Ver-



gleich mit Rückläufen und Datenqualität von vorangegangenen Umfragen.

3. Ergebnisse und Interpretationen

3.1. Summenformel

Neben der graphischen Darstellung der „Summenformeln“ lassen sich Auswertungen mittels Häufigkeitsverteilungen und Standardabweichungen vornehmen. Vorangegangene Analysen auf Grundlage anderer Umfragen haben jedoch gezeigt, dass diese Methodik nicht geeignet ist, um abschließend über die Ähnlichkeit von Studiengängen zu entscheiden.

Stattdessen wird die Darstellung in Abb.1 genutzt, um Beobachtungen über die Studiengänge der Stichprobe zu formulieren.

Es ist auffällig, dass nur die Uni Heidelberg ein Projektmodul im Physik Bachelor anbietet. Die Größe der Bachelorarbeiten schwankt zwischen 7 und 15 Leistungspunkten, ohne dass einzelne Standorte besonders auffällig sind. Das größte Experimentalphysikgebiet bietet die Uni Leipzig mit 50 Leistungspunkten an. Die Mathematik schwankt zwischen 24 und 39 Leistungspunkten und die theoretische Physik zwischen 32 und 43 Leistungspunkten, wobei die TU Darmstadt den größten Theorieanteil hat. Das Praktikum hat einen Umfang zwischen 8 Leistungspunkten (an der TU Wien) und 29 Leistungspunkten.

Nur ca. die Hälfte der Standorte bietet eigene Veranstaltungen zum Thema Programmieren/Computerphysik an. Diese schwanken in ihrem Umfang zwischen 4 und 11 Leistungspunkten.

3.2. Strukturformeln

Zur Interpretation der „Strukturformeln“ werden die folgenden Strukturelemente betrachtet: rote Pfeile, „Säulen“, „Kreuzungen“ und „Nadelöhre“, vgl. [5].

3.2.1. Formale Modulvoraussetzungen

Bei der Analyse der vorliegenden Studiengänge fallen im Wesentlichen drei Funktionen von formalen Voraussetzungen:

- Vor der Bachelorarbeit: 3 Standorte haben explizite Angaben, welche Module vor der Bachelorarbeit abgeschlossen (manchmal nur begonnen) sein müssen. Die überwiegende Mehrheit der Studiengänge hat Angaben, wie viele Leistungspunkte vor Beginn der Bachelorarbeit erbracht sein müssen. Die Angaben schwanken zwischen 90 und 141 Leistungspunkten. Es gibt einen Studiengang, in dem die Bachelorarbeit formale Voraussetzung für das Bachelorarbeitskolloquium ist.
- Vor Praktika: Gut die Hälfte der ausgewerteten Studiengänge hat einzelne formale Voraussetzungen vor Praktikumsmodulen. Teilweise sind auch Experimentalphysikmodule formale Voraussetzung für einzelne Praktika. Es handelt sich zu meist um Fortgeschrittenenpraktika.
- Studienstrukturierende Prüfungen. Aufgrund einer gesetzlichen Vorschrift haben sowohl die Uni Wien wie auch die TU Wien mit der „Studieneingangs- und Orientierungsphase“ (STEOP) eine studienstrukturierende Prüfung in der Studieneinstiegsphase. Es ist nicht erlaubt, weitere

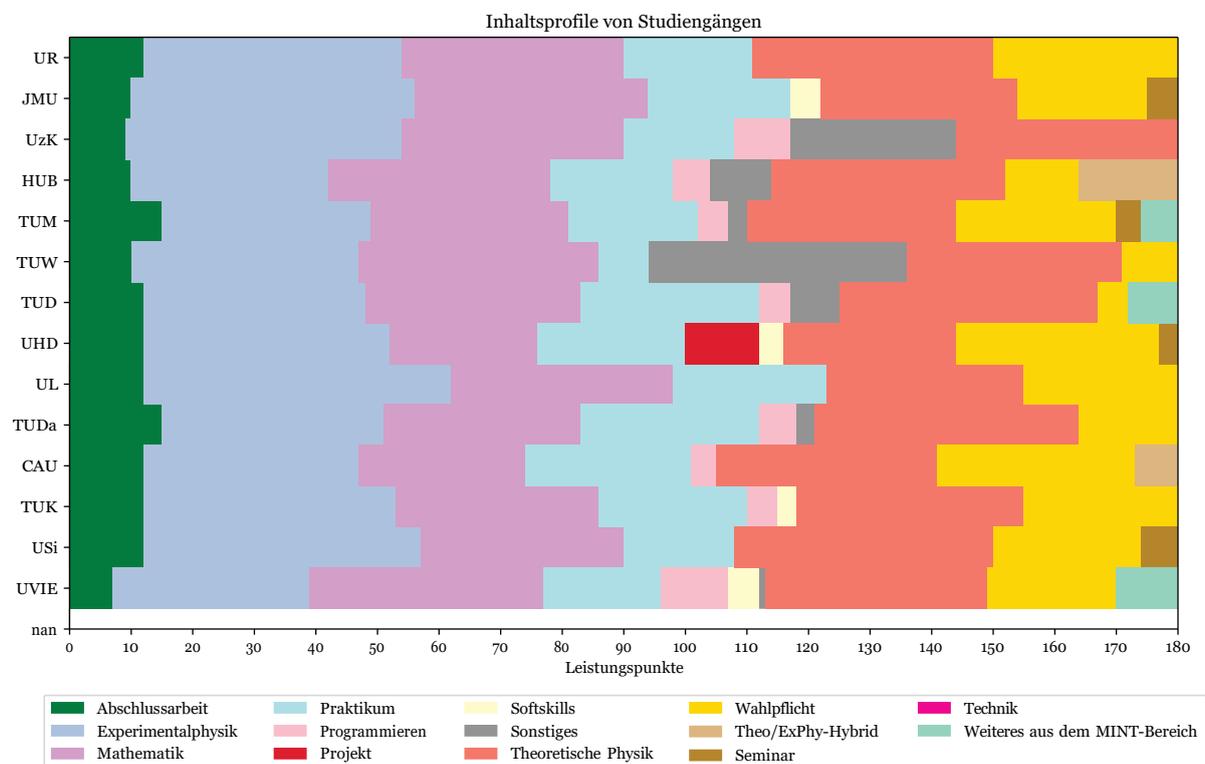


Abb.2: Inhaltsprofile von 14 Physik Bachelor Studiengängen.

Module zu belegen, solange diese Prüfungen nicht bestanden sind. Die TU München hat mit den beiden „Grundlagen- und Orientierungsprüfungen“ (GOP) ein ähnliches Konzept. Die TU Darmstadt hat mit dem Modul „Allgemeine und übergreifende Konzepte der Experimentalphysik“, welches Praktika und Experimentalphysikvorlesungen als formale Voraussetzung hat, eine studienstrukturierende Prüfung im späteren Studienverlauf.

Die Besonderheit der GOP und einiger ähnlicher Regelungen besteht darin, dass sie keine Abhängigkeit unter Modulen darstellt, sondern eine Abhängigkeit zwischen Modulen und Studiensemestern, zum Beispiel, dass eine Prüfung bis zum x-ten Semester abgeschlossen sein muss. Solch eine Abhängigkeit kann bislang mit dem verwendeten Tool nicht adäquat abgebildet werden, hat aber dennoch in der Praxis einen massiven Einfluss auf die Studienverläufe, gerade wenn sie mit Zwangsexmatrikulationen sanktioniert ist. Deshalb gibt es derzeit Überlegungen, wie das Tool so weiterentwickelt werden kann, dass sich auch solche Restriktionen angemessen abbilden lassen.

Formale Abhängigkeiten und teils durch sie hervorgerufene Nadelöhere dienen in den verschiedenen Studiengängen verschiedenen Funktionen.

Neben eventuell inhaltlich notwendigem Vorwissen, kann auch die Absicherung eines angestrebten Niveaus für eine Veranstaltung oder eine erfolgversprechende Verteilung des Workloads über das Studium das Ziel sein.

Formale Voraussetzungen werden auch als Selektionsmaßnahmen eingesetzt oder als Versuch, auf die Lernprozesse der Studierenden einzuwirken, indem früh im Studium bestimmte Hürden genommen werden müssen. Diese Intention liegen vor allem dann nahe, wenn weiterführende Module nicht ohne erfolgreichen Abschluss vorangegangener belegt werden können, obwohl sie nicht inhaltlich darauf aufbauen.

In der vorliegenden Stichprobe fallen STEOP und GOP in diese Kategorie.

Neben der intendierten Funktion solcher Regelungen ist auch der Einfluss auf die Kultur am Fachbereich zu beachten. Auf der Ebene der Studienverläufe haben sie die gleichen Auswirkungen wie formale Abhängigkeiten, die aus inhaltlichen Gründen festgelegt sind. (vgl. [2]).

3.2.2. Nadelöhre

Die bereits erwähnten studienstrukturierenden Prüfungen sind im Allgemeinen Nadelöhre.

An der Universität Heidelberg und an der Humboldt Universität Berlin gibt es in der Studieneinstiegsphase Module, die im Diagramm als Nadelöhr auftreten (Einstieg Physik bzw. Elementare Hilfsmittel der Physik.). An der Universität Würzburg gibt es im

späteren Studienverlauf mit dem Modul „Synergien Quantenphysik“ ein Nadelöhr.

Wenigstens drei Hochschulen haben entsprechend der Analyse, dass Mathematikmodule allgemeinere Voraussetzungen sind, einzelne oder kleinere Gruppen von Mathematikmodulen als Nadelöhre.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass manche Nadelöhre die Flexibilität der Studiengestaltung weniger einschränken als andere. Rücksprache mit Studierendenvertreter*innen einzelner Standorte im Rahmen der ZaPF ergab, dass nur wenige Standorte bekannt sind, bei denen Nadelöhre bewusst eingebaut sind. Im Kontrast dazu werden in manchen Studiengangskommissionen Nadelöhre aber auch als zu entschärfendes Problem diskutiert. Neben dem Versuch, Nadelöhre insgesamt zu reduzieren, sind die Autor*innen vor allem auf zwei Strategien gestoßen, Nadelöhre zu entschärfen:

- a) Mehrere Hochschulen bieten Nadelöhr-Module jedes Semester an, wohingegen die meisten anderen Module nur jährlich angeboten werden. Teilweise werden auch in Nadelöhr-Modulen mehr Prüfungstermine / -versuche angeboten als in anderen Modulen. Ein Beispiel für ein Nadelöhr das jedes Semester angeboten ist ist die Einführung in das Experimentelle Arbeiten an der Uni Wien, das eine formale Voraussetzung für die Laborpraktika I & II darstellt.
- b) Studienverlaufspläne können so gestaltet werden, dass zwischen einem Nadelöhr-Modul und den darauf aufbauenden Modulen ein zeitlicher Abstand von einem oder mehreren Semestern vorgesehen ist. Dieser Abstand wird durch leicht verschiebbare „Joker“-Module erzeugt und erlaubt Studierenden ggf. diese Joker-Veranstaltungen in spätere Semester zu verschieben und das Nadelöhr-Modul zu wiederholen, ohne dass der weitere Studienverlauf blockiert ist. Es ist dadurch möglich „wieder aufzuholen“ und den Anschluss an eine gemeinsame Lerngruppe für die weiterführenden Module nicht zu verlieren.

3.2.3. Säulenstruktur

Als „Säule“ bezeichnen wir Veranstaltungen, die direkt aufeinander aufbauen und im Allgemeinen wenig Abhängigkeiten zu Veranstaltungen außerhalb der Säule haben. Typischerweise gehören Säulen einem einzigen Themengebiet an.

Nur vier der untersuchten Studiengänge lassen gar keine Säulen erkennen. Die Hälfte der Studiengänge hat mehr oder weniger ausgeprägte Säulen für Theoretische Physik oder Mathematik. Experimentalphysiksäulen und Praktikasäulen kommen seltener vor.

3.2.3.1. Physik-Säulen

Die verschiedenen Physik-Säulen (Experimentalphysik, Theoretische Physik, Praktika) zeichnen sich unter anderem durch typische Methodik und Werkzeuge aus (vgl. z.B. Modulhandbuch Bachelor Physik

Humbolt Universität Berlin). Diese werden weitgehend unabhängig von den anderen Säulen entwickelt.

Dabei bearbeiten die verschiedenen Module innerhalb der Säule meist verschiedene Themenbereiche der Physik, die nur schwach voneinander abhängen. So ist es sicher nützlich, in der theoretischen Elektrodynamik schon einmal etwas von Kräften und Potenzialen gehört zu haben, aber es wird nicht unbedingt vorausgesetzt, dass die analytische Mechanik verstanden wurde. Die Abhängigkeiten innerhalb der Säulen kommen vor allem dadurch zu Stande, dass ein erfahrener Umgang mit spezifischen Methoden der jeweiligen Säule aus den vorhergehenden Modulen vorausgesetzt wird. Manche Hochschulen entschärfen diese Abhängigkeit, wobei wir auf Mischungen folgender idealtypischer Varianten gestoßen sind:

- a) Auslagerung methodischer Grundlagen der jeweiligen Säule in eigene Veranstaltungen, die zuerst studiert werden müssen, sodass der Rest der Säule danach relativ frei angeordnet werden kann.
- b) Erarbeitung Säulen-spezifischer Methoden/Zugänge jedes Mal, wenn sie gebraucht werden (Exkurse). Dabei kommen gemäß der Idee eines Spiralcurriculums [6] diese Methoden mehrmals vor, allerdings typischerweise von verschiedenen Perspektiven her aufgerollt, sodass auch Studierende, die mit der Methode bereits bekannt sind, noch etwas Neues lernen bzw. neue Bezüge herstellen. Diese Exkurse fallen dann den Studierenden leichter, die schon mehr Veranstaltungen derselben Säule studiert haben, ohne dass andere Veranstaltungen dadurch zur Voraussetzung würden. Teilweise wird dies dadurch kompensiert, dass die Veranstaltungen, die klassischerweise später gehört werden, mit höherem Tempo voranschreiten, was die gewonnene Flexibilität zumindest relativiert.
- c) Viele Konzepte wie z.B. Quasiteilchen, Zusammenhang Symmetrie \leftrightarrow Erhaltungsgrößen, Koordinatentransformation zur Entkopplung gekoppelter Systeme lassen sich an verschiedenen physikalischen Inhalten entwickeln. In einigen Studiengängen (z.B. in der Theorie-Säule in Wien) sind die Inhalte, an denen solche Konzepte entwickelt werden, so ausgewählt, dass es innerhalb der Säule (ähnlich wie bei der Strategie (b) zur Entschärfung von Nadelöhren oben) zeitliche Abstände zwischen aufeinander aufbauenden Modulen vorgesehen sind, sodass etwa Theorie III auf Theorie I aufbaut, aber nicht Theorie II zur Voraussetzung hat, und Theorie IV nur auf Theorie I-II, nicht aber auf Theorie III aufbaut.

Abweichend davon gibt es innerhalb der Experimentalphysik-Säulen zum Ende hin oft eine Schwerpunktverlagerung der Voraussetzungen zur Kenntnis physikalischer Themenkomplexe. So wird in einer

Ex-III-Optik- oder einer Ex-II-E-Dynamik-Experimental-Vorlesung nicht vor allem die schiefe Ebene aus der Ex-I-Vorlesung vorausgesetzt, sondern der educated guess beim Aufstellen einer DGL; in der Festkörperphysik-Vorlesung ist der entscheidende Punkt aber eher, dass Kenntnisse sowohl aus der Theormodynamik, der E-Dynamik und Quantenmechanik zusammengebracht werden und dafür zur Verfügung stehen sollen.

Im Gegensatz zu Abhängigkeiten innerhalb von Säulen beruhen Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Physik-Säulen in der Regel darauf, dass eine Vertrautheit mit physikalischen Themenbereichen vorausgesetzt wird.

Auffallend bei den Physik-Säulen ist, dass bei einige Hochschulen gar keine Abhängigkeiten zwischen der Experimentalphysik- und der Theorie-Säule bestehen (z.B. Bonn), sondern die physikalischen Themenbereiche im Sinne eines Spiralcurriculums unabhängig voneinander mit verschiedenen Zugängen erarbeitet werden. Es gibt aber auch Hochschulen wie die Uni Kiel, bei denen die Theorie die physikalischen Inhalte nicht von vorne erarbeitet, sondern explizit auf die thematisch entsprechenden Experimentalphysik-Vorlesungen aufbaut. Es ist zu klären, ob dieses Modell Vorteile bietet, welche die Abhängigkeiten rechtfertigen. Nicht unerwähnt bleiben soll hier aber auch ein interessanter Spezialfall (Dresden und Düsseldorf), bei dem (in Teilen) die Theorie nicht von der Experimentalphysik-Säule abhängt, sondern umgekehrt. Diese Konzeption sollte noch weiter untersucht werden, zumal in manchen asiatischen und lateinamerikanischen Studiengängen Experimentalphysik nicht so sehr wie im deutschsprachigen Raum Ausgangspunkt zum Erlernen der Physik ist, wenn sie dort im Bachelor überhaupt vorkommt.

Ein prinzipiell ähnliches Bild findet sich bei den Praktika: Auch hier gibt es Studiengänge, bei denen die Praktikums-Säule weitgehend unabhängig von den anderen Physik-Säulen ist, im Gegensatz zur Theorie wird bei der großen Mehrheit der Studiengänge im Praktikum aber vorausgesetzt, dass die jeweiligen Themengebiete bereits in Experimentalphysik-Veranstaltungen erarbeitet wurden.

Systematische Abhängigkeiten zwischen den Praktika- und den Theorie-Säulen konnten nirgends gefunden werden.

3.2.3.2. Mathematik

Bei den Verknüpfungen zwischen den Säulen zeigen sich deutliche Unterschiede in der Anordnung der Mathematikveranstaltungen:

- a) **Mathematik als Voraussetzung:** Einzelne Mathematikveranstaltungen sind Voraussetzung für eine Vielzahl andere Module (sowohl theoretischer wie auch experimenteller Physik).
- b) **Verschränkung mit Theoretischer Physik:** Analog dazu, wie teilweise Experimentalphysik-

module Voraussetzung für Praktika sind, sind Mathematikmodule Voraussetzung für theoretische Physikmodule.

- c) **Unabhängig:** Es gibt eine unabhängige Mathematiksäule, die keine Abhängigkeiten mit anderen Modulen hat.

Angesichts der Tatsache, dass viele Hochschulen die Mathemodule zu Beginn des Studiengangs anordnen und mehr oder weniger zur harten Voraussetzung für eine große Zahl an Physik-Modulen machen, ist die Frage, wieso bei einer Reihe von Studiengängen die Physik-Module überhaupt nicht von den Mathematik-Modulen abhängen, besonders spannend, zumal das „Lernen [der Mathematik] auf Vorrat“ ein verbreiteter Kritikpunkt am Physikstudium ist (vgl. [7] und insbesondere auch [8]).

Bei der Diskussion dieses Phänomens an Hand der diesem Beitrag zu Grunde liegenden Diagramme mit Studierendenvertreter*innen im Rahmen der ZaPF im Sommer 2022 konnten im Wesentlichen folgende idealtypischen Modelle herausgearbeitet werden, wobei sich letztlich an allen Hochschulen Mischformen davon finden:

- a) **Mathematik (für Physiker*innen) vorab:** Hierbei wird sehr kompakt in den ersten Semestern des Studiums Mathematik in ihrer eigenständigen Systematik, oft mit reduzierten Beispielen, erarbeitet, um darauf aufbauend Physik zu lernen. Dieses Modell ist fachsystematisch sehr naheliegend und ermöglicht in der Physik von Anfang an, auf die gesamte Mathematik zurückzugreifen. Es funktioniert anscheinend sehr Standort- und Dozierenden-abhängig unterschiedlich gut. Systematische Schwierigkeiten dabei sind, dass die Mathematik in reduzierter Form teils bezugslos und trocken wird und gleichzeitig das hohe Abstraktionsniveau sehr früh im Studium (typischerweise früher als in einem Mathematik-Studiengang) viele Studierende überfordert. Diese Konzeption führt typischerweise dazu, dass die Mathematik-Veranstaltungen ein Nadelöhr darstellen.
- b) **Low level number crunching vorab und Mathematik parallel:** Dieses Modell umgeht die Schwierigkeiten des ersten Modells, indem es die Mathematik vor den Physik-Modulen ersetzt durch einen Crashkurs im rezeptartigen Anwenden bestimmter Rechenmethoden, der auf reine Reproduktion angelegt ist und kaum Verbindungen zwischen den einzelnen Rechenmethoden herstellt. Verzichtet wird insbesondere auch auf Begriffsbildung und Beweise, dafür wird eine hohe Anzahl an Beispielen schematisch durchgerechnet, was für Studierende teilweise nicht besonders motivierend ist. Mathematik wird dann quasi wie ein eigener Studiengang mit Muße und in ihrer eigenen Systematik parallel zum gesamten Mathematik-Studium betrieben. Die Idee ist: Die Studierenden nehmen „das Netz der aufzu-

bauenden Beziehungen [parallel von verschiedenen Zipfeln her] auf und entfalten es schrittweise“ [9]. Teilweise bleibt es den Studierenden dann selbst überlassen, den Bezug zwischen den verschiedenen Teilnetzen herzustellen, was vielen nicht gelingt, teilweise geschieht dies in höheren Semestern z.B. in Veranstaltungen zur „Mathematischen Physik“. Diese Konzeption führt typischerweise dazu, dass das low level number crunching ein Nadelöhr darstellt.

- c) **Mathematische Exkurse in der Physik und Mathematik parallel:** In diesem Modell werden Mathematik und Physik zunächst unabhängig voneinander begonnen, was ermöglicht, dass die Physik deutlich langsamer voranschreiten kann. Was an Rechenmethoden in der Physik gebraucht wird, wird zur gegebenen Zeit als Exkurs eingebaut. Dabei werden mehr oder weniger systematisch Bezüge hergestellt zum Mathematik-Parallelstudium. Eine Schwierigkeit hierbei kann darin bestehen, dass Studierende die Bezüge zwischen den verschiedenen Mathematik-Exkursen nicht herstellen können.
- d) **Mathematik eingebettet in die Theoretische Physik:** Diese Variante baut die Idee der Exkurse massiv aus und verzichtet dazu auf eigenständige Mathematik-Veranstaltungen. Dabei verschiebt sich der Schwerpunkt über die Semester typischerweise von „aufregende Beispiele der Mathematik, an denen man gut Physik lernen kann“ zu „Theoretische Physik mit mathematischen Exkursen“. Dieses Modell findet sich z.B. in manchen der bisher nicht systematisch ausgewerteten, aber schon im Webtool erfassten Lehramtsstudiengängen. Eine Schwierigkeit kann dabei sein, dass die Mathematik so langsam voranschreitet, dass den Studierenden in der Experimentalphysik Handwerkszeug fehlt. [10]

Es scheint derzeit einen Trend zu geben, verschiedene Mischungen dieser Konzepte parallel anzubieten und den Studierenden ein Stück weit die Wahl zu geben. Eine Schwierigkeit dabei wie beim Vergleich verschiedener Studiengänge ist, dass die Bezeichnungen oft nicht besonders hilfreich sind. So gibt es etwa in fast allen Studiengängen Veranstaltungen „Mathematische Methoden“, hinter denen sich aber teils völlig verschiedene Konzepte verbergen.

3.2.4. Kreuzungen

Kreuzungen sind wechselseitige Voraussetzungen, die das Verschieben von Modulen erschweren, während Nadelöhre Veranstaltungen sind, die abgeschlossen sein müssen, bevor eine ganze Reihe anderer Module besucht werden kann.

Solche Kreuzungen kommen insgesamt wenig vor. Im Prinzip gibt es dabei drei verschiedene Arten:

- a) Säulen, die über mehrere Semester hinweg durch einzelne Abhängigkeiten mehr oder weniger aneinander gekettet werden, sodass sie sich nur par-

allel studieren lassen. (Wo die Abhängigkeit zwischen Säulen dagegen nur in eine Richtung geht, lassen sich – etwa für ein Teilzeitstudium – die Säulen auch nacheinander studieren

- b) Verkettung von zwei Modulen, die faktisch gleichzeitig studiert werden müssen. Solche Konstruktionen finden sich z.B., wenn Theorie und Mathematik in engem Bezug und in Absprache der Dozierenden erarbeitet werden.
- c) Sehr selten: Studiengänge, bei denen die Abhängigkeit faktisch gar nicht erfüllt werden können. Rücksprache mit Studierenden dieser Standorte haben ergeben, dass man dies eigentlich als einen Fehler im Studiengangdesign interpretieren kann, der auch zu systematischen Schwierigkeiten führt.

Stichprobenartige Rücksprachen mit Studierendenvertreter*innen, an deren Standorten es Kreuzungen gibt, und teilweise auch zum Start im Sommersemester haben zu folgenden Hypothesen geführt:

Bei Kreuzungen kann die Abhängigkeit in eine Richtung sehr stark sein, in die andere Richtung aber nur auf Grund eines einzigen Themas bestehen, das im einen Modul erarbeitet und im anderen vorausgesetzt wird. Dies legt die Vermutung nah, dass sich solche Kreuzungen potenziell leicht auflösen lassen, indem nur wenige Inhalte zwischen zwei Modulen getauscht werden.

Bei Kreuzungen zweiter Art liegt die Vermutung nahe, dass es sich um zwei Module handelt, die quasi integriert sind, an anderen Hochschulen also an derselben Stelle ein großes Modul mit mehreren Veranstaltungen angeboten würde. Ein zu überlegender Entwicklungsschritt wäre, die Module zusammen zu legen und z.B. durch eine gemeinsame Prüfung und/oder einer längeren Übung für beide Vorlesungen, statt zwei getrennter Übungen diesen Zusammenhang auch institutionell mehr abzurunden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die gemeinsame Erfassung von Inhalten und Zusammenhängen eine umfassendere Analyse von Studiengängen erlaubt. Nach aktuellem Stand ist hierbei vor allem die Rolle der Mathematik und die Verschiebbarkeit von Modul(-gruppen) sehr unterschiedlich.

Es konnten verschiedene idealtypische Modelle herausgearbeitet werden, welche Rolle die Mathematik in Physikstudiengängen hat, wie die Abhängigkeit zwischen den in Physikstudiengängen verbreiteten Säulen zu Stande kommt und wieso manche Studiengänge mit geringeren Abhängigkeiten auskommen. Auch konnten Strategien herausgearbeitet werden, wie Abhängigkeiten innerhalb der Säulen und Nadelöhre entschärft werden können. Zu betonen ist allerdings, dass dies idealtypische Modelle sind, die sich in Reinform kaum in den analysierten Studiengängen finden.

In der Anwendung des Webtools hat sich aber auch eine Schwachstelle herausgestellt, und zwar dass Selektionshürden, die an bestimmte Semester gebunden sind trotz ihrer hohen Bedeutung in den (wenigen) betroffenen Studiengängen nicht adäquat abgebildet werden können. Die Autor*innen arbeiten derzeit an einer geeigneten Implementierung.

Neben ihrer Verwendung zur Analyse von Physikstudiengängen können die Diagramme auch zur Identifikation von Hürden im Studium und zur individuellen Beratung herangezogen werden. Alle diskutierten Diagramme und einige weitere sind frei verfügbar unter: <http://studiengang-diagramm.de>

5. Literatur

- [1] Brackertz, Stefan; Donocik, Niklas; Kern-Michler, Daniela; Längle, Manuel; (2019) Forum Studienreform 3: „Auf Vorrat lernen oder Fragen nachgehen?“ – Podiumsdiskussion: In: PhyDid B 2019: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/996> (Stand: 6/2022)
- [2] <https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/13/entschulung-ist-mehr-als-das-aufheben-von-restrictionen/> (Stand: 6/2022)
- [3] Brackertz et al. 2021: Wie sieht die Struktur des Physikstudiums aus? In: PhyDid B 2021 <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1178>
- [4] Studiengangdiagramm Tool: <http://studiengang-diagramm.de> (Stand: 6/2022)
- [5] <https://www.studienatlas-physik.de> (Stand: 06/2022)
- [6] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2008: Pädagogische Fachbegriffe in der beruflichen Bildung – Glossar <https://web.archive.org/web/20130609191208/http://www.berufsbildung.schulministerium.nrw.de/cms/bildungsganguebergreifende-themen/paedagogische-fachbegriffe/glossar/spiralcurriculum.html> (abgerufen am 15.6.2022)
- [7] Brackertz et al. 2019: Forum Studienreform In: PhyDid B 2021 <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/996>
- [8] <https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/22/mathematische-methoden-und-theoretische-physik-fuers-lehramt-nur-fuers-lehramt/> (abgerufen am 15.6.2022)
- [9] Hans Aebli: Grundformen des Lernens; Klett, 1977, 10. Auflage, S. 201 ff.

- [10] Alexander Altland & Jan von Delft 2019: Teaching mathematics to physicists — can we do better?
<http://www.cambridgeblog.org/2019/01/teaching-mathematics-to-physicists-can-we-do-better/>
(abgerufen am 15.6.2022)