Horst Moog
Kerstin Federbusch

Physik an Universitäten

Organisations- und Ressourcenplanung

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

HIS GmbH
Hannover 2002

Vorwort

Dieser Bericht zur Physik steht im Kontext einer Reihe von HIS-Grundlagenuntersuchungen, die innovative Verfahren und Instrumente für die Ressourcenplanung an Hochschulen bereitstellen und die strukturellen Grundlagen des jeweiligen Faches intensiv analysieren.

In den letzten Jahren ist ein Paradigmenwechsel in der Hochschulplanung festzustellen: differenzierte, an ortsspezifischen Voraussetzungen justierbare Planungsmethoden gewinnen an Bedeutung gegenüber eher standardisierten Planungsansätzen. Diese neue Perspektive ist Reflex einer sich verändernden Hochschullandschaft, bei der das individuelle Profil einer Hochschule in den Mittelpunkt rückt. Mit der zunehmenden Selbststeuerung von Hochschulen und Fachbereichen geht ein verstärkter dezentraler Planungsbedarf einher. Im Zentrum des Berichtes stehen daher zwei Intentionen:

- *Zum einen die Entwicklung differenzierter Planungsbausteine, die je nach hochschulspezifischen Bedingungen modifiziert und zusammengestellt werden können.*
- *Zum anderen die Verdeutlichung der dynamischen Zusammenhänge und der Wechselwirkungen zwischen den vielfältigen Parametern, die für die Ressourcenplanung eine Rolle spielen.*

HIS ist daran gelegen, allen an der Entstehung der Studie Beteiligten für ihre Mitwirkung zu danken:

- *Viele Fachvertreter der Physik haben in Gesprächen und Besichtigungen ihrer Forschungseinrichtungen zahlreiche Facetten ihres Faches vorgestellt.*
- *Planer aus Hochschulen und Bauämtern stellten umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung.*
- *Der Arbeitskreis „Nutzung und Bedarf“ hat die Untersuchung in den verschiedenen Stadien ihrer Entstehung durch konstruktive Diskussionen unterstützt.*
- *Eine Redaktionsgruppe aus Vertretern der Physik und der zuständigen Ministerien hat die Entwurfsfassung des Berichts intensiv begutachtet und wertvolle Anregungen gegeben.*

Möge die vorliegende Veröffentlichung Hilfestellungen bieten bei zukünftigen Planungsaufgaben für das komplexe Fachgebiet Physik.

Dr. Jürgen Ederleh
Geschäftsführer HIS GmbH

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis XI

Summary/Zusammenfassung XV

1 Einleitung 1

1.1 Charakterisierung der Physik 1

1.2 Hochschulstandorte der Physik 2

1.3 Zielsetzung und Aufbau des Berichts 4

1.4 Durchführung der Untersuchung 5

2 Forschung 7

2.1 Forschungsgebiete 7

2.1.1 Differenzierung der Kerngebiete 7

2.1.2 Schnittstellengebiete mit Nachbarwissenschaften 11

2.1.3 Inhaltliche Forschungsschwerpunkte 14

2.2 Forschungsmethoden 14

2.2.1 Differenzierung der Erkenntnismethoden 14

2.2.2 Methodische Profilbildung 15

2.3 Forschungsgeräte 16

2.3.1 Eine funktionale Typologie 16

2.3.2 Großgeräte und Großforschungseinrichtungen 17

2.4 Arbeitsweisen 18

2.4.1 Idealtypen 18

2.4.2 Zuordnung zu Forschungsgebieten 21

2.5 Entwicklungstendenzen 22

3 Lehre 25

3.1 Studienangebot 25

3.2 Entwicklung der Studierendenzahlen 27

3.2.1 Studienanfänger 28

3.2.2 Studierende 28

3.2.3 Verlaufsquoten 29

3.2.4 Absolventen 31

3.3 Studienstruktur ... 34
3.3.1 Studienorganisation ... 34
3.3.2 Studienpläne ... 37
3.3.3 Fächer und Fächergruppen ... 42
3.3.4 Veranstaltungstypen ... 45
3.3.5 Studienstruktur-Modelle ... 46
3.3.6 Lehrveranstaltungen für Studierende anderer Fächer („Lehrexport“) ... 48
3.4 Entwicklungstendenzen ... 49

4 Organisation ... 53

4.1 Begriffliche Grundlagen ... 53
4.2 Primäre Organisationsmuster ... 54
4.2.1 Das 4-Ebenen-Modell und die Grundformen von Fachbereich und Institut ... 54
4.2.2 Alternative Muster der Einbindung in die Hochschulstruktur ... 56
4.2.3 Department- oder/und Institutsmodell als interne Organisationsstruktur ... 57
4.2.4 Organisatorische Einbindung technischer Dienstleistungseinrichtungen ... 60
4.3 Sekundäre Organisationseinheiten ... 62
4.3.1 Formen sekundärer Organisationseinheiten ... 62
4.3.2 Ressourcenbedarf sekundärer Organisationseinheiten ... 63
4.4 Außeruniversitäre Kooperationspartner ... 64
4.4.1 An-Institute ... 65
4.4.2 Institute der außeruniversitären Forschungsgemeinschaften ... 65
4.5 Vergleichender Überblick ... 66

5 Personal ... 69

5.1 Personalbestand ... 69
5.2 Personalmodelle ... 72
5.2.1 Grundlagen ... 73
5.2.2 Personalmodelle für unterschiedliche Basisausstattungen ... 75
5.2.3 Personalmodelle für alternative Forschungsprofile ... 79
5.3 Kapazitätsermittlung ... 83
5.3.1 Zwecke der Kapazitätsermittlung ... 83
5.3.2 Kapazitätsberechnung nach der Kapazitätsverordnung ... 83
5.3.3 Kapazitätsermittlungen auf Basis von Zielvereinbarungen ... 85

6 Flächenplanung ... 89

6.1 Grundlagen ... 89

6.1.1 Flächenplanung mit studienplatzbezogenen Flächenrichtwerten ... 89

6.1.2 Differenzierte Flächenplanung mit mehreren Bezugsgrößen ... 90

6.2 Planung der Büro- und Rechnerflächen ... 91

6.2.1 Büroarbeitsräume ... 91

6.2.2 Besprechungsräume ... 92

6.2.3 Rechnerräume ... 92

6.3 Planung der Labor- und Hallenflächen ... 93

6.3.1 Charakteristika physikalischer Gerätelabore ... 93

6.3.2 Differenzierte Planungsansätze für Laborflächen ... 94

6.3.3 Planungsansätze für Hallenflächen ... 95

6.3.4 Flächenansätze im Überblick ... 96

6.4 Planung der Infrastruktur- und Lagerflächen ... 96

6.4.1 Flächen für technische Dienstleistungen ... 96

6.4.2 Bibliotheksflächen ... 97

6.4.3 Lagerräume ... 98

6.5 Planung der Lehrraumflächen ... 98

6.5.1 Bedarfsermittlung mit Teilrichtwerten ... 98

6.5.2 Flächenbedarf der Praktika ... 102

Exkurs: Praktikumsbetrieb ... 105

E.1 Art und Zahl der Versuche ... 105

E.1.1 Grundpraktika ... 105

E.1.2 Fortgeschrittenenpraktika ... 107

E.1.3 Demonstrationspraktika ... 108

E.2 Organisation und Personal ... 108

E.2.1 Grundpraktika ... 108

E.2.2 Fortgeschrittenenpraktika ... 109

E.2.3 Demonstrationspraktika ... 110

E.3 Planungsmodelle ... 110

E.3.1 Grundlegende Begriffe ... 111

E.3.2 Benötigte Praktikumsplätze auf Basis von Studienanfängerzahlen ... 112

E.3.3 Verfügbare Praktikumsplätze auf Basis von Versuchsaufbauten ... 114

7 Laborplanung ... 117

7.1 Grundlagen ... 117

7.1.1 Labormerkmale im Überblick ... 117

7.1.2 Nutzungsflexibilität und Standardisierung ... 119

7.1.3 Laboranordnung und Grundrissorganisation ... 119

7.2 Standardlabore ... 122

7.2.1 Baukonstruktive Merkmale ... 122

7.2.2 Gebäudetechnische Ausstattung ... 123

7.2.3 Nutzungsbeispiele ... 125

7.3 Ausgewählte Sonderlabore und Hallen ... 126

7.4 Praktikumsräume ... 129

7.4.1 Baukonstruktive Merkmale ... 129

7.4.2 Gebäudetechnische Ausstattung ... 130

8 Bedarfsmodelle ... 131

8.1 Bedarfsmodelle Forschungsgruppen ... 131

8.2 Bedarfsmodelle Fachbereiche ... 136

8.2.1 Konstruktionsprinzipien ... 136

8.2.2 Bedarfsmodelle exemplarischer Physik-Fachbereiche ... 140

8.3 Bedarfsrelationen ... 146

8.3.1 Nutzungsprofile ... 146

8.3.2 Flächenansätze pro Studienplatz ... 147

8.3.3 Studienplatzbezogene und wissenschaftlerbezogene Flächenansätze ... 148

8.3.4 Flächenrelationen für Forschungsgruppen ... 149

8.4 Baukosten ... 151

9 Planungsschritte: Checkliste ... 153

Literaturverzeichnis ... 163

Stichwortverzeichnis ... 167

Abbildungsverzeichnis

1 Einleitung

Abb. 1.1: Universitäten mit Physik-Einrichtungen ... 3
Abb. 1.2: Aufbau der Untersuchung ... 4

2 Forschung

Abb. 2.1: Forschungsgebiete innerhalb und im Umfeld der Physik im Überblick ... 7
Abb. 2.2: Exemplarisches Forschungsprofil einer Physik-Einrichtung ... 14
Abb. 2.3: Relationen experimenteller zu theoretischen zu Professuren ... 15
Abb. 2.4: Funktionale Typologie physikalischer Forschungsgeräte ... 16
Abb. 2.5: Physikalische Großgeräte in Großforschungseinrichtungen ... 18
Abb. 2.6: Typologie physikalischer Arbeitsweisen ... 19
Abb. 2.7: Schwerpunktmäßige Zuordnung von Arbeitsweisen zu Forschungsgebieten ... 22

3 Lehre

Abb. 3.1: Studienangebot nach Studienabschlüssen (Wintersemester 2001/2002) ... 26
Abb. 3.2: Studiengänge nach fachlichen Inhalten ... 27
Abb. 3.3: Entwicklung der Studienanfängerzahlen ... 28
Abb. 3.4: Entwicklung der Studierendenzahlen ... 29
Abb. 3.5: Verlaufsquoten der Studienanfängerzahlen (Diplom-Studiengang) ... 31
Abb. 3.6: Entwicklung der Absolventenzahlen ... 31
Abb. 3.7: Arbeitsbereiche von Physikern ... 33
Abb. 3.8: Studienorganisation der verschiedenen Studiengänge ... 34
Abb. 3.9: Bachelor- und Master-Studiengänge (Wintersemester 2001/2002) ... 36
Abb. 3.10: Schema des Grundstudium-Aufbaus ... 37
Abb. 3.11: Diplomstudienplan Allgemeine Physik an der TU München ... 39
Abb. 3.12: Diplomstudienplan Biophysik an der TU München ... 39
Abb. 3.13: Studienplan Bachelor / Master Physik an der Universität GH Paderborn ... 40
Abb. 3.14: Studienplan Lehramt an Gymnasien an der Universität Jena ... 41
Abb. 3.15: Fächer und Fächergruppen im Diplom-Studiengang (ausgewählte Standorte) ... 44
Abb. 3.16: Studienstruktur-Modell Diplom- und Bachelor- / Master-Studiengang ... 47
Abb. 3.17: Studienstruktur-Modell Lehramt an Gymnasien bzw. Sekundarstufe II ... 48
Abb. 3.18: Lehrexport der Institute für Physik an der Universität Erlangen-Nürnberg ... 49

4 Organisation

Abb. 4.1: Das 4-Ebenen-Modell der Hochschulorganisation ... 55
Abb. 4.2: Das Mehr-Instituts-Modell ... 56
Abb. 4.3: Die gemeinsame Fakultät als zusätzliche Ebene ... 57
Abb. 4.4: Idealtypische Departmentstruktur eines Physik-Fachbereichs ... 58
Abb. 4.5: Institutsstruktur mit Departmentmerkmalen ... 59
Abb. 4.6: Aufgaben und organisatorische Einbindung technischer Dienstleistungen ... 60
Abb. 4.7: Organisatorische Gestaltungsmöglichkeiten im Überblick ... 67

5 Personal

Abb. 5.1: Lehrende und Studierende der Physik im Vergleich (Stand: WS 2000/2001) ... 70
Abb. 5.2: Personalbestand insgesamt (Stand: WS 2000/2001) ... 70
Abb. 5.3: Durchschnittliche Personalausstattung (Stand: WS 2000/2001) ... 71
Abb. 5.4: Größenunterschiede gemessen an der Zahl der Professuren ... 71

Abb. 5.5: Empirische Personalrelationen (Stand: WS 2000/2001) ... 72
Abb. 5.6: Personalmodelle im Überblick ... 73
Abb. 5.7: Personalstruktur der Forschungsgruppen ... 74
Abb. 5.8: Mindestbedarf an Lehrkräften für Physik-Studiengänge ... 76
Abb. 5.9: Personalmodell 0 „Mindestbedarf ohne Lehrexport“ ... 76
Abb. 5.10: Personalmodell 1 „Basisausstattung mit Lehrexport in drei Fächergruppen“ ... 77
Abb. 5.11: Personalmodell 2 „erweiterte Basisausstattung“ ... 78
Abb. 5.12: Personalmodell 3 „gemischtes Forschungsprofil“ ... 80
Abb. 5.13: Personalmodell 4 „experimentelles Forschungsprofil“ ... 81
Abb. 5.14: Personalmodell 5 „theoretisches Forschungsprofil“ ... 82
Abb. 5.15: Kapazitätsberechnung nach der Kapazitätsverordnung ... 84
Abb. 5.16: Kapazitätsermittlungen auf der Grundlage von Zielvereinbarungen ... 86
Abb. 5.17: Vergleich der Absolventen- bzw. Doktorandenzahlen und -arbeitsplätzen ... 87

6 Flächenplanung

Abb. 6.1: Raumnutzungsarten von Physik-Einrichtungen ... 90
Abb. 6.2: Flächenfaktoren für Büroarbeitsplätze ... 91
Abb. 6.3: Differenzierte Planungsansätze für Labor- und Hallenflächen ... 96
Abb. 6.4: Teilrichtwerte für den Lehrraumbedarf der Physik-Veranstaltungen ... 100
Abb. 6.5: Teilrichtwerte für den Lehrraumbedarf der Lehrimporte ... 101
Abb. 6.6: Flächenbedarf des Grundpraktikums ... 103
Abb. 6.7: Flächenbedarf des Fortgeschrittenenpraktikums ... 103

Exkurs: Praktikumsbetrieb

Abb. E.1: Versuche im Grundpraktikum für Physiker an der Universität Kaiserslautern ... 106
Abb. E.2: Versuche zur Biegung und zum Elektronenstrahloszilloskop im Grundpraktikum der Universität Jena ... 107
Abb. E.3: Versuche zum Hall-Effekt und zu spezifischer Wärme von Festkörpern in den Fortgeschrittenenpraktika der Universitäten Leipzig und Duisburg ... 107
Abb. E.4: Zahl der Versuche (Diplom-Physik) ... 108
Abb. E.5: Ansätze zur Herleitung benötigter Praktikumsplätze aus Studienanfängerzahlen ... 113
Abb. E.6: Ermittlung der Arbeitsplätze auf Basis von Studienanfängerzahlen ... 114
Abb. E.7: Ermittlung der Praktikumsplätze auf Basis der vorhandenen Versuchsaufbauten ... 115

7 Laborplanung

Abb. 7.1: Wesentliche Merkmale physikalischer Laborräume ... 118
Abb. 7.2: Laborflächen in Abhängigkeit von Fassadenraster und Labortiefe ... 122
Abb. 7.3: Elemente der gebäudetechnischen Laborausstattung ... 124
Abb. 7.4: Standardlabor im Max-Planck-Institut für Metallforschung ... 125
Abb. 7.5: Nutzungsbeispiel für ein 24 m² Standardlabor ... 125
Abb. 7.6: Nutzungsbeispiel für ein 36 m² Standardlabor ... 126
Abb. 7.7: Nutzungsbeispiel für ein 48 m² Standardlabor ... 126
Abb. 7.8: Experimentierhalle des MPI für Mikrostrukturphysik in Halle ... 129
Abb. 7.9: Nutzung eines 24 m² Standardlabors als Praktikumsraum ... 130
Abb. 7.10: Nutzung eines 48 m² Standardlabors als Praktikumsraum ... 130
Abb. 7.11: Elemente einer gebäudetechnischen Ausstattung von Praktikumsräumen ... 130

8 Bedarfsmodelle

Abb. 8.1: Bedarfsmodell für apparatebezogene Forschungsgruppen ... 131
Abb. 8.2: Bedarfsmodell für probenbezogene Forschungsgruppen ... 132
Abb. 8.3: Bedarfsmodell für theoretisch-deduktive Forschungsgruppen ... 133
Abb. 8.4: Bedarfsmodell für computerbezogene Forschungsgruppen ... 134
Abb. 8.5: Bedarfsmodell für naturbeobachtende Forschungsgruppen ... 134
Abb. 8.6: Bedarfsmodell für Fachdidaktik-Gruppen ... 135
Abb. 8.7: Bandbreiten des Flächenbedarfs physikalischer Forschungsgruppen ... 135
Abb. 8.8: Bedarfsmodell für Nachwuchsgruppen (Beispiel: probenbezogenen Arbeitsweise) .. 136
Abb. 8.9: Modellierung der Büro- und Rechnerflächen für Bedarfsmodell 2 ... 137
Abb. 8.10: Modellierung der Labor-, Werkstatt- und Lagerflächen für Bedarfsmodell 2 ... 138
Abb. 8.11: Modellierung der Lehrraum- und Bibliotheksflächen für Bedarfsmodell 2 ... 139
Abb. 8.12: Bedarfsmodell 1 „Basisausstattung mit Lehrexport in drei Fächergruppen“ ... 141
Abb. 8.13: Bedarfsmodell 2 „erweiterte Basisausstattung“ ... 142
Abb. 8.14: Bedarfsmodell 3 „gemischtes Forschungsprofil“ ... 143
Abb. 8.15: Bedarfsmodell 4 „experimentelles Forschungsprofil“ ... 144
Abb. 8.16: Bedarfsmodell 5 „theoretisches Forschungsprofil“ ... 145
Abb. 8.17: Nutzungsprofile im Vergleich ... 146
Abb. 8.18: Differenzierte Flächenbedarfe bei unterschiedlichen Forschungsprofilen ... 147
Abb. 8.19: Berechnung des Flächenbedarfs pro Physik-Studienplatz bei Normallast ... 148
Abb. 8.20: Vergleich des Flächenbedarf pro Studienplatz bei Normal- und Höchstlast ... 148
Abb. 8.21: Studienplatz- und wissenschaftlerbezogene Flächenansätze ... 149
Abb. 8.22: Flächenbedarf physikalischer Forschungsgruppen ... 150
Abb. 8.23: Zuordnung von Raumnutzungs- zu Kostenflächenarten ... 151
Abb. 8.24: Baukosten für unterschiedlich große Physik-Einrichtungen ... 152
Abb. 8.25: Baukosten für Physik-Einrichtungen mit unterschiedlichem Forschungsprofil ... 152

9 Planungsschritte: Checkliste

Abb. 9.1: Planungsschritte im Überblick ... 154

Summary

Physics combines pure research with a large number of applications, many of which are inter-disciplinary. This means that the resource requirements for physics are determined to a large extent by research, which in turn poses particular problems with regard to adapting resource needs to current student numbers. Against this background this report seeks to develop planning aids for assessing the future resource requirements of physics departments at German universities. To this end, both structural and technical resources as well as organisational and personnel structures have been analysed.

Research: In all areas of physics-related research both experimental and theoretical approaches can be found. Resource requirements depend to a large extent on the working approach. This study distinguishes between various working approaches: experimental-instrumental, experimental-material, nature observing, theoretical and computational.

Teaching: These structural models point to the importance of mathematics and general physics in physics teaching. Only in inter-disciplinary degree courses such as computational physics do the number of lectures focussing on specialist themes outnumber those of a general nature. Practical courses assume a central role in teaching. Although the numbers of first-year students has started to increase, the numbers of students graduating are currently still well below the peak levels reached in the 1990s.

Organisation: Given the organisational changes to which many physics departments are at present being subjected, a comparative analysis of differing structural characteristics in institutes and departments has been undertaken and appropriate hybrid forms discussed. Furthermore, attention has been paid to the importance of secondary organisational units such as Collaborate Research Centres, postgraduate colleges and inter-disciplinary centres.

Personnel: The efficient use of global budgets requires autonomous personnel management at university and also departmental level. The personnel models developed in this study not only give the planning of floor space a quantitative basis but can also be used for personnel planning and determining student numbers.

Planning of floor space: Laboratories are central to space requirements. Differentiated space planning is based not just on student numbers but also on factors such as the number of experimental scientists. In calculating space requirements, the demand for different types of space is assessed separately. The requirements for practical courses are based on a detailed analysis of their organisation.

Planning of laboratories: Most physics laboratories are apparatus rooms without any built-in equipment. In order to ensure sufficient flexibility of utilisation the structural characteristics and technical installations of a standard laboratory have been defined. Hereby, further laboratories and halls are necessary to meet specialist requirements.

Requirement models: By linking the space ratios for different types of space with the space requirements of individual organisational units, it is possible to determine the overall space requirements of individual research groups and departments. Building on this, this study has developed space norms and ratios for particular organisational models. Depending on the profile of the department the amount of floor space required per student varies between 15,1 m^2 and 17,5 m^2 HNF (DIN 277).

Zusammenfassung

Die Physik verbindet umfangreiche Grundlagenforschung mit weitreichenden, häufig interdisziplinären Anwendungsbezügen. Ihr Ressourcenbedarf ist daher stark durch die Forschung geprägt. Dies macht den Anpassungsdruck, der von den aktuellen Studierendenzahlen ausgeht, zu einer besonderen Herausforderung. Vor diesem Hintergrund entwickelt die vorliegende HIS-Untersuchung Planungshinweise für den zukünftigen Ressourcenbedarf von Physik-Einrichtungen an Hochschulen. Dazu werden neben baulichen und technischen Ressourcen auch organisatorische und personelle Strukturen betrachtet.

Forschung: Jedes Teilgebiet der Physik wird sowohl mit experimentellen als auch mit theoretischen Methoden erforscht. Dabei unterscheiden sich die Ressourcenanforderungen in Abhängigkeit von der Arbeitsweise deutlich. Als Basis für die Bedarfsplanung wird daher zwischen der experimentell-apparatebezogenen, der experimentell-probenbezogenen, der naturbeobachtenden, der theoretisch-deduktiven sowie der computerbezogenen Arbeitsweise differenziert.

Lehre: Die vorgestellten Studienstrukturmodelle zeigen, dass für das Physik-Studium eine umfassende Ausbildung in Mathematik und allgemeiner Physik charakteristisch ist. Lediglich in den zunehmend angebotenen interdisziplinären Studiengängen, wie z. B. Computational Physics, übertrifft der Anteil der Spezialveranstaltungen den der Grundlagenfächer. Bei den Veranstaltungsformen spielen die Praktika eine zentrale Rolle. Trotz inzwischen leicht steigender Anfängerzahlen erreichen die Absolventenzahlen derzeit nur etwa 50 % der Spitzenwerte aus den neunziger Jahren.

Organisation: Angesichts der organisatorischen Veränderungen, denen viele Physik-Einrichtungen derzeit unterworfen sind, werden die Merkmale von Instituts- und von Departmentstrukturen einander gegenübergestellt und zweckmäßige Mischformen diskutiert. Außerdem wird die besondere Bedeutung sekundärer Organisationseinheiten wie Sonderforschungsbereiche, Graduiertenkollegs und interdisziplinärer Zentren herausgearbeitet.

Personal: Der effiziente Einsatz global zugewiesener Finanzmittel erfordert ein eigenverantwortliches Personalmanagement durch Hochschulen und Fachbereiche. Die hier exemplarisch entwickelten Personalmodelle eignen sich folglich nicht nur als Mengengerüst für die Flächenplanung, sondern auch zur Personalplanung und zur Festlegung von Studienplatzzahlen im Rahmen von Zielvereinbarungen.

Flächenplanung: Im Mittelpunkt des Flächenbedarfs stehen Laborräume. In einer differenzierten Flächenplanung werden daher neben der Zahl der Studienplätze weitere Bezugsgrößen, z. B. die Zahl der experimentellen Wissenschaftler, berücksichtigt. Zudem werden die Flächenbedarfe für die verschiedenen Raumnutzungsarten getrennt ermittelt. Dabei wird die Bedarfsermittlung für Praktikumsräume auf eine detaillierte Analyse des Praktikumsbetriebs gestützt.

Laborplanung: Physiklabore sind typischerweise Gerätelabore ohne feste Einbauten. Um die benötigte Nutzungsflexibilität zu erreichen, werden anhand der gebräuchlichsten baukonstruktiven Merkmale und technischen Ausstattungen Standardlabore definiert. Zusätzlich sind für besondere Anforderungen Sonderlösungen und Hallenlabore erforderlich.

Bedarfsmodelle: Bedarfsmodelle verknüpfen die Flächenansätze für die verschiedenen Raumnutzungsarten mit dem Bedarf der einzelnen Organisationseinheiten zu umfassenden Planungsmodellen für Forschungsgruppen und Fachbereiche. Aus den hier exemplarisch durchgerechneten Bedarfsmodellen werden typische Flächenfaktoren und Bedarfsrelationen für Physik-Einrichtungen abgeleitet. Dabei ergibt sich je nach Forschungsprofil ein durchschnittlicher Flächenbedarf zwischen 15,10 und 17,50 m^2 HNF pro Studienplatz.

1 Einleitung

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts stellen sich der Physik eine Reihe neuer Herausforderungen. Durch die Erfolge der Lebenswissenschaften wandelt sich ihre Rolle innerhalb der Natur- und Ingenieurwissenschaften. Zudem findet wissenschaftlicher Fortschritt zunehmend zwischen den Disziplinen statt. Beide Entwicklungen lassen die Suche nach neuen Wegen der Zusammenarbeit über die traditionellen Fächergrenzen hinweg immer bedeutsamer werden. Darüber hinaus steigt unter dem Schlagwort „Wissensgesellschaft“ das gesellschaftliche Interesse an der Forschung, für die zur Verfügung gestellten Finanzmittel werden von den Wissenschaftlern aber zunehmend sichtbare Erfolge eingefordert. Auf dem Arbeitsmarkt sind Physiker nach der Flaute Mitte der 90er Jahre inzwischen wieder sehr begehrt. Und trotz steigender Anfängerzahlen entfachen die immer noch niedrigen Absolventenzahlen einen zunehmenden Wettbewerb um Doktoranden.

Diese Umbrüche gehen einher mit strukturellen Neuerungen an den Hochschulen. So führen organisatorische Änderungen nicht nur zur Zusammenlegung oder gar Auflösung angestammter Institute, sondern auch zur Fusion von Physik-Fachbereichen mit anderen Fachbereichen zu großen mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultäten. Zudem besteht für viele Gebäude und technische Einrichtungen der Hochschulphysik, die Ende der 60er oder Anfang der 70er Jahre erbaut wurden, Sanierungs- oder Ersatzbedarf.

Vor diesem Hintergrund entwickelt die vorliegende HIS-Untersuchung Planungshinweise für den zukünftigen Ressourcenbedarf von Physik-Einrichtungen an Hochschulen. Die Untersuchung beschränkt sich dabei nicht auf bauliche und technische Ressourcen, sondern betrachtet auch die organisatorischen und personellen Strukturen. Entsprechend wenden sich die Empfehlungen an alle Wissenschaftler und Planer, die an der Planung von Restrukturierungsmaßnahmen oder von Neubau- und Sanierungsprojekten für Einrichtungen der Physik beteiligt sind.

In diesem einleitenden Kapitel wird zunächst in Abschnitt 1.1 die Physik als Wissenschaftsdisziplin charakterisiert. Anschließend gibt Abschnitt 1.2 einen Überblick über die Hochschulstandorte der Physik in Deutschland. In Abschnitt 1.3 werden Zielsetzung und Aufbau des Berichts und in Abschnitt 1.4 die Durchführung der Untersuchung beschrieben.

1.1 Charakterisierung der Physik

Der Begriff „Physik“ beruht auf dem griechischen Wort „physikós“ mit dem Bedeutungsinhalt „die Natur betreffend“. Entsprechend ist die Physik eine Wissenschaft, die sich mit der Beobachtung und Deutung von Zuständen und Vorgängen in der Natur beschäftigt. Statt mit den klassischen Eingrenzungen auf die „unbelebte Materie“ oder auf „Vorgänge ohne stoffliche Umwandlungen“ lässt sich das Charakteristische der Physik treffender mit den folgenden Merkmalen beschreiben:

Naturgesetze als Erkenntnisziel

Ziel der Physik ist es, die große Vielfalt beobachtbarer Erscheinungen durch möglichst wenige Grundgesetze zu beschreiben und zu erklären. Dabei findet der Erkenntnisfortschritt dadurch statt, dass für bisher nicht erklärbare Phänomene neue Gesetze gefunden werden. Zum Teil gelingt es auch, bekannte Theorien aus verschiedenen Bereichen durch übergeordnete Zusammenhänge in eine umfassendere Theorie einzuordnen.

Verknüpfung von Experiment und Theorie als Erkenntnismethode

Die Physik gewinnt ihre Erkenntnisse durch ein methodisch fundiertes Wechselspiel von Experiment und Theorie. Ausgangspunkt aller physikalischen Untersuchungen ist die systematische Beobachtung. Im Zusammenwirken mit theoretischen Überlegungen gelingt es unter günstigen Umständen, eine physikalische Theorie zu entwickeln, die experimentell gewonnene Erkenntnisse erklärt und Resultate neuer Experimente voraussagen lässt. Dies wiederum ermöglicht die Überprüfung physikalischer Theorien mit Hilfe von Experimenten. Diese Erkenntnismethode mit ihren experimentellen Standards, den zugehörigen Messinstrumenten und der mathematischen Theoriebildung machen die Physik zur Grundlage und methodischen Leitdisziplin der Natur- und Ingenieurwissenschaften.

Grundlagenorientierung und Anwendungsbezug

Die Physik ist eine grundlagenorientierte Naturwissenschaft. Gleichzeitig bilden ihre Erkenntnisse die Basis der technologischen Entwicklung. Physikalische Forschungsfragen spannen daher einen Bogen von dem zweckfreien Vordringen in neue Wissensbereiche bis zur Erforschung möglicher Anwendungen.

Universalität und Spezialisierung

In der Physik gibt es, wie in anderen Disziplinen auch, Spezialisierungen von Forschern, Forschungsgruppen und Instituten. Allerdings besitzt die Physik einen umfangreichen Fundus von Forschungsmethoden, Messverfahren und technischen Fähigkeiten, auf den bei Bedarf aus jedem Spezialgebiet heraus zugegriffen wird und der dadurch das Zentrum der Disziplin bildet. Eine inhaltliche Spezialisierung ist daher gewöhnlich mit einer methodischen Verankerung in der allgemeinen Physik verknüpft. Umgekehrt eröffnet eine methodische Spezialisierung ein breites Spektrum von inhaltlichen Anwendungen und damit auch eine Verankerung in der allgemeinen Physik.

Die Physik ist folglich ein universalistisches Fachgebiet, in dem alle Teilgebiete über ein engmaschiges Netz methodischer und inhaltlicher Querverbindungen vielfach miteinander verbunden sind. Ein Auseinanderstreben der Spezialgebiete und eine Entfremdung der Spezialisten ist in der grundständigen Physik nicht zu beobachten.

1.2 Hochschulstandorte der Physik

Physik-Einrichtungen, d. h. Fachbereiche bzw. Fakultäten für Physik oder einzelne physikalische Institute, sind in Deutschland an den 62 **Hochschulstandorten** zu finden, die Abbildung 1.1 zeigt. Davon bieten 58 mindestens einen allgemeinen oder speziellen Diplom- oder Bachelor-/Master-Studiengang für Physik an. Diese Physik-Einrichtungen haben durch ihr Lehrangebot und die damit verbundene Forschung zumindest qualitativ vergleichbare Ressourcen-Anforderungen und Ausstattungsmerkmale.

Die Physik-Einrichtungen an den Universitäten Flensburg, Lüneburg und Koblenz-Landau, die lediglich Physik-Studiengänge für Lehrer bzw. Magister anbieten, bleiben dagegen aus der Untersuchung ebenso ausgeblendet wie das Institut für Physik der Universität Hohenheim, das nur Lehrveranstaltungen für Nebenfachstudierende anbietet.

Von einer Betrachtung der Fachhochschulen wurde abgesehen, da dort lediglich technische Studiengänge mit dem Abschluss Diplom-Ingenieur zu finden sind, welche auch andere Anforderungen bezüglich der Ressourcen nach sich ziehen.

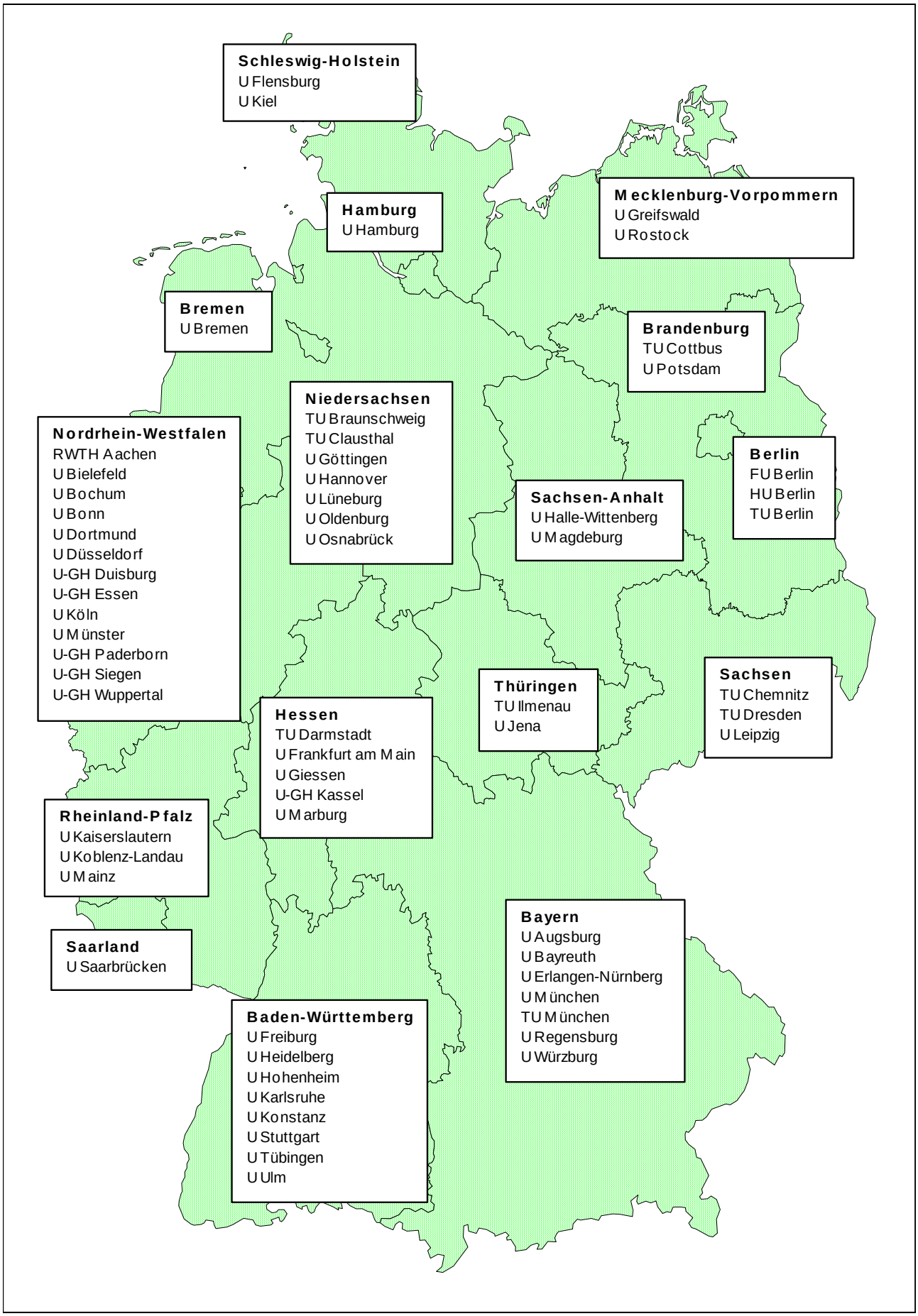


Abb. 1.1: Universitäten mit Physik-Einrichtungen

1.3 Zielsetzung und Aufbau des Berichts

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Planungshilfen zur Bedarfsplanung für Physik-Einrichtungen an Universitäten zu entwickeln. Bedarfsplanung meint dabei die Übersetzung der Anforderungen der Nutzer in qualitative und quantitative ressourcenbezogene Konzepte. In der modernen Bedarfsplanung basiert die Ressourcenplanung für eine fachliche Hochschuleinrichtung auf einer eingehenden Analyse von Forschung und Lehre, der Organisationsstruktur sowie der Personalausstattung. Dabei darf sich die Strukturanalyse nicht auf den Status quo beschränken, sondern muss auch – zumindest soweit sie sich prognostizieren lassen – strukturelle Veränderungen berücksichtigen. Denn eine Neubau- oder Sanierungsmaßnahme soll nicht nur den Anforderungen der gegenwärtigen, sondern auch der zukünftigen Nutzer soweit wie möglich gerecht werden.

Determinanten eines konkreten Ressourcenbedarfes sind die individuellen Merkmale der jeweils zu beplanenden Hochschuleinrichtung. Diese müssen hier aufgrund der Abstraktion von einzelnen Planungsobjekten offen bleiben. Statt dessen werden physikspezifische Bausteine entwickelt, die in Vor-Ort-Planungen zu konkreten Planungsmodellen kombiniert werden können. Um dem Leser die Anpassung der Planungsparameter und Modellvarianten an unterschiedliche Bedingungen vorzuführen, werden zahlreiche exemplarische Planungsmodelle vorgestellt und durchgerechnet. Obwohl die Musterbeispiele ein breites Spektrum typischer Physik-Einrichtungen abdecken, sind in Vor-Ort-Planungen im Einzelfall mehr oder weniger große Abweichungen von den hier errechneten Bedarfsgrößen möglich.

Das beschriebene weitgefasste Verständnis der Bedarfsplanung spiegelt sich in der Struktur des vorliegenden Berichtes wider, wie in Abbildung 1.2 deutlich wird. Nach diesem einleitenden Kapitel werden zunächst die Forschung, die Lehre, die Organisationsstruktur und die Personalausstattung von Physik-Einrichtungen als strukturelle Grundlagen untersucht. Dabei erschließt die Analyse der physikalischen Forschung die Besonderheiten des Fachgebietes. Darauf aufbauend werden in den anschließenden Kapiteln Planungshinweise und Modelle zur Ressourcenplanung im engeren Sinne entwickelt.

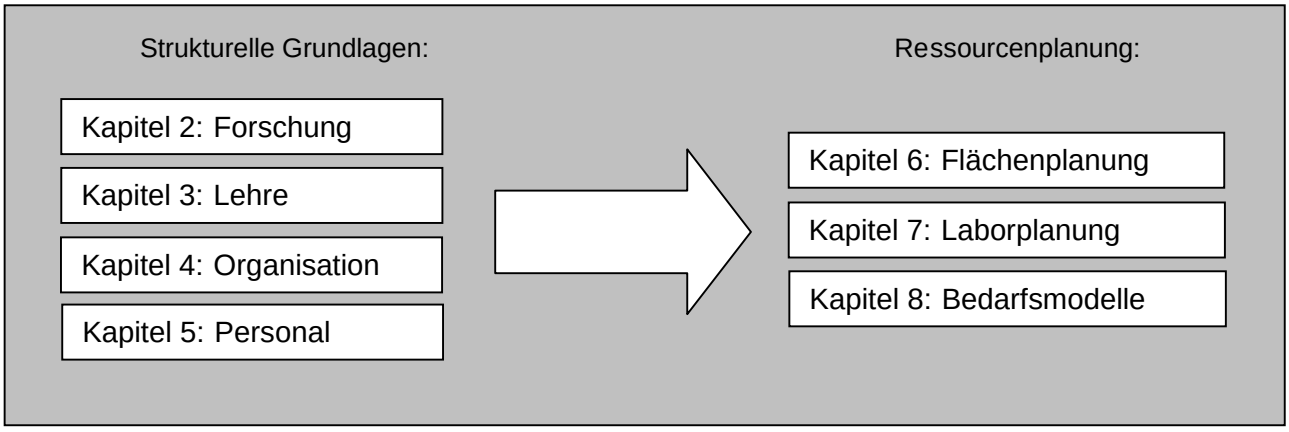


Abb. 1.2: Aufbau der Untersuchung

Im Einzelnen wird im **2. Kapitel** „Forschung“ eine Systematik des Teilgebiete der Physik vorgestellt, ein Überblick über Forschungsmethoden und -geräte gegeben und zwischen fünf idealtypischen Arbeitsweisen von Hochschulphysikern differenziert.

Das **3. Kapitel** „Lehre“ analysiert nach einer Betrachtung der Studierendenzahlen die von Physik-Einrichtungen angebotenen Studiengänge. Daraus werden typische Studieninhalte und Studienstrukturen extrahiert und in einem Studienstruktur-Modell zusammengefasst.

Im Mittelpunkt des **4. Kapitel** „Organisation“ stehen alternative organisatorische Gestaltungsmöglichkeiten für die Einbindung und interne Gliederung von Physik-Einrichtungen. Neben den dabei

betrachteten primären Organisationsmustern aus Fachbereichen, Fakultäten und Instituten werden sekundäre Organisationseinheiten vorgestellt. Deren Aufgaben sind ist Koordination und Institutionalisierung interdisziplinärer Forschungsaktivitäten.

Das **5. Kapitel** „Personal“ gibt zunächst mittels Kennzahlen einen Einblick in die derzeitige Personal- und Stellenausstattung der Physik an den deutschen Universitäten. Anschließend werden die wesentlichen Elemente der Personalstruktur erarbeitet und exemplarisch zu Personalmodellen verdichtet.

Das **6. Kapitel** „Flächenplanung“ entwickelt differenzierte Planungsansätze für die verschiedenen Raumnutzungsarten, um den Flächenbedarf von Physik-Einrichtungen zu ermitteln.

In einem **Exkurs** „Praktikumsbetrieb“ werden anschließend qualitative und quantitative Anhaltspunkte für die Planung physikalischer Praktika zusammengestellt, da dieser Bereich einen erheblichen Teil der räumlichen und personellen Ressourcen bindet.

Das **7. Kapitel** „Laborplanung“ ergänzt die Bedarfsplanung mit Planungshinweisen zur baulichen Gestaltung und technischen Ausstattung physikalischer Laborräume. Im Mittelpunkt steht dabei die Differenzierung zwischen Standardlaboren, Sonderlabore und Versuchshallen.

Im **8. Kapitel** „Bedarfsmodelle“ werden die Bausteine der Flächenplanung exemplarisch zu umfassenden Bedarfsmodellen zusammengefügt, deren Profile in Forschung, Lehre, Organisation und Personal sich grundlegend unterscheiden. Die Bedarfsmodelle ermöglichen es, Bedarfsrelationen zu analysieren und daraus überschlägige Planungshilfen abzuleiten.

Das **9. Kapitel** schließt die Untersuchung mit einer Checkliste zur Ressourcenplanung von Physik-Einrichtungen ab.

1.4 Durchführung der Untersuchung

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis des Projektes „Physik an Universitäten“ der HIS GmbH, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Projektverbundes „Innovative Planungsstrategien für fachliche Einrichtungen; differenzierte Organisations- und Ressourcenplanung – ein Beitrag zur Selbststeuerung der Hochschulen“ gefördert wird.

In die Studie wurden Informationen aus zahlreichen Quellen eingearbeitet. Mitte 2001 wurden alle Physik-Einrichtungen zur Personal- und Stellensituation, zu Flächenbelegung und Bauprojekten sowie zu organisatorischen Änderungen befragt. Die Auswertung der Antworten führte zu zahlreichen Kennzahlen, die zum Teil in den nachfolgenden Kapiteln referiert werden. Detaillierte Informationen über die Studierendenzahlen und deren Entwicklung konnte den Erhebungen der Konferenz der Fachbereiche Physik entnommen werden, die jährlich durchgeführt und jeweils in der Septemberausgabe der Physikalischen Blätter veröffentlicht werden.

Eine weitere wesentliche Quelle sind die Selbstpräsentationen der Physik-Einrichtungen im Internet, aus denen eine Fülle ortspezifischer Informationen gewonnen wurde. Darauf aufbauend wurden einige Physik-Einrichtungen besucht, um vor Ort Gespräche mit Hochschulphysikern führen und Laborräume und Forschungsgeräte besichtigen zu können.

2 Forschung

Aufgrund ihrer experimentellen Ausrichtung wird der Ressourcenbedarf der Physik maßgeblich durch die Forschung geprägt. Um unterschiedliche Ressourcenanforderungen aufzeigen zu können, werden in diesem Kapitel die typischen Arbeitsweisen von Hochschulphysikern herausgearbeitet. Dazu werden zunächst in Abschnitt 2.1 die Forschungsgebiete innerhalb der Physik und an den Schnittstellen zu benachbarten Naturwissenschaften systematisiert. In Abschnitt 2.2 werden die grundlegenden Forschungsmethoden und in Abschnitt 2.3 die typischen Forschungsgeräte vorgestellt. Diese Vorarbeiten münden in Abschnitt 2.4 in eine Typologie physikalischer Arbeitsweisen. Abschnitt 2.5 blickt schließlich auf die Entwicklungstendenzen der Forschung.

2.1 Forschungsgebiete

Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die nachfolgend erläuterten Forschungsgebiete der Physik. Grundlegend ist dabei die Differenzierung zwischen den Kerngebieten innerhalb des Fachgebietes und den Schnittstellenbereichen an den Nahtstellen zu benachbarten Disziplinen.

Die vorgestellte Systematik ist unter Planungsgesichtspunkten zusammengestellt. Aufgrund der engmaschigen Vernetzung der Teilgebiete sind aus fachwissenschaftlicher Perspektive zum Teil auch andere Ab- und Eingrenzungen zu finden. Zudem erhebt der Katalog der Schnittstellenbereiche keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Kerngebiete:	**Schnittstellenbereiche:**
Klassische Physik: Mechanik Akustik Optik Thermodynamik Elektrodynamik	Biophysik Geo- und Umweltphysik Materialwissenschaften Medizinphysik Meteorologie Mikroelektronik Mikrosystemtechnologie Nanowissenschaften Physikalische Chemie Didaktik der Physik
Moderne Physik: Elementarteilchenphysik Kernphysik Atom-, Molekül- und Plasmaphysik Quantenoptik und Laserphysik Festkörperphysik Astronomie, Astrophysik und Kosmologie	

Abb. 2.1: Forschungsgebiete innerhalb und im Umfeld der Physik im Überblick

2.1.1 Differenzierung der Kerngebiete

Der Kernbereich der Physik lässt sich in einem ersten Schritt in die klassische und die moderne Physik unterteilen. Dabei umfasst die **klassische Physik** die Gebiete, die für den Menschen zumeist unmittelbar erfahrbare, makrophysikalische Effekte behandelt. Die Gesetze der klassischen Physik sind jedoch weitgehend erforscht und werden im wesentlichen nur noch in den einführenden Lehrveranstaltungen des Physikgrundstudiums behandelt.

Als **moderne Physik** werden dagegen die aktuellen Forschungsgebiete der Physik bezeichnet. Diese untersuchen mikrophysikalische Phänomene im atomaren und subatomaren Bereich und fragen nach den Bausteinen der Materie, deren Zusammensetzung und den zwischen ihnen wirkenden Kräften. Solche Forschungsobjekte besitzen gemäß den Grundannahmen der Quantentheorie sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften. Beobachtungen und Gesetze lassen sich daher nicht mehr als deterministische Kausalzusammenhänge, sondern nur noch als statistische Wahrscheinlichkeitsaussagen formulieren.

Da ihre Forschungsobjekte für den Menschen nicht unmittelbar erfahrbar sind, benötigt die moderne Physik aufwendige Beobachtungsgeräte, wie z. B. Elektronenmikroskope oder Teilchendetektoren. Aber auch die übrigen Bestandteile ihrer Versuchsaufbauten sind sehr geräteintensiv.

Nach der Größenordnung der Untersuchungsgegenstände und der Stärke der zwischen ihnen wirkenden Kräfte lassen sich die Teilchenphysik, die Kernphysik, die Atom-, Molekül- und Plasmaphysik und die Festkörperphysik unterscheiden. Die Quantenoptik und Laserphysik besitzen demgegenüber Querschnittscharakter, da Laser als ihr zentraler Forschungsgegenstand auch in allen anderen Gebieten als Forschungsgerät eingesetzt werden. Obwohl sich die Astronomie typischerweise mit großen Räumen und großen Massen beschäftigt, ist sie der modernen Physik zuzurechnen, da die Astrophysik als ihr größtes Teilgebiet auf quantenphysikalischen Theorien aufbaut.

Klassische Physik	
Mechanik Akustik Optik Thermodynamik Elektrodynamik	Die klassische Physik beschreibt deterministische Kausalbeziehungen zwischen für den Menschen unmittelbar erfahrbaren Ursachen und Wirkungen. Unterteilt wird sie üblicherweise in die *Mechanik*, als Lehre von den Bewegungen massebehafteter Körper und den Kräften zwischen ihnen, die *Akustik* als Lehre periodischer Zustandsänderungen von gasförmiger, flüssiger und fester Materie, die *Optik* als Wellenlehre des Lichts, die *Thermodynamik* oder auch Wärmelehre und die *Elektrodynamik* als Lehre der Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Feldern und den sie erzeugenden Ladungen. Heute bildet die klassische Physik die Basis für die ingenieurwissenschaftliche Weiterentwicklung der Technik. An den Physik-Fachbereichen ist sie nur noch ausnahmsweise Forschungsgegenstand, wohl aber zentraler Bestandteil der Ausbildung im Grundstudium.
Moderne Physik	
Elementarteilchenphysik	Die Elementarteilchenphysik sucht nach den elementaren Bausteinen, aus denen sich die Materie zusammensetzt, und nach den Kräften, die sie zusammenhält. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts hielt man Protonen, Neutronen und Elektronen für die drei Grundbausteine der Materie. In den siebziger Jahren erkannte man, das Neutronen und Protonen aus noch kleineren Teilchen, den Quarks bestehen. Zur Untersuchung der Elementarteilchen werden verschiedene Objekte mit nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigten Protonen oder Elektronen beschossen. Die Überreste dieser Zusammenstöße werden mit Detektoren registriert, daraus wird auf ihre Zusammensetzung zurückgeschlossen. Die wichtigsten Forschungsgeräte der Teilchenphysik sind Beschleuniger, in denen Elementarteilchen durch elektromagnetische Felder auf nahezu

	Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden können, um die nötigen Aufprallenergien zu erzeugen. Beschleuniger können solche Ausmaße annehmen, dass sie nur von Großforschungseinrichtungen betrieben werden können. In mittlerer Größenordnung können sie auch von einzelnen Hochschulen unterhalten werden, benötigen dort jedoch größere Forschungshallen.
Kernphysik	Die Kernphysik erforscht Struktur und Eigenschaften von Atomkernen. Daten über die Kerneigenschaften werden u.a. aus Kernreaktionen, Streuexperimenten, massenspektrometrischen Untersuchungen und aus der Hyperfeinstruktur der Atomspektren gewonnen. Neben stabilen Atomkernen treten dabei radioaktive Atomkerne auf, die unter Abgabe radioaktiver Strahlen in andere Kerne mit charakteristischer Halbwertzeit zerfallen. Der bekannteste Untersuchungsgegenstand der Kernphysik sind Kernspaltungen, wie sie u. a. in Kernkraftwerken ablaufen. Für ihre Untersuchungen benötigt die Kernphysik daher teilweise Forschungsreaktoren. Aber auch ohne Forschungsreaktoren ist für die Kernphysik der Umgang mit radioaktiver Strahlung kennzeichnend. Erkenntnisse der Kernphysik werden nicht nur bei der Nutzung der Kernenergie, sondern auch bei der Lebensmittelbestrahlung, der Nuklearmedizin, der Kernspintomographie und in der Materialforschung angewendet.
Atom-, Molekül- und Plasmaphysik	Die Atomphysik erforscht im Gegensatz zur Kernphysik Vorgänge, an denen auch die Elektronenhüllen der Atome beteiligt sind. Experimentell werden vor allem die Spektrallinien der von den Atomen ausgesandten Strahlung und die Streuung von Atomstrahlen untersucht. Die Molekülphysik untersucht elektrische, optische, magnetische und strukturelle Eigenschaften von Molekülen und Clustern, sowie Wechselwirkungen zwischen Molekülen und Grenzflächen. Plasma, der Untersuchungsgegenstand der Plasmaphysik, ist eine sehr heiße Gaswolke aus ionisierten Atomen und freien Elektronen, die auch als vierter Aggregatzustand bezeichnet wird. Erzeugt werden Plasmen durch Gasentladungen. In der Natur finden sie sich z. B. in Blitzen und Nordlichtern. Technische Nutzungen von Plasmen sind u. a. Leuchtstoffröhren, Gaslaser oder Elektroschweißgeräte. Die wichtigsten Untersuchungsmethoden im Bereich der Atom-, Molekül- und Plasmaphysik lassen sich unter dem Oberbegriff „Spektroskopie“ zusammenfassen. Trotz der Vielzahl der Verfahren und Geräte ist dabei allen die Charakterisierung elektromagnetischer Strahlen anhand ihres Intensitätsprofils für verschiedene Wellenlängen gemeinsam.
Quantenoptik und Laserphysik	Die Quantenoptik beschäftigt sich mit den Wechselwirkungen von Licht und Materie, die sich mit der klassischen Physik nicht erklären lassen. Sie unterstellt dabei sowohl dem Licht als auch der Materie einen Welle-Teilchen-Dualismus. Wichtigstes Forschungsgerät der Quantenoptik sind Laser, die durch stimulierte Strahlungsemission von Elektronen scharf gebündeltes Licht mit sehr genau festgelegten Frequenzen erzeugen. Laser sind eine Schlüs-

	seltechnologie mit bedeutenden Anwendungen in allen Gebieten der modernen Physik, sowie in der Medizin, der Informationstechnik und der Industrie. Zur Quantenoptik gehört daher auch die Laserphysik, die grundlegende Fragen und Neuerungen der Lasertechnologie erforscht.
Festkörperphysik	Die Festkörperphysik untersucht die Eigenschaften kondensierter Materie. Dazu zählen neben Festkörpern auch weiche Materialien wie Polymere oder organische Materie, die bereits auf schwache äußere Einwirkungen nachgiebig reagieren. Beispiele für die untersuchten Eigenschaften sind Kristallstrukturen, Elektronenkonfigurationen (Elektronenhülle der Atome, Leitungselektronen), Magnetismus, elektrische Leitfähigkeit (Metalle, Halbleiter, Isolatoren, Supraleiter) oder mechanische Eigenschaften. Im Fokus der Festkörperphysik stehen die Beziehungen zwischen den atomaren oder molekularen Mikrostrukturen der Untersuchungsobjekte und ihren makroskopischen Eigenschaften. Anwendungen ergeben sich daher durch den gezielten Einsatz der erforschten Mikro-Makro-Beziehungen, um bestimmte Materialeigenschaften zu modifizieren und zu optimieren. Wegen der Vielfalt der Materialien, Phänomene und Anwendungsmöglichkeiten ist die Festkörperphysik das umfangreichste Kerngebiet der Physik. Darin nimmt die Halbleiterphysik aufgrund ihrer großen Bedeutung für die moderne Informationstechnologie eine zentrale Stellung ein. Die Festkörperphysik verwendet Methoden aus fast allen Gebieten der Physik. Allerdings sind Hochvakuumanlagen und Reinräume typische Einrichtungen, um die zu untersuchenden atomaren und molekularen Strukturen gegen Umwelteinflüsse abzuschotten.
Astronomie, Astrophysik, Kosmologie	Astronomie ist ein Sammelbegriff für alle Bereiche der Physik, die sich mit der Erforschung des Weltraums und seiner Objekte beschäftigen. Zu ihren Untersuchungsobjekten gehören die Sonne, die sie umkreisenden Planeten, Sterne und Sternsysteme, die Milchstraße und andere Galaxien sowie der Kosmos als Ganzes. Weitere Forschungsgegenstände sind die Strahlung im Weltall sowie die großräumigen Gravitations- und Magnetfelder. Das für Nichtphysiker bekannteste Teilgebiet ist die klassische Astronomie, die mit Hilfe der Newtonschen Mechanik die Bahnen von Planeten, Sternen und Gestirnen beschreibt. Wie die klassische Physik steht sie nur noch am Rande der aktuellen Forschung. Dagegen erforscht die Astrophysik auf Basis der modernen physikalischen Erkenntnisse kosmische Objekte (v. a. die Sonne) auf ihre Zusammensetzung, Größe, Masse, Dichte, Rotation, Temperatur, und Leuchtkraft hin. Die Kosmogonie untersucht das Werden und Vergehen von Sternen, die Kosmologie das des gesamten Alls. Die Sternwarten, die noch an vielen Hochschulen zu finden sind, sind der klassischen Astronomie zuzurechnen. Sie werden heute zumeist nur noch für Ausbildungszwecke eingesetzt. Statt dessen verwendet die moderne Astrophysik Messdaten von Großobservatorien an klimatisch günstig gelegenen Orten, vom Weltraumteleskop Hubble und von den satellitengestützten Teleskopen der internationalen Großforschungseinrichtungen.

2.1.2 Schnittstellengebiete mit Nachbarwissenschaften

Der nachfolgende Katalog beschreibt die wichtigsten Schnittstellenbereiche zwischen der Physik und ihren Nachbarwissenschaften. Davon ist die physikalische Chemie dem Kooperationspartner Chemie zuzurechnen. Andere Schnittstellenbereiche, wie beispielsweise die Biophysik, werden an manchen Standorten der Physik, an anderen dagegen dem Kooperationspartner zugeordnet. Eine dritte Gruppe, zu der die Meteorologie und die Materialwissenschaften gehören, umfasst selbständige Schnittstellendisziplinen. Zusätzlich wurde in die Liste auch die Didaktik der Physik aufgenommen, da sie auf vielfältige Weise mit der allgemeinen Pädagogik und den Fachdidaktiken der anderen Naturwissenschaften verbunden ist.

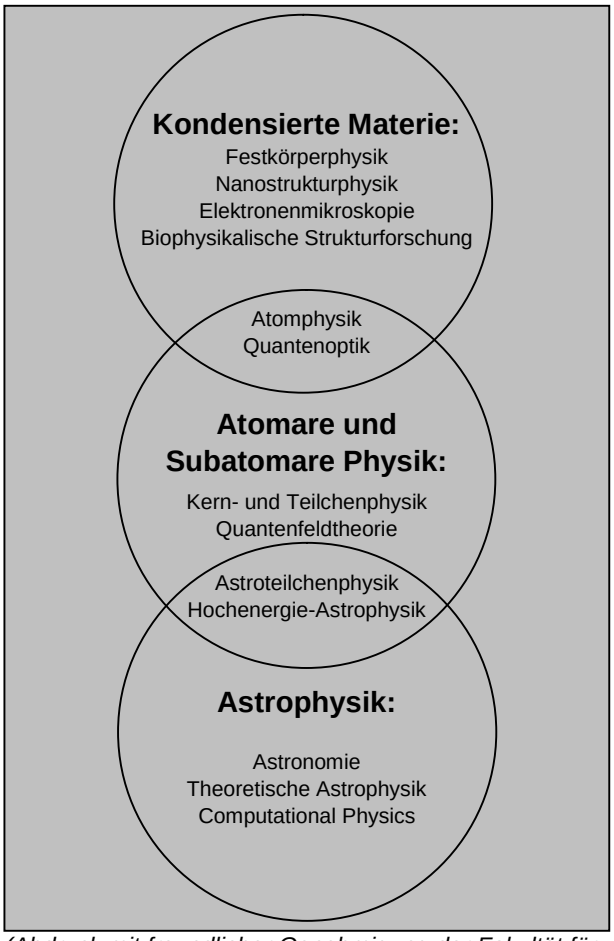
Biophysik Kooperationspartner: Biologie, Chemie, Medizin	Die Biophysik ist eine interdisziplinäre Fachrichtung, die sich mit der Anwendung physikalischer und physikalisch-chemischer Methoden zur Erforschung elementarer und komplexer Lebensvorgänge von der molekularen bis zur zellulären Ebene befasst. Dazu bedient sie sich modernster Verfahren der experimentellen und theoretischen Physik, wie etwa der Laserphysik und der modernen Optik, den Material- und Oberflächenwissenschaften sowie der Mikrosystemtechnologie. Die Biophysik ist durch das Zusammenwachsen von Forschungsfragen aus der Physik, der Biologie und der Chemie entstanden und wird erst seit kurzem als eigenständiger Studiengang etabliert. Biophysikalische Forschungsgruppen gehören teilweise zur Physik, teilweise auch zur Biologie.
Geo- und Umweltphysik Kooperationspartner: Geowissenschaften	Die Geophysik untersucht mit physikalischen Methoden den festen Erdkörper, der sich aus dem Erdkern, dem Erdmantel und der Erdkruste zusammensetzt, die Ozeane und Gewässer (Hydrosphäre), die mittleren und oberen Atmosphärenschichten oberhalb von 10 km sowie das Gravitations- und das Magnetfeld der Erde. Dabei beschäftigt sie sich auch mit spektakulären Phänomenen wie Vulkanausbrüchen und Erdbeben. Aber auch über Jahrmillionen ablaufende Prozesse wie die Entstehung von Gebirgen und Ozeanbecken sowie die Kontinentaldrift gehören zu den Forschungsfragen. In den letzten Jahren werden zudem verstärkt Umweltprobleme wie z. B. der Treibhauseffekt erforscht. Typisch für die Arbeitsweise der Geophysik ist die Aufzeichnung und Auswertung langer Messreihen von Daten natürlicher Vorgänge wie z. B. von Erdbeben. Deshalb ist auch die Nutzung und die Programmierung hochleistungsfähiger Rechner eine wichtige Aufgabe. Die Geophysik ist eng mit der Meteorologie verwandt, im Gegensatz zu dieser versteht sie sich jedoch als Teil der Geowissenschaften.
Material-wissenschaften Kooperationspartner: Chemie, Maschinenbau, Verfahrenstechnik	Die Materialwissenschaften erforschen die Eigenschaften verschiedenster Materialien sowie deren physikalische, chemische, wirtschaftliche oder sonstige Ursachen. Anwendungen ergeben sich durch die Neu- und Weiterentwicklung metallischer, keramischer und Polymerwerkstoffe. Die Festkörperphysik steuert zu den Materialwissenschaften Grundlagenwissen aus der Erforschung von Oberflächen und dünnen Schichten sowie von Halbleitermaterialien im Mikro- und Nanostrukturbereich bei.

	Aufgrund der Vielzahl der Kooperationspartner und ihrer besonderen Bedeutung für weite Bereiche der Technik haben sich die Materialwissenschaften zu einer mehr oder weniger eigenständigen Schnittstellendisziplin verselbständigt. Dennoch bleiben die beteiligten Physiker in der Regel in der Festkörperphysik verwurzelt.
Medizinphysik Kooperationspartner: Medizin, Biologie	Die Medizinphysik beschäftigt sich mit der Anwendung physikalischer Mess- und Untersuchungsverfahren in der medizinischen Diagnostik und Therapie. Ihre Aufgabe besteht im wesentlichen in der Erforschung und Weiterentwicklung medizinischer Geräte zur Röntgendiagnostik, zur Strahlentherapie, zur Diagnose mit magnetischen Resonanz- oder Ultraschallverfahren, und von Geräten der medizinischen Optik und Lasermedizin. Im Gegensatz zur eher grundlagenorientierten Biophysik ist die Medizinphysik der angewandten Physik zuzuordnen.
Meteorologie Kooperationspartner: Geowissenschaften	Die Meteorologie ist die Physik der Atmosphäre, d. h. der etwa 10 km dicken Lufthülle der Erde. In der Öffentlichkeit wird sie vor allem mit der Wettervorhersage verbunden. Neben dem Wetter zählen aber auch Umwelt- und Klimaänderungen sowie deren Wechselwirkungen mit der Gesellschaft zu den Forschungsgegenständen der Meteorologie. Gemeinsamkeiten von Meteorologie und Physik bestehen insbesondere in der Lehre. Das Grundstudium der Meteorologie entspricht weitgehend dem der Physik, die Vordiplome werden wechselseitig anerkannt. Obwohl die Meteorologie überwiegend die Methoden der klassischen Physik verwendet, gibt es zahlreiche Verknüpfungen mit der physikalischen Forschung z. B. im Bereich der Chaostheorie und der computerbezogenen Physik.
Mikrosystem-elektronik Kooperationspartner: Elektrotechnik	Die Mikroelektronik beschäftigt sich mit der Herstellung miniaturisierter elektronischer Schaltkreise („integrierter Schaltungen“). Dazu wurden eine Vielzahl physikalischer Verfahren entwickelt, in deren Mittelpunkt Lithographietechniken stehen. Während die Elektrotechnik ihre Kenntnisse aus dem Bereich des Schaltungs- und Systementwurfs in die Mikroelektronik einbringt, liegen die Beiträge der Halbleiterphysik schwerpunktmäßig bei der Erforschung von Materialeigenschaften und Bearbeitungsprozessen. Die Mikroelektronik findet zahlreiche Anwendungen in der Computerherstellung, der Nachrichtentechnik, der „Konsumenten-Elektronik“ und vielen anderen Bereichen. Ihr Fortschritt ist der Motor der andauernden Leistungssteigerung der Computertechnik. Allerdings wird die Minaturisierung elektronischer Schaltungen in einigen Jahren an physikalische Grenzen stoßen, sodass neue Technologien die Schrittmacherfunktion der Mikroelektronik übernehmen müssen.
Mikrosystem-technologie Kooperationspartner: Elektrotechnik	Die Mikrosystemtechnik kombiniert die Technologien der Mikroelektronik mit solchen der Mikrosensorik, der Mikrooptik und der Mikrofluidik. Dadurch können neben elektronischen, auch mechanische und optische Bauelemente in der Größe von wenigen Mikrometern (10^{-6} m) hergestellt werden. Typische Technologieschritte sind ebenfalls Dünnschicht- und Lithographieprozesse. Durch selektive Ätz- und Depositionsschritte werden mina-

	turisierte Strukturen aufgebaut, die die sensorischen, mechanischen oder optischen Funktionen übernehmen. Die Kombination elektrischer, mechanischer und optischer steigert die Komplexität der Wechselwirkungen allerdings erheblich. Die Mikrosystemtechnolgie steht daher erst am Anfang ihrer Entwicklung. Dennoch sind Mikrosysteme bereits heute in vielen Geräten zu finden beispielsweise in den Schreib-Lese-Köpfen von Computerfestplatten oder den Beschleunigungssensoren von Airbags.
Nanowissenschaften Kooperationspartner: Molekularbiologie, Chemie, Elektrotechnik	Nanowissenschaften sind eine Forschungsschnittstelle zwischen Physik, Chemie, Biochemie und Molekularbiologie. Ihr Forschungsgegenstand sind Strukturen und Funktionen in der Größenordnung von 1 bis 100 Nanometer. Dabei stoßen die beteiligten Disziplinen auf unterschiedlichen Wegen in die Nanowissenschaften vor. Der physikalische Zugang beruht auf der Weiterentwicklung der aus der Halbleitertechnologie hervorgegangen Mikrosystemtechnik. Die Verkleinerung der Dimensionen von der Mikrometerskala (10^{-6} m) auf die Nanometerskala (10^{-9} m) lässt sich jedoch nicht einfach mit einer Verfeinerung von Werkzeugen und Prozessen erreichen (Top-down-Ansatz). Daher sucht die Chemie ergänzend nach Möglichkeiten, wie sich Moleküle mit gewünschten Eigenschaften Stück für Stück aus einzelnen Atomen aufbauen lassen („Bottom-up-Ansatz“). Dabei dient die Selbstorganisation molekularer Vorgänge innerhalb lebender Organismen, beispielsweise in Viren, als Vorbild. Diesen Aspekt bringt die (Molekular-) Biologie in die interdisziplinäre Nanowissenschaften ein. Im Gegensatz zur stark anwendungsorientierten Mikrosystemtechnologie stehen in den Nanowissenschaften zur Zeit noch Fragen der Grundlagenforschung im Mittelpunkt. Die zum Teil auch verwendete Bezeichnung „Nanotechnologie“ nimmt dagegen schon technische Anwendungen vorweg, deren Realisierung frühestens in einigen Jahren oder gar Jahrzehnten erwartet werden kann.
Physikalische Chemie Kooperationspartner: Chemie	Die physikalische Chemie erforscht die bei chemischen Vorgängen der Stoffumwandlung auftretenden physikalischen Erscheinungen mit Hilfe der Methoden der experimentellen und theoretischen Chemie. Die physikalische Chemie gehört üblicherweise zur Chemie und ist dort neben der anorganischen und der organischen Chemie eines der drei Kerngebiete.
Didaktik der Physik Kooperationspartner: Pädagogik	Zur Physik gehört, ebenso wie zu den anderen Naturwissenschaften und zur Mathematik, eine Fachdidaktik, die sich mit der Vermittlung physikalischer Inhalte und Methoden beschäftigt. Forschungsgegenstand der Physikdidaktik ist die Anpassung pädagogischer Erkenntnisse und Konzepte an die besonderen Belange der Physik. In der Lehre besteht ihre Aufgabe in der Ausbildung der Studierenden in den Lehramtsstudiengängen.

2.1.3 Inhaltliche Forschungsschwerpunkte

Auch an großen Physik-Einrichtungen sind nicht alle Kern- und Schnittstellenbereiche durch einzelne Forschungsgruppen vertreten. An Stelle einer möglichst umfassenden Abdeckung des physikalischen Forschungsspektrums tritt zunehmend das Ziel der inhaltlichen Profilbildung durch die Konzentration auf Forschungsschwerpunkte. Dazu werden mehrere Forschungsgruppen gezielt auf verwandte Forschungsinhalte ausgerichtet. Dabei kann es sich um Forschungsfragen aus benachbarten Teilgebieten, beispielsweise der Elementarteilchenphysik und der Kernphysik, handeln oder um miteinander verwandte Kerngebiete und Schnittstellenbereiche wie z. B. Festkörperphysik und Materialwissenschaften. Häufig erfolgt eine interdisziplinäre Profilierung, indem die Physik ihre Schwerpunkte mit denen anderer Naturwissenschaften abstimmt. Ausgangspunkte von Forschungsschwerpunkten können auch Großgeräte der Hochschule oder Kooperationen mit außeruniversitäre Forschungseinrichtungen insbesondere der Max-Planck- oder der Fraunhofer-Gesellschaft sein (siehe Abschnitt 4.4). In Abbildung 2.2 ist exemplarisch das Forschungsprofil einer Physik-Einrichtung dargestellt.



(Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Fakultät für Physik der Universität Tübingen)

Abb. 2.2: Exemplarisches Forschungsprofil einer Physik-Fakultät

Häufig wird die inhaltliche Profilierung organisatorisch durch die Gründung von Sonderforschungsbereichen, Graduiertenkollegs oder interdisziplinären Zentren untermauert (siehe Abschnitt 4.3). Zudem erfolgt oftmals ein zum Forschungsprofil paralleles Angebot an Vertiefungsrichtungen und speziellen Studiengängen (siehe Abschnitt 3.1).

Im Rahmen der inhaltlichen Profilierung zeigt sich die Breite des Forschungsspektrums einer Physik-Einrichtung durch die Zahl ihrer Forschungsschwerpunkte. Sofern es die Personalausstattung zulässt, versuchen daher auch kleinere Physik-Einrichtungen mindestens zwei Forschungsschwerpunkte zu bilden.

2.2 Forschungsmethoden

2.2.1 Differenzierung der Erkenntnismethoden

Nach den Erkenntnismethoden unterscheidet man zwischen der theoretischen und der experimentellen Physik. In der **theoretischen Physik** werden neue Erkenntnisse in den mathematischen Strukturen erforscht, mit deren Hilfe sich physikalische Sachverhalte abbilden lassen. Im Mittelpunkt der Forschungstätigkeit steht daher das Entwickeln und Lösen mathematischer Modelle, die allerdings im Gegensatz zu den Forschungsgegenständen der Mathematik einen konkreten Anwendungsbezug zu physikalischen Forschungsfragen aufweisen.

Demgegenüber versucht die **experimentelle Physik** physikalische Fragen durch Konzeption und Durchführung von Laborexperimenten zu beantworten. Dazu werden die zu untersuchenden Vorgänge und Erscheinungen im Labor mit technischen Hilfsmitteln künstlich erzeugt und durch Variation der Randbedingungen empirisch Ursache-Wirkungszusammenhänge ermittelt. Lediglich in der experimentellen Astronomie, Meteorologie und Geophysik werden an Stelle von Laborexperimenten Naturereignisse untersucht.

In der Regel forschen in allen Gebieten sowohl experimentell als auch theoretisch ausgerichtete Physiker. Teilweise entwickeln theoretische Physiker aber auch Theorien für einen neuen Bereich lange bevor es möglich ist, diese experimentell zu überprüfen. So konnten die Anfang des 20. Jahrhunderts formulierten Gesetze der Quantenmechanik erst über ein halbes Jahrhundert später experimentell überprüft werden. In gleicher Weise ist etwa die Stringtheorie, die eine Zusammenfassung der allgemeinen Relativitätstheorie mit dem Standardmodell der Elementarteilchen versucht, derzeit nur Gegenstand der theoretischen Physik ohne direkte experimentelle Anwendungen. Umgekehrt gibt es in der Physik einzelne experimentell umfassend erforschte Bereiche, für deren Erklärung noch fundierte Theorien fehlen.

Von einigen Physikern wird die **computerbezogene Physik** („Computational Physics“) als dritte Methode hervorgehoben (Schreiber 2001). Damit soll dem großen Anteil Rechnung getragen werden, den die Arbeit am Computer inzwischen innerhalb der Tätigkeiten der Physiker ausmacht. Computational Physics fasst physikspezifische Computeranwendungen zusammen. Dies sind in der theoretischen Physik beispielsweise die numerische und die symbolische Lösung mathematischer Modelle, in der experimentellen Physik die Auswertung großer Datenmengen, die Planung realer Experimente, die Visualisierung von Ergebnissen und Prozessabläufen sowie die rechnerische Simulation von Experimenten. Die wachsende Bedeutung dieses Bereiches für die Forschung spiegelt sich in der zunehmenden Zahl von Arbeitsgruppen zu Computational Physics an den Hochschulen wider, die allerdings in der Regel der theoretischen Physik zugeordnet werden.

2.2.2 Methodische Profilbildung

Für eine differenzierte Bedarfsplanung ist die Unterscheidung zwischen theoretischer und experimenteller Physik ein zentraler Ausgangspunkt, benötigen doch experimentelle Forscher nicht nur Büroarbeitsplätze wie die theoretischen Physiker, sondern auch Versuchsgeräte mitsamt den zugehörigen Laborräumen. Zudem werden technische Mitarbeiter im wesentlichen nur durch experimentelle und computerbezogene Physiker in Anspruch genommen. Entsprechend hängt der Ressourcenbedarf einer Physik-Einrichtung entscheidend von der Zusammensetzung des wissenschaftlichen Personals ab.

In Abbildung 2.3 sind dazu die Relationen der experimentellen zu den theoretischen Professuren bzw. Forschungsgruppen ausgewählter Physik-Einrichtungen zusammengestellt. Auch wenn es sich dabei nur um eine Momentaufnahme handelt, zeigen sich die in Bezug auf die Forschungsmethode differenzierten Profile.

Physik-Einrichtung	Verhältnis exp. zu theo. Professuren
U Göttingen (ohne Geophysik)	3,5 : 1
U Heidelberg	3,0 : 1
U Frankfurt	2,4 : 1
TU Darmstadt	2,2 : 1
U Leipzig (ohne Geowiss.)	1,9 : 1
U Tübingen	1,8 : 1
TU München	1,7 : 1
HU Berlin	1,6 : 1
U Würzburg	1,5 : 1
U Hannover (ohne Meteorologie)	1,3 : 1

Abb. 2.3: Relationen experimenteller zu theoretischen Professuren
(Stand: Sommersemester 2002)

Zum Durchschnittsprofil gehören etwa doppelt so viele experimentelle wie theoretische Professuren. Nähert sich die Zahl der experimentellen Professuren dem Dreifachen der theoretischen Professuren oder übersteigt diese sogar, kann von einer experimentellen Profilierung gesprochen werden. Demgegenüber zeigt sich eine theoriebetonte Profilierung daran, dass die Zahl der experimentellen Professuren fast der Zahl der theoretischen Forschungsgruppen entspricht. Dennoch unterschreitet die Zahl der experimentellen Professuren aufgrund der methodischen Verknüpfung von Experiment und Theorie nicht die Zahl der theoretischen Forschungsgruppen.

2.3 Forschungsgeräte

2.3.1 Eine funktionale Typologie

Moderne naturwissenschaftliche Experimente sind ohne technische Hilfsmittel nicht möglich. Physikalische Forschung findet nicht nur mit, sondern typischerweise auch an Geräten statt. Stärker als die Nachbardisziplinen beschäftigt sich die Physik mit der Konstruktion spezieller Forschungsapparaturen und der Erforschung neuer Technologien. Dabei übernimmt sie auch Dienstleistungsfunktionen für andere Naturwissenschaften, was zu zahlreichen Schnittstellenbereichen führt.

Dies legt eine Strukturierung physikalischer Arbeitsweisen anhand einer Typologie physikalischer Forschungsgeräte nahe. Deren Katalogisierung scheitert jedoch an ihrer Mannigfaltigkeit. So weist der DFG-Gerätegruppenschlüssel beispielsweise allein 40 verschiedene Lasertypen aus. Einen Ansatzpunkt zur Typisierung bieten dagegen die verschiedenen Aufgaben, die die unterschiedlichen Forschungsgeräte beim Experimentieren erfüllen. Danach kann zwischen *Beobachtungsgeräten*, die für die menschlichen Sinne nicht wahrnehmbare physikalische Effekte erfassen, *Messgeräten*, die physikalische Effekte quantifizieren, *Strahlungsquellen*, die die für Versuche benötigten elektromagnetischen oder sonstigen Strahlen erzeugen, *Versuchsapparaturen*, in denen Experimente unter spezifischen Versuchsbedingungen automatisiert ablaufen, *Präparationsgeräte*, mit denen Proben vorbereitet und analysiert werden, *Infrastrukturenrichtungen*, die Rahmenbedingungen für verschiedene Experimente bereitstellen und *Datenverarbeitungsgeräten* zur Versuchssteuerung, Datenerfassung und -auswertung unterschieden werden. Abbildung 2.4 ordnet diesen sieben Geräteklassen exemplarisch einige physikalische Forschungsgeräte zu.

Beobachtungsgeräte: • Mikroskope, • Elektronenmikroskope • Teleskope	**Messgeräte:** • Spektrometer/ Spektroskope	**Strahlungsquellen:** • Kernreaktoren • Teilchenbeschleuniger • Laser
Präparationsgeräte: • Epitaxiegeräte • Elektronenstrahl-Lithographie-Systeme • Röntgen-Lithographie-Systeme	**Versuchsgeräte:** • Kryostate • Magnetfelder • Supraleiter • Hochvakuumapparate	**Infrastruktureinrichtungen:** • Flow-Boxes • Abzüge • Heliumverflüssiger • (Reinräume)
Datenverarbeitungsgeräte: • Personal Computer • Workstations	• Parallelrechner	• Server • Netzwerkknoten

Abb. 2.4: Funktionale Typologie physikalischer Forschungsgeräte

2.3.2 Großgeräte und Großforschungseinrichtungen

Die Großgeräteforschung hat für die moderne Physik eine herausragende Bedeutung. Insbesondere in der Teilchen- und der Kernphysik, aber auch in vielen Gebieten der Atom-, Molekül- und Festkörperphysik hängt der wissenschaftliche Fortschritt entscheidend von den immer größeren Teilchenbeschleunigern, Synchrotonstrahlungs- und Neutronenquellen ab. Denn je kleiner die untersuchten Strukturen werden, desto mehr Bestrahlungsenergie wird benötigt. Dies erfordert wiederum immer größere Strahlungsquellen. Auch die moderne Astronomie stützt ihre experimentelle Forschung weitgehend auf an günstigen Standorten auf den kanarischen Inseln oder in Südamerika gelegene terrestrische Observatorien und satellitengestützten Teleskope, wie z. B. das Weltraumteleskop Hubble (vgl. Denkschrift 2000, S. 194ff.).

Obwohl der Begriff Großgerät sehr anschaulich ist, ist eine für die Ressourcenplanung zweckmäßige Definition nicht ohne weiteres möglich, da die Größe und damit auch der Flächenbedarf der einzelnen Großgeräte sehr unterschiedlich ausfällt. Nach dem Hochschulbauförderungsgesetz (HBFG) werden Großgeräte anhand des für ihre Beschaffung erforderlichen Investitionsvolumens definiert. Danach handelt es sich immer dann um ein Großgerät, wenn die Anschaffungsauszahlung für ein Forschungsgerät einschließlich Zubehör 125.000 € bei wissenschaftlichen Hochschulen und 75.000 € bei Fachhochschulen übersteigt. Sofern diese Schwellenwerte überschritten werden, ist eine Finanzierung nach dem HBFG zu gleichen Teilen durch den Bund und das jeweilige Bundesland möglich, wozu eine Begutachtung durch die DFG Voraussetzung ist. Vom Investitionsvolumen lässt sich aber nicht unbedingt auf den Ressourcenbedarf schließen. Zudem werden viele von der Physik genutzte Großgeräte von Großforschungseinrichtungen außerhalb der Hochschulen errichtet und betrieben.

Abbildung 2.5 auf der folgenden Seite gibt einen Überblick über die wichtigsten außeruniversitären Großforschungseinrichtungen in Deutschland und mit deutscher Beteiligung und ihre Großgeräte. Deutlich wird, dass die Großgeräteforschung die zentrale Aufgabe der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (**HGF**) ist, auch wenn zwei Einrichtungen zur Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (**WGL**) (früher Wissenschaftsgemeinschaft blaue Liste) gehören. Neben ihrem wissenschaftlichen Dienstleistungsauftrag führen Großforschungseinrichtungen auch mit eigenen Gruppen Forschungsprojekte durch. Diese Forschungen betreffen die Weiterentwicklung der Großgeräte und die zugehörigen Grundlagen. Darüber hinaus haben sich die Großforschungseinrichtungen auch zu Wissenschaftszentren für ein breites Spektrum von Forschungsfragen entwickelt.

	Einrichtung:	Name:	Standort:	Zuordnung:	Großgerät(e):	Forschungsgebiete:
Deutsche Großforschungseinrichtungen:						
(1)	BESSY I BESSY II	Berliner Elektronenspeicherring für Synchrontonstrahlung	Berlin-Wilmersdorf Berlin-Adlershof	WGL	Synchrotronstrahlungsquellen vom Infrarot- bis in den Röntgenbereich	Nutzung der Synchrotonstrahlung für physikalische Grundlagenforschung durch externe Forscher
(2)	DESY	Deutsches Elektronen-Synchroton	Hamburg	HGF	Teilchenbeschleuniger HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage), Synchrotronstrahlungsquelle DORIS III und das Labor HASYLAB	Entwicklung, Bau u. Betrieb von Beschleunigeranlagen, Nutzung der Synchrotonstrahlung, Eigenschaften der Materie
(3)	FZ Jülich	Forschungszentrum Jülich GmbH	Jülich	HGF	Höchstleistungsrechenzentrum Forschungsreaktor DIDO	Materialforschung, Informationstechnik, Lifescience, Umwelt- und Energieforschung
(4)	FZ Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	Karlsruhe	HGF	Synchrotonstrahlungsquelle ANKA	Umweltforschung, Energieforschung, Gesundheitsforschung
(5)	FZ Rossendorf	Forschungszentrum Rossendorf GmbH	Dresden	WGL	Strahlungsquelle ELBE	Kernforschung u.a.
(6)	GKSS	Forschungszentrum Geesthacht GmbH	Geesthacht bei Hamburg	HGF	Forschungsreaktor, Pulvermetallherstellung, Druckkammern, Forschungsschiff, Triaxiale Materialprüfmaschine	Leichtbaustoffe, Trenntechnik durch Membranen, Küstenforschung
(7)	GSI Darmstadt	Gesellschaft für Schwerionenforschung	Darmstadt	HGF	Linearbeschleuniger UNILAC Schwerionen-Synchrotron SIS Experimentierspeicherring ESR	Kern- und Atomphysik Beschleunigerbau
(8)	HMI	Hahn-Meitner-Institut	Berlin	HGF	Forschungsreaktor BER II Ionenstrahllabor ISL	Strukturforschung Solarenergieforschung
Internationale Großforschungseinrichtungen mit deutscher Beteiligung:						
(9)	CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire	Genf		Mehrere Teilchenbeschleuniger und Speicherringe	Teilchen-, Kern- und Festkörperphysik
(10)	ESO	European Southern Observatory	Garching		2 Radioteleskope in den Anden in Südamerika	Astrophysik
(11)	ESRF	European Synchrotron Radiation Facility	Grenoble		Synchroton-teilchenbeschleuniger	Festkörperphysik
(12)	ILL	Institut Laue-Langevin	Grenoble		Neutronenquelle	Festkörperphysik
(13)	SLAC	Standford Linear Accelerator Center	Standford University Kaliformien		Linearbeschleuniger	Teilchen- und Festkörperphysik
(14)	Steward Observatory		University of Arizona, Tuscon		6,5 m, 10 m und 12 m Spiegelteleskope	Astrophysik
(15)	VIK Dubna	Joint Institute for Nuclear Research	Dubna in der Nähe von Moskau		Gepulster Forschungsreaktor, Schwerionenbeschleuniger	Kernphysik

Abb. 2.5: Physikalische Großgeräte in Großforschungseinrichtungen

2.4 Arbeitsweisen

2.4.1 Idealtypen

„Unter dem Begriff *Arbeitsweisen* werden die methodischen und ressourcenbezogenen Merkmale wissenschaftlicher Forschung verstanden, insbesondere die unterschiedlichen Arten experimentellen Arbeitens. Die einfache dichotome Unterscheidung in theoretische und experimentelle Arbeitsweisen erweist sich als zu grob, um die Spannweite der Arbeitsweisen [...] abzudecken.“ (Vogel/Fenner/Frerichs 2001, S. 32).

Eine Differenzierung physikalischer Arbeitsweisen muss zwangsläufig mit Idealtypen arbeiten, um ihre Zahl überschaubar zu halten und übergeordnete Aussagen generalisieren zu können. Charakteristisch für diese Methode ist die Idealisierung der in der Realität beobachtbaren Merkmalsausprägungen. Dazu werden aus der Vielzahl von Beobachtungen Idealtypen gebildet, indem wichtige Merkmale hervorgehoben und nötigenfalls pointiert dargestellt werden. Die individuellen Besonderheiten der Beobachtungsobjekte werden dagegen ausgeblendet. Dies führt zwangsläufig dazu, dass die realen Beobachtungsgegenstände nicht eindeutig dem einen oder dem anderen Idealtyp zugeordnet werden können, sondern in der Regel als Mischtyp zu charakterisieren sind. Eine Typisierung führt folglich im Gegensatz zur Kategorisierung zu fließenden Übergängen.

Durch Kombination der Kriterien „Forschungsmethode" mit den Ausprägungen theoretisch, computerbezogen und experimentell und „Forschungsobjekt“ mit den Ausprägungen Materialprobe, Versuchsapparat und Naturereignis lassen sich fünf idealtypische Arbeitsweisen unterscheiden. Die nachfolgende Abbildung 2.6 zeigt die daraus resultierenden Typologie.

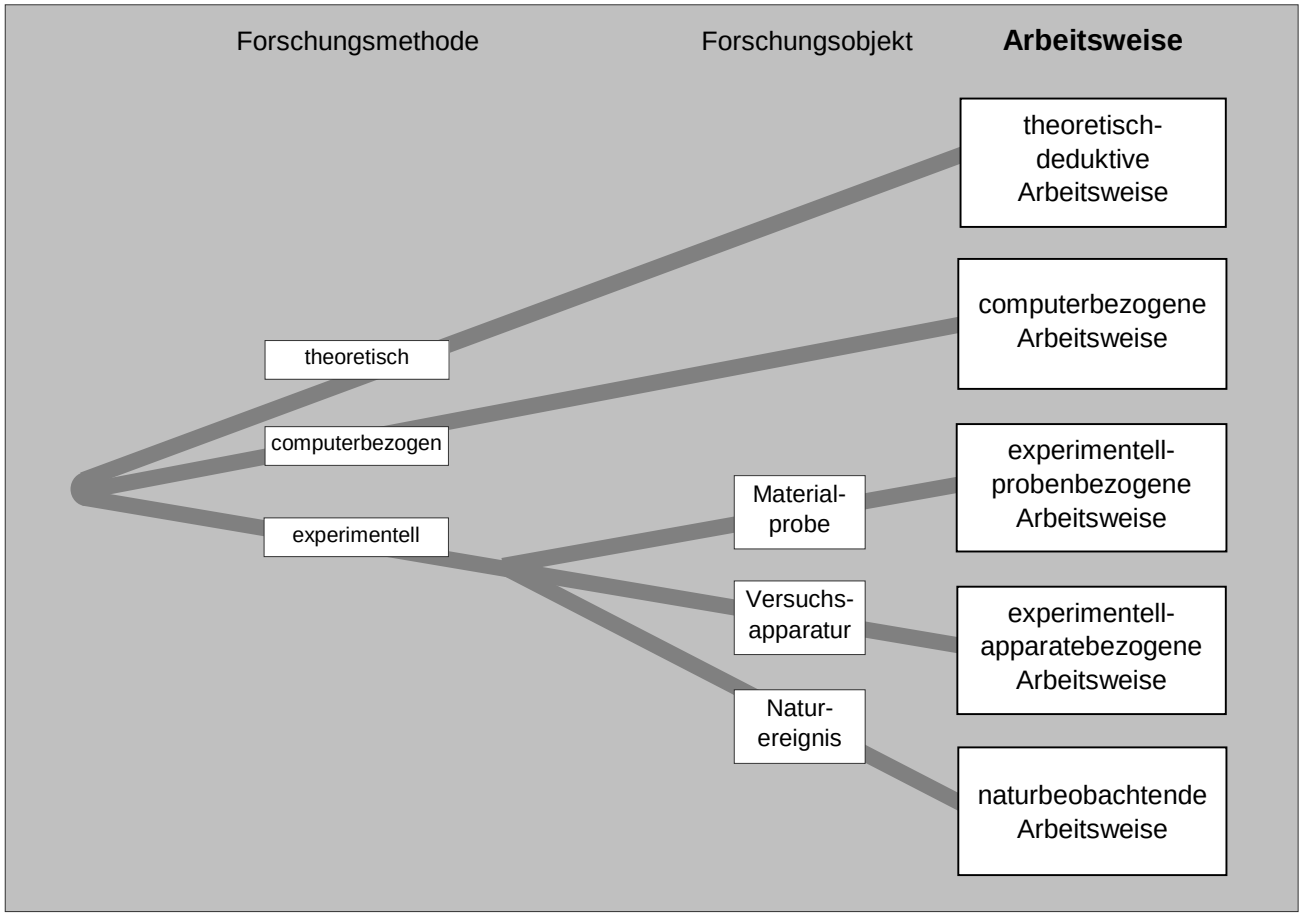


Abb. 2.6: Typologie physikalischer Arbeitsweisen

Theoretisch-deduktive Arbeitsweise

Bei der theoretisch-deduktiven Arbeitsweise handelt es sich in erster Linie um eine gedankliche Tätigkeit am Schreibtisch. Im Mittelpunkt steht dabei für den Physiker das Entwickeln und Lösen mathematischer Modelle, was teilweise, aber nicht vollständig, computergestützt erfolgt.

Charakteristisch für die theoretisch-deduktive Arbeitsweise ist neben der konzentrierten Einzelarbeit das Diskutieren von Modellansätzen und Lösungen in Kleingruppen von zwei bis fünf Forschern. Neben einem möglichst von Störungen freien Schreibarbeitsplatz und einem Arbeitsplatzrechner werden daher auch Tafeln und Besprechungsecken für Kleingruppen benötigt.

Computerbezogene Arbeitsweise

Die computerbezogene Arbeitsweise unterscheidet sich von der theoretisch-deduktiven Arbeitsweise durch den Stellenwert des Computers für die Forschungstätigkeit. Zwar sind Personal Computer für alle Physiker unentbehrliche Hilfsmittel, sie dienen aber überwiegend der Unterstützung der Bürotätigkeit, d. h. zur Literaturrecherche mittels Internetdatenbanken, zum Ausformulieren der Arbeitsergebnisse und für allgemeine Verwaltungstätigkeiten. Darüber hinaus werden sie von experimentellen Physikern zur Datenaufnahme und -auswertung eingesetzt.

Demgegenüber sind Computer bei der computerbezogenen Arbeitsweise nicht nur Hilfsmittel der Forschung. Ein wesentlicher Teil der Forschungsaktivitäten konzentriert sich bei dieser Arbeitswiese auf die Weiterentwicklung von Software für physikspezifische Anwendungen, wie das numerische Lösen von Gleichungssystemen, das Verarbeiten riesiger Datenmengen sowie die rechnerische Simulation von Experimenten.

Neben einfachen Arbeitsplatzrechnern benötigen computerbezogen arbeitende Physiker leistungsstarke Workstations und Parallelrechner.

Experimentell-probenbezogene Arbeitsweise

Die experimentell-probenbezogene Arbeitsweise wird dadurch geprägt, dass Proben in sukzessiven Arbeitsschritten erst präpariert, dann charakterisiert und schließlich im eigentlichen Experiment untersucht werden. Dies ist beispielsweise in der Festkörperphysik bei der Untersuchung von Halbleiterelementen unter verschiedenen Umweltbedingungen wie tiefen Temperaturen oder starken Magnetfeldern der Fall.

Da die Stoffproben nacheinander an unterschiedlichen Geräten bearbeitet oder untersucht werden können, ermöglicht die experimentell-probenbezogene Arbeitsweise die Nutzung von Gemeinschaftsgeräten durch mehrere Forschungsgruppen. So bietet es sich beispielsweise an, besonders aufwendige Messgeräte wie Elektronenmikroskope oder Ultrakurzzeit-Spektroskopie-Einrichtungen als Servicecenter zu organisieren, in denen die Betreibergruppe Proben im Auftrag fremder Forschungsgruppen charakterisiert.

Experimentell-apparatebezogene Arbeitsweise

Bei der experimentell-apparatebezogenen Arbeitsweise sind die Forscher für ihre Versuche an ein besonderes Forschungsgerät oder einen bestimmten Versuchsaufbau gebunden. Dabei kann es sich um Apparate zur Erzeugung besonderer Vorgänge oder Versuchsbedingungen handeln, wie z. B. Laser bzw. Hochvakuum-Apparaturen oder Kryostate, oder um komplexe Versuchsaufbauten, wie sie beispielsweise in der Quantenoptik üblich sind.

Durch Variation von Komponenten der Versuchsaufbaus oder von Einstellungen der Apparatur können unter Umständen zwar unterschiedliche Versuche in einem Labor durchgeführt werden. Da die Versuche jedoch mit einander kompatibel sein müssen, kann ein Labor in der Regel nur von Forschern aus der gleichen Forschungsgruppe genutzt werden.

Auch bei der experimentell-apparatebezogenen Arbeitsweise sind die eigentlichen Untersuchungsobjekte oftmals Stoffproben. Deren Existenz ist jedoch an die Apparatur, in der sie erzeugt werden, gebunden. So werden beispielsweise dünne Schichten aus wenigen Atomen außerhalb der Hochvakuumapparatur durch die Außenluft sofort für weitere Untersuchungen unbrauchbar. Die gleiche Fokussierung auf das Forschungsgerät ergibt sich, wenn das Untersuchungsobjekt ein bestimmter Vorgang ist, z. B. ein Laserstrahl, der innerhalb eines komplexen optischen Versuchsaufbaus erzeugt und gleichzeitig untersucht wird.

Naturbeobachtende Arbeitsweise

Bei der naturbeobachtenden Arbeitsweise, wie sie für die Astronomie, die Meteorologie und die Geophysik typisch ist, tritt an die Stelle von Laborexperimenten die Beobachtung von Naturereignissen. Dazu werden in der Regel Messgeräte außerhalb der Hochschule genutzt, z. B. terrestrische oder satellitengestützte Teleskope, Wetterstationen oder Seismographen. Dennoch werden zeitweilige technologische Arbeitsplätze und Hallenflächen benötigt, um die Messgeräte zu entwickeln und zu testen. Charakteristisch für die naturbeobachtende Arbeitsweise ist zudem der Bedarf an besonders leistungsstarken Datenverbindungen und Rechnern, um Messungen fernzusteuern und große Datenmengen zu bearbeiten und zu übermitteln.

Die naturbeobachtende Arbeitsweise ist aus der Perspektive der Ressourcenplanung eher den theoretischen als den experimentellen Arbeitsweisen zuzurechnen.

Nutzung von Großforschungseinrichtungen

Die drei experimentellen Arbeitsweisen können zusätzlich danach differenziert werden, ob ein wesentlicher Teil der experimentellen Tätigkeiten mit Hilfe von bzw. an Großforschungseinrichtungen stattfindet oder nicht. Charakteristisch für die Nutzung von Großforschungseinrichtungen ist, dass wesentliche Teile der experimentellen Aktivitäten an bzw. mit Geräten der Großforschungseinrichtungen durchgeführt werden. Dies kann unter Umständen zu qualitativen und quantitativen Rückwirkungen auf den Ressourcenbedarf an der Hochschule führen.

Typisch für die proben- und die apparatebezogene Nutzung von Großgeräten ist ein reger „Forschungstourismus" der experimentellen Physiker zu den häufig weit entfernten Großforschungseinrichtungen. Demgegenüber Je nach Umfang und Bedeutung der Großgeräteexperimente kann dies unter Umständen zu einem verringerten Laborflächenbedarf an der Hochschule führen. Dennoch kann auf Hochschullabore in keinem Fall vollständig verzichtet werden, da die Genehmigung, Finanzierung und Durchführung von Großgeräteprojekten vorbereitende Experimente voraussetzt (vgl. Abschnitt 6.3.4).

2.4.2 Zuordnung zu Forschungsgebieten

In Abbildung 2.7 auf der folgenden Seite wird für jedes Kerngebiet und jeden Schnittstellenbereich jeweils die prägnanteste Arbeitsweise hervorgehoben. Dies schließt nicht aus, dass einem Forschungsgebiet prinzipiell mehrere Arbeitsweisen zugeordnet werden könnten. So arbeiten experimentelle Physiker selbstverständlich auch theoretisch-deduktiv und benötigen dazu Büroarbeitsplätze und Besprechungsmöglichkeiten. Lediglich die Nutzung von Großforschungseinrichtungen wird ergänzend zugeordnet.

Da sowohl die Arbeitsweisen als auch die Forschungsgebiete jeweils das Ergebnis einer Typisierung sind, sind die vorgeschlagen Zuordnungen nur als erste Orientierung zu verstehen. In konkreten Planungsprozessen ist die Zuordnung von Arbeitsweisen an den jeweiligen Besonderheiten der zu charakterisierenden Forschungsgruppen auszurichten. Unter Umständen sind einzelne Forschungsgruppen auch als Mischformen einzustufen.

Forschungsgebiete:	Arbeitsweisen:					Nutzung von Großforschungs-einrichtungen
	theoretisch-deduktive Arbeitsweise	computer-bezogene Arbeitsweise	proben-bezogene Arbeitsweise	apparate-bezogene Arbeitsweise	natur-beobachtende Arbeitsweise	
Kerngebiete der Physik:						
Theoretische Physik	X					
Computational Physics		X				
Teilchenphysik				X		X
Kernphysik				X		X
Atom-, Molekül- und Plasmaphysik				X		
Quantenoptik und Laserphysik				X		
Festkörperphysik			X			X
Astronomie und Astrophysik					X	X
Schnittstellenbereiche:						
Biophysik			X			
Geo- und Umweltphysik					X	
Materialwissenschaften			X			X
Medizinphysik				X		
Meteorologie					X	
Mikroelektronik			X			
Mikrosystemtechnologie			X			
Nanowissenschaften			X			
Physikalische Chemie			X			

Abb. 2.7: Schwerpunktmäßige Zuordnung von Arbeitsweisen zu Forschungsgebieten

2.5 Entwicklungstendenzen

Plakativ lässt sich die zukünftige Entwicklung der Physik am Beginn des 21. Jahrhunderts mit den Schlagworten „Kooperation“ und „Interdisziplinarität“ kennzeichnen.

Die Forschung der Zukunft wird in immer stärkerem Maße durch die **Kooperation** zwischen Forschungsgruppen mit unterschiedlicher Ausrichtung geprägt werden. Dies erfordert zum einen eine zunehmende Zusammenarbeit über die traditionellen Grenzen der physikalischen Teildisziplinen hinweg. So erfährt beispielsweise die Astronomie zur Zeit durch die gemeinsame Erforschung der Bausteine des Universums mit der Teilchenphysik einen starken Aufschwung. Dagegen wird die Bedeutung der Kernphysik zumindest in Deutschland weiter zurückgehen. Andere traditionelle Gebiete wie die Plasmaphysik werden an wenigen Hochschulstandorten konzentriert werden, dort jedoch wachsende Schwerpunkte bilden. Die Festkörperphysik wird der breiteste Bereich der Physik bleiben, vor allem weil die Bedeutung ihrer Grenzgebiete weiter zunehmen wird.

Einschneidende Veränderungen der Physik sind von der verstärkten **Interdisziplinarität** zu erwarten. Dies betrifft die Rolle der Physik innerhalb der Naturwissenschaften, ihre Forschungsinhalte, ihre Organisationsstrukturen und schlägt sich bereits in Neubauplanungen nieder.

Zwar wird die Bedeutung der physikalischen Forschungsmethodik für die übrigen Naturwissenschaften nicht abnehmen, die zunehmende Fokussierung der Forschung auf Life Sciences lässt aber die Biophysik in eine hervorgehobene Rolle wachsen. Darüber hinaus sind verstärkte Forschungsaktivitäten und Erkenntnisfortschritte in den Schnittstellengebieten Mikrosystemtechnologie, Nanowissenschaften und Materialwissenschaften zu erwarten. Vermehrt werden auf unterschiedlichsten Ebenen Entstehung und Entwicklung komplexer Strukturen aus Elementarteilchen, aus Atomen und Molekülen oder aus Sternen und Galaxien untersucht. Inwieweit sich daraus eine

Verallgemeinerung der Physik zu einer mathematisch fundierten Systemtheorie entwickelt, ist zur Zeit allerdings noch nicht abschätzbar.

Die Interdisziplinarität in der Forschung entspricht dem an zahlreichen Hochschulen zu beobachtenden Trend, fächerübergreifende Fakultäten für Mathematik und Naturwissenschaften zu bilden und/oder dem Bemühen bei Neubauplanungen, die Naturwissenschaften an einem Standort zu konzentrieren. Andere Hochschulen behalten zwar die an der traditionellen Fächergliederung orientierte Organisationsstruktur bei, ergänzen diese aber um fach- oder fachbereichsübergreifende Forschungszentren für die wachsenden Schnittstellenbereiche. Beispiele hierfür sind das Center for NanoScience an der LMU München oder der Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt für Materialwissenschaften an der Universität Kaiserslautern.

Neben dieser zentralen Entwicklungslinie der Naturwissenschaften betreffen weitere Trends in der Physik die „Großgeräteforschung“ und „Computational Physics“.

Insbesondere für die Teilchen- und die Kernphysik werden immer größere Teilchenbeschleuniger, Synchroton- und Neutronenstrahlungsquellen gebaut, um mit immer höheren Energien immer kleinere Teilchen erforschen zu können. So wird zur Zeit beispielsweise bei CERN in Genf ein neuer Beschleuniger gebaut, während bei DESY in Hamburg Planungen zum Ersatz des derzeitigen Beschleunigers laufen. In der Teilchen- und Kernphysik wird sich die experimentelle Forschung stärker als zur Zeit schon üblich an die Großforschungseinrichtungen verlagern. Deren immer energiereicheren Strahlungsquellen werden zudem zunehmend von Physikern aus der Materialforschung, der Biophysik und anderen Bereichen der Physik genutzt, um immer kleinere Strukturen immer genauer untersuchen zu können. In diesen Teilgebieten wird die **Großgeräteforschung** allerdings auf eine Ergänzungsfunktion für die Experimente an den Hochschulen beschränkt bleiben. Zudem werden „mittlere“ Großgeräte zunehmend von mehreren Hochschulen gemeinsam beschafft und betrieben.

Wie bereits mehrfach angesprochen, kristallisieren sich die physikspezifischen Computeranwendungen zu einer dritten Forschungsmethode neben theoretischer und experimenteller Physik heraus. Dieser unter dem Anglizismus „**Computational Physics**“ firmierende Trend schlägt sich in der Forschung durch eine wachsende Zahl von Arbeitsgruppen, einer eigenen Zeitschrift sowie eine Vielzahl von Konferenzen nieder. In zahlreichen Teilgebieten werden die tatsächlich durchgeführten Experimente in zunehmendem Umfang durch Computersimulationen ergänzt.

Die zunehmende Bedeutung der Verknüpfung der Physik mit der Informatik wird darüber hinaus in einer Vielzahl geplanter (Bachelor-)Studiengänge deutlich, in denen ein reduziertes Grundlagencurriculuum in der Physik mit einer vertieften Informatikausbildung verbunden wird.

3 Lehre

Der Ressourcenbedarf einer Physik-Einrichtung wird neben der Forschung entscheidend durch die quantitativen und qualitativen Merkmale der Lehre beeinflusst: Zum einen wirken sich die Zahl der Studienanfänger, die Gesamtzahl der Studierenden, die Studiendauer und die Verlaufsquoten auf den quantitativen Ressourcenbedarf aus. Zum anderen beeinflussen die Anforderungen der angebotenen Studiengänge und die Art, Zahl und Verteilung der Lehrveranstaltungen gemeinsam mit der Organisation des Lehrbetriebes die qualitativen Dimensionen des Ressourcenbedarfs.

Zunächst werden in Abschnitt 3.1 die quantitativen und qualitativen Merkmale des Studienangebotes beschrieben. Anschließend betrachten Abschnitt 3.2 die Entwicklung der Studierendenzahlen und Abschnitt 3.3 die in den Diplom-, Bachelor-/Master- und Lehramt-Studiengängen vorherrschenden Studienstrukturen. Die Entwicklung von Studienstruktur-Modellen geschieht dabei im Hinblick auf ihre spätere Verknüpfung mit anderen Faktoren zu Personal- und Flächenbedarfsmodellen. Die in Abschnitt 3.4 abschließend aufgezeigten Entwicklungstendenzen weisen auf Veränderungen der Studienstrukturen hin, welche sich möglicherweise auch auf die Ressourcenanforderungen auswirken.

3.1 Studienangebot

Zurzeit bieten die 61 in Abbildung 3.1 zusammengestellten Hochschulen einen Studiengang Physik an. Vorherrschend sind dabei die allgemeinen Studiengänge Diplom-Physik, welche an 58 Standorten existieren. An fast allen Hochschulen mit Diplom-Studiengängen gibt es parallel Lehramts-Studiengänge. Lediglich 5 Hochschulen verfügen über keine Lehramts-Studiengänge bzw. nur Studiengänge für berufsbildende Schulen.

Die Physikstudiengänge an Fachhochschulen sind Ingenieurstudiengänge mit Schwerpunkt technischer Physik. Der reguläre Studienabschluss ist hier der **Diplom-Ingenieur** für Physik. Dieser Abschluss wird auch an einigen Universitäten und Technischen Hochschulen angeboten (sowohl in den speziellen Physik- als auch in verwandten Studiengängen). Die Studierenden absolvieren dabei in der Regel das gleiche Grundstudium wie Diplom-Physiker (häufig ergänzt durch technische Fächer), vertiefen aber im Hauptstudium in anwendungsorientierten, ingenieurwissenschaftlichen Themenbereichen. Das Studium dauert zwischen 7 und 10 Semestern. Beispiele für Studiengänge mit dem Ingenieurabschluss sind die Technische Physik in **Ilmenau** und die anwendungsorientierte Physik an der **TU Berlin**, aber auch die Nanostrukturtechnik in **Würzburg**.

Darüber hinaus werden an einigen Standorten weitere Studiengänge mit zum Teil speziellen Inhalten angeboten. Hierzu zählen neun kombinierte Bachelor-/Master-Studiengänge sowie ein unabhängiges Bakkalareus-Studium in Kaiserslautern und ein Master-Studium in Heidelberg. In Paderborn wird mittelfristig der Diplomstudiengang durch einen Bachelor- und Master-Studiengang Physik ersetzt.

Bezüglich der inhaltlichen Ausrichtungen lässt sich das Studienangebot in grundständige, allgemeine Studiengänge Physik, in spezielle Physik-Studiengänge und verwandte Studiengänge unterteilen. Abbildung 3.2 auf der übernächsten Seite zeigt neben dieser Unterteilung auch die zum Teil im Rahmen der allgemeinen Studiengänge angebotenen Studienrichtungen.

lfd. Nr.		Diplom	Diplom, integrierter Studiengang	Bachelor of Science	Master of Science	Bakkalaureus	Magister	Lehramts-Studiengänge					
								Lehramt an berufs-bildenden Schulen	Lehramt an Grund-/Haupt und Realschulen (S1)	Lehramt an Grund-/Haupt und Realschulen (S2)	Lehramt an Gymnasien	Lehramt für Sonderpäd. und Förderschulen	Schularten- und schulstufenübergreifend
1	RWTH Aachen	■								■			
2	Universität Augsburg	■							■	■	■		
3	Universität Bayreuth	■							■	■	■		
4	Freie Universität Berlin	■										■	■
5	Humboldt Universität zu Berlin	■										■	■
6	Technische Universität Berlin	■										■	■
7	Universität Bielefeld	■					■			■	■		
8	Universität Bochum	■									■		
9	Universität Bonn	■									■		
10	Technische Universität Braunschweig	■								■	■		
11	Universität Bremen	■			■					■	■		
12	Technische Universität Chemnitz	■											
13	Technische Universität Clausthal	■											
14	Technische Universität Cottbus	■		■	■								
15	Technische Universität Darmstadt	■						■			■		
16	Universität Dortmund	■								■	■		
17	Technische Universität Dresden	■						■			■		
18	Universität Düsseldorf	■									■		
19	Universität-GH Duisburg	■					■			■	■		
20	Universität Erlangen-Nürnberg	■							■	■	■		
21	Universität-GH Essen		■							■	■		
22	Universität Flensburg							■	■	■		■	
23	Universität Frankfurt am Main	■								■	■	■	
24	Universität Freiburg	■				■	■				■		
25	Universität Giessen	■								■	■	■	
26	Universität Göttingen	■									■		
27	Universität Greifswald	■								■	■		
28	Universität Halle-Wittenberg	■									■		
29	Universität Hamburg	■										■	■
30	Universität Hannover	■						■		■	■	■	
31	Universität Heidelberg	■			■						■		
32	Technische Universität Ilmenau	■						■					
33	Universität Jena	■				■					■		■
34	Universität Kaiserslautern	■						■		■	■		
35	Universität Karlsruhe	■									■		
36	Universität Kassel	■					■			■	■		
37	Universität Kiel	■								■	■		
38	Universität Koblenz-Landau						■		■	■			
39	Universität Köln	■								■	■		
40	Universität Konstanz	■									■		
41	Universität Leipzig	■		■	■		■			■	■	■	
42	Universität Lüneburg									■			
43	Universität Magdeburg	■					■	■			■		
44	Universität Mainz	■									■		
45	Universität Marburg	■									■		
46	Universität München	■							■	■	■	■	
47	Technische Universität München	■		■	■			■					
48	Universität Münster	■								■	■		
49	Universität Oldenburg	■		■	■			■		■	■	■	
50	Universität Osnabrück	■		■	■		■	■		■	■		
51	Universität Paderborn		■	■	■					■	■		
52	Universität Potsdam	■					■		■	■	■		
53	Universität Regensburg	■							■	■	■		
54	Universität Rostock	■					■	■		■	■	■	
55	Universität Saarbrücken	■								■	■		
56	Universität-GH Siegen		■	■	■		■			■	■		
57	Universität Stuttgart	■		■	■		■	■			■		
58	Universität Tübingen	■									■		
59	Universität Ulm	■									■		
60	Universität Würzburg	■							■	■	■	■	
61	Universität-GH Wuppertal		■							■	■		

S1 = Schwerpunkt Grundschule S2 = Schwerpunkt Haupt- und Realschule

Abb. 3.1: Studienangebot nach Studienabschlüssen (Wintersemester 2001/2002)

Als **allgemeine Studiengänge Physik** werden hier diejenigen Diplom- bzw. Bachelor-/Master-Studiengänge bezeichnet, die den in der Rahmenordnung für den Diplomstudiengang Physik beschriebenen Anforderungen entsprechen, sowie die Lehramtsstudiengänge in Physik, die zumindest im Grundstudium (fast) deckungsgleich mit den Diplomstudiengängen verlaufen. Während die allgemeine Physik an vielen Hochschulen lediglich Schwerpunktsetzungen innerhalb der experimentellen, theoretischen oder angewandten Physik ermöglicht, werden an einigen Standorten noch eine bis maximal zwei stärker spezialisierte **Studienrichtungen** angeboten, welche in das Hauptstudium der Diplom-Physik integriert sind. Die spezifischen Studieninhalte der Studienrichtungen machen dabei in der Regel nicht mehr als ein Drittel der Studieninhalte aus. Die Studienrichtungen besitzen keine eigenen Studien- bzw. Prüfungsordnungen.

Die **speziellen Physik-Studiengänge** besitzen demgegenüber eigene Studien- und Prüfungsordnungen. Neben der Grundausbildung in Physik setzen sie zum Teil schon im Grundstudium, vor allem aber im Hauptstudium, stärkere Schwerpunkte in Spezialthemen, die auch in Randbereichen oder außerhalb der Physik liegen können. In den Diplom-Studiengängen wird hier teilweise der Abschluss Diplom-Ingenieur angeboten.

Die als **"verwandte" Studiengänge** bezeichneten Studienangebote befinden sich inhaltlich an den Schnittstellen zwischen Physik und anderen Disziplinen. Ihre Studienstrukturen, -inhalte und -abschlüsse weichen deutlich von dem des Kernstudienganges ab. Manche der Studiengänge vermitteln zunächst die gleichen Grundlagen wie die Physik und widmen sich später anderen Themenbereichen, meistens jedoch unter Anwendung der vermittelten physikalischen Methoden. Andere kombinieren bereits im Grundstudium Inhalte der Physik mit denen aus anderen Natur- oder Ingenieurwissenschaften, verstärken diese mit Fortschreiten des Studiums und integrieren zusätzlich verschiedene Spezialthemen.

Allgemeiner Studiengang mit Studienrichtungen	
Physik	Anwendungsorientierte Physik Astronomie Biophysik Informatik Materialwissenschaften Medizinische Physik Mikrosystemtechnologie Technische Physik Physik v. Transport und Verkehr

Spezielle Physik-Studiengänge
Computational Physics Physik mit Informatik
Physikalische Technologien / Technische Physik Engineering Physics
Physik der Halbleitertechnologie
Nanostrukturtechnik
Medizinische Physik

Verwandte Studiengänge
Computational Sciences (in Engineering) (Computational) Mechanical and Process Engineering Imagine Physics
Angewandte Naturwissenschaft Physikalische Ingenieurwissenschaft
Materialwissenschaften Werkstoffwissenschaft
Mikrosystemtechnik / Mechatronik Mikro- und Nanostrukturen
Angewandte Geophysik Geophysik Earth and Planetary Sciences
Meteorologie
Biophysik
Umweltphysik Umweltwissenschaften
Wirtschaftsphysik

Abb. 3.2: Studiengänge nach fachlichen Inhalten

3.2 Entwicklung der Studierendenzahlen

Die Entwicklung der Studierendenzahlen wird auf Grundlage der Daten des Statistischen Bundesamtes betrachtet, welches seine Erhebungen nach Studienjahren auswertet. Als Studienjahr wird hierbei immer ein Sommersemester mit dem nachfolgenden Wintersemester zusammengefasst. Die aktuellsten, für diese Studie verfügbaren Daten sind die des Studienjahres 2000.

3.2.1 Studienanfänger

Ein Rückblick auf die Entwicklung der Studienanfängerzahlen in den letzten 25 Jahren (Studierende im 1. Fachsemester) zeigt, dass im Studienjahr 1990 mit rund 8.100 Studienanfängern die höchste Studienanfängerzahl seit 1975 erreicht wurde. Sie hat sich in diesem Zeitraum etwa verdoppelt. Bis 1996 ist dann ein Rückgang um mehr als ein Drittel (37 %) auf 5.100 zu verzeichnen. Seit 1996 steigt die Studienanfängerzahl wieder und bewegt sich zurzeit auf dem Niveau von 1985. Abbildung 3.3 verdeutlicht die starken Schwankungen in den Studienanfängerzahlen.

Besonders stark waren die Veränderungen in den Lehramts-Studiengängen. Innerhalb von 10 Jahren, von 1975 bis 1985, hat sich hier die Zahl der Studienanfänger von rund 1.100 auf 160, also um 85 %, verringert, um sich dann wieder bis 1991 auf 550 zu verdreifachen. Seit Anfang der 90er Jahre sind jedoch wieder kontinuierliche Rückgänge der Anfängerzahlen in den Lehramts-Studiengängen zu verzeichnen.

Im Studienjahr 2000 lag die Zahl der Neueinschreibungen bei insgesamt rund 6.100 Studierenden, davon lediglich 300 in den Lehramts-Studiengängen.

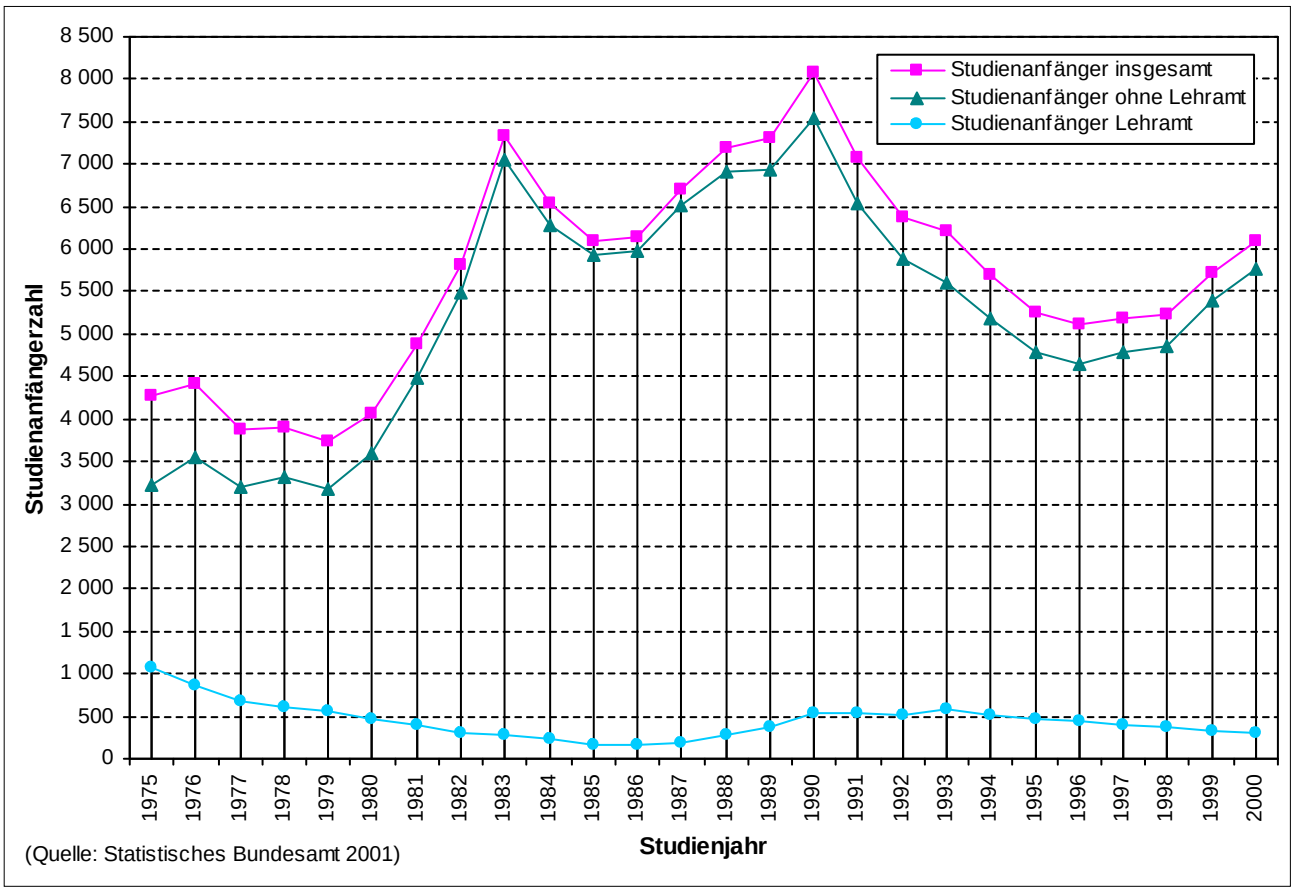


Abb. 3.3: Entwicklung der Studienanfängerzahlen

3.2.2 Studierende

Die Entwicklung der Gesamtzahl der Physik-Studierenden ist in Abbildung 3.4 dargestellt. Die Zahl der Studierenden ist von 1975 stetig von etwa 18.900 auf 39.000 im Jahr 1993 angestiegen und hatte sich damit mehr als verdoppelt. Danach sank sie bis 1998 jährlich um zwei- bis dreitausend Studierende. Seitdem gehen die Studierendenzahlen langsamer zurück. Die in den letzten Jahren

wieder angestiegene Zahl der Studienanfänger lässt erwarten, dass sich auch die Studierendenzahlen in den nächsten Jahren stabilisieren werden. Das Niveau der 80er Jahre wird voraussichtlich jedoch nicht mehr erreicht werden. Entgegen diesem Trend hat sich die Zahl der Lehramts-Studierenden von 1975 bis 1987 von 4.600 auf 1.000 um 78 % verringert. Danach ist sie bis 1994 wieder um mehr als das doppelte auf 2.700 angestiegen. Seitdem nimmt die Zahl der Lehramts-Studierenden wieder kontinuierlich ab. Im Jahre 2000 waren insgesamt 24.550 Studierende in der Physik an Universitäten eingeschrieben, davon waren lediglich 1.660 Lehramts-Studierende (7 %).

Der Frauenanteil an den Studierenden der Physik lag von 1975 bis Anfang der 90er Jahre kontinuierlich zwischen 9 und 10 %. Seitdem steigt er jährlich um einen halben bis einen Prozentpunkt an und betrug im Studienjahr 2000 bereits rund 17 %.

An der Gesamtzahl der Studierenden an Universitäten und technischen Hochschulen hat die Physik momentan einen Anteil von etwa 2 %, an den Studierenden der Fächergruppe Mathematik und Naturwissenschaften einen Anteil von rund 11 % (bmb+f 2000).

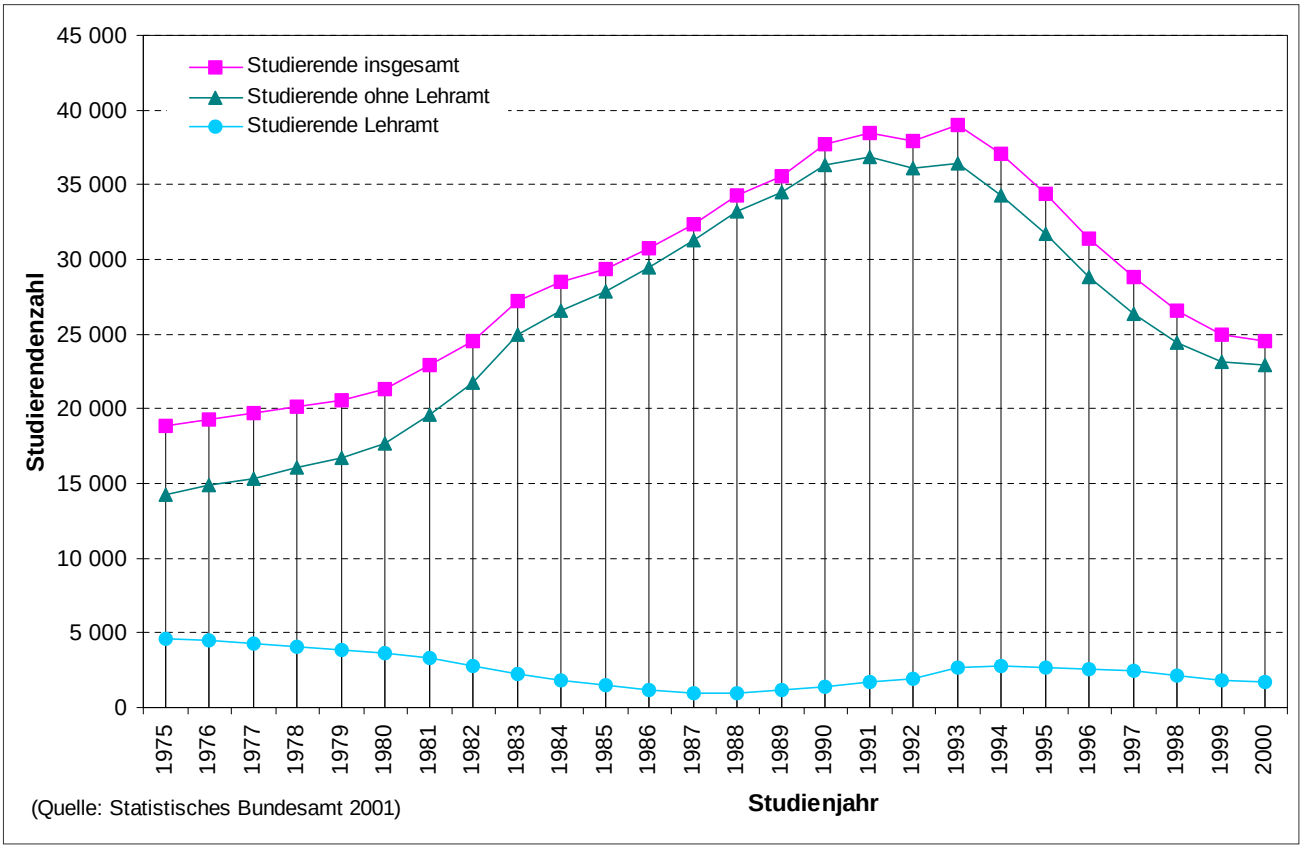


Abb. 3.4: Entwicklung der Studierendenzahlen

3.2.3 Verlaufsquoten

Verlaufsquoten beschreiben, wie viele Studierende pro 100 Studienanfänger in den einzelnen Studienjahren bzw. Fachsemestern in dem jeweiligen Studiengang studieren und Ressourcen in Anspruch nehmen. In ihnen spiegeln sich die verschiedenen Gründe für die Aufgabe des Studiums, wie Fachwechsel, Hochschulwechsel und Studienabbruch wieder. Saldiert wird der daraus resultierende Schwund mit Zuwanderungen von anderen Hochschulen oder aus verwandten Studiengängen in höhere Fachsemester. Demgegenüber beschreiben Studienabbrecherquoten den Anteil der Studienanfänger, die das Hochschulsystem als Ganzes endgültig ohne Abschluss verlassen (vgl. Heublein u.a. 2002, S. 9f.).

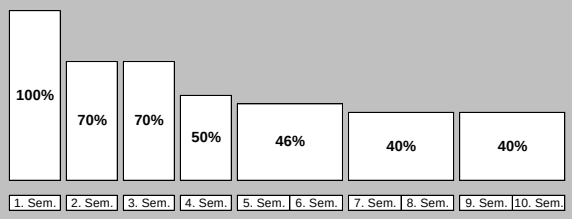
Verfahren zur Berechnung von Verlaufsquoten

Für die Verlaufsquote vom 1. bis 3. Semester wurden jeweils die Daten der Drittsemester mit denen der Neueinschreibungen zwei Semester zuvor verglichen, für die Verlaufsquoten des vierten Semesters die Zahlen der Vordiplomanden mit den Neueinschreibungen zwei Studienjahre zuvor. Für die Verlaufsquoten der nachfolgenden Semester wurde davon ausgegangen, dass die Studiendauer zwischen 11 und 12 Semestern beträgt (aktueller Durchschnitt 11,8 Semester, KFP 2001, S. 35). Studierende, die sich im Sommersemester 1995 oder dem darauf folgenden Wintersemester für das erste Fachsemester Physik eingeschrieben hatten, schlossen demzufolge ihr Diplom im SS 2000 bzw. im WS 2000/2001 ab. Aufgrund der Datenlage konnte hier nur ein Studienjahrgang betrachtet werden, während bei den Drittsemestern und Vordiplomen ein Vergleich mehrerer Jahrgänge möglich war. Die Werte für die einzelnen Hochschulen wurden jeweils bereinigt, indem das obere und untere Sechstel bei der Berechnung des arithmetischen Mittels ausgeblendet wurde. Eine Bereinigung der Studienanfängerzahlen um Jahrgangseffekte (dazu Heublein u.a. 2002, S. 13f.) war aufgrund der vorliegenden Stichtagsdaten nicht möglich.

Die den nachfolgenden Ressourcenplanungen zu Grunde gelegten Verlaufsquoten wurden von HIS aus den von der Konferenz der Fachbereiche Physik für die Diplomstudiengänge jährlich erhobenen Studierendendaten berechnet, die jeweils in der Septemberausgabe der Physikalischen Blätter veröffentlicht werden. Der obige Kasten enthält die Verfahrensbeschreibung.

Die Verlaufsquoten in Abbildung 3.5 zeigen, dass der größte Teil des Schwundes im Grundstudium stattfindet. Von 100 Studienanfängern studieren im zweiten Studienjahr nur noch 75 bis 80 Physik. Von den 40 bis 45 Studierenden, die das Vordiplom bestehen, absolvieren fast alle das **Diplom**. Die Schwundbilanz für diesem Zeitraum beträgt lediglich zwischen 2 und 7 %. Dabei ist allerdings die spezifische Zu- oder Abwanderung der einzelnen Hochschulen zu beachten. Die von HIS errechneten Verlaufsquoten entsprechen weitgehend der Fachliteratur und den Berechnungen der Universitäten (vgl. z. B. Physik-Handbuch 1998, S. 35 und die Daten der FU Berlin im linken Kasten). In den weiteren Planungen wird zur Vereinfachung für das 2. Studienjahr eine Verlaufsquote von 80 %, für das dritte von 45 % und für die beiden letzten von 40 % angesetzt.

Die **FU Berlin** gibt in ihrer Selbstbeschreibung des Fachbereichs Physik im Internet an, dass etwa 30% der ihrer Anfänger in der Physik bereits im ersten Semester das Studium aufgeben. Weitere 20% meldeten sich erst gar nicht zum Vordiplom an. Die Quote derer, die das Vordiplom nicht bestehen, sei sehr gering und wird von der FU mit 8% der angemeldeten Studierenden beziffert. Insgesamt gingen bis zum 8. Semester weitere 10% der Studierenden „verloren“, sodass sich letztendlich nur etwa 40 von 100 Studienanfängern zum Diplom anmeldeten und dieses dann auch fast immer bestünden.



Verlaufsquoten an der FU Berlin
(Quelle: FU Berlin 2001)

Für die **Lehramts-Studiengänge** liegen HIS keine nach Studienjahren differenzierten Daten vor. Nach Daten des Statistischen Bundesamtes ist vom ersten Semester bis zum Examen (bei 10 Semestern Studiendauer) ein Schwund von rund 40 % zu beobachten. In Anlehnung an die Diplomstudiengänge ist damit vom ersten zum dritten Semester eine Verlaufsquote von 70 bis 80 % und ab dem 5. Semester von gleichbleibend ca. 60 % zu vermuten.

Die Ursachen für den Studierendenschwund in der Physik sind - wie in anderen Studiengängen - sehr vielfältig: "Schein- und Park-Studierende", die mit der Einschreibung studentische Vergünstigungen in Anspruch nehmen, nicht erbrachte Studien- bzw. Prüfungsleistungen, falsche Einschätzung des Studiums etc. Eine Veränderung der Verlaufsquoten erscheint sowohl durch die Veränderung gesellschaftlicher Rahmenbedingungen, als auch durch strukturelle Veränderungen der Studiengänge und der Zugangsvoraussetzungen zum Studium möglich.

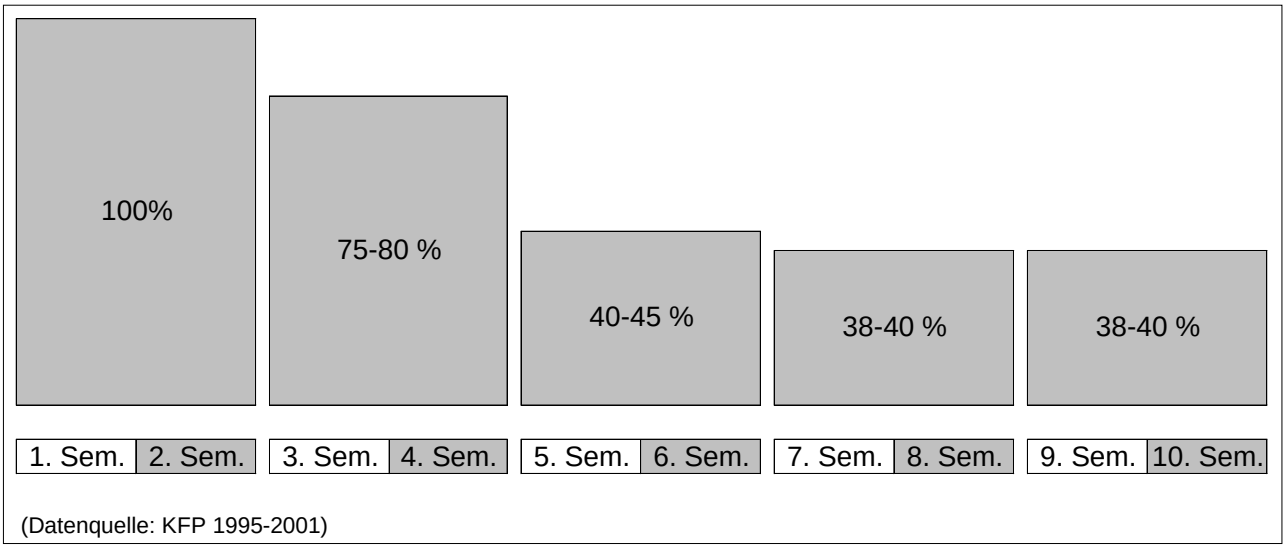


Abb. 3.5: Verlaufquoten der Studienanfängerzahlen (Diplom-Studiengang)

3.2.4 Absolventen

Die Absolventenzahlen in den Diplomstudiengängen folgen der Entwicklung der Studienanfängerzahlen entsprechend der mittleren **Studiendauer** von 11,8 Semestern mit einem Abstand von 5 bis 6 Jahren. Bei den Lehramts-Studiengängen beträgt die durchschnittliche Studiendauer rund 5 Jahre. Wie aus Abbildung 3.6 ersichtlich, befinden sich die Absolventenzahlen daher (noch) in einer Abwärtsbewegung. Die meisten Diplomprüfungen wurden 1996 abgenommen (rund 3.800 Prüfungen). Seitdem ist ein Rückgang um fast 50 % zu beobachten. Die Lehramts-Prüfungen sanken von 1976 bis 1990 von etwa 1.200 auf 90, also um 93 %. Danach stiegen sie wieder leicht an und haben sich seit 1995 auf einen jährlichen Wert von 320 bis 420 eingependelt. Im Studienjahr 2000 gab es insgesamt rund 2.000 Diplom- und 330 Lehramtsprüfungen.

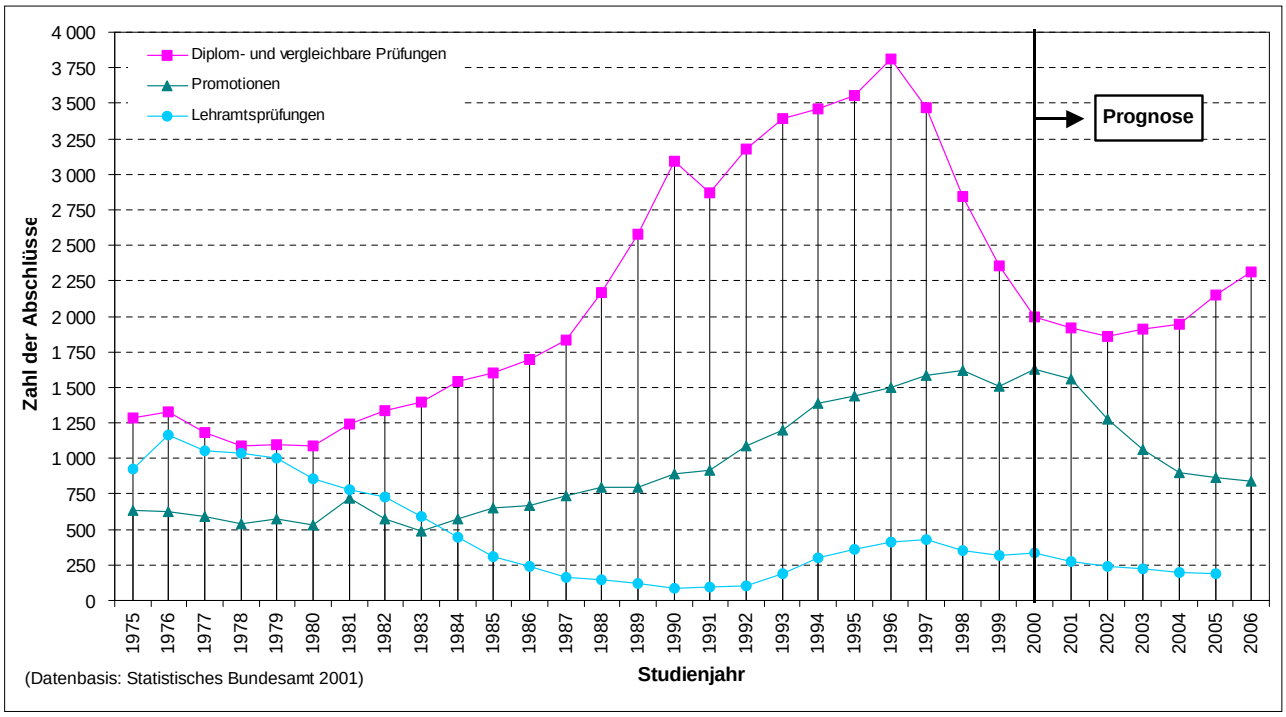


Abb. 3.6: Entwicklung der Absolventenzahlen

Die zukünftigen Absolventenzahlen der nächsten Jahre können aus den Zahlen der Studienanfänger prognostiziert werden. Bei Annahme einer gleichbleibenden durchschnittlichen Studiendauer von 12 Semestern und einer Verlaufsquote von 40 % für die Diplom-Studierenden sowie für die Lehramts-Studierenden 10 Semestern Studiendauer und einer Verlaufsquote von 60 % ergibt sich die in Abbildung 3.6 dargestellte Entwicklung. Da die Zahlen der Studienanfänger seit einigen Jahren steigen, ist für die Diplomstudiengänge in der näheren Zukunft eine positive Entwicklung der Studierenden- und damit auch der Absolventenzahlen zu erwarten. Für die Lehramts-Studiengänge ist dagegen eher mit einer Abnahme der Absolventenzahlen zu rechnen.

Die Zahl der **Promotionen** ist von einem Tiefpunkt im Jahr 1983 (490 Promotionen) auf mehr als das Dreifache im Studienjahr 2000 (1.630 Promotionen) gestiegen. Die Promotionsquote lag in den vergangenen Jahren, abhängig von der Arbeitsmarktsituation und den Absolventenzahlen, zwischen 40 % und 50 %. Aktuell liegt sie bei 43 % bei einer durchschnittlichen Promotionsdauer von 4 Jahren und einem mittleren Promotionsalter von 32 Jahren (KFP 2001, S. 31). Im internationalen Vergleich ist die Promotionsquote sehr hoch. "In Deutschland promovieren derzeit genauso viele Physiker wie in den USA" (Physik-Handbuch 1998, S. 36).

Interessant ist, "dass die Universitäten mit den meisten Diplomprüfungen (Heidelberg, Karlsruhe, Hamburg) nicht zwangsläufig die meisten Promotionen durchführen (Heidelberg, Göttingen, TU München). Es findet also offensichtlich eine 'Umverteilung' der Doktoranden statt." (ebenda, S. 35). Darüber hinaus kommen zahlreiche Absolventen ausländischer Hochschulen nach Deutschland, um ihre Promotion durchzuführen. Auch wenn die Promotionsquote in den kommenden Jahren konstant bleibt, wird sich die absolute Zahl der Promotionen zunächst noch deutlich reduzieren. Im Vergleich zum Jahr 2000 ist bis 2006 ohne die in der Prognose nicht berücksichtigten Doktoranden aus dem Ausland fast eine Halbierung zu erwarten. Die derzeit leicht steigende Zahl der Diplomprüfungen sowie ein weiter zunehmendes Interesse von Absolventen ausländischer Hochschulen mag jedoch schon früher zu einem Anstieg der Doktoranden führen.

Arbeitsmarktsituation

Nach schwierigen Arbeitsmarktverhältnissen in der ersten Hälfte der neunziger Jahre lassen sich die Berufschancen von Physikern inzwischen als „gut“ charakterisieren. Dies betrifft sowohl die Absolventen – ein Jahr nach dem Diplomabschluss sind weniger als 3% der Absolventen arbeitslos (Minks 2000) – als auch die Gesamtgruppe der erwerbstätigen Physiker (vgl. Physik-Handbuch 1998, S. 57).

Als Grund für die guten Berufsaussichten für Physiker werden die Grundständigkeit ihrer Ausbildung und ihre analytischen, systematischen sowie kombinatorischen Fähigkeiten angeführt. Diplomierte und promovierte Physiker werden auch von Branchen wie Versicherungen, Banken oder Unternehmensberatungen gesucht, bei denen man auf den ersten Blick keinen Bedarf an Naturwissenschaftlern vermutet (zum Einsatzspektrum von Physikern Rauner/Jorda 2002). Dies führt zu einem Wandel des geforderten Qualifikationsspektrums. Die periodisch von HIS wiederholten

"Vor kurzem brachte die Bundesanstalt für Arbeit frohe Botschaft für angehende Physiker: Nach einem Tiefpunkt in den Jahren 1993/94 hat sich der **Arbeitsmarkt** für Naturwissenschaftler erholt. Nun gehören sie neben Diplom-Kaufleuten zu den gefragtesten Akademikern auf dem Arbeitsmarkt. Dass Elektroindustrie und Informationstechnologie zu den Wachstumsbranchen gehören, kommt auch den Physikern zugute. Denn wo keine Ingenieure und Informatiker zu finden sind, wird auf Physiker zurückgegriffen. Ein Beispiel für die guten Berufschancen in Industrie und Wirtschaft ist die virtuelle Stellenbörse der Firma Bosch […]. Doch auch in Ministerien, bei Großforschungseinrichtungen, in der Gewerbeaufsicht, im Gesundheitswesen oder im Bereich Umweltschutz finden Physiker Arbeit. Sogar an Hochschulen werden ihnen für die Zukunft sehr gute Berufsaussichten bescheinigt, denn bei den Professoren steht eine Pensionierungswelle an."
(Kneifel / Ude 2001)

Sichhprobenerhebungen zeigen, dass berufstätige Physiker vom Hochschulstudium zunehmend außerfachliche und soziale Qualifikationen wünschen (Holtkamp/Koller/Minks 2000, S. 124f.).

Nach Schätzungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) gibt es zurzeit rund 75.000 Diplomphysiker, 11.000 Physikingenieure und 50.000 Lehrer mit Lehrbefähigung in Physik, darunter 20.000 bis 25.000 Lehrer der Sekundarstufe II (Physik-Handbuch 1998). Von den berufstätigen **Diplom-Physikern** arbeiten etwa die Hälfte in der produzierenden Industrie, jeweils rund ein Sechstel in den Hochschulen und in anderen öffentlich geförderten Forschungseinrichtungen und ein weiteres Sechstel in der dienstleistenden Wirtschaft und in sonstigen Bereichen. Im Verlauf des Berufslebens verschiebt sich der Anteil derer, die an Hochschulen arbeiten leicht zugunsten derer in anderen Forschungseinrichtungen, wie in Abbildung 3.7 abzulesen ist.

Branche	Berufsanfänger	insgesamt
Industrie	48 %	50 %
Hochschulen	17,5 %	13 %
öffentlich finanzierte Forschungseinrichtungen	17,5 %	20 %
Wirtschaft und sonstiges	17 %	17 %
Summe	**100 %**	**100 %**

(Quelle: Physik-Handbuch 1998)

Abb. 3.7: Arbeitsbereiche von Physikern

Von den Physikern, die in der Industrie tätig sind, arbeiten lediglich 50 % in der Forschung, die andere Hälfte in anderen Bereichen. Hinsichtlich der Branchen, in denen die Berufsanfänger beschäftigt sind, ist auffällig, dass rund ein Viertel von ihnen in der Elektroindustrie und etwa ein Fünftel im Software-Bereich arbeiten. Es folgen die Unternehmensberatungen (ca. 8 %) und der

Erfahrungsbericht aus der Software Unternehmensberatung:

„Als ich 1990 mein Studium der Physik […] aufnahm, sah die Zukunft in diesem Bereich alles andere als rosig aus. […] Nicht wenige Physiker, die eine mehrjährige Ausbildung und möglicherweise Berufserfahrung in diesem Fachbereich hinter sich hatten, standen in dieser Zeit denn auch schließlich auf der Strasse, und auf dem freien Markt war die Aussicht auf eine Anstellung praktisch aussichtslos. Diese Situation hat sich in den letzten 10 Jahren dramatisch geändert. Physikstudenten werden heute praktisch schon während oder direkt nach der Diplomarbeit von Firmen aus der freien Wirtschaft angeworben und schlagen erst gar nicht die akademische Laufbahn an Universitäten und Forschungsinstituten ein. Dabei reichen die Arbeitsgebiete in denen Physiker gesucht und angestellt werden von der IT-Branche im allerweitesten Sinne, über Banken und Versicherungen bis hin zur Unternehmensberatung, einmal von den traditionellen technischen und naturwissenschaftlichen Bereichen abgesehen.

Nach dem Studium promovierte ich […] in der experimentellen Elementarteilchenphysik. […] Als ich mir im Sommer 2001 die Frage nach der Zukunft stellte, fehlte innerhalb der Physik in einer akademischen Laufbahn die langfristige Perspektive, und ich entschied mich im Umfeld der freien Wirtschaft tätig zu werden. [...] Mit ein wenig Muffensausen (man weiß ja nicht so recht, was man in der freien Wirtschaft zu erwarten hat) und einer gesunden Portion Neugier und Motivation begann ich schließlich Mitte August meine Arbeit in der Firma [...]. Die Fähigkeit organisiert und systematisch zu arbeiten, die ich in der mehrjährigen Tätigkeit als Promotionsstudent erlernt hatte, waren sehr hilfreich. Installation und das Arbeiten mit verschiedenen Betriebssystemen, das Programmieren von Macros und Nutzen von Softwaretools für das Testprojekt waren kein Problem. Wiederum war die gesammelte Erfahrung aus Studium und Promotion sehr nutzbringend anzubringen. […]

Zusammenfassend betrachtet, erscheint mir die Arbeits- und Denkweise […] nicht sehr weit von der entfernt zu sein, die ich im akademischen Umfeld in der Physik kennen gelernt habe. […] Insbesondere die Arbeitsatmosphäre in der Gruppe und die Möglichkeit selbstständig und konstruktiv tätig zu werden, sind mir sehr positiv aufgefallen. Dabei habe ich im Großen und Ganzen den Eindruck, dass in den Diplom- und Promotionsstudiengängen der Physik Fähigkeiten gelehrt und gelernt werden, die möglicherweise in keinem anderen Studiengang in dieser Weise gefordert sind. Es geht dabei überwiegend sehr viel mehr um das Verständnis von Vorgängen und Mechanismen, als um auswendig gelerntes Wissen. Und gerade auf ersteres wird in der heutigen Zeit besonders viel Wert gelegt." *(Ziegler 2000)*

Automobilsektor (ca. 5 %). "Knapp ein Drittel der Berufsanfänger befindet sich in einem befristeten Arbeitsverhältnis, die meisten davon auf einer Durchgangsposition im öffentlichen Dienst. Etwa die Hälfte hat eine Daueranstellung, 5 % sind selbständig, 4 % arbeitslos, davon die Hälfte mehr als ein Jahr." (Physik-Handbuch 1998, S. 55f.).

Die Nachfrage nach **Physiklehrern** nimmt nicht zuletzt aufgrund des beobachteten Wissensdefizits von Schülern im Bereich der Naturwissenschaften zu. Da die Einstellung von neuen Lehrern nicht nur bedarfsorientiert erfolgt, sondern auch von politischen Entscheidungen und der finanziellen Situation der Länder abhängt, ist eine Prognose schwierig: "Die Einstellungschancen in der Schule für Physiklehrer und Physiklehrerinnen in Berlin und in den neuen Bundesländern haben sich in den letzten Jahren gebessert. Prognosen über den Bedarf an Physiklehrern und Physiklehrerinnen sind aber wegen der Gesamtdauer der Ausbildung (7 bis 8 Jahre für Studium und Referendariat zusammen) nur schwer anzustellen. Deshalb eignet sich das Physiklehramtsstudium nicht als Ausweichstudium, sondern sollte nur bei wirklichem Interesse an einer Lehrtätigkeit in der Schule gewählt werden." (TU Berlin 2001)

3.3 Studienstruktur

3.3.1 Studienorganisation

Im Folgenden werden die allgemeinen und speziellen Physik-Studiengänge mit den Abschlüssen Diplom-Physiker, Bachelor und Master of Science sowie das Lehramt mit Fach Physik danach untersucht, welche typischen organisatorischen Strukturen sie aufweisen.

Abbildung 3.8 zeigt einen Überblick über die generelle Organisation der verschiedenen Studiengänge. Unterschiede zeigen sich dabei vor allem in der Gewichtung der einzelnen Studienabschnitte sowie im Umfang der insgesamt vorgeschriebenen Veranstaltungen.

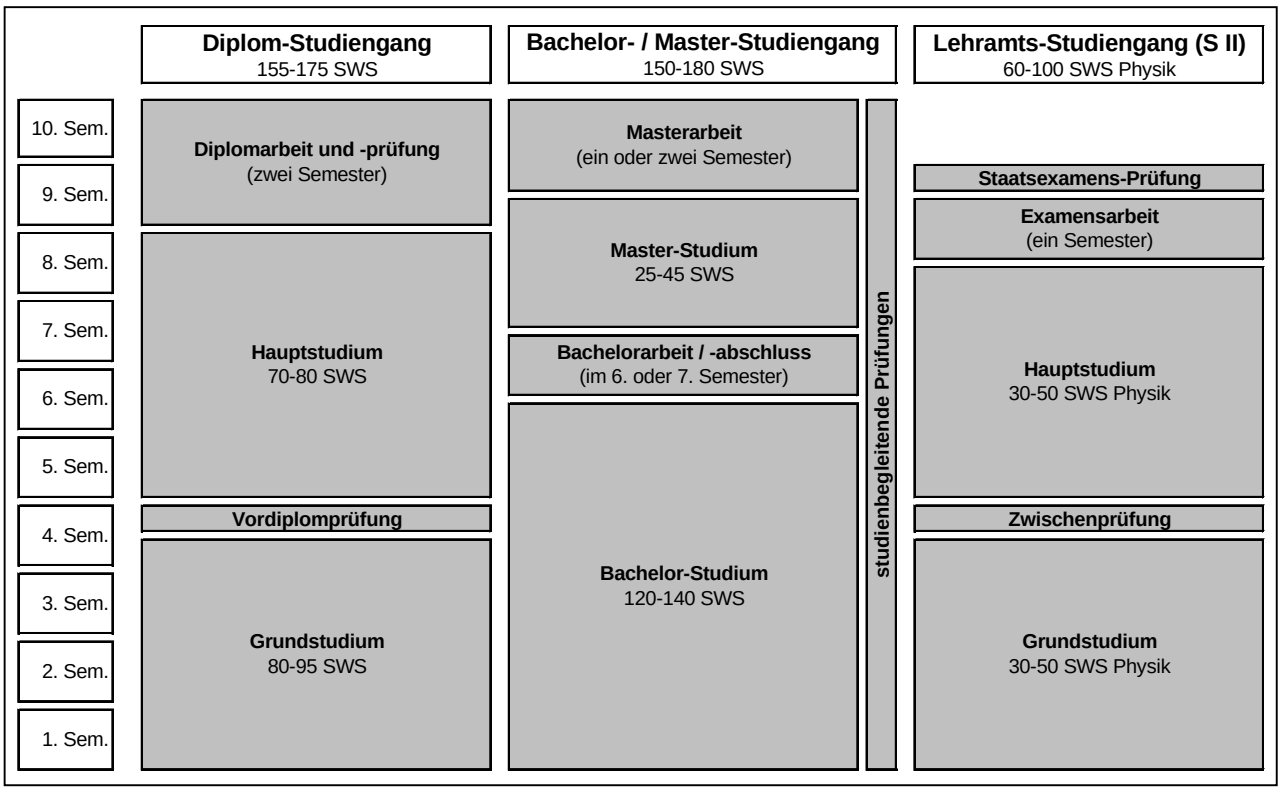


Abb. 3.8: Studienorganisation der verschiedenen Studiengänge

Als **Studienbeginn** wird in den meisten Fällen das Wintersemester empfohlen, an vielen Hochschulen ist zusätzlich ein Einstieg zum Sommersemester möglich. Die Lehrveranstaltungen im Grundstudium werden in diesen Fällen jedes Semester angeboten oder sind inhaltlich so konzipiert, dass sie in unterschiedlicher Reihenfolge besucht werden können.

Diplom-Studiengang

Das Studium der Physik (Diplom) umfasst laut Rahmenordnung für die Diplomprüfung (Kultusministerkonferenz und Hochschulrektorenkonferenz 1993) eine **Regelstudienzeit** von 10 Semestern. Es gliedert sich in ein 4-semestriges Grundstudium, das mit der Diplom-Vorprüfung endet, sowie ein 6-semestriges Hauptstudium, in dem die Diplomprüfung (Diplomarbeit und Fachprüfungen) enthalten ist. Der zeitliche Gesamtumfang der Lehrveranstaltungen soll 20 SWS pro Semester bzw. insgesamt 160 SWS in den 8 Semestern vor Diplombeginn nicht überschreiten. In der Praxis liegt die Variationsbreite etwa zwischen 155 und 175 SWS.

Die Diplom-Vorprüfung besteht aus 4 Fachprüfungen in den Fächern Experimentalphysik, theoretische Physik, Mathematik und Chemie bzw. einem anderen Fach aus dem natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Bereich. Für die Zulassung zum Vordiplom sind Leistungsnachweise aus den genannten Fächern zu erbringen, sowie ein Anfänger- bzw. Grundpraktikum zu absolvieren. Zur Diplomprüfung gehören zum einen vier mündliche Fachprüfungen in den Fächern Experimentalphysik, Theoretische Physik, einem physikalischen Wahlpflichtfach sowie einem weiteren Wahlpflichtfach aus dem natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Bereich, zum anderen die Diplomarbeit. In der Regel werden die mündlichen Prüfungen vor der Diplomarbeit abgelegt.

Die Diplomarbeit hat eine besondere Bedeutung, da sie die erste eigenständige Forschungsarbeit der Studierenden sein soll. Für sie ist insgesamt ein Jahr vorgesehen: 3 Monate forschungsbezogene Vorbereitung und 9 Monate Diplom-Bearbeitungszeit.

Bachelor- und Master-Studiengang

Die Abschlüsse Bachelor bzw. Master of Science sind in der Physik (noch) nicht verbreitet. Insbesondere der Bachelor-Abschluss wird von vielen Fachvertretern mit Verweis auf die Grundständigkeit der Disziplin kritisch betrachtet. Dementsprechend hat die Konferenz der Physik-Fachbereiche bekräftigt, "dass nur die fünfjährige Ausbildung zum Diplomphysiker bzw. Master of Science in Physics die von der Industrie, Wirtschaft, Verwaltung und Forschung immer wieder nachgefragte Qualifikation des Physikers gewährleistet" (KFP 2001a) und dass der Bachelor of Science kein berufsqualifizierender Abschluss sei.

Die Studienstrukturen der 13 Bachelor-Master-Studiengänge, die derzeit angeboten werden (siehe Abbildung 3.9), orientieren sich zumeist stark an denen der Diplomstudiengänge. Die **Regelstudienzeiten** für beide Studiengänge zusammen sind auf 9 bis 10 Semester ausgelegt, der Bachelor ist entsprechend nach sechs oder sieben Semestern zu erreichen, der aufbauende Master nach drei oder vier Semestern. Die vorgeschriebenen Lehrveranstaltungen insgesamt haben mit rund 166 SWS einen etwas größeren Umfang als die Diplomstudiengänge, was z. T. mit der stärkeren Spezialisierung der Studiengänge zusammenhängt. Sie variieren bei den Bachelor-Studiengängen zwischen 120 und 140 SWS, bei den Master-Studiengängen zwischen 25 und 45 SWS.

Die beim Diplom-Studiengang häufig aufeinander aufbauenden Veranstaltungsreihen bzw. Kurse (z. B. Experimentelle Physik I-IV) werden hier teilweise durch einzelne, in der Reihenfolge austauschbare Module ersetzt bzw. ergänzt. Die Prüfungen finden in der Regel studienbegleitend statt. Die in den ersten Semestern des Bachelor-Studiums zu absolvierenden Prüfungen werden meist als Vordiplom anerkannt und ermöglichen einen Studiengangwechsel zwischen dem 4. und 6. Semester. Die Bearbeitungszeit der Abschlussarbeiten ist unterschiedlich lang: beim Bachelor beträgt sie zwischen 3 und 6 Monaten, beim Master zwischen 6 Monaten und einem Jahr. Beim

direkten Anschluss des Master-Studiums an das Bachelor-Studium kann die Bachelorarbeit (die sogenannte Thesis) entfallen. Einige der angebotenen Studiengänge werden englischsprachig angeboten und richten sich damit auch bzw. vor allem an ausländische Studierende.

Universität	Studiengang	Abschluss	Besonderheiten
Bremen	Aufbaustudiengang Environmental Physics	Master of Science	internationales Studienprogramm, englischsprachig
Cottbus	Physik der Halbleitertechnologie	Bachelor und Master of Science	
Freiburg	Physik	Bakkalaureus / Magister	
Heidelberg	Physics	Master of Science	ab WS 2001/02, nur für ausländische Bachelor
Jena	Physik	Bakkalaureus	
Leipzig	Physics	Bachelor (3 J.) und Master of Science (4,5 J.)	internationales Studienprogramm, englischsprachig
TU München	Engineering Physics	Bachelor (3 J.) und Master (5 J.) of Science	
Oldenburg	Engineering Physics	Bachelor of Engineering Physics (3 J.), Master of Engineering Physics (4 J.) und Master of Science (5 J.)	Auslandaufenthalt im 5. Semester, drei Abschlüsse möglich
Osnabrück	Physik mit Informatik	Bachelor und Master of Science	Master erst ab WS 03/04, Wechsel zu Diplom möglich
Paderborn	Physik	Bachelor und Master of Science	tritt an Stelle des Diploms Bescheinigung der Äquivalenz
Siegen	Physik	Bachelor und Master of Science	tritt an Stelle des Diploms Bescheinigung der Äquivalenz
Stuttgart	Computational Physics	Bachelor of Science	
Stuttgart	Aufbaustudium Physics	Master of Physics (2 J.)	internationaler Studiengang, englischsprachig

Abb. 3.9: Bachelor- und Master-Studiengänge (Wintersemester 2001/2002)

Lehramts-Studiengänge

Die Lehrerausbildung ist in den einzelnen Bundesländern differenzierter als das Diplomstudium. Einige Länder organisieren die Lehrerausbildung *schulformbezogen*, also für Grund-, Haupt-, Realschulen und Gymnasien, andere *stufenbezogen* für die Primarstufe sowie die Sekundarstufen I und II. In der Regel werden zwei Unterrichtsfächer studiert, deren Gewichtung untereinander in den Bundesländern unterschiedlich stark ist. Es können darüber hinaus Erweiterungs- oder Ergänzungsfächer bzw. Beifächer als Drittfächer gewählt werden. Bei der Kombination der Unterrichtsfächer geben die Länder unterschiedliche Vorgaben. Während z. B. in Bayern die Physik derzeit lediglich mit Mathematik kombiniert werden darf (eine Reform steht kurz bevor), sind in anderen Ländern die Kombinationsmöglichkeiten vielfältig.

Je nach Ausbildungsziel liegen die **Regelstudienzeiten** bei 7 (Primarstufe und Sekundarstufe I) bzw. bei 9 Semestern (Sekundarstufe II). In dieser Zeit sind Lehrveranstaltungen im Umfang von 60 bis 100 SWS zu absolvierenden. Auch das Lehramts-Studium besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil wird in der Regel nach 4 Semestern mit einer Zwischenprüfung abgeschlossen (vgl. Abbildung 3.8), der Zweite mit der einsemestrigen Staatsexamensarbeit und den dazugehörigen Prüfungen. Nach dem ersten Staatsexamen müssen die angehenden Lehrerinnen und Lehrer einen zweijährigen Vorbereitungsdienst (das Referendariat) und anschließend ein zweites Staatsexamen (mit Arbeit und Prüfungen) absolvieren, bevor sie in den regulären Schuldienst eintreten können.

3.3.2 Studienpläne

Anhand von Studienplänen lassen sich neben den bereits beschriebenen Strukturmerkmalen der verschiedenen Studiengänge auch deren inhaltliche Schwerpunktsetzungen erkennen. Dabei fällt zunächst auf, dass die Veranstaltungen sowohl im Grund- als auch im Hauptstudium größtenteils aus Vorlesungen bzw. Seminaren und Übungen (im Verhältnis von 2:1) bestehen, nur ein kleinerer Teil sind Praktika. Darüber hinaus ist eine bei allen Studiengängen gleiche Aufteilung der Studieninhalte in drei Fächer bzw. Fächergruppen zu beobachten.

Das **Grundstudium** der Physik ist, unabhängig vom Studiengang, an allen deutschen Universitäten relativ einheitlich strukturiert und besteht, wie Abbildung 3.10 zeigt, im Wesentlichen aus Veranstaltungen in *Physik* (unterteilt in Experimentalphysik mit Praktika und theoretische Physik), *Mathematik* und *Chemie* oder einer anderen Natur- bzw. Ingenieurwissenschaft. Gelegentlich werden auch Grundlagen in zwei Natur- bzw. Ingenieurwissenschaften vermittelt. Selten gehören auch andere Fächer zum Katalog der Wahlpflichtangebote. Abgesehen von den Lehramts-Studiengängen, in denen die Grundlagenausbildung in Physik zum Teil zugunsten von Zweitfächern oder einführenden Didaktikveranstaltungen ins Hauptstudium verschoben wird, ist der Anteil der zu besuchenden Fächer und ihre zeitliche Aufeinanderfolge immer sehr ähnlich. Die einzelnen Veranstaltungen sind zumeist als aufeinander aufbauende Kurse (z. B. Mathematik I-IV) konzipiert.

	Physik			Mathematik	Natur- + Ingenieur-Wissenschaften
1. Sem.	**Experimental-Physik**	**physikalisches Grundpraktikum**	**Theoretische Physik**	**Mathematik**	**Chemie und/oder andere (z.T. Wahlpflicht)**
2. Sem.					
3. Sem.					
4. Sem.					
SWS	20 bis 30	9 bis 12	12 bis 18	20 bis 30	9 bis 12
Anteil	ca. 28%	ca. 13%	ca. 16 %	ca. 31 %	ca. 13 %

Abb. 3.10: Schema des Grundstudium-Aufbaus

Im **Hauptstudium** sind die Studieninhalte sowohl zwischen den einzelnen Studiengängen, aber auch von Hochschule zu Hochschule stärker differenziert. Man kann hier zwischen *physikalischen Pflichtveranstaltungen* (hierzu gehört bei Lehrämtern auch die Fachdidaktik), *physikalischen Wahlpflichtveranstaltungen* und *nichtphysikalischen Wahl- oder Wahlpflichtveranstaltungen* unterscheiden. Generell ist zu beobachten, dass die Grundlagenausbildung in Physik (im Gegensatz zur Mathematik, Chemie etc.) über das Grundstudium hinausgeht und im Hauptstudium zunehmend durch Spezial- bzw. Wahlpflichtveranstaltungen ergänzt wird. Bei besonderen Studienrichtungen und speziellen Physik-Studiengängen ist ein nicht unerheblicher Anteil an Spezialvorlesungen im Pflichtbereich des Hauptstudiums zu finden. In den allgemeinen Studiengängen sind solche Veranstaltungen eher im Wahlpflichtbereich angesiedelt. Bei den nichtphysikalischen Wahlpflichtveranstaltungen variiert die Breite des angebotenen Fächerkanons je nach Studiengang und Universität von Natur- und Ingenieurwissenschaften über Wirtschaftswissenschaften bis hin zu Sprachen und Geisteswissenschaften. Bei den Lehramtsstudiengängen ersetzen das zweite Studienfach, die allgemeine Didaktik sowie erziehungs- und sozialwissenschaftliche Veranstaltungen den nicht physikalischen Bereich, physikalische Wahlpflichtveranstaltungen sind kaum vorzufinden.

Ein deutlicher Schwerpunkt wird bei allen Studiengängen auf die Abschlussarbeit gelegt, der aufgrund ihres starken Forschungsbezuges beim Diplomstudiengang und einigen Master-Studiengängen ein Jahr, bei den anderen ein halbes Jahr Gesamt-Bearbeitungszeit eingeräumt wird.

Diplom-Studiengang Physik

Das **Grundstudium** im Diplomstudiengang Physik umfasst in der Regel zwischen 80 und 95 SWS. Zum **Hauptstudium** gehören normalerweise nur zwischen 70 und 80 SWS. Die Studienpläne sind jedoch inhaltlich stärker differenziert als im Grundstudium. Zum Teil gibt es Abweichungen der Stundenzahlen der einzelnen Studienabschnitte nach unten und oben, welche sich in der Gesamtbilanz jedoch größtenteils gegenseitig ausgleichen.

Die **durchschnittliche Studiendauer** für die Diplom-Studiengänge lag im Studienjahr 1999 / 2000 bei 12,0 Semestern und im Studienjahr 2000 / 2001 bei 11,8 Semestern (KFP 2001, S. 35).

Im Hauptstudium werden die physikalischen Pflicht-Veranstaltungen (Vorlesungen und Übungen in experimenteller und theoretischer Physik sowie das obligatorische Fortgeschrittenen-Praktikum mit Begleitseminar) durch **Wahlpflicht- und Wahlfächer** ergänzt, deren Gewichtung an den einzelnen Hochschulen sehr unterschiedlich ist. Im Durchschnitt liegt ihr Anteil bei rund 1/3 der SWS im Hauptstudium bzw. weniger als 1/4 der SWS im gesamten Studium. In den meisten Fällen müssen die Studierenden im Hauptstudium zwei Wahlpflichtfächer wählen, davon eins im physikalischen Bereich (zum Teil auch „Spezialfach“ oder „Vertiefungsfach“ genannt) und eins im nicht physikalischen Bereich (auch als „Nebenfach“ bezeichnet). In manchen Fällen existiert nur ein nicht physikalisches Wahlpflichtfach und darüber hinaus die Möglichkeit, zwischen experimenteller und theoretischer Physik, zum Teil auch angewandter Physik unterschiedliche Schwerpunkte zu setzen. Die Wahlpflichtveranstaltungen bauen - wie auch die Pflichtveranstaltungen - an vielen Hochschulen inhaltlich aufeinander auf (z. B. Festkörperphysik I-III), an einigen Universitäten werden sie aber auch in Form von relativ frei kombinierbaren Modulen angeboten.

In jüngerer Zeit werden zunehmend ergänzend zur allgemeinen Physik spezielle **Studienrichtungen** innerhalb des Studiums angeboten, welche von „Astronomie“ bis „Physik von Transport und Verkehr“ reichen (siehe auch Abbildung 3.2). Derzeit existieren 9 solcher Studienrichtungen an 13 Hochschulen. Typisch für diese Richtungen ist, dass deren Studienpläne vor allem im Hauptstudium neben den grundlegenden physikalischen Pflichtveranstaltungen zusätzliche Spezialveranstaltungen enthalten. In geringem Umfang wird dafür auf Grundlagenveranstaltungen der allgemeinen Physik verzichtet. Die Wahlmöglichkeiten im physikalischen und nicht physikalischen Wahl(pflicht)bereich orientieren sich stärker an den Spezialfächern und sind dadurch häufig eingeschränkter als in den allgemeinen Studienrichtungen. Da die Grundstudien sich nicht oder nur gering unterscheiden, ist ein Richtungswechsel nach dem Vordiplom und meist auch noch nach dem 5. und 6. Semester ohne Probleme möglich. Der Studienabschluss ist in allen Fällen das Diplom der Physik. Die Abbildungen 3.11 und 3.12 stellen beispielhaft die Studienpläne eines allgemeinen Diplom-Studienganges und der Studienrichtung Biophysik einander gegenüber.

Astronomie

Das Studienfach Astronomie kann an keiner deutschen Hochschule als selbständiges Fach bis zum ersten Hochschulabschluss (Diplom) studiert werden. Es wird üblicherweise über das Diplomstudium der Physik betrieben, manchmal auch über das Studium der Physik für das Lehramt an Gymnasien. Im Grundstudium unterscheidet sich die Ausbildung nicht von derjenigen anderer Physik-Studierender. Die Entscheidung, sich der Astronomie zu widmen, wird erst nach dem Vordiplom getroffen. Im Hauptstudium wird als Wahlfach Astronomie gewählt und, wie z. B. in **Würzburg**, die Diplomarbeit im Rahmen der Arbeiten des Astronomischen Instituts angefertigt. Das Studium endet mit Abschluss Diplom-Physiker(in).

Diplom-Studiengang Allgemeine Physik
an der Technischen Universität München

10.Sem.
9.Sem.

Diplomarbeit und -prüfung

8.Sem.

Physikalischer Pflichtbereich

	V	Ü/S	P
Festkörperphysik I und II	8	4	
Kern- & Teilchenphysik I und II	6	4	
Physikalisches Praktium III u. IV			12
Theoretische Physik IIIa und Iva	8	4	
Summe	22	12	12

physikalischer Wahlpflichtbereich

	V	Ü/S	P
Spezialfach I und II	12	4	
Seminar / Projekt I und II		4	
Ober-/ Institutseminar I und II		2	
Summe	12	10	

nichtphysikalischer Wahlpflichtbereich

	V	Ü/S	P
Wahlfach I und II	4	2	
Summe	4	2	

Hauptstudium: 74 SWS

Hauptstudium

5.Sem.
4.Sem.

Vordiplomprüfung

Physik

	V	Ü/S	P
Physik I bis IV	16	6	
physikalisches Praktikum I und II			12
Theoretische Physik I und II	9	4	
Summe	25	10	12

Mathematik

	V	Ü/S	P
Analysis I bis IV	16	8	
Lineare Algebra	4	2	
Summe	20	10	

Chemie / Informatik

	V	Ü/S	P
Chemie	5		
Arbeiten mit UNIX	3	2	
Summe	8	2	

Grundstudium: 87 SWS

Grundstudium

1.Sem.

(Quelle: Studienplan Allgemeine Physik der TU München)

Abb. 3.11: Diplomstudienplan Allgemeine Physik an der TU München

Diplom-Studiengang Biophysik
an der Technischen Universität München

10.Sem.
9.Sem.

Diplomarbeit und -prüfung

8.Sem.

(bio-) physikalischer Pflichtbereich

	V	Ü/S	P
Festkörperphysik I und II	8	4	
Kern- & Teilchenphysik I und II	6		
Physikalisches Praktikum III u. IV			9
Theoretische Physik IIIb und Ivb	6	2	
Grundlagen Biophysik II	2	1	
Biophysikalisches Praktikum			3
Grundlagen Biochemie	2		
Physikalische Chemie	2		
Summe	26	7	12

biophysikalischer Wahlpflichtbereich

	V	Ü/S	P
Spezialfach Biophysik I und II	12	4	
Seminar Biophysik I und II		4	
Ober-/ Institutseminar I und II		2	
Summe	12	10	

nichtphysikalischer Wahlpflichtbereich

	V	Ü/S	P
Wahlfach (Life Science I u. II)	6	2	
Summe	6	2	

Hauptstudium: 75 SWS

Hauptstudium

5.Sem.
4.Sem.

Vordiplomprüfung

Physik

	V	Ü/S	P
Physik I bis IV	16	6	
Physikalisches Praktikum I u. II			12
Theoretische Physik I und II	9	4	
Grundlagen Biophysik I	2	2	
Summe	27	12	12

Mathematik

	V	Ü/S	P
Mathematik I bis IV	16	8	
Summe	16	8	

Chemie / Informatik

	V	Ü/S	P
Chemie	5		
Arbeiten mit UNIX	3	2	
Summe	8	2	

Grundstudium: 85 SWS

Grundstudium

1.Sem.

(Quelle: Studienplan Biophysik der TU München)

Abb. 3.12: Diplomstudienplan Biophysik an der TU München

Bachelor- und Master-Studiengang

Die derzeit angebotenen Bachelor- und/oder Master-Studiengänge (vgl. auch Abbildung 3.9) sollen zusammen mit der gleichzeitigen Einführung des ECTS (siehe Kasten) eine international bessere Vergleichbarkeit ermöglichen und die Attraktivität deutscher Hochschulen für ausländische Studierende erhöhen. Einige der Studiengänge bzw. einzelne Veranstaltungen werden im Hinblick darauf ausschließlich oder ergänzend in englischer Sprache angeboten.

Bachelor- / Master-Studiengang Physik
an der Universität-Gesamthochschule Paderborn

10.Sem.
9. Sem.

Masterarbeit und -abschluss

8. Sem.

physikalischer Pflichtbereich

	V/S	Ü	P
Experimentelle Physik A	4	2	
Theoretische Physik C	2	1	
Fortgeschrittenenpraktikum			3
Summe	6	3	3

physikalischer Wahlpflichtbereich

	V/S	Ü	P
Experimentelle Physik B	4	2	
Theoretische Physik D	2	1	
Phys. Schwerpunktfach A und B	8	4	
Hauptseminar	2		
Summe	16	7	

nichtphysikalischer Wahlpflichtbereich

	V/S	Ü	P
Wahlfach	4	1	
Summe	4	1	

Masterstudium: 40 SWS

7.Sem.

Bachelorarbeit (1 Semester, fakultative Ergänzung)

6.Sem.

Bachelorabschluss

physikalischer Pflichtbereich

	V/S	Ü	P
Experimentelle Physik A und B	12	4	
Theoretische Physik A	2	1	
Exp. / theoret. Physik C und D	12	4	
Praktikum A-D			14
Computer Physics	2	2	
Technische Physik A und B	6	4	
Messtechnik	4	2	
Summe	38	17	14

physikalischer Wahlpflichtbereich

	V/S	Ü	P
Technische / theoret. Physik B	2	1	
Studienarbeit			7
Summe	2	1	7

nichtphysikalischer Bereich (P / WP)

	V/S	Ü	P
Mathematik A, B und C	16	6	
Chemie	4	2	
Ing.-Schwerpunktfach A und B	6	3	
Schwerpunktpraktikum			5
Phys. Wahlfach A und B	8	6	
Summe	34	17	5

Bachelorstudium: 135 SWS

1.Sem.

Studienbegleitende Prüfungen

(Quelle: Prüfungsordnung der Universität Paderborn)

Abb. 3.13: Studienplan Bachelor / Master Physik an der Universität-GH Paderborn

Trotz formeller Umstrukturierungen (z. B. Ersatz des Vordiploms nach dem 4. Semester durch den Bachelor-Abschluss im bzw. nach dem 6. Semester) sind die Inhalte der Studiengänge in den einzelnen Semestern größtenteils deckungsgleich mit den meist gleichzeitig angebotenen Diplom-Studiengänge. Durch die Verschiebung der Studienphasen ergibt sich jedoch eine Umverteilung der zu absolvierenden SWS mit einer stärkeren Schwerpunktsetzung auf dem Bachelor im Vergleich zum Master. Das Verhältnis hierbei ist, wie in Abbildung 3.13 erkennbar, ca. 3 : 1. Zum Teil ist innerhalb des Bachelor-Studiums eine Unterteilung in Grund- und Hauptstudium zu erkennen, welche durch den Beginn bzw. die Verstärkung von Wahlpflichtveranstaltungen gekennzeichnet ist. Besonders in den Master-Studiengängen werden modulare Veranstaltungen angeboten. Der Wahlpflichtbereich übersteigt hier zumeist den Pflichtbereich. Vor allem bei speziellen Physik-Studiengängen wird durch die Notwendigkeit von Grundlagenveranstaltungen neben den Spezialangeboten nicht selten eine überdurchschnittlich hohe SWS-Anzahl pro Semester erreicht, die auch mit der insgesamt sehr kurzen Regelstudiendauer der Studiengänge zusammenhängt (2-3 Semester Studium plus 1-2 Semester Abschlussarbeit). In Abbildung 3.13 ist beispielhaft der Studienplan eines Bachelor-/ Master-Studiengangs abgebildet.

European Credit Transfer System (ECTS)

Das zunehmend auch in Physik-Studiengängen eingeführte ECTS ist ein Punktesystem, das eine internationale Vergleichbarkeit der Studienleistungen und damit auch die Anrechnung von Auslandssemestern erleichtern soll. Basis der Bewertung von Studienleistungen ist nicht mehr die Lehrveranstaltung (Vorlesung, Seminar, Übung oder Praktikum) selbst bzw. deren Semesterwochenstunden, sondern der Credit-Point (Anrechnungspunkt), der den geleisteten Arbeitsaufwand pro Lehreinheit inklusive Leistungsnachweis wiederspiegelt. Dem Arbeitsaufwand eines Studienjahres entsprechen bei ECTS in der Regel 60 Anrechnungspunkte. Die **Universität Bayreuth** beispielsweise vergibt für eine Vorlesung in Experimentalphysik mit Übung (6 SWS) 7 Anrechnungspunkte, für eine vierstündige Einheit Fortgeschrittenenpraktikum 4 Punkte, für das Hauptseminar mit 2 SWS 6 Punkte und für eine Exkursion 2 Punkte *(Denkschrift 2000, S. 214 f.)*.

Lehramts-Studiengänge

Abbildung 3.14 zeigt den Stundenplan eines Lehramts-Studienganges Physik für Gymnasien. Generell gehören zum Fachstudium von Lehramts-Studiengängen neben fachwissenschaftlichen auch fachdidaktische Veranstaltungen in einem Umfang von 6 bis 14 SWS. Hinzu kommen in der Regel erziehungswissenschaftliche Begleitstudien, welche allgemeine Didaktik und Schulpädagogik sowie andere sozialwissenschaftliche Anteile enthalten. Die erziehungswissenschaftlichen Begleitstudien werden in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich stark gewichtet, sie machen aber maximal 20 % des gesamten Studiums (Studienfächer inklusive Didaktiken) aus.

Lehramts-Studierende, die das Fach Physik vertiefend belegt haben, absolvieren weitgehend (mit leichten Verkürzungen) das gleiche physikalische Grundstudium wie im Diplom-Studiengang. Studierende, die Mathematik nicht als zweites Unterrichtsfach gewählt haben, müssen auch die mathematische Grundlagenausbildung der Diplom-Physiker absolvieren. Zusätzlich werden - zum Teil bereits in den ersten Semestern - Didaktik-Veranstaltungen angeboten. Im Hauptstudium differenzieren sich die Studiengänge zunehmend. Hier werden bei den Lehramts-Studiengängen die Anteile an experimenteller und theoretischer Physik zugunsten von Didaktik-Veranstaltungen stark verringert. Auch die Fortgeschrittenenpraktika fallen in der Regel knapper aus, dafür gibt es häufig Demonstrations-Praktika („Experimentieren im Unterricht“) und natürlich Schulpraktika. Insgesamt beträgt die Zahl der in Physik zu absolvierenden Semesterwochenstunden in Lehramts-Studiengängen für Gymnasien bzw. Sekundarstufe II sowohl im Grundstudium als auch im Hauptstudium etwa 30 bis 50.

Studiengang Lehramt an Gymnasien, Studienfach Physik an der Universität Jena

9.Sem. Staatsexamens-Prüfung

8.Sem. Hausarbeit (wenn Physik erstes Fach ist)

Examensbegleitende Veranstaltungen
Spezialveranstaltungen

7.Sem.

Physik-Fachwissenschaft

	V/S	Ü	P
Optik	2	1	
Quantentheorie	2	2	
Thermodynamik / Statistik	2	2	
Atom- / Molekülphysik	2	2	
Festkörperphysik	2	2	
Kern- / Elementarteilchenphysik	2	2	
Astrophysik	2		
Fortgeschrittenenpraktikum			4
Elektronik / Informatik			4
Hauptseminar	2		
Summe	16	11	8

Physik-Didaktik

	V/S	Ü	P
Physik-Didaktik	6		
Demonstrationspraktikum			4
Schulpraktische Studien			
Summe	6		4

Hauptstudium mindestens: 45 SWS

Zweites Studienfach / Erziehungswissenschaften

Hauptstudium

5.Sem.

4.Sem. Zwischenprüfung

Physik

	V	Ü	P
Experimentalphysik I	4	2	
Experimentalphysik II	4	2	
Physikalisches Praktikum			6
Theoretische Mechanik	4	2	
Elektrodynamik / spezielle Relativitätstheorie	4	2	
Summe	16	8	6

Mathematik (wenn nicht Prüfungsfach)

	V/S	Ü	P
Analysis I	4	2	
Analysis II	4	2	
Analysis III	4	2	
Algebra	2	2	
Summe	14	8	

Grundstudium mindestens: 30 SWS

Zweites Studienfach / Erziehungswissenschaften

Grundstudium

1.Sem.

(Quelle: Studienplan der Universität Jena)

Abb. 3.14: Studienplan Lehramt an Gymnasien an der Universität Jena

Reformansätze für ein mehrstufiges Lehrerstudium

In **Niedersachsen** wird seit dem WS 01/02 ein Schnellstudiengang für Quereinsteiger in den Lehrerberuf angeboten. Der einjährige Studiengang schließt mit dem "Master of Arts" ab und befähigt zum Vorbereitungsdienst für das Lehramt an Gymnasien. "Ziel ist die pädagogische, psychologische und didaktische Qualifizierung von Studierenden, die bereits ein universitäres Magister-, Diplom- oder ein äquivalentes Studium abgeschlossen haben und eine lehramtspezifische Qualifikation anstreben." Die Inhalte und Anforderungen des bereits vorhandenen Studienabschlusses müssen dabei zwei Unterrichtsfächern zuzuordnen sein, von denen mindestens eines zu den vom Kultusministerium benannten Bedarfsfächern (darunter auch Physik) gehören muss. *(U Göttingen 2001)*

In **Nordrhein-Westfalen** ist im Jahr 2001 ein Modellversuch zur Einrichtung von Bachelor- und Masterstudiengängen für das Lehramt eingerichtet worden. Das 6-semestrige Bachelorstudium soll neben zwei fachwissenschaftlichen Anteilen auch Qualifikationen in den Bereichen Wissensvermittlung und Wissenstransfer enthalten, die den Absolventen verschiedene alternative Berufsziele eröffnen (z. B. im Bereich Kulturmanagement, Beratungsdienstleistungen oder Erwachsenenbildung). Aufbauend auf das Bachelorstudium kann anschließend in drei bis vier Semestern der "Lehramtsmaster" (Abschluss "Master of Education") oder ein "fachwissenschaftlicher Master (M.Sc. / M.A.) erreicht werden. Für das Lehramt liegen die Inhaltlichen Schwerpunkte dabei auf schulbezogener Didaktik und Erziehungswissenschaften (MSWF NRW 2001). Ein von der **Universität Bonn** vorgelegtes Konzept beziffert die Anteile an nichtfachwissenschaftlichen Inhalten für den Bachelor-Studiengang auf ca. 20 % und für den Masterstudiengang auf etwa 60% (inkl. Fachdidaktik). Das Modell, welches u. a. auch an den Universitäten Bochum und Greifswald erprobt wird bzw. werden soll, wird aufgrund der möglichen Verzweigung nach dem Bachelor auch "Y-Modell" genannt. *(idw vom 09.01.2002)*

Baden-Württemberg hat 2001 im Zuge der Neustrukturierung des Lehrerstudiums ein Praxissemester nach dem Grundstudium eingeführt, welches insgesamt 13 Wochen umfasst und sowohl in Block- als auch in Modul-Form absolviert werden kann. Das Praxissemester wird auf den 24-monatigen Vorbereitungsdienst angerechnet. Eine ähnliche Integration des Referendariats in das Studium wird auch für die oben genannten Masterstudiengänge in Erwägung gezogen.

3.3.3 Fächer und Fächergruppen

Mathematik

Mathematik nimmt im Grundstudium in der Regel den größten Anteil der zu absolvierenden SWS ein. Sie wird meistens über die gesamten vier Semester in Form von Pflichtvorlesungen und Übungen vermittelt. An einigen Universitäten werden sogar vor Beginn des Studiums Vorbereitungskurse in Mathematik angeboten, um die Kenntnisstände der Studierenden auf ein gemeinsames Niveau zu bringen. Besonders an Fachbereichen und Fakultäten mit (traditionell) starken theoretischen Bereichen wird auf eine intensive Grundlagenausbildung in Mathematik großen Wert gelegt. Vermittelte Inhalte sind vor allem Analysis, lineare Algebra, angewandte Mathematik und mathematische Methoden der Physik. Die Mathematikausbildung für Physiker wird mit dem Grundstudium (bzw. mit der mündlichen Vordiplomsprüfung) abgeschlossen.

Zumeist sind für die Mathematik-Veranstaltungen für Physiker die Mathematik-Fachbereiche zuständig, verbreitet ist aber auch die Durchführung durch Hochschullehrer der theoretischen Physik.

Physikalische Pflichtveranstaltungen

Die Grundlagen-Vorlesungen und Übungen in **Experimentalphysik** nehmen im Grundstudium (zum Teil auch im Hauptstudium) einen großen Anteil ein. Zunächst wird hier die klassische Physik, also Mechanik, Wärmelehre, Magnetismus und Elektrizität gelehrt. Erst Ende des Grundstudi-

ums bzw. zu Anfang des Hauptstudiums wird auf Themen der modernen Physik wie z. B. Quanten, Wellen, Atom- und Molekularphysik und teilweise Kern- und Elementarteilchenphysik eingegangen. Auch Themen der angewandten Physik werden zum Teil in den physikalischen Pflichtbereich integriert.

Zur Experimentalphysik gehören darüber hinaus Pflichtpraktika im Grund- und Hauptstudium. Das physikalische **Grundpraktikum** umfasst meistens zwischen 9 bis 12 SWS. Zumeist wird das Grundpraktikum auf 2 oder 3 Semester aufgeteilt. Die physikalischen **Fortgeschrittenenpraktika** im Hauptstudium umfassen für die Diplom- und Bachelor-Studiengänge im Mittel zwischen 12 und 16 Semesterwochenstunden, in der Regel auf 2 oder 3 Semester verteilt. Lehramtsstudierende müssen meistens weniger SWS nachweisen, dafür aber spezielle Demonstrations- oder Schulpraktika für Lehrämter absolvieren. Die Ausgestaltung insbesondere der Fortgeschrittenenpraktika unterscheidet sich deutlich zwischen den einzelnen Hochschulen (vgl. die Abschnitte E.1 und E.2).

Die Veranstaltungen der **theoretischen Physik** betragen im Grundstudium etwa 3/4 derer in Experimentalphysik (ohne Grundlagenpraktikum) und werden oft erst ab dem 2. oder 3. Semester angeboten, weil für sie Grundlagenwissen in Mathematik Voraussetzung ist. Im Anschluss an die Einführungsveranstaltungen werden die Grundlagen der Mechanik, Elektrodynamik und Quantenmechanik behandelt und im Hauptstudium durch die Theorie der Elektro- und Thermodynamik, Statistik und eine Vertiefung der Quantenoptik ergänzt. An einigen Standorten gibt es im Rahmen der theoretischen Physik auch spezielle Veranstaltungen zu numerischen Methoden und seit einigen Jahren zunehmend Computational Physics. Experimentalphysik und Theoretische Physik sind jeweils zwei der insgesamt vier Prüfungsfächer beim Vordiplom und Diplom.

Physikalische Wahlpflichtveranstaltungen / Schwerpunktfächer

Im Hauptstudium werden die physikalischen Pflichtveranstaltungen sukzessiv durch Wahlpflichtveranstaltungen ergänzt. Je nach Forschungsschwerpunkten an den Hochschulstandorten werden vielfältige Spezialangebote aus dem Bereich der modernen Physik gemacht. Vor allem dort, wo verschiedene Studienrichtungen angeboten werden, stehen auch Schnittstellenbereiche der Physik wie Biophysik oder Materialwissenschaften zur Wahl. Im Rahmen von Studienschwerpunkten, Vertiefungsrichtungen oder Studienrichtungen sind Themenbereiche und Veranstaltungen aus der experimentellen, theoretischen oder angewandten Physik auszuwählen, deren Inhalte die Vermittlung von Grundlagenwissen überschreiten.

Durch die Entscheidung für Wahlpflichtveranstaltungen, die Wahl von Studienschwerpunkten oder die freiwillige Teilnahme an zum Teil angebotenen Laborpraktika lernen die Studierenden einzelne Forschungsbereiche und Arbeitsgruppen innerhalb ihrer Fachbereiche und Fakultäten kennen. Hierbei werden nicht selten die ersten Weichen für das spätere Gebiet der Diplomarbeit gestellt. Darüber hinaus ist das physikalische Wahlpflichtfach verpflichtend Diplomprüfungsfach.

Natur- und Ingenieurwissenschaftliche (Wahl-)Pflichtveranstaltungen

Neben den Grundlagen in Mathematik und Physik müssen Physik-Studierende im Grundstudium in der Regel eine kleinere Anzahl von natur- und ingenieurwissenschaftliche Veranstaltungen belegen. Meistens sind hier Vorlesungen, Übungen und kleinere Praktika in anorganischer und organischer Chemie vorgesehen, gelegentlich werden alternativ oder ergänzend dazu Informatik, Elektronik oder ähnliches angeboten. Die Rahmenprüfungsordnung sieht die Chemie zunächst als viertes Prüfungsfach für die Diplom-Vorprüfung vor: "Die explizite Nennung des Faches Chemie beruht auf der großen Bedeutung des 'Umgehens mit Stoffen' auch für Physiker", heißt es in der Erläuterung der Rahmenprüfungsordnung (Kultusministerkonferenz/Hochschulrektorenkonferenz 1993). Vielfach ermöglichen die örtlichen Studien- und Prüfungsordnungen das Wahlpflichtstudium anderer Fächer, vor allem aus dem Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften, die dann als Prüfungsfächer zugelassen werden (können). In den speziellen Physikstudiengängen wird die

Wahlpflicht im Grundstudium nicht selten durch Grundlagenveranstaltungen in den jeweiligen Spezialfächern ersetzt. In der Regel beginnt der nichtphysikalische Wahlpflichtunterricht mit dem 3. Semester und nimmt mit fortschreitendem Studium zu. Wie auch im physikalischen Pflichtbereich variiert die Angebotspalette dabei ortspezifisch. Neben den Natur- und Ingenieurwissenschaften (z. B. Astronomie, Geowissenschaften, Life Science) können im Hauptstudium vielfach auch andere Fächer (siehe unten) belegt werden. Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach im Hauptstudium ist das vierte Diplomprüfungsfach.

Sonstige Wahlpflicht- und Wahlfächer

An vielen Universitäten sind neben Natur- und Ingenieurwissenschaften weitere Fächer im Wahlpflichtbereich zugelassen. Das Angebot wird durch die Studiengänge der jeweiligen Hochschulen bestimmt und reicht von Wirtschafts- über Sozialwissenschaften bis hin zu Jura.

Darüber hinaus wird nicht nur bei englischsprachigen Studiengängen, sondern auch im Hinblick auf internationale Literatur, Kooperationen und Auslandsaufenthalte vielfach das Studium von Sprachen, insbesondere Englisch, empfohlen. An einigen Universitäten wird prinzipiell ein freiwilliges Studium von nichtphysikalischen Nebenfächern - wenn auch nur in sehr geringem Umfang - erwartet bzw. gewünscht („Studium Generale“). Solche Veranstaltungen außerhalb des Pflichtprogramms sind in der Regel allerdings nicht kapazitätswirksam.

Didaktik

Die Didaktik für Lehramtskandidaten lässt sich in eine allgemeine und ein fachspezifische Didaktik unterteilen. In der Physik ist ein wesentlicher didaktischer Lehrinhalt die Durchführung von Schul- bzw. Demonstrationsversuchen, aber auch Blockpraktika in Schulen gehören im weiteren Sinne zu den Didaktikveranstaltungen.

Abbildung 3.15 zeigt im Überblick die Anteile der Fächer und Fächergruppen in Diplom-Studiengängen beispielhaft ausgewählter Standorte.

		Angaben in SWS							Angaben in %						
Uni	**Studiengang/-richtung**	**Physik (P)**	**Physik (WP)**	**Mathematik (P)**	**Natur- und Ingenieur-wissenschaften (P)**	**Natur- und Ingenieur-wissenschaften (WP / W)**	**Sonstige* (WP / W)**	**SWS gesamt**	**Physik (P)**	**Physik (WP)**	**Mathematik (P)**	**Natur- und Ingenieur-wissenschaften (P)**	**Natur- und Ingenieur-wissenschaften (WP / W)**	**Sonstige* (WP / W)**	**Summe**
Augsburg	Diplom Physik	90	15	36	9	10		**160**	56,3	9,4	22,5	5,6	6,3		**100**
Bayreuth	Diplom Biophysik	93	8	21	31	19	0	**172**	54,1	4,7	12,2	18,0	11,0	0,0	**100**
FU Berlin	Diplom Physik	106	18	32	0	15		**171**	62,0	10,5	18,7	0,0	8,8		**100**
Bochum	Diplom Physik	79	30	30	0	16		**155**	51,0	19,4	19,4	0,0	10,3		**100**
Darmstadt	Diplom Physik	89	20	30	10	6	4	**159**	56,0	12,6	18,9	6,3	3,8	2,5	**100**
Dortmund	Diplom Physik	74	36	24	10	15		**159**	46,5	22,6	15,1	6,3	9,4		**100**
Hannover	Diplom Allgemeine Physik	110	16	18	0	16		**160**	68,8	10,0	11,3	0,0	10,0		**100**
Heidelberg	Diplom Physik	93	6	18	0	18		**135**	68,9	4,4	13,3	0,0	13,3		**100**
Jena	Diplom Technische Physik	99	11	30	0	24	0	**164**	60,4	6,7	18,3	0,0	14,6	0,0	**100**
Kaiserslautern	Diplom Experimentalphysik	106	12	24	0	20	0	**162**	65,4	7,4	14,8	0,0	12,3	0,0	**100**
Karlsruhe	Diplom Physik	106	6	20	0	30	0	**162**	65,4	3,7	12,3	0,0	18,5	0,0	**100**
Kiel	Diplom Physik	72	38	30	0	21	0	**161**	44,7	23,6	18,6	0,0	13,0	0,0	**100**
Leipzig	Diplom Physik	100	12	32	10	8		**162**	61,7	7,4	19,8	6,2	4,9		**100**
TU München	Diplom Biophysik	98	16	24	10	12	0	**160**	61,3	10,0	15,0	6,3	7,5	0,0	**100**
Osnabrück	Diplom Physik	82	40	18	0	20		**160**	51,3	25,0	11,3	0,0	12,5		**100**
Würzburg	Nanostrukturen	74	0	24	22	34	7	**161**	46,0	0,0	14,9	13,7	21,1	4,3	**100**
Durchschnittswerte (SWS)		*91,9*	*17,8*	*25,7*	*6,4*	*17,8*	*1,4*	***160,2***	*57,5*	*11,1*	*16,0*	*3,9*	*11,1*	*0,9*	***100,0***
						18,4							*11,5*		

P = Pflicht WP = Wahlpflicht W = Wahl * z.B. Sozial-, Geisteswissenschaften
Quellen: Studienpläne der Hochschulen

Abb. 3.15: Fächer und Fächergruppen im Diplom-Studiengang (ausgewählte Standorte)

3.3.4 Veranstaltungstypen

In der Physik sind die Anteile der verschiedenen Lehrveranstaltungstypen ähnlich einheitlich wie die Studienstrukturen. Mit der Zunahme neuer, spezieller Studiengänge verändern sich möglicherweise jedoch die Veranstaltungstypen und damit die Anforderungen an die Ressourcenausstattung der Lehre. Im Folgenden werden daher die vorherrschenden Veranstaltungstypen auch auf Veränderungstendenzen hin untersucht.

Vorlesung	Die klassische Vorlesung nimmt im Physikstudium einen breiten Raum ein. Große Teile der Grundlagenausbildung werden den Studierenden in Form von "Frontalunterricht" (ergänzt durch Übungen) vermittelt. Im Grundstudium bilden die Vorlesungen den größten Anteil der Veranstaltungen (etwa 50-60 %), im Hauptstudium nimmt ihr Anteil an einigen Hochschulen zugunsten von seminaristischem Unterricht etwas ab. Die Grundlagenvorlesungen in Physik, aber auch in Mathematik, sind zum Teil auch für verschiedene Nebenfachstudierenden Pflichtprogramm, wodurch teilweise große Hörsäle gebraucht werden. Mit fortschreitendem Studium werden die Gruppengrößen durch stärkere Spezialisierung der Themen, aber auch durch den Studierenden-Schwund kleiner. Vor allem in der experimentellen Physik muss in den Hörsälen nach wie vor die Möglichkeit der Durchführung von Demonstrationsversuchen gegeben sein. Für deren Vorbereitung sind darüber hinaus Flächen und Personal notwendig.
Seminar	Seminare finden in der Physik nur in sehr geringem Umfang statt. Die Rahmenprüfungsordnung schreibt lediglich die Teilnahme an einem Seminar der Experimentalphysik oder Theoretischen Physik als Zulassungsvoraussetzung für die Diplomprüfung vor (§17, Abs.1, Satz 4). In der Regel sehen die örtlichen Studienordnungen den Besuch von ein bis zwei Seminaren mit eigenem Vortrag (Referat) vor. Eines dieser Seminare ist meistens das Begleitseminar zum Fortgeschrittenenpraktikum. Ziel derartiger Lehrseminare ist es, die fachgerechte Darstellung und Diskussion physikalischer Sachverhalte zu erlernen. Auch als Ergänzung von Praktika und Diplomarbeiten sind gelegentlich Seminare zu finden. Hier dienen sie dem gegenseitigen Austausch, der Reflexion und der Unterstützung bei auftretenden Problemen. Die Spezial- und Wahlpflichtveranstaltungen im Hauptstudium werden oft als Vorlesungen ausgewiesen, finden aber tatsächlich durch die geringen Studierendenzahlen zumeist in seminarähnlicher Form statt. Entsprechend können die Veranstaltungen in der Regel in Seminarräumen abgehalten werden. Darüber hinaus existieren an vielen Standorten Kolloquien und Graduiertenkollegs, in deren Rahmen interne und externe Wissenschaftler bzw. Forschungsgruppen aus ihren aktuellen Arbeitsgebieten berichten.
Übung	Übungen ergänzen die Vorlesungen (zum Teil auch die Seminare) und nehmen etwa 25 % des Studiums ein. Hierbei handelt es sich normalerweise um theoretische Veranstaltungen, in denen der Vorlesungsstoff durch Übungsaufgaben erläutert und verdeutlicht wird: "In den Übungen bearbeitet der Student vorgegebene Probleme ('Aufgaben'), die im direkten Zusammenhang mit den Vorlesungen stehen. Die Bearbeitung wird regelmäßig betreut und kontrolliert." (Erläuterung zur Rahmenprüfungsordnung). Für die Zulassung zur Diplomprüfung sind im Hauptstudium zwei Übungen in theoretischer Physik verpflichtend. Übungen finden meistens in kleineren Gruppen mit rund 20 Studierenden statt und werden von wissenschaftlichen Mitarbeitern geleitet.
Praktikum	Praktika sind in allen Physik-Studiengängen im Grund- und Hauptstudium vorgesehen und nehmen knapp 20 % des Studiums ein. Die von allen Studierenden zu absolvierenden Grund- und Fortgeschrittenenpraktika sind in der Regel stark versuchs- bzw. gerätebezogen. Sie finden häufig in höher installierten (z. B. mit Wasser- oder Druckluftanschluss) Übungsräumen bzw. sehr einfachen Laboren

	statt. Die Studierenden führen dabei in Kleinstgruppen von möglichst zwei Personen mehrere Versuche innerhalb des Semesters durch. Die Grundpraktika sind größtenteils zentral organisiert, die Fortgeschrittenenpraktika werden teilweise auch von einzelnen Instituten oder Forschungsgruppen angeboten. In solchen Fällen experimentieren die Studierenden meistens länger an weniger Aufbauten und in regulären Physiklaboren. In den Praktika werden physikalische Abläufe und Messmethoden kennen gelernt und der Umgang mit Problemen bei der Versuchsdurchführung und Auswertung der Messergebnisse eingeübt. Im Grundpraktikum werden einfache Versuche der klassischen Physik, im Fortgeschrittenenpraktikum anspruchsvollere Versuche der modernen Physik durchgeführt. Über die Zielsetzung, den Ablauf und die Resultate wird Protokoll geführt. Zusätzlich zu Grund- und Fortgeschrittenenpraktikum werden an einigen Hochschulen freiwillige Labor- bzw. Forschungspraktika angeboten, bei denen die Studierenden Einblicke in laufende Forschungsprojekte erhalten. Die Lehramts-Studiengänge enthalten außerdem Demonstrationspraktika, im Rahmen derer Versuchsdurchführungen für den Unterricht vermittelt werden, sowie schulpraktische Studien. Neben den physikalischen Praktika sind an vielen Standorten kleinere Chemiepraktika und zunehmend Computerpraktika zu absolvieren. Darüber hinaus sind in manchen Studiengängen weitere natur- oder ingenieurwissenschaftliche Praktika (z. B. Elektronikpraktikum) abzuleisten. Außerdem werden vor allem in anwendungsorientierten Bereichen Industriepraktika gefordert bzw. gewünscht. (Zur Planung des Praktikumsbetriebs siehe den Exkurs nach Kapitel 6)
Projektstudium und Studienarbeit	Projektstudien und Studienarbeiten sind in Physik-Studiengängen nur sehr selten vorzufinden und wurden, wo vorhanden, erst in jüngerer Zeit eingeführt. Als Projektstudium werden vor allem Formen des Fortgeschrittenenpraktikums bezeichnet, bei denen die Studierenden in Dreier- oder Vierer-Gruppen eigenständig Versuchsaufbauten entwickeln, Experimente durchführen und gemeinsam auswerten. Hierfür sind in der Regel technische Labore notwendig. Studienarbeiten können Ausarbeitungen größerer experimenteller Projekte sein, aber auch theoretische Aspekte aus Seminarthemen beinhalten. Sie werden eher von Einzelpersonen als von Studiengruppen bearbeitet.
Abschlussarbeit	Der Abschlussarbeit kommt in der Physik eine besondere Bedeutung zu. Mit ihr soll der Studierende zum ersten Mal eine spezielle, meist experimentelle Problemstellung eigenständig erarbeiten. Um die hierfür notwendigen Spezialkenntnisse erwerben und das Vorhaben in Form von Experimenten und schriftlicher Ausarbeitung durchführen zu können, sehen die meisten Physik-Studiengänge eine besonders lange Bearbeitungszeit (in der Regel ein Jahr) vor. Da in der Physik fast alle Diplomarbeiten in Forschungsgruppen der Universität bzw. von An-Instituten, selten dagegen in Unternehmen, erarbeitet werden, sind für Diplomanden sowohl Schreib- als auch Forschungsarbeitsplätze vorzusehen.

3.3.5 Studienstruktur-Modelle

In diesem Abschnitt werden die zuvor zusammengetragenen Aspekte der Struktur des Physikstudiums zu Studienstruktur-Modellen zusammengeführt. Diese veranschaulichen idealtypisch die im Verlauf der Studiengänge zu absolvierenden Typen von Lehrveranstaltungen und bilden damit eine allgemeine Planungsgrundlage für den Bereich Lehre. Da die Modelle die ortspezifischen Besonderheiten außer Acht lassen, sind diese bei konkreten Planungen jeweils einzuarbeiten.

Die Modelle für **Diplom- und Bachelor- / Master-Studiengänge** werden in einer gemeinsamen Grafik abgebildet, da die Unterschiede der Studiengänge vor allem in der Abgrenzung der Studienabschnitte liegen. Besonders bei speziellen Physikstudiengängen sind in den Master-Studiengängen zum Teil höhere Gesamt-SWS-Zahlen zu finden, so dass die Zahlen im Einzelfall entspre-

chend korrigiert werden müssen. Die Bachelor-Studiengänge hingegen sind sowohl bezüglich der Gesamtstundenzahlen als auch deren Verteilungen im Studienverlauf weitgehend den Diplom-Studiengängen sehr ähnlich.

Abbildung 3.16 zeigt die Lehrveranstaltungstypen für die einzelnen Semester und Studienabschnitte. Die Zahlen in den Klammern bilden dabei den Anteil der Wahlpflichtstunden an den Gesamtstunden (ohne Klammern) ab. Deutlich zu erkennen ist hierbei der geringe Anteil an Wahlpflichtstunden im Grundstudium und deren kontinuierliche Zunahme im Hauptstudium. Der Import an Lehrveranstaltungen betrifft im Grundstudium vor allem die Pflichtveranstaltungen in Mathematik, im Hauptstudium umfasst er größtenteils die nichtphysikalischen Wahlpflichtfächer. Als Seminare werden in der Darstellung auch die Wahlpflichtveranstaltungen im physikalischen Bereich gekennzeichnet, da hier aufgrund der geringen Studierendenzahlen zumindest seminar-ähnlicher Unterricht zu erwarten ist. In späteren Bedarfsmodellen ist entsprechend mit einem Bedarf an Seminarräumen zu rechnen. Die physikalischen Studienschwerpunkte (bzw. Vertiefungs- oder Studienrichtungen) bestehen aus physikalischen Wahlpflichtveranstaltungen. Die einzelnen Hochschulen bieten jeweils mehrere Schwerpunkte an und müssen hierfür analog mehrfache Ressourcen vorhalten.

Semester	Verlaufs-quote	Lehrveranstaltungstypen Physik SWS: insgesamt (davon Wahlpflicht)				Lehrveranstaltungstypen Import (I) SWS: insgesamt (davon Wahlpflicht)				Summe
		Vorlesung	Seminar	Übung	Praktikum	Vorlesung (I)	Seminar (I)	Übung (I)	Praktikum (I)	
1	100%	5 (0)	0 (0)	3 (0)	1 (0)	8 (1)	0 (0)	4 (0)	0 (0)	21 (1)
2	100%	6 (0)	0 (0)	3 (0)	3 (0)	7 (1)	0 (0)	3 (1)	2 (1)	24 (3)
3	80%	7 (0)	0 (0)	3 (0)	4 (0)	5 (1)	0 (0)	2 (0)	1 (0)	22 (1)
4	80%	7 (0)	0 (0)	4 (0)	3 (0)	4 (1)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	20 (1)
Summe		25 (0)	0 (0)	13 (0)	11 (0)	24 (4)	0 (0)	11 (1)	3 (1)	87 (6)
		Vordiplom-Prüfungen								
5	45%	9 (1)	1 (1)	4 (0)	4 (0)	1 (0)	2 (2)	1 (1)	1 (0)	23 (5)
6	45%	9 (2)	1 (1)	4 (1)	7 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	22 (5)
Summe		18 (3)	2 (2)	8 (1)	11 (0)	1 (0)	3 (3)	1 (1)	1 (0)	45 (10)
		evtl. Bachelor-Arbeit								
7	40%	6 (3)	2 (1)	2 (1)	3 (0)	0 (0)	2 (2)	1 (1)	0 (0)	16 (8)
8	40%	2 (2)	4 (3)	1 (1)	2 (1)	0 (0)	2 (2)	1 (1)	0 (0)	12 (10)
Summe		8 (5)	6 (4)	3 (2)	5 (1)	0 (0)	4 (4)	2 (2)	0 (0)	28 (18)
		Diplom-Prüfungen								
9	40%	Diplom- / Master-Arbeit								
10	40%									
Gesamtsumme		51 (8)	8 (6)	24 (3)	27 (1)	25 (4)	7 (7)	14 (4)	4 (1)	160 (34)

Studienabschnitte:	87 SWS	1. - 4. Semester	Diplom-Grundstudium
	73 SWS	5. - 10. Semester	Diplom-Hauptstudium
	132 SWS	1. - 6. Semester	Bachelor-Studium
	28 SWS	7. - 10. Semester	Master-Studium
Physikalische Studienschwerpunkte:	8 SWS	Vorlesungen	
	6 SWS	Seminare	
	3 SWS	Übungen	
	1 SWS	Praktikum	

Abb. 3.16: Studienstruktur-Modell Diplom- und Bachelor-/ Master-Studiengang

Die **Lehramts-Studiengänge** sind, wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten erläutert, deutlich differenzierter als die übrigen Physikstudiengänge. An dieser Stelle wird jedoch zur Vereinfachung nur ein Strukturmodell entwickelt. Das Modell in Abbildung 3.17 stellt den physikalischen Anteil eines idealtypischen Studiums für die Sekundarstufe II bzw. Gymnasien mit Hauptfach Physik dar, da diese Variante den größten Umfang an Veranstaltungen innerhalb der Physik enthält. Es zeigt nicht die im Lehramts-Studium enthaltenen schulpraktischen Studien, die allgemeine Didaktik und Erziehungswissenschaften sowie die zum Teil geforderten Veranstaltungen in Mathematik, da all diese Veranstaltungen für die Ressourcen innerhalb der Physik nicht relevant

sind. Als Besonderheit enthält das Lehramts-Studium rund 10 % fachdidaktische Anteile. Wahlpflichtveranstaltungen sind nur marginal vorhanden.

Semester	Verlaufs-quote	Lehrveranstaltungstypen Physik-Fachwissenschaft SWS: insgesamt (davon Wahlpflicht)				Veranstaltungstypen Physik-Didaktik (D) SWS: insgesamt (davon Wahlpflicht)				Summe
		Vorlesung	Seminar	Übung	Praktikum	Vorlesung (D)	Seminar (D)	Übung (D)	Praktikum (D)	
1	100%	5 (0)	0 (0)	2 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	8 (0)
2	100%	5 (0)	0 (0)	3 (0)	3 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	11 (0)
3	80%	6 (0)	0 (0)	3 (0)	4 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13 (0)
4	80%	4 (0)	0 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	9 (0)
Summe		20 (0)	0 (0)	10 (0)	10 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	41 (0)
		Zwischenprüfung								
5	60%	6 (0)	0 (0)	3 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	11 (0)
6	60%	4 (0)	0 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	2 (0)	12 (0)
7	60%	4 (1)	0 (0)	1 (1)	2 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	1 (0)	9 (2)
8	60%	1 (0)	1 (1)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (1)
Summe		15 (1)	1 (1)	7 (1)	6 (0)	1 (0)	3 (0)	0 (0)	4 (0)	37 (3)
9	60%	Staatsexamens-Arbeit und -Prüfungen								
Gesamtsumme		35 (1)	1 (1)	17 (1)	16 (0)	2 (0)	3 (0)	0 (0)	4 (0)	78 (3)

Abb. 3.17: Studienstruktur-Modell Lehramt an Gymnasien bzw. Sekundarstufe II

3.3.6 Lehrveranstaltungen für Studierende anderer Fächer („Lehrexport“)

Ein erheblicher Teil der personellen und räumlichen Kapazitäten von Physik-Einrichtungen wird durch Lehrveranstaltungen für Studierende anderer Fächer („Lehrexport“) gebunden. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden daher die Studienangebote der Physik-Einrichtungen für andere Studienfächer in gleicher Weise analysiert wie die Angebote für Physik-Studierende.

Das Spektrum der Studiengänge, deren Studierende an Physik-Veranstaltungen teilnehmen müssen, ist breit gefächert. Es reicht vom Bauingenieurwesen bis zur Zahnmedizin. In der Regel werden für diesen Teilnehmerkreis eigenständige Veranstaltungen durchgeführt, um die physikalischen Lehrinhalte auf die besonderen Bedürfnisse und die jeweiligen Vorkenntnisse auszurichten. Für Studierende verwandter Studiengänge werden häufig gemeinsame Veranstaltungen angeboten. Die Physik-Ausbildung für die anderen Studiengänge ist regelmäßig im Grundstudium angesiedelt. Den Schwerpunkt bilden dabei die Grundpraktika. Diese erstrecken sich über ein oder zwei Semester mit jeweils 3 bis 5 SWS. Zusätzlich sind häufig einführende Vorlesungen im Umfang von bis zu 8 SWS und gelegentlich ergänzende Übungen mit 4 bis 6 SWS zu besuchen. In Abbildung 3.18 sind exemplarisch die Physikveranstaltungen für Studierende anderer Fächer an der Universität Erlangen-Nürnberg zusammengestellt.

Der Umfang der Lehrdeputate der Physik-Einrichtungen, die durch Lehrexporte in Anspruch genommen werden, schwankt nach den von HIS ausgewerteten Vorlesungsverzeichnissen zwischen 30 und 80 SWS im Studienjahr. Der Mittelwert liegt bei 40 SWS pro Studienjahr, darin sind jeweils 15 SWS für Vorlesungen und Praktika sowie 10 SWS für Übungen enthalten.

Ein wesentlicher Parameter des Lehrexports einer konkreten Physik-Einrichtung ist neben der Zahl der auszubildenden Studierenden das Fächerspektrum der jeweiligen Hochschule. Dabei ist zwischen den drei Fächergruppen Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Medizin/Pharmazie zu trennen. Allerdings muss nicht jede Physik-Einrichtung für alle drei Fächergruppen Physikveranstaltungen anbieten. In einer überschlägigen Rechnung können für jede Fächergruppe, die versorgt werden muss, Vorlesungen mit durchschnittlich 8 SWS pro Studienjahr und Übungen mit 4 Semesterwochenstunden veranschlagt werden. Sind die Veranstaltungen nicht nur einmal im Studienjahr, sondern jedes Semester anzubieten, werden entsprechend mehr Deputatsstunden

benötigt. Der Bedarf an Praktikumsplätzen wird dagegen in erster Linie durch die Zahl der auszubildenden Studierenden bestimmt (siehe dazu den Exkurs nach Kapitel 6).

Veranstaltungs-Typen	Veranstaltungen für die Fächergruppen			Summen
	Natur- / Geowissenschaften	Ingenieurwissenschaften	Medizin / Pharmazie	
Vorlesungen	**Experimentalphysik I + II** 9 SWS für Naturwissenschaftler **Physik** 4 SWS für Maschinenbau-, Wirtschaftsingenieure + Lehramt Biologie / Chemie	**Experimentalphysik I + II** 6 SWS für Elektrotechniker **Experimentalphysik I + II** 8 SWS für Werkstoffissenschaftler + Chemieingenieure	**Experimentalphysik** 4 SWS für Mediziner	31 SWS
Übungen	**Experimentalphysik I + II** 2 SWS für Naturwissenschaftler **Physik** 2 SWS für Lehramt Biologie / Chemie	**Experimentalphysik I + II** 2 SWS für Elektrotechniker **Experimentalphysik I + II** 4 SWS für Werkstoffwissenschaftler, Chemieingenieure **Physik** 1 SWS für Maschinenbau- + Wirtschaftsingenieure	**Experimentalphysik** 1 SWS für Mediziner **Experimentalphysik** 1 SWS für Pharmazeuten + Lebensmittelchemiker **AG zur Experimentalphysik** 4 SWS für Mediziner	17 SWS
Praktika	**Physikalisches Praktikum** 3-5 SWS für Informatiker, Biologen + Geografen **Physikalisches Praktikum** 5-10 SWS für Geologen, Mineralogen + Chemiker	**Physikalisches Praktikum** 5 SWS für Werkstoffwissenschaftler	**Physikalisches Praktikum** 5 SWS für Mediziner **Physikalisches Praktikum** 3 SWS für Pharmazeuten **Physikalisches Praktikum** 5 SWS für Lebensmittelchemiker	26-33 SWS
Summen	21-28 SWS	4 SWS	26 SWS / 23 SWS	74-81 SWS

Abb. 3.18: Lehrexport der Institute für Physik an der Universität Erlangen-Nürnberg

3.4 Entwicklungstendenzen

Trotz oder gerade wegen der traditionell starken Grundlagenorientierung der Physik sind in jüngerer Zeit Neuerungen und Umstrukturierungen innerhalb einzelner Physik-Studiengänge zu beobachten, welche als richtungsweisend für die Weiterentwicklung des Physikstudiums insgesamt betrachtet werden können. Beispiele hierfür wurden bereits in diesem Kapitel beschrieben. Hier werden nun noch einmal wesentliche Trends zusammengefasst:

In vielen Bereichen ist man um eine Straffung der Studiengänge und eine **Verkürzung der Studienzeiten** bemüht. In der Physik sind diesen Bemühungen Grenzen gesetzt, da man eine breite Grundlagenausbildung beibehalten will. Dennoch werden auch hier Studiengänge erprobt, die versuchen, durch Umstrukturierung, Nutzung der vorlesungsfreien Zeiten und Verkürzung der Pflichtveranstaltungen zugunsten von Wahlpflichtmodulen das Physikstudium effektiver (und damit auch für die Studierenden attraktiver) zu gestalten. Beim Lehramts-Studium erhofft man sich durch eine Verkürzung der Studienzeiten darüber hinaus die Möglichkeit einer genaueren Nachfrageorientierung bzw. kürzere Planungszeiträume.

> An der **TU Braunschweig** gibt es seit 2001 ein Modellprojekt „**Intensivstudium Physik**“, in dem man in nur 4 Jahren zum Diplom in Physik gelangen können soll. Der vorläufige Studienplan für den Studiengang sieht insgesamt 172 SWS vor und nutzt auch die vorlesungsfreien Zeiten für Veranstaltungen. Für die Diplomarbeit wird weiterhin ein Jahr eingeplant. Die Uni räumt selbst ein, das dieser Studiengang nur für Studierende mit “ausgeprägter Leistungsbereitschaft und Motivation“ geeignet ist.
> *(TU Braunschweig 2001)*

Mehrstufigkeit und Verzweigungen: Im Rahmen des allgemein anerkannten Curriculums für die Physik gibt es immer mehr Studiengänge, die stärker zwischen Grundlagenstudium und aufbauendem Spezialstudium differenzieren und damit auf die sich verändernden Rahmenbedingungen in Wissenschaft und Wirtschaft reagieren. Hierzu gehören sowohl die zunehmenden speziellen Studienrichtungen innerhalb der Diplomphysik als auch die Bachelor- und Master-Studiengänge. Dar-

Die **Universität Konstanz** hat im Jahr 2000 eine **Verzweigung des Studiums im Grundstudium** eingeführt. Der eine Zweig wurde traditionell mit einer umfassenden Mathematikausbildung und einem Wahlfach belassen, im anderen Zweig wurde die Mathematikausbildung zugunsten eines weiteren Wahlfaches stark verkürzt und anwendungsorientierter gestaltet. "Die eingesparte Zeit können die Studierenden bereits im ersten Semester dazu verwenden, Kenntnisse in zwei zusätzlichen Fächern, wie den Wirtschaftswissenschaften, der Informatik, der Biologie oder der Chemie, zu erwerben. Diese neue Form des Physikstudiums ist nicht nur eine Anpassung an das neue Berufsbild des Physikers, sondern auch an die Interessen der Studierenden."
(U Konstanz 2000)

über hinaus werden in verschiedenen Bundesländern für die Lehrerausbildung Modelle entwickelt, die nach einem allgemeinen Grundstudium der Physik eine Verzweigung in Lehramts- und Diplom- oder Master-Studiengänge vorsehen. Auch Verzweigungen innerhalb des Grundlagenstudiums werden im Hinblick auf eine stärkere Anwendungsorientierung bereits angeboten. Da der Abschluss des Grundlagenstudiums (z. B. in Form des Bachelor-Abschlusses) jedoch sowohl von Fachvertretern als auch potenziellen Arbeitgebern nicht als berufsqualifizierend anerkannt wird, werden auch in Zukunft mehrteilige Studiengänge mit einer umfassenderen Fachausbildung gefragt sein.

Viele der in den letzten Jahren entwickelten Studiengänge und Studienrichtungen zielen auf eine stärkere **Anwendungsorientierung und Interdisziplinarität** der Lehre. Damit verbunden ist eine stärkere Spezialisierung. Ziel ist es, den Entwicklungen in der Forschung und den Veränderungen von Anforderungen auf dem Arbeitsmarkt Rechnung zu tragen. Die Physikausbildung wagt sich hierbei, wie auch die Forschung, zunehmend in Schnittstellenbereiche zu anderen Naturwissenschaften und den Ingenieurwissenschaften. An vielen Standorten werden die Kompetenzen der einzelnen Disziplinen genutzt und in Form von Lehrimport und -export gegenseitig zur Verfügung gestellt. In einigen Fällen entstanden hieraus bereits interdisziplinäre Studienangebote, die von unterschiedlichen Fachbereichen gemeinsam getragen werden (siehe Kasten). Auch dabei wird – in der Regel aufbauend auf ein fachorientiertes Grundstudium – ein stärker spezialisiertes und differenziertes Aufbaustudium angeboten. Die Physik bringt in derartige anwendungsorientierte und interdisziplinäre Studiengänge und -richtungen vor allem die methodischen Anteile ein, die anderen Disziplinen eher inhaltliche Aspekte der Untersuchungsgegenstände. Ein Kritikpunkt an den neuen Studiengängen ist die vielfach praktizierte Verkürzung des Grundlagenstudiums der Physik zu Gunsten von Spezialgebieten. Es wird befürchtet, das die Absolventen im Berufsleben hierdurch nicht flexibel genug auf die sich immer schneller verändernden Anforderungen der Wirtschaft reagieren könnten.

Ein Beispiel für **Anwendungsorientierung und Interdisziplinarität** ist die Studienrichtung Mikrosystemtechnologie in **Kaiserslautern**, zu der die Fachbereiche Elektrotechnik sowie Informationstechnik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik gemeinsam mit der Physik ihre spezifischen Methoden und Inhalte beitragen. Die Studienrichtung wird in den drei Fachbereichen nach dem jeweiligen Grundstudium angeboten.

Ein anderer Ansatz, sich nahestehende Disziplinen über die Lehre zu verknüpfen, sind Studiengänge, deren Grundstudienzertifikate oder Vordiplome gegenseitig anerkannt werden. So werden beispielsweise an der **Universität Kiel** die Vordiplome Physik, Geophysik, Ozeanographie und Meteorologie gegenseitig anerkannt. Das Vordiplom ersetzt hier die Zwischenprüfung für Lehramtskandidaten. "Mit dem Grundstudium der Physik werden also 5 verschiedene Abschlüsse ermöglicht."
(U Kiel 2002)

Ein Aspekt, der zum einen ebenfalls auf die Verbesserung der Berufschancen von Physikern abzielt, zum anderen aber auch den Stellenwert der deutschen Physik in der globalen Forschung verbessern will, ist die Bemühung um eine verstärkte **Internationalisierung** des Physikstudiums. Während einige Hochschulen diesbezüglich englischsprachige oder bilinguale Studiengänge anbieten, setzen andere auf eine intensive Kooperation mit ausländischen Hochschulen in Form von Austauschprogrammen bis hin zu gemeinsamen Studiengängen. Darüber hinaus sollen die neuen Bachelor- und Masterstudiengänge und die Einführung des European Credit Transfer-Systems die internationale Vergleichbarkeit der deutschen Studiengänge verbessern und sie für ausländische Studierende attraktiver machen.

An der **Universität der Saarlandes** gibt es einen **Deutsch-Französischen Studiengang** Physik in Kooperation mit der Universität in Nancy. Besonderheiten des Studienganges sind der berufsqualifizierende Abschluss "Licence de Physique" nach dem 6. Semester, das 4. Studienjahr in Nancy mit abschließender Verleihung der "Maitrise de Physique" sowie die beiden Hauptabschlüsse Physik-Diplom und "DEA de Physique" nach dem 5. Studienjahr in Saarbrücken oder Nancy.

4 Organisation

Die Organisationsstruktur („Aufbauorganisation“) ordnet Professoren, wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Mitarbeitern Aufgaben, Entscheidungsbefugnisse und Ressourcen zu und definiert Schnittstellen für die Koordination der Aufgabenbereiche. Ihre Beschreibung bildet damit eine zentrale Basis für die Ressourcenplanung einer Physik-Einrichtung.

Zurzeit sind zahlreiche Physik-Einrichtungen an den Hochschulen ebenso wie Einrichtungen der übrigen Natur- und Ingenieurwissenschaften von Änderungen der Organisationsstruktur betroffen. Dabei ist ein Trend zu größeren Einheiten zu beobachten. Allerdings unterscheiden sich sowohl die Ausgangssituationen als auch die Ergebnisse der Umstrukturierung von Hochschule zu Hochschule. Diese Vielfalt wird dadurch vergrößert, dass vergleichbare Organisationseinheiten unterschiedlich benannt werden und dass sich hinter gleichen Bezeichnungen oftmals unterschiedlich ausgestaltete und ausgestattete Organisationseinheiten verbergen.

Das vorliegende Kapitel zur Organisation von Physik-Einrichtungen will daher alternative Muster herausarbeiten, mit denen sich Organisationsstrukturen charakterisieren, beurteilen und gestalten lassen. Zunächst klärt Abschnitt 4.1 die begrifflichen Grundlagen der Differenzierung zwischen primären und sekundären Organisationseinheiten. Abschnitt 4.2 stellt verschiedene primäre Organisationsmuster für die organisatorische Einbindung und die interne Gliederung von Physikeinrichtungen vor. Abschnitt 4.3 wendet sich den sekundären Organisationseinheiten zu. Abschnitt 4.4 wirft einen Blick auf außeruniversitäre Kooperationspartner, von denen für die Physik die außeruniversitären Forschungseinrichtungen eine bedeutende Rolle spielen. Abschnitt 4.5 gibt abschließend einen vergleichen Überblick über die vorgestellten Organisationsmuster.

4.1 Begriffliche Grundlagen

„**Organisationseinheit**“ ist eine Sammelbezeichnung für alle Formen von Teileinheiten innerhalb einer Organisationsstruktur, denen jeweils bestimmte Aufgaben, Aufgabenträger und Ressourcen zugeordnet werden (Bühner 1996, S. 64). Die kleinste Organisationseinheit ist üblicherweise die „Stelle“, die von einem bestimmten Organisationsmitglied eingenommen wird. Übergeordnete Organisationseinheiten entstehen durch Zusammenfassung mehrerer kleinerer zu einer größeren Organisationseinheit. In einer hierarchischen Organisationsstruktur geschieht dies durch Unterstellung der kleineren Einheiten unter eine Instanz, d. h. eine gemeinsame Leitungsstelle. In der Hochschulorganisation gilt das Hierarchieprinzip nur im nicht wissenschaftlichen Bereich und für die wissenschaftlichen Mitarbeiter, die in der Regel einem Hochschullehrer als Leiter ihrer Forschungsgruppe unterstellt sind. Da die Hochschullehrer gegenüber dem Institutsdirektor, dem Dekan oder dem Hochschulpräsidenten nicht weisungsgebunden sind, beruht die Organisationsstruktur einer Hochschule nicht auf persönlichen Unterstellungsverhältnissen, sondern umgekehrt auf Mitgliedschaften und damit verbundenen Mitbestimmungsrechten der Hochschullehrer. Ergänzt wird diese Mitgliedschaftsstruktur durch ein hierarchisch, d. h. von oben nach unten organisiertes Ressourcenverteilungssystem.

Die **Primärstruktur** einer Organisation ist in der Regel an den Koordinationserfordernissen zwischen den Hauptaufgaben der jeweiligen Organisationseinheiten ausgelegt. Dabei werden eng verwandte Aufgaben mit hohem Koordinationsbedarf in gemeinsamen Organisationseinheiten gruppiert. Entsprechend ist die Gruppierung von Forschungsgruppen zu Instituten, Fachbereichen und Fakultäten an den wissenschaftlichen Disziplinen und den damit verbunden Lehraufgaben ausgerichtet. Die primäre Organisationsstruktur deckt den Koordinationsbedarf jedoch nur dann befriedigend ab, wenn jede Stelle nur eine einzelne, routinemäßig zu erledigende Hauptaufgabe zu

erfüllen hat. Bei mehreren Hauptaufgaben, komplexen Problemen und dem Bedarf an innovativen Lösungen sind zusätzliche Koordinationsinstrumente erforderlich. Dies können informelle Kommunikationsstrukturen oder institutionalisierte sekundäre Organisationseinheiten sein.

Sekundäre Organisationseinheiten entstehen durch eine Zweitzuordnung untergeordneter Einheiten, die gleichzeitig in die primäre Organisationsstruktur eingebunden bleiben. Dies kann mit einer Doppelunterstellung einhergehen, wie dies für Matrixorganisationen typisch ist. Sekundäre Organisationseinheiten können aber auch als hierarchieübergreifende Arbeitsgruppen ohne eigene Instanz organisiert sein (Schulte-Zurhausen 1999, 273f.).

Koordination zwischen arbeitsteilig ausgeführten Teilaufgaben ist an Hochschulen nicht nur für die Lehre, sondern auch für die Forschung erforderlich. Dabei decken sich insbesondere die Koordinationsbedürfnisse der interdisziplinären Forschung häufig nicht mit denen der Lehre. Einerseits müssen Studieninhalte die bereits erforschten Grundlagen des Faches umfassen – dies gilt insbesondere für die klassische Physik –, andererseits setzt interdisziplinäre Forschung die Kenntnis der eigenen Disziplin voraus, sodass Grundlagenstudiengänge wie die Physik nicht von Anfang an interdisziplinär sein können. Forschungsgebiets-, fach- oder hochschulübergreifende Querverbindungen werden daher häufig mit sekundären Organisationseinheiten wie Graduiertenkollegs, Sonderforschungsbereichen und interdisziplinären Zentren institutionalisiert. Ihre organisatorische Klammer ist die freiwillige Zweitmitgliedschaft von Hochschullehrern, aus deren Reihe auch die Sprecher der jeweiligen Einheit gewählt werden. Dies schließt eine alleinige Zuordnung von wissenschaftlichen, gegebenenfalls auch von nicht wissenschaftlichen Mitarbeitern auf Drittmittelstellen zu sekundären Organisationseinheiten nicht aus.

Gewöhnlich wird die Primärstruktur einer Hochschule durch eine Vielzahl von sekundären Organisationseinheiten überlagert. Dennoch entsteht daraus keine sekundäre Gesamtstruktur, wie sie beispielsweise in der Matrixorganisation zu finden ist, in der alle Forschungsgruppen in der einen Dimension zu Lehreinheiten und der anderen Dimension zu Forschungseinheiten verknüpft werden (vgl. dazu Vogel/Holzkamm 1998, S. 58f.).

Primären und sekundären Organisationseinheiten gemeinsam ist die Einordnung in die Hochschule. Die Koordinationsbedürfnisse der Forschung enden jedoch nicht an den Hochschulgrenzen. Für die Hochschulorganisation spielen auch **außeruniversitäre Kooperationspartner** eine wichtige Rolle. Dazu zählen insbesondere öffentliche, aber auch private Forschungsinstitute, die mit der Hochschule z. B. als An-Institut verbunden sind, und die Institute der außeruniversitären Forschungsgemeinschaften wie der Max-Planck- oder der Fraunhofer-Gesellschaft. Auch die Kooperation mit solchen außeruniversitären Partnern beruht vielfach auf der Zweitmitgliedschaft von Hochschullehrern. Im Gegensatz zu sekundären Organisationseinheiten handelt es sich aber um eigenständige, auf Dauer angelegte Institutionen.

4.2 Primäre Organisationsmuster

4.2.1 Das 4-Ebenen-Modell und die Grundformen von Fachbereich und Institut

Am deutlichsten lassen sich die Grundformen von Fachbereich und Institut an der 4-Ebenen-Gliederung einer Hochschule erkennen, wie sie Abbildung 4.1 skizziert. Zentrale nicht wissenschaftliche und wissenschaftliche Einrichtungen der Hochschule bleiben dabei ausgeblendet.

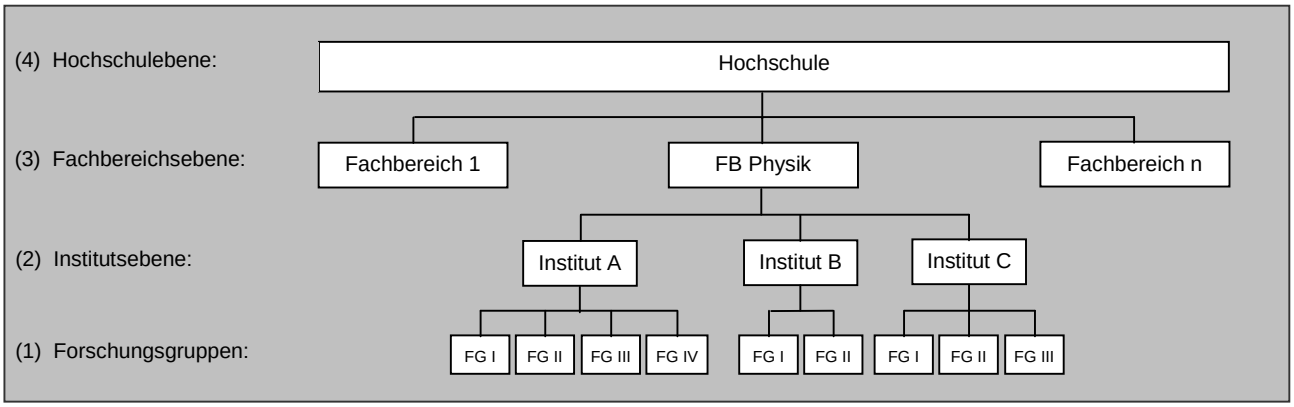


Abb. 4.1: Das 4-Ebenen-Modell der Hochschulorganisation

Die Hochschule ist nach diesem Modell in eine Mehrzahl von Fachbereichen gegliedert. Bei einem **Fachbereich** handelt es sich um einen Zusammenschluss gleicher oder verwandter Fachgebiete, der als organisatorische Grundeinheit die gesetzlich festgeschriebenen Aufgaben der Hochschule erfüllt. In einigen Bundesländern können Fachbereiche mit Habilitationsrecht die Bezeichnung „Fakultät“ führen (z. B. § 83(1) des Thüringer Hochschulgesetzes), andere Universitätsgesetze sprechen generell von Fakultäten (z. B. § 21 des Universitätsgesetzes des Landes Baden-Württemberg). Der Fachbereich muss nach Größe und Zusammensetzung gewährleisten, dass er die ihm obliegenden Aufgaben angemessen erfüllen kann. In einigen Bundesländern gibt es Mindestzahlen für die Hochschullehrer, die einem Fachbereich angehören müssen. So darf z. B. nach § 21(2) des Universitätsgesetzes des Landes Baden-Württemberg eine Fakultät nur in Ausnahmefällen weniger als 20 Hochschullehrer umfassen.

Im klassischen 4-Ebenen-Modell setzten sich die Fachbereiche aus Instituten zusammen. Ein **Institut** ist der Zusammenschluss mehrerer Forschungsgruppen, die im gleichen Fach in einem ähnlichen Teilgebiet und/oder mit einer vergleichbaren Forschungsmethode arbeiten. Typischerweise werden Physik-Fachbereiche in ein Institut für theoretische Physik und ein oder mehrere Institute für experimentelle Physik gegliedert. Dagegen ist die Zusammenfassung experimenteller und theoretischer Forschungsgruppen selten.

Das 4-Ebenen-Modell ist weit verbreitet. Als Anschauungsbeispiel lässt sich die **Johann-Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt** mit ihren 16 Fachbereichen anführen. Dem Modell entsprechend gliedert sich der Fachbereich Physik in folgende Institute:

- Physikalisches Institut
- Institut für Angewandte Physik
- Institut für Theoretische Physik/Astrophysik
- Institut für Kernphysik
- Institut für Biophysik
- Institut für Didaktik der Physik
- Institut für Geschichte der Naturwissenschaften

Rechtlich besitzen Institute den Charakter von „wissenschaftlichen Einrichtungen“. Institute können nicht nur von einzelnen Fachbereichen, sondern auch als gemeinsame wissenschaftliche Einrichtungen mehrerer Fachbereiche eingerichtet werden. Geleitet werden sie von einem „Direktor“. Dieser wird typischerweise von der nächst höheren Organisationsebene bestellt, während Dekane als Fachbereichsleiter vom Fachbereich selbst gewählt werden.

Die **Forschungsgruppe („Lehrstuhl“)** ist die elementare wissenschaftliche Organisationseinheit, aus der alle übergeordneten Organisationseinheiten der Hochschule zusammengesetzt sind. Sie umfasst die im Verantwortungsbereich eines Hochschullehrers tätigen wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Mitarbeiter (vgl. Vogel/Fenner/Frerichs 2001, S. 72). Dabei gibt der Hochschullehrer den Rahmen und die Richtung der Forschungsarbeit vor. Darüber hinaus ist der Hochschullehrer der Dienstvorgesetzte der in der Forschungsgruppe tätigen Mitarbeiter.

In der Praxis sind der Forschungsgruppe eines Hochschullehrers häufig mehrere Arbeitsgruppen unter- oder auch nebengeordnet, in denen Wissenschaftler gemeinsam ein Forschungsprojekt bearbeiten. Geleitet werden solche Arbeitsgruppen von habilitierten oder habilitierenden Nachwuchswissenschaftlern bzw. von unbefristet beschäftigten wissenschaftlichen Mitarbeitern.

4.2.2 Alternative Muster der Einbindung in die Hochschulstruktur

Mit dem Ziel, den Austausch zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung zu forcieren, wurden an der **Hochschule des Saarlandes** im Jahr 2000 bei der Fusion von Fachbereichen zu Fakultäten jeweils eine Naturwissenschaft mit einer Ingenieurwissenschaft zusammen gelegt. Als Ergebnis gehören nun die drei Teileinheiten der Physik und die Teileinheit der Elektrotechnik zur Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II.

Die Zusammenlegung mehrerer Disziplinen in einer mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät kann auf mehrere Arten geschehen. Die verbreiteteste Art ist die **Fusion** mehrer Fachbereiche zu einer Fakultät, wobei die bisherigen Organe der Fachbereiche aufgelöst und ihre Aufgaben den neu gegründeten Fakultätsorganen übertragen werden. Je nach Größe der Hochschule bzw. der Zahl der betroffenen Hochschullehrer werden dazu die Naturwissenschaften mit der Mathematik zusammengeführt oder in Teillösungen die Physik mit der Mathematik und die Chemie mit der Pharmazie fusioniert. Verbreitet sind auch Fakultäten bzw. Fachbereiche für Physik und Geowissenschaften oder für Physik und Meteorologie.

Ziel von Fachbereichsfusionen ist es in der Regel, größere Organisationseinheiten zu bilden, denen effiziente Verwaltungseinheiten zugeordnet werden können. Häufig werden Verwaltungsaufgaben aus der zentralen Hochschulverwaltung in die neue Fakultätsverwaltungen verlagert. Die Zentralisierung von unten wird so mit einer Dezentralisierung von oben kombiniert.

Sofern die Physik nicht nur aus einem Institut besteht, hat die Fusion mit anderen (Natur-)Wissenschaften allerdings das in Abbildung 4.2 skizzierte Mehr-Instituts-Modell zur Folge. Charakteristisch für dieses Organisationsmuster ist das Fehlen einer gemeinsamen Dacheinheit für die Physikeinrichtungen. Die verschiedenen Physik-Institute stehen auf einer Ebene mit Instituten aus anderen (Natur-)Wissenschaften. Probleme ergeben sich dabei aus den Zuständigkeiten für die grundständigen Studiengänge. In der Praxis bleiben daher die Fachbereiche mehr oder weniger rudimentär als Lehrbereiche innerhalb der Fakultätsstruktur erhalten.

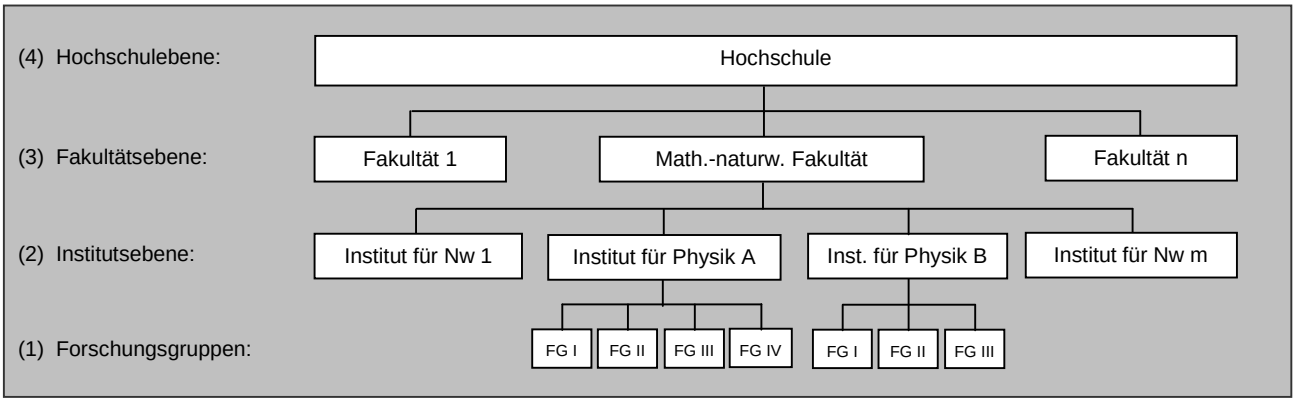


Abb. 4.2: Das Mehr-Instituts-Modell

Diese Schwierigkeiten umgeht die in einigen Bundesländern mögliche Bildung einer den fortbestehenden Fachbereichen übergeordneten „**gemeinsamen Fakultät**“. Geleitet wird sie von einem Fakultätsrat, dem die Sprecher der Fachbereiche angehören und der den Dekan der Fakultät wählt. Die „Rumpf-Fachbereiche“ besitzen weiterhin einen Fachbereichsrat als kollektives Leitungsgre-

mium und einen Fachbereichssprecher, der die Rolle des Fachbereichsdekans übernimmt. Durch die zusätzliche Organisationsebene ergibt sich die in Abbildung 4.3 skizzierte 5-Ebenen-Struktur.

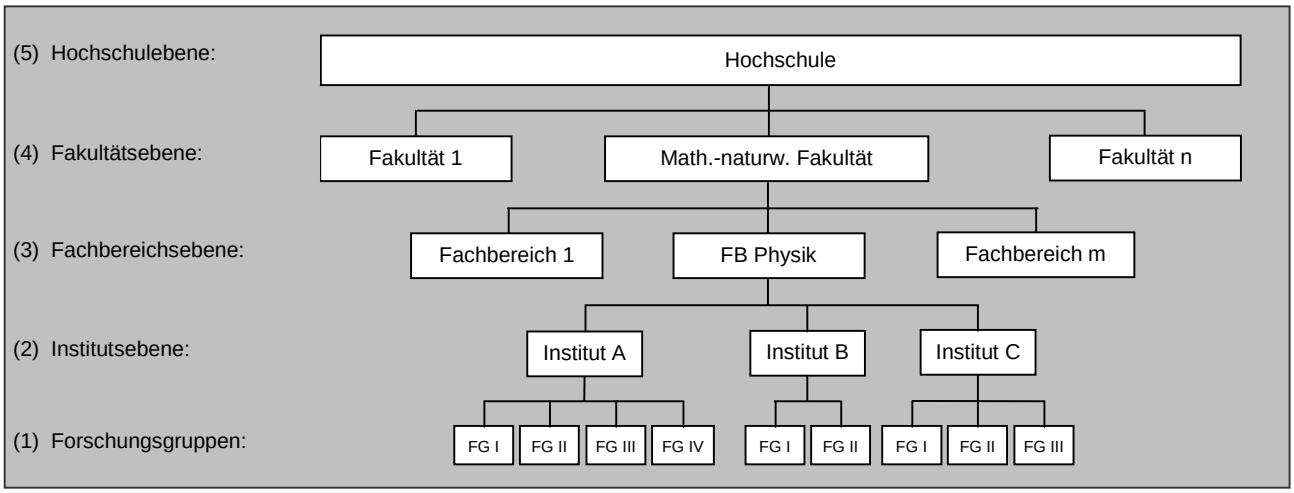


Abb. 4.3: Die gemeinsame Fakultät als zusätzliche Ebene

Der gemeinsamen Fakultät werden nach diesem Modell diejenigen Aufgaben übertragen, die die Zusammenarbeit mehrerer Fachbereiche erfordern. Dazu gehören beispielsweise die Regelung und Durchführung von Habilitationen und Promotionen, die Bildung von Berufungskommissionen und der Beschluss von Berufungsvorschlägen. Zudem ist die gemeinsame Fakultät für die Verteilung der ihr zugewiesenen Stellen und Finanzmittel auf die untergeordneten Fachbereiche zuständig. Die Regelung, Koordination und Durchführung der grundständigen Studiengänge verbleibt dagegen in der Zuständigkeit der jeweiligen Fachbereiche. Kombinationsstudiengänge fallen jedoch in die Zuständigkeit der Fakultät.

Eine 5-Ebenen-Struktur findet sich beispielsweise an der **Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.** Dort umfasst die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

den FB 10: Mathematik und Informatik,
den FB 11: Physik,
den FB 12: Chemie und Pharmazie,
den FB 13: Biologie sowie
den FB 14: Geowissenschaften.

Intern ist der Fachbereich Physik wiederum in 10 Institute gegliedert.

4.2.3 Department- oder/und Institutsmodell als interne Organisationsstruktur

Für die interne Organisation innerhalb der Fachbereiche bzw. Fakultäten wird derzeit häufig das sogenannte „**Departmentmodell**“ favorisiert. Hinter dem Anglizismus „Department“ (in deutscher Übersetzung: Abteilung) steht dabei die Vorstellung einer flexiblen Fachbereichsstruktur ohne alteingesessene und vielfach als „reformresistent“ geltende Institute. Dieses Definitionsmerkmal lässt das Department- und das Institutsmodell als zwei sich gegenseitig ausschließende Alternativen erscheinen. Die Beobachtungen einer Vielzahl von Physik-Fachbereichen zeigen jedoch, dass sich die Elemente beider Modelle kombinieren lassen.

Idealtypisch ist ein als Department organisierter Fachbereich durch

1. das Fehlen von Instituten,
2. eine zentrale Geschäftsführung,
3. eine gemeinsame Nutzung und Finanzierung von Infrastruktureinrichtungen sowie
4. die befristete Zuteilung von Finanzen, Mitarbeitern und Räumen nach Bedarf gekennzeichnet.

Abbildung 4.4 veranschaulicht diese Struktur für einen Physik-Fachbereich.

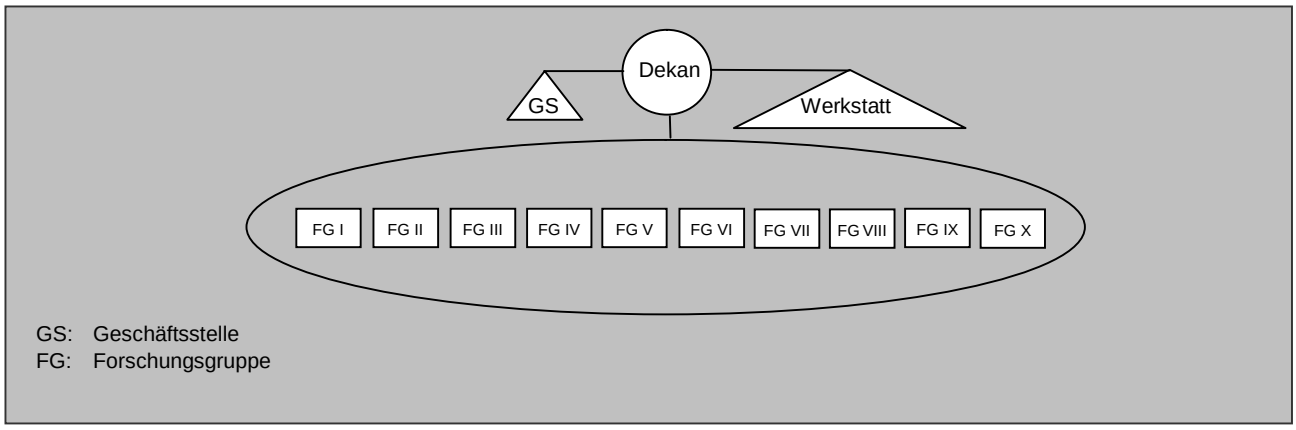


Abb. 4.4: Idealtypische Departmentstruktur eine Physik-Fachbereichs

Hervorzuheben ist die zentrale Department-Geschäftsstelle (GS), zu der ein wissenschaftlicher Geschäftsführer als Leiter, ein Sekretariat und je nach Größe des Fachbereiches weitere Verwaltungsmitarbeiter gehören. (= 2. Merkmal). Außerdem sind die technischen Mitarbeiter in einer zentralen Department-Werkstatt zusammengefasst (= 3. Merkmal). Gegebenenfalls ist eine Fachbereichsbibliothek zu ergänzen. Das 4. Merkmal, die befristete Zuteilung von Finanzen, Mitarbeitern und Räumen nach Bedarf, ist in einem Organigramm nur unzureichend zu veranschaulichen. Seine Umsetzung ist in der Praxis der kritische Aspekt bei der Einführung des Departmentmodells.

Fast vollständig umgesetzt sind Merkmale des Departmentmodells an der Fakultät für Physik der **Technischen Universität München**. Dort sind 15 Lehrstühle für theoretische und 17 für experimentelle Physik mit insgesamt 43 Professoren zu einem Department ohne formelle Teileinheiten zusammengefasst. Zudem existiert eine zentrale Fakultätswerkstatt sowie eine ausgebaute Fakultätsverwaltung, die auch einen Teil der üblicherweise der Hochschulverwaltung zugeordneten Aufgaben übernimmt.

Mit dem Verzicht auf die Institutsebene und der Zusammenfassung von Verwaltungs- und Infrastruktureinrichtungen auf der Fachbereichsebene entspricht das Department-Modell der Intention des Hochschulrahmengesetzes bei der Einführung der Fachbereiche als organisatorische Grundeinheiten. Grundlage war ein Gutachten des Wissenschaftsrats von 1968, in dem dieser bereits damals die Verselbständigung der Institute kritisierte (vgl. Brinckmann 1996, S. 12f.). Dennoch ist die Gliederung in Institute auch noch heute die Regel. Soll das Departmentmodell also nicht nur als moderne Bezeichnung für ein altes Konzept dienen, sind seine Merkmale differenzierter zu betrachten.

Dazu ist beim Merkmal „Ressourcenzuteilung“ anzusetzen. Eine flexible Zuordnung von Ressourcen ist nur dann gewährleistet, wenn Forschungsgruppen, die Finanzmittel, Stellen und/oder Räume aufgrund des Abschlusses von Forschungsaktivitäten nicht mehr benötigen, diese auch anderen Forschungsgruppen zur Verfügung stellen. Die Rückgabe von Ressourcen an den Fachbereich könnte vom Dekan durchgesetzt werden, wenn dieser mit umfassenden Weisungsrechten ausgestattet wäre. Durch seine befristete Wahl aus dem Kreis der Hochschullehrer ist der Dekan jedoch auf die Akzeptanz seiner Maßnahmen angewiesen. Über die Ressourcenzuordnung muss folglich kollektiv entschieden werden, was umso schwieriger ist, je mehr Hochschullehrer daran beteiligt sind. In der Praxis bestehen daher auch in explizit als Department firmierenden Physik-Fachbereichen mehr oder weniger formalisierte Teileinheiten zumindest für die theoretischen und die experimentellen Physiker. Aufgrund der kleineren Gruppengröße, der Ähnlichkeit der Ressourcenbedarfe und der Vergleichbarkeit der Budgets ist innerhalb dieser Teileinheiten eine flexible Ressourcenzuordnung zumeist unbürokratisch umzusetzen. Auch andere Forschungsbelange lassen sich in den Teileinheiten leichter koordinieren (vgl. Brinckmann 1996, S. 14f.), während Studienangelegenheiten häufig auf der Fachbereichsebene abzustimmen sind.

Mit der Bildung von Teileinheiten rückt die Departmentstruktur in die Nähe des **Institutsmodells**. Häufig führen die Teileinheiten nach außen sogar die Bezeichnung Institut. Bei der Entscheidung über die für den jeweiligen Fachbereich zweckmäßigste Organisationsstruktur sind eine Vielzahl von Mischformen möglich. Ein wichtiger Aktionsparameter ist die Formalisierung der Teileinheiten, die von informellen Fraktionen im Fachbereichsrat, über Zusammenschlüsse vergleichbarer Forschungsgruppen mit wechselndem Sprecher bis zu klassischen Instituten mit Direktor und eigenständiger Geschäftsstelle reichen kann. Eng damit verbunden ist die Zuordnung von Geschäftsstellen, die in der Praxis nicht nur bei Fachbereichen, sondern teilweise auch bei Instituten angesiedelt sind. Zu einer Geschäftsstelle gehören zumeist ein Sekretariat und eine Geschäftsführung. Ihre Hauptaufgaben sind die Unterstützung des Dekans bzw. Institutsdirektors, der Sitzungsvor- und -nachbereitung der kollegialen Entscheidungsgremien sowie die Koordination von Forschung und Lehre. Bei dem Geschäftsführer (Dekanatsrat, Fachbereichsassistent, -koordinator, -referent etc.) handelt es sich gewöhnlich um einen unbefristet beschäftigten, promovierten Fachwissenschaftler.

Mit der Kombination von Instituts- und Departmentmodell lässt sich die Organisationsstruktur flexibel den jeweiligen Bedingungen anpassen, wie ein Beispiel der **Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg** zeigt. Dort besitzen die beiden Institute der Fakultät für Physik und Astronomie zusammen eine „Institutsverwaltung“ für die Verwaltung von Personal und Finanzen. Dagegen ist die Dekanatsverwaltung für die Koordination der Lehre zuständig. Beiden Verwaltungseinheiten ist jeweils ein Geschäftsführer zugeordnet.

Der entscheidende Unterschied zwischen dem Department- und dem Institutsmodell besteht folglich darin, ob die Teileinheiten innerhalb des Fachbereiches mit eigenen Geschäftsstellen ausgestattet sind oder nicht. Abbildung 4.5 veranschaulicht ein solches Institutsmodell.

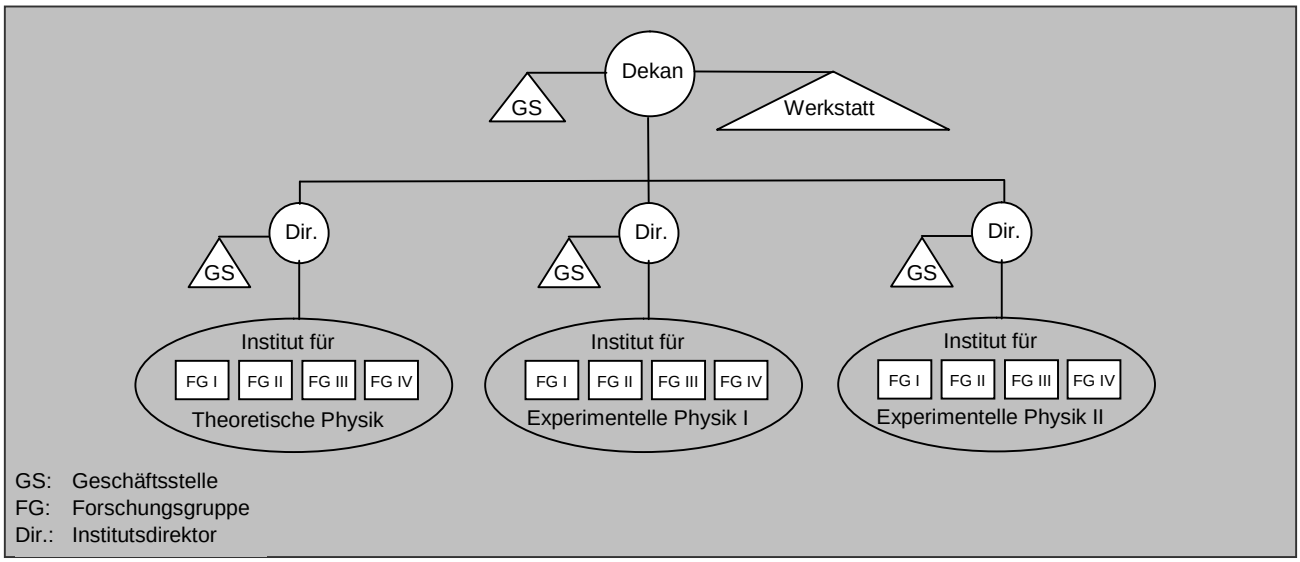


Abb. 4.5: Institutsstruktur mit Departmentmerkmalen

Andere Merkmale, wie z. B. die zentrale Fachbereichswerkstatt, sind dem Departmentmodell entnommen. Zudem ist innerhalb der Institute eine befristete Zuteilung von Finanzen, Mitarbeitern und Räumen nach Bedarf vorgesehen. Um auch zwischen den Instituten eine flexible, bedarfsgerechte Ressourcenzuteilung zu ermöglichen, sollten die Institute eine vergleichbare Größe besitzen. Gegebenenfalls ist dafür die Zuordnung einzelner Forschungsgruppen zu ändern. Freischwebende Forschungsgruppen ohne Institutseinbindung sollten die absolute Ausnahme sein (vgl. Brinckmann 1996, S. 17).

4.2.4 Organisatorische Einbindung technischer Dienstleistungseinrichtungen

Dienstleistungseinrichtungen umfassen alle Stellen, die nur indirekt an Forschung und Lehre mitwirken, indem sie die Wissenschaftler mit bestimmten Tätigkeiten unterstützen. Dazu zählen im nicht technischen Bereich insbesondere Bibliotheken und Verwaltungen. Für die Physik als experimentelle Naturwissenschaft sind die technischen Dienstleistungen von besonderer Bedeutung.

Abbildung 4.6 gibt einen Überblick zu den technischen Dienstleistungen, die typischerweise in Physik-Einrichtungen anfallen. Sie lassen sich in die Bereiche allgemeine technische Assistenz, chemisch-technische Assistenz, EDV-Unterstützung, Elektronik, Feinmechanik und Glasbläserei unterteilen. Der größte Teil des Personalbedarfs ergibt sich dabei aus den Aufgaben der allgemeinen technischen Assistenz einerseits und der feinmechanischen Fertigung andererseits (siehe dazu Abschnitt 5.2.1). Zunehmende Bedeutung erlangt die EDV-Betreuung, die nicht nur von experimentell, sondern auch von computerbezogen und theoretisch-deduktiv arbeitenden Forschungsgruppen nachgefragt wird. Bedarf an chemisch-technischer Assistenz und an Glasbläsern haben dagegen nur einzelne, experimentell-probenbezogene Forschungsgruppen.

Aufgaben:	**allg. techn. Assistenz**	**chem.-techn. Assistenz**	**EDV-Betreuung**	**Elektronik**	**Feinmechanik**	**Glasbläserei**
Fertigung			• Programmierung von Steuerungs-elektronik	• Bau von Steuerungs-elektronik	• Bau von Forschungsgeräten	• Einschmelzen biophysikalischer Proben
Montage	• Einbau von Forschungsgeräten	• Präparation von Proben		• Einbau von Steuerungs-elektronik		
Wartung/ Betreuung	• Wartung der Forschungsgeräte • Wartung der Praktikumsgeräte • Auf- und Abbau der Hörsaal-experimente • Betreuung der Helium-verflüssigung und Distribution des flüssigen Heliums		• Wartung der EDV-Hardware • Betreuung von Servern u. Netzen • Konfiguration von Software	• Wartung der Steuerungs-elektronik		
Schwerpunkt der Tätigkeit:	direkte Unterstützung	direkte Unterstützung	Direkte Unterstützung	direkte Unterstütz. Auftragsfertigung	Auftragsfertigung	Auftragsfertigung
Organisation:	einzelne Stellen	einzelne Stellen	Einzelne Stellen	einzelne Stellen/ Werkstatt	Werkstatt	Werkstatt
Zuordnung:	experimentelle Forschungsgruppen				Fachbereich	Hochschule
	Großgeräte Fachbereich		Großgeräte Fachbereich	(Fachbereich)		
Finanzierung:	pauschal	pauschal	Pauschal	pauschal/ auftragsbezogen	Auftragsbezogen	auftragsbezogen

Abb. 4.6: Aufgaben und organisatorische Einbindung technischer Dienstleistungen

Beim Schwerpunkt der jeweiligen Tätigkeiten sind die **direkte Unterstützung** der Wissenschaftler und die **Auftragsfertigung** zu unterscheiden. Im ersten Fall ist eine ummittelbare Zuordnung einzelner technischer Stellen zu den jeweiligen Bedarfsträgern zweckmäßig, da solche Dienstleistungen häufig mit einer unmittelbaren Zusammenarbeit von technischen und wissenschaftlichen Mitarbeitern verbunden sind. Bei überwiegender Auftragsfertigung lassen sich Stellen mit ähnlichen Aufgaben zu zentralen Werkstätten zusammengefassen.

Eine Zwischenstellung nehmen die **Elektronik-Stellen** ein. Der Bau elektronischer Steuerungen für physikalische Versuchsgeräte lässt sich eindeutig als Auftragsfertigung charakterisieren.

Entsprechend finden sich in manchen Physik-Einrichtungen zentrale Elektronik-Werkstätten. Deren Aufgaben bestehen allerdings größtenteils in der Montage und Programmierung elektronischer Steuerungsmodule, die von kommerziellen Lieferanten fremdbezogen werden, sowie der Wartung der Steuerungs- und Büroelektronik. Überraschenderweise werden kaum gemeinsame Aufträge mit den Mechanikwerkstätten bearbeitet, obwohl alle mechanischen Versuchsapparaturen mit elektronischen Steuerungen versehen werden. Dies spricht für eine dezentrale Zuordnung der Elektroniker-Stellen zu den experimentellen Forschungsgruppen oder zu einzelnen Großgeräten, insbesondere wenn sich dadurch Elektronik- und EDV-Betreuung zusammenfassen lassen.

Demgegenüber sollten die Stellen für **Mechaniker** in einer Zentralwerkstatt auf Fachbereichsebene zusammengefasst werden. Die Hauptaufgabe der Feinmechaniker – der Bedarf der Physik an Schlossereiarbeiten ist gering – besteht im Bau individueller Forschungsapparaturen vorzugsweise aus Edelstahl, was eine präzise Fertigung mit geringen Toleranzen und moderne CNC-Bearbeitungsautomaten erfordert. Dies lässt die organisatorischen Vorteile einer größeren Werkstatt wie tätigkeitsbezogene Spezialisierung, Ausgleich von Auftragsspitzen und krankheitsbedingter Ausfälle sowie die Nutzung von Spezialmaschinen in den Vordergrund treten.

An den meisten Hochschulen fehlen Stellen für Konstrukteure, sodass die Physiker ihre Entwürfe selbst in für die Mechaniker verständliche Konstruktionszeichnungen umsetzen müssen. Dies führt regelmäßig zu hohem Kommunikationsbedarf zwischen Auftraggebern und Mechanikern. Voraussetzung für eine zentrale Fachbereichswerkstatt ist daher, dass alle experimentellen Forschungsgruppen an einem gemeinsamen Standort untergebracht sind. Anderenfalls sind standortbezogene Zentralwerkstätten anzustreben. In einer Physik-Fakultät wurde zusätzlich ein Werkstattausschuss gebildet, in den jede experimentelle Forschungsgruppe einen Doktoranden als Werkstattbeauftragten entsendet und der wöchentlich die Belange der Auftraggeber mit den Meistern koordiniert.

Fachbereichsübergreifende Zentralwerkstätten sind nach wie vor die Ausnahme. Zu empfehlen ist eine solche Zentralisierung für Glasbläserwerkstätten, da in diesem Bereich ein bis zwei Stellen den Bedarf einer Physik- und einer Chemie-Einrichtung gemeinsam abdecken können. Dagegen stößt eine fachbereichsübergreifende Zusammenlegung bisher bestehender Institutswerkstätten regelmäßig auf erhebliche Widerstände.

Zu ihrer Finanzierung müssen die Werkstätten einen wachsenden Anteil ihr Budgets selbst erwirtschaften (Vogel/Scholz 1997, S. 95-98). Dazu werden den auftraggebenden Forschungsgruppen vielfach arbeitsstundenabhängige Zuschläge zu den Materialkosten in Rechnung gestellt. Teilweise sind darin Maschinenkosten enthalten, sodass die Werkstatt Rücklagen für Ersatzinvestitionen bilden kann. Allerdings umfassen die berechneten Auftragskosten nach wie vor nicht die vollen Selbstkosten, insbesondere die Personalkosten fehlen. Der Weg zu selbständigen Profitcentern ist daher noch weit. Dagegen erfolgt die Finanzierung der dezentralen technischen Dienstleistungen pauschal durch die Zuordnung der jeweiligen Stellen zu den verschiedenen Bedarfsträgern.

Fast alle Physik-Einrichtungen besitzen eine zentrale **Heliumverflüssigungsanlage**, mit deren Bedienung und Wartung ein Techniker auf einer Vollzeitstelle betraut ist. Überall wird die Rückverflüssigung in Eigenregie in mehr oder weniger großen Abständen einem Kostenvergleich mit dem Fremdbezug flüssigen Heliums unterzogen. Gegen die Aufgabe der Heliumverflüssigung sprechen neben den derzeit deutlichen geringen Kosten die starken Marktpreisschwankungen.

4.3 Sekundäre Organisationseinheiten

4.3.1 Formen sekundärer Organisationseinheiten

An den Hochschulen werden sekundäre Organisationseinheiten gegründet, wenn bestimmte Forschungsfragen sich nicht in einem eng abgrenzbaren Projekt bearbeiten lassen und die Zusammenarbeit einer Mehrzahl von Forschern aus verschiedenen Teildisziplinen oder Fächern erfordert. Trotz ihrer längerfristigen Ausrichtung werden sie nicht auf Dauer angelegt, um auf Veränderungen der Forschungsrichtung flexibel reagieren zu können. Diesen Merkmalen entsprechend zählen zu den sekundären Organisationseinheiten insbesondere Graduiertenkollegs, Sonderforschungsbereiche und interdisziplinäre Zentren. In jüngster Zeit entstehen mit der gleichen Zielrichtung vermehrt sogenannte Kompetenzzentren bzw. Center of Excellence. Deren Strukturen sind jedoch in den Förderrichtlinien der DFG oder den Hochschulgesetzen nicht vorgeformt, sodass sich nur wenige generelle Aussagen treffen lassen. Da in der Physik derzeit noch wenige Kompetenzzentren zu finden sind, bleiben sie bei der anschließenden Charakterisierung ausgeblendet.

Graduiertenkollegs sind befristete Einrichtungen der Hochschulen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses durch Beteiligung an der Forschung und ein begleitendes, systematisch angelegtes Studienprogramm. Sie eröffnen Doktoranden die Möglichkeit, ihre Arbeit im Rahmen eines koordinierten, von mehreren Hochschullehrern getragenen Forschungsprogramms durchzuführen. An einem Graduiertenkolleg sind in der Regel 8 bis 15 Hochschullehrer, oft aus verschiedenen Disziplinen, beteiligt. Von den 15 bis 25 Doktoranden erhält gewöhnlich etwas mehr als die Hälfte ein Graduiertenstipendium aus Mitteln der DFG. Derzeit fördert die DFG ca. 33 der Physik zuzurechnende Graduiertenkollegs.

Sonderforschungsbereiche sind ein zentrales Instrument der Forschungsförderung durch die DFG, mit dem Hochschulen über eine längere Laufzeit sowohl Personal- als auch Sachmittel zur Verfügung gestellt werden. Von den derzeit laufenden Sonderforschungsbereichen sind ca. 37 der Physik zuzurechnen. An den Hochschulen führt eine solche Förderung zu längerfristig angelegten Forschungseinrichtungen, in denen Wissenschaftler im Rahmen eines fächerübergreifenden Schwerpunktprogramms zusammenarbeiten. Sie ermöglichen die Bearbeitung anspruchsvoller, aufwendiger und langfristig konzipierter Forschungsvorhaben durch Konzentration und Koordination der in einer Hochschule vorhandenen Kräfte. Die einzelnen Beiträge der beteiligten Forschungsgruppen müssen daher auf das gemeinsame Forschungsziel hin abgestimmt werden und sich gegenseitig ergänzen. Charakteristisch ist die Kooperation über die Grenzen von Fächern, Instituten, Fachbereichen und Fakultäten hinweg. Die Variante „Transregio“ fördert die überregionale Vernetzung von fachübergreifenden Forschungsinteressen, in dem diese Sonderforschungsbereiche an mehreren Standorten angesiedet werden. Trotz der Förderung durch die DFG müssen die Hochschulen den Sonderforschungsbereichen eine angemessene personelle und materielle Grundausstattung zur Verfügung stellen.

Interdisziplinäre Zentren sind fachbereichs- bzw. fakultätsübergreifende, hochschulinterne wissenschaftliche Einrichtungen. In ihrem rechtlichen Status und ihrer organisatorischen Struktur sind sie fachbereichsbezogenen Instituten vergleichbar. Allerdings sind sie als zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Hochschule als Ganzes zugeordnet. Ihre Gründung erfordert daher die Zustimmung des Senats. Der Schwerpunkt ihrer Aktivitäten liegt in der Regel im Bereich der Forschung. Ihre Hauptaufgabe besteht entweder in der interdisziplinären Nutzung von Großforschungsgeräten, z. B. von Forschungsreaktoren oder Teilchenbeschleunigern, oder in der Koordination verschiedener Forschungsgruppen innerhalb eines interdisziplinären Schnittstellengebietes. Betont wird regelmäßig auch die Darstellung der interdisziplinären Forschungsaufgaben nach außen. Grundsätzlich sind die Ressourcen interdisziplinärer Zentren von der Hochschule zu stellen, allerdings werben solche Einrichtungen zumeist in großem Umfang Drittmittel ein.

Center of NanoScience der Ludwig-Maximilians-Universität München

Das Center for NanoScience (CeNS) ist ein interdisziplinäres Zentrum der Ludwig-Maximilians-Unversität München mit dem Zweck, interdisziplinäre Forschungen auf dem Gebiet der Nanowissenschaften zu fördern. Schwerpunkte bilden dabei die Aktivitäten für die Doktoranden der beteiligten Forschungsgruppen und die Verbreitung von Forschungsergebnissen in der interessierten Öffentlichkeit.

Zur Zeit sind 12 Professoren der Ludwig-Maximilians-Universität mit ihren Forschungsgruppen an CeNS beteiligt, acht davon gehören der Fakultät für Physik an, die auch die Biophysik umfasst, drei der Fakultät für Chemie und Pharmazie und einer der Fakultät für Geowissenschaften. Die Mitgliedschaft im CeNS ist freiwillig und muss nach drei Jahren verlängert werden. Dies wirkt einer größeren Zahl passiver Mitglieder entgegen. Gleiches gilt für die Assoziierung, die für Diplomanden auf ein Jahr und für Doktoranden auf drei Jahre befristet ist. Lediglich Alumni erhalten eine unbefristete Assoziierung. Eine weitere satzungsgemäße Besonderheit des CeNS ist die Möglichkeit der Selbstauflösung, die von der Mitgliederversammlung alle fünf Jahre geprüft werden muss.

Beim CeNS handelt es sich um ein virtuelles Institut ohne eigene Forschungseinrichtungen. CeNS-Mitglieder sind jedoch verpflichtet, ihre Forschungsressourcen anderen Mitgliedern - soweit möglich - zur Verfügung zu stellen. Zugeordnet sind dem Zentrum lediglich die Stellen der Geschäftsführerin und ihrer Halbtagssekretärin. Mit dem Charakter als virtuelles Institut und der befristeten Mitgliedschaft versucht sich das CeNS ein Höchstmaß an Flexibilität zu erhalten, um wissenschaftlichen Entwicklungen folgen zu können.

4.3.2 Ressourcenbedarf sekundärer Organisationseinheiten

Sekundäre Organisationseinheiten führen gewöhnlich zu Drittmitteleinwerbungen für Personal und Sachmittel in erheblichem Umfang, mit denen die aus Haushaltsmitteln finanzierte Grundausstattung ergänzt werden kann. Allerdings muss die Hochschule die technische und räumliche Infrastruktur für die Drittmittelforschung bereitstellen, sodass dennoch ein zusätzlicher Ressourcenbedarf entsteht. Zur Abschätzung des **Zusatzbedarfs** sind sekundäre Organisationseinheiten ohne eigene Forschungseinrichtungen und solche mit eigenen Forschungsgeräten zu unterscheiden. Im ersten Fall ist die zentrale Bezugsgröße die Zahl der Doktoranden. Im zweiten Fall hängt der Ressourcenbedarf vor allem von den zu unterhaltenden Forschungsgeräten ab.

Personalbedarf

Tätigkeiten für eine sekundäre Organisationseinheit gelten für Hochschullehrer und promovierte wissenschaftliche Mitarbeiter als Teil ihrer Dienstaufgaben. Soweit es sich um Forschungstätigkeiten handelt, gehören sie zum selbstbestimmten Teil der wissenschaftlichen Arbeitsaufgabe und entziehen sich der Kapazitätsplanung. Kapazitätswirksam sind dagegen die Lehrveranstaltungen, die Hochschulangehörige für die sekundären Organisationseinheiten neben dem grundständigen Studienangebot erbringen, sofern sie auf das Lehrdeputat angerechnet werden.

Die den sekundären Organisationseinheiten unmittelbar zugeordneten Doktoranden werden in der Regel aus DFG- oder anderen Drittmitteln finanziert. Demgegenüber sind die Stellen für eine eventuelle wissenschaftliche Geschäftsführung und des Sekretariats als Zusatzbedarf der sekundären Organisationseinheit zu betrachten. Gleiches gilt, wenn für den Betrieb und die Instandhaltung eines Forschungsgerätes wissenschaftliche und technische Mitarbeiter beschäftigt werden.

Die Werkstattversorgung sekundärer Organisationseinheiten wird in der Regel mit der primärer Organisationseinheiten gekoppelt sein. Ihr zusätzlicher Werkstattbedarf hängt folglich von der Ausweitung der Zahl der beschäftigten Doktoranden ab. Nur wenn die sekundäre Organisationseinheit eigene Forschungsgeräte betreibt, ergibt sich ein eigenständiger Werkstattbedarf.

Beschleunigerlaboratorium der Ludwig-Maximilians- und der Technischen Universität München

Mittelpunkt des gemeinsamen Beschleunigerlaboratoriums von Ludwig-Maximilians-Universität und Technischer Universität München bildet ein Tandem-van-de-Graaff-Beschleuniger mit einer Gleichspannung von bis zu 14 Millionen Volt. Rechtlich ist das Beschleunigerlaboratorium als zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Ludwig-Maximilians-Universität zugeordnet, räumlich ist es auf dem Campus der Technischen Universität in Garching untergebracht. Genutzt wird es von beiden Hochschulen gemeinsam.

Das Beschleunigerlaboratorium wurde Ende der 60er Jahre errichtet. Seit 1971 werden Experimente mit dem Beschleuniger durchgeführt. Inzwischen entspricht seine Beschleunigungsenergie nicht mehr den aktuellen kernphysikalischen Anforderungen. Die Forschungsschwerpunkte haben sich daher von der Beschleuniger- zur Detektorentechnik und von der kernphysikalischen Grundlagenforschung zur Materialdiagnostik gewandelt. Verbunden ist der Nutzungswandel mit einem Rückgang des Nutzungsumfangs. Während ursprünglich acht Forschungsgruppen mit dem Beschleuniger Experimente durchführten, sind es zur Zeit nur noch drei. Die Zukunft des Beschleunigerlaboratoriums ist derzeit offen. In einem Gutachten haben sich die beauftragten Experten für eine stärkere Ausrichtung auf den Forschungsreaktor München II, der auf dem Campus Garching kürzlich fertiggestellt wurde, und eine Umbenennung in Meyer-Leibniz-Labor ausgesprochen. Angedacht ist, in unmittelbarer Nachbarschaft des Forschungsreaktors einen neuen Beschleuniger zu bauen, um Spaltprodukte aus dem Reaktor nach ihrer Analyse auf höchste Geschwindigkeiten zu beschleunigen.

Flächenbedarf

Der Flächenbedarf sekundärer Organisationseinheiten ohne eigene Forschungsgeräte beruht im Wesentlichen auf dem Büro- und Laborbedarf der ihnen zugeordneten Doktoranden. Dagegen werden Hochschullehrer und promovierte wissenschaftliche Mitarbeiter auch für die sekundären Organisationseinheiten die ihnen von ihren primären Einheiten zugeordneten Räume nutzen.

Zusätzlicher Bedarf ergibt durch die Büroräume einer eventuellen Geschäftsstelle und Besprechungs- und Seminarräume. Der Flächenbedarf von Forschungsgeräten hängt erstens von dem Forschungsgerät selbst ab, zweitens von den angeschlossenen Messlaborplätzen und drittens von den für den Betrieb erforderlichen wissenschaftlichen und technischen Mitarbeitern.

Sach- und Investitionsmittelbedarf

Der Sach- und Investitionsmittelbedarf sekundärer Organisationseinheiten ohne eigene Forschungseinrichtungen wird von den Experimenten der zugeordneten Doktoranden bestimmt. Gegebenfalls können Geräte und Einrichtungen mit den Doktoranden der Lehrstühle gemeinsam genutzt werden. Aus diesem Grund werden Graduiertenkollegs, denen die DFG nur personenbezogene Fördermittel zur Verfügung stellt, häufig mit Sonderforschungsbereichen kombiniert, denen in der Regel auch umfangreiche Sachmittel zur Anschaffung von Forschungsgeräten zufließen.

Der Investitionsmittelbedarf von sekundären Organisationseinheiten mit Großforschungsgeräten übersteigt zumeist die Finanzierungsmöglichkeiten der Hochschulen und erfordert daher in der Regel eigenständige Finanzierungskonzepte.

4.4 Außeruniversitäre Kooperationspartner

Forschungskooperationen überschreiten in der Physik vielfach nicht nur die Grenzen von Fachgebieten, Disziplinen und einzelnen Hochschulen, sondern auch des Hochschulsystems als Ganzes. Außeruniversitäre Kooperationspartner der Hochschulen können einzelne privatrechtliche oder öffentlich-rechtliche Institutionen sein. Häufig werden solche Kooperationspartner als sogenannte „An-Institute“ an die Hochschule angebunden. Für die Physik von großer Bedeutung ist auch die Zusammenarbeit mit Einrichtungen der staatlich finanzierten Forschungsgemeinschaften.

4.4.1 An-Institute

Bei „**An-Instituten**“ handelt es sich um außeruniversitäre wissenschaftliche Einrichtungen die im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung von der Hochschule das Recht erhalten, die Bezeichnung „Institut an der Hochschule“ zu führen. Ihre rechtliche Selbständigkeit bleibt davon jedoch unberührt. Sie sind somit nicht Teil der Hochschule, haben aber die Auflage, ihre Tätigkeit im Rahmen des Auftrages der Hochschule zu vollziehen. Geleitet werden sie häufig von Hochschullehrern, die von der jeweiligen Hochschule teilweise für diese Aufgabe freigestellt werden. An-Institute werden überwiegend privat finanziert. Die Inanspruchnahme von Einrichtungen und der Einsatz von Personal der Hochschule müssen sie in der Regel vergüten (vgl. Krüger 1995, S. 42f.).

Ein Institut an der Universität Hannover ist das **Laser Zentrum Hannover e.V.** (LZH). Aufgabe dieses Vereins ist die gemeinnützige Förderung der angewandten Forschung auf dem Gebiet der Lasertechnik. Dazu übernimmt das Laser Zentrum Hannover

- Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Laserentwicklung und Laseranwendung,
- technische und wissenschaftliche Beratungen um Forschung und Praxis zusammenzuführen sowie
- die Ausbildung von Fachkräften für die Entwicklung, Anwendung und Bedienung von Lasersystemen.

Das Laser Zentrum Hannover kooperiert mit den Instituten für Quantenoptik, für Fertigungstechnik und spanende Werkzeugmaschinen sowie für Werkstoffkunde der Universität Hannover, der amtlichen Materialprüfanstalt (Hannover), der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt (Hannover) sowie dem Institut für Integrierte Produktion Hannover GmbH.

4.4.2 Institute der außeruniversitären Forschungsgemeinschaften

Im deutschen Wissenschaftssystem wird die Hochschulforschung durch vier staatlich finanzierte Säulen ergänzt, die von vier Forschungsgesellschaften getragen werden. Die Säule der außeruniversitären Grundlagenforschung bildet die Max-Planck-Gesellschaft **(MPG)**, die in ihren knapp 80 Instituten neue, zukunftsträchtige Forschungsrichtungen aufgreift, die an den Universitäten noch keinen oder keinen ausreichenden Platz gefunden haben. Die angewandte außeruniversitäre Forschung als zweite Säule wird von inzwischen 56 Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft **(FhG)** getragen. Mit ihrer Auftragsforschung für Industrie und öffentliche Hand spielen sie eine herausragende Rolle als Innovationsmotor. Die Verbundforschung als dritte Säule verbindet die Grundlagen- und die angewandte Forschung in thematisch definierten, zukunftsorientierten Forschungsfeldern, die eine langfristige Bearbeitung erfordern und sich wegen ihres Umfangs oder ihrer Inhalte nicht für die universitäre Forschung eignen. Diese Aufgabe wird von ca. 80 Forschungseinrichtungen der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz **(WGL)** (früher Wissenschaftsgemeinschaft Blaue Liste) übernommen. Die vierte Säule der außeruniversitären Forschung ist die Großgeräteforschung durch die 15 Forschungszentren der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren **(HGF)**.

Eine Zuordnung einzelner Einrichtungen zur Physik ist wegen der oft interdisziplinären Ausrichtung schwierig. Gemäß einer Erhebung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft befassten sich 1997 23 Max-Planck-Institute ganz oder teilweise mit physikalischen Forschungsfragen und beschäftigten dazu 1.160 Physiker. Gleichzeitig betrieben 21 Fraunhofer-Institute mit 450 Physikern physikalische Forschungen und Entwicklungen. Außerdem konnten 11 Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft mit rund 1.530 Physikern und 19 Institute der Leibniz-Gemeinschaft mit rund 1.400 Physikern der Physik zugerechnet werden (Physik-Handbuch 1998, S. 38f.).

Die Form der Zusammenarbeit mit den Physik-Einrichtungen der Hochschulen hängt von den Aufgaben der außeruniversitären Forschungseinrichtungen ab. Die Großforschungseinrichtungen der

Helmholtz-Gemeinschaft (vgl. dazu Abschnitt 2.3.2) haben im Wesentlichen eine Dienstleistungsfunktion, in dem sie den Hochschulforschern Experimente an ihren Großgeräten ermöglichen. Dazu müssen die Forschungsgruppen Messplätze und Messzeiten im voraus buchen und zur Durchführung der Experimente zur jeweiligen Großforschungseinrichtung anreisen. Die Förderung solcher Projekte umfasst daher gewöhnlich in größerem Umfang Reisekosten.

Engere Beziehungen unterhalten Physik-Einrichtungen üblicherweise zu benachbarten Max-Planck- und Fraunhofer-Instituten. In der Regel sind die Direktoren und die Abteilungsleiter der Institute zugleich Professoren und gehören dadurch den Hochschulen an, deren Spektrum der abgedeckten Forschungsgebiete dadurch breiter wird. Die personelle Verflechtung mit den Hochschulen ermöglicht es wissenschaftlichen Nachwuchskräften, ihre Diplomarbeiten, Promotionen und Habilitationen an den Forschungsinstituten zu erarbeiten. Umgekehrt stellen die Max-Planck- und Fraunhofer-Institute den Hochschulforschern vielfach ihre zumeist umfassendere Ausstattung an Forschungsgeräten zur Verfügung. Darüber hinaus sind gemeinsame Forschungsprojekte oder sogar gemeinsame Forschungseinrichtungen möglich.

Da die Zusammenarbeit durch kurze Wege forciert wird, existiert an einigen Hochschulstandorten ein Forschungscampus, auf dem eine Vielzahl universitärer und außeruniversitärer Forschungseinrichtungen in unmittelbarer Nähe angesiedelt wird.

Forschungscampus der Humboldt-Universität Berlin Adlershof

Das Wissenschaftsgelände Adlershof im Südosten Berlins dient einer integrierten Ansiedlung von universitären Instituten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen. Ziele sind dabei einerseits die gemeinsame Nutzung von Großforschungsgeräten und andererseits die Bereicherung der Lehre um Anwendungsbezüge.

Der universitäre Teil umfasst den zum Teil schon fertiggestellten, mathematisch-naturwissenschaftlichen Campus der Humboldt Universität Berlin mit den Instituten für Chemie, für Geographie, für Informatik, für Mathematik, für Physik und für Psychologie.

Außerdem sind in Adlershof bereits eine Reihe außeruniversitärer Forschungseinrichtungen angesiedelt. Aus dem Bereich der Physik sind davon folgende Institute zu nennen:

- die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR),
- das Hahn-Meitner-Institut (HMI),
- die Abt. Photovoltaik der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
- die Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY II),
- das Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI),
- das Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik ,
- das Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung und
- das Institut für Kristallzüchtung (IKZ).

Die enge Zusammenarbeit mit außeruniversitären Partnern kann nicht ohne Wirkungen auf den Ressourcenbedarf der Physik-Einrichtung bleiben. Allerdings lassen sich weder zum Vorzeichen noch gar zum Umfang dieser Effekte generelle Aussagen treffen.

4.5 Vergleichender Überblick

Die nachfolgende Abbildung 4.7 gibt einen vergleichenden Überblick zu den oben beschriebenen organisatorischen Gestaltungsmöglichkeiten für Physik-Einrichtungen mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen. Durch Kombination verschiedener Varianten für die fünf Organisationsbereiche ergeben sich eine Fülle unterschiedlicher Organisationsmuster.

Organisationsbereiche:	Gestaltungsalternativen:		
Primärorganisation			
Einbindung in die Hochschulstruktur	**Eigenständige Physik-Fachbereiche** + Einheitliche Leitung der Physik-Einrichtungen - teilweise zu klein - Abgrenzung von anderen Disziplinen	**Gemeinsame Fakultäten** + Interdisziplinäre Koordination wird institutionalisiert + Einheitliche Leitung der Physik-Einrichtungen - doppelte Entscheidungsorgane	**Fusion von Fachbereichen** + Dezentralisierung der Hochschulverwaltung möglich - unklare Zuordnung der grundständigen Studiengänge
Interne Gliederung	**Instituts-Modell**: • Institut für Theoretische Physik • Institut(e) für Experimentelle Physik + überschaubare Einheiten - Besitzstandswahrung - Reformresistenz	**Kombination** von Merkmalen beider Modelle + optimale Anpassung an die jeweiligen Bedingungen möglich	**Department-Modell**: • Keine interne Gliederung • Zentrale Geschäftsführung • Gemeinsame Infrastruktur • Flexible Ressourcenzuordnung + Effizientere Verwaltung + hohe Flexibilität - für Selbstkoordination zu groß
Einbindung der technischen Dienstleistungen	**dezentrale Zuordnung:** + für Elektroniker und Techniker häufig vorteilhaft + individuelle Abstimmung mit den Auftaggebern - keine personelle und technische Spezialisierung	**zentrale Fachbereichswerkstätten:** + hohe Flexibilität + effiziente Arbeitsorganisation möglich + informelle Kontakte mit den Auftraggebern bleiben möglich - Wartezeiten - Akzeptanzprobleme - nur bei gemeinsamem Standort möglich	**fachbereichs-übergreifende Werkstätten:** + rationale Auftragsbearbeitung + günstige Konditionen bei gemeinsamer Beschaffung - nur formalisierte Kontakte zu den Auftraggebern - Akzeptanzprobleme
Sekundärorganisation			
Hochschulinterne Forschungskooperationen	**Sekundäre Organisationseinheiten**: • Ergänzung der Primärstruktur durch Doppelzuordnung der Hochschullehrer • Ausrichtung an den Belangen der interdisziplinären Forschung		
	Graduiertenkollegs • Von der DFG gefördertes Instrument zur interdisziplinären Doktorandenausbildung	Sonderforschungsbereiche • Von der DFG gefördertes Instrument zur Durchführung längerfristiger Forschungsprojekte	Interdisziplinäre Zentren • Institutionalisierung interdisziplinärer Forschungen
Außeruniversitäre Kooperationspartner			
Hochschul-übergreifende Forschungskooperationen	**einzelne An-Institute:** + für Technologie-Transfer sehr geeignet + spezifische Ausrichtung möglich	**Institute der Forschungsgemeinschaften:** + breites Forschungsspektrum + gute Ausstattung mit Forschungsgeräten + vielfältiges Angebot für wissenschaft. Nachwuchs - keine Gestaltungsvariable der Hochschule	

Abb. 4.7: Organisatorische Gestaltungsmöglichkeiten im Überblick

5 Personal

Das Kapitel „Personal“ erarbeitet quantitative und strukturelle Planungshinweise zur Personalausstattung von Physik-Einrichtungen. Es schließt damit die Analyse der strukturellen Grundlagen ab. Gleichzeitig ist die modellgestützte Personalplanung der erste Schritt zur Ressourcenplanung.

Zunächst werden in Abschnitt 5.1 empirische Daten zum derzeitigen Personalbestand vorgestellt, um quantitative und strukturelle Merkmale des Status quo zu skizzieren. Im Mittelpunkt von Abschnitt 5.2 stehen Personalmodelle, mit denen sich der zukünftige Personalbestand einer zu beplanenden Physik-Einrichtung abschätzen lässt. Die zur Erläuterung der Modellkonzeption generierten Beispieldaten zeigen nicht nur vom Einzelfall losgelöst typische Personalstrukturen, zugleich bilden sie die Basis für die exemplarische Flächenplanung in den nachfolgenden Kapiteln. Abschnitt 5.3 widmet sich mit der Kapazitätsermittlung dem Zusammenhang zwischen Personalausstattung und Zahl der Studienplätze.

Auf den ersten Blick erscheint die detaillierte Modellierung der den einzelnen Forschungsgruppen, den Instituten und dem Fachbereich zuzuordnenden Personalstellen den aktuellen Reformen der Hochschulfinanzierung zu widersprechen. An die Stelle verbindlich vorgegebener Stellenpläne treten zunehmend Globalhaushalte mit einer eigenverantwortlichen Ressourcenbewirtschaftung durch Hochschulen und Fachbereiche. Daneben nimmt die Bedeutung von Drittmitteln als Finanzierungsquelle zu. Dies ermöglicht eine Flexibilisierung des Personaleinsatzes und lässt die Trennung zwischen aus Haushalts- und aus Drittmitteln finanzierten Beschäftigten zunehmend obsolet werden. Eine effiziente Verwendung der zur Verfügung stehenden Finanzmittel ist jedoch nicht ohne längerfristige Planung des Mittelbedarfs möglich. Auch wenn die Trennung zwischen Sach- und Personalmitteln ihre Bedeutung verlieren wird, wird das Personal auch in Zukunft den größten Teil der Finanzmittel binden. Vor diesem Hintergrund eignen sich Personalmodelle auch als Instrument zur eigenverantwortlichen Personalplanung durch Fachbereiche und Hochschulen. Dabei dienen sie nicht nur der Abschätzung des längerfristigen Mittelbedarfs, sondern auch zum quantitativen Personalmanagement. Dies setzt freilich voraus, dass die Stellenzuordnungen zu den einzelnen Teileinheiten nicht als Besitzstände, sondern als flexible Planzahlen verstanden werden, die sich bei Bedarf an veränderte Rahmenbedingungen und Zielsetzungen anpassen lassen.

5.1 Personalbestand

Im Jahr 2001 wurde eine schriftliche Befragung zu Personal, Drittmitteln, Hauptnutzfläche und organisatorischen Änderungen der 58 Hochschulen mit Physik-Einrichtungen durchgeführt, die einen grundständigen Physik-Studiengang anbieten. Im Folgenden werden einige Auswertungen zum Personalbestand im Wintersemester 2000/2001 vorgestellt. In Verbindung mit den in zahlreichen Besichtigungen einzelner Forschungsgruppen und Institute erfragten Daten und Trends zu Personalausstattung und -struktur bilden sie empirische Basis für die nachfolgenden Personalmodelle.

Einen ersten Eindruck von den personellen Kapazitäten der Physik und ihrer Inanspruchnahme durch Studierende gibt Abbildung 5.1 auf der folgenden Seite. Die Gegenüberstellung der Personalbestände und der Studierendenzahlen (vgl. zu letzteren KFP 2001) zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern. Dabei korrelieren die Unterschiede bei den Betreuungsrelationen stark mit der Gesamtzahl der in dem jeweiligen Bundesland eingeschriebenen Physik-Studierenden. Besonders günstige Betreuungsrelationen ergeben sich bei niedrigen Studierendenzahlen. Dies gilt nicht nur im Vergleich zwischen den Bundesländern, sondern auch in Bezug auf die einzelnen Hochschulen.

	Haushaltsstellen für		Studierende im WS 00/01	Studierende je		
	Professoren	wiss. Mitarb.		Professor	Lehrender	Hochschule
Baden-Württemberg	173	349,5	3.484	20,1	6,7	498
Bayern	200	397,5	3.087	15,4	5,2	441
Berlin	76	179	1.405	18,5	5,5	468
Brandenburg	20	58,2	230	11,5	2,9	115
Bremen	19	25	304	16,0	6,9	304
Hamburg	42	65,5	826	19,7	7,7	826
Hessen	97	208	1.620	16,7	5,3	324
Mecklenburg-Vorpommern	25	52,5	279	11,2	3,6	140
Niedersachsen	98	209	2.271	23,2	7,4	379
Nordrhein-Westfalen	277	517,5	8.019	28,9	10,1	617
Rheinland-Pfalz	58	100,5	954	16,4	6,0	477
Saarland	12	35,3	278	23,2	5,9	278
Sachsen	66	127	733	11,1	3,8	244
Sachsen-Anhalt	27	86,5	191	7,1	1,7	96
Schleswig-Holstein	15	37	370	24,7	7,1	370
Thüringen	32	78	435	13,6	4,0	218
Deutschland insgesamt	**1.237**	**2.526**	**24.486**	**19,8**	**6,6**	**430**

Abb. 5.1: Lehrende und Studierende der Physik im Vergleich (Stand: WS 2000/2001)

Abbildung 5.2 zeigt den Gesamtpersonalbestand der 58 betrachteten Physik-Einrichtungen differenziert nach Beschäftigtengruppen. Für das Haushaltspersonal erlauben die vorliegenden Daten eine Gegenüberstellung der beschäftigten Personen und Stellen. Beim Drittmittelpersonal können nur die beschäftigten Personen ausgewiesen werden.

	Haushaltspersonal			Drittmittel-Beschäftigte	Beschäftigte insgesamt
	Beschäftigte	Stellen	Besetzungs-relation		
Professoren (C4, C3)	1.146	1.237	92,6 %	4	1.150
Wiss. Mitarb. (Dauer)	985	979	100,6 %	16	1.001
Wiss. Mitarb. (Zeit)	1.761	1.547	113,8 %	3.028	4.789
Technische Mitarbeiter	2.577	2.550	101,1 %	169	2.746
Verwaltungsmitarbeiter	924	803	115,1 %	35	959
Summe:	**7.393**	**7.116**	**103,9 %**	**3.252**	**10.645**

Abb. 5.2: Personalbestand insgesamt (Stand: WS 2000/2001)

Es wird deutlich, dass die größte Beschäftigtengruppe die wissenschaftlichen Mitarbeiter auf Zeitstellen sind, wovon wiederum der größte Teil aus Drittmitteln finanziert wird. Dabei werden die Haushalts-Zeitstellen vielfach an promovierte Nachwuchswissenschaftler vergeben, die so die Möglichkeit zur Habilitation erhalten, während Doktorandenstellen überwiegend aus Drittmitteln finanziert werden. Die zweitgrößte Beschäftigtengruppe der Physik-Einrichtungen sind die technischen Mitarbeiter, wozu in erster Linie die Mitarbeiter der Mechanik- und Elektronikwerkstätten, aber auch die den Forschungsgruppen zugeordneten technischen Mitarbeiter gehören.

Für die Professoren zeigt die Gegenüberstellung von Beschäftigten und Stellen, dass 91 Haushaltsstellen bzw. 7,4 % unbesetzt sind. Diese Quote beruht auf der Fluktuation und der Dauer der vor der Wiederbesetzung durchzuführenden Berufungsverfahren. Die Besetzungsrelationen bei wissenschaftlichen Mitarbeitern auf Zeitstellen und bei Verwaltungsmitarbeitern von 115 % deuten darauf hin, dass ein Teil der Personen nur Teilzeitstellen besetzt. In der Physik ist es – wie in an-

deren Hochschulbereichen – weit verbreitet, dass Doktoranden nur auf BAT-IIa-Teilzeitstellen beschäftigt werden. Allerdings erhalten Doktoranden aufgrund des inzwischen auch für Physiker lukrativen außeruniversitären Arbeitsmarktes zunehmend BAT-IIa-Vollzeit-Verträge.

Die zukünftige Entwicklung der Personalausstattung wird voraussichtlich durch Stelleneinsparungen geprägt werden, von denen mit wenigen Ausnahmen alle Physik-Einrichtungen in Deutschland betroffen sind. Einen ersten Eindruck vom Umfang der Stelleneinsparungen gibt der Vergleich der in 32 Fällen vorliegenden Ist- und Soll-Stellenzahlen. Danach sind an den Physik-Einrichtungen durchschnittlich 4,3 % der Professorenstellen, 0,9 % der Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter und 2,2 % der Stellen für nicht wissenschaftliche Mitarbeiter einzusparen.

Aus den Gesamtzahlen lässt sich die durchschnittliche Personalausstattung einer Physik-Einrichtung berechnen, die in Abbildung 5.3 dargestellt wird. Danach gehören zu einer Physik-Einrichtung im Durchschnitt 21 Professorenstellen, wovon 20 besetzt sind, 44 Haushaltsstellen für wissenschaftliche und 58 für nicht wissenschaftliche Mitarbeiter. Zusätzlich werden 52 wissenschaftliche und 4 nicht wissenschaftliche Mitarbeiter aus Drittmitteln finanziert.

	Haushaltspersonal		Drittmittel-Beschäftigte	Beschäftigte insgesamt
	Beschäftigte	Stellen		
Professoren (C4, C3)	20	21	0	20
Wiss. Mitarbeiter (Dauer)	17	17	0	17
Wiss. Mitarbeiter (Zeit)	30	27	52	82
Technische Mitarbeiter	44	44	3	47
Verwaltungsmitarbeiter	16	14	1	17
Summe:	**127**	**123**	**56**	**183**

Abb. 5.3: Durchschnittliche Personalausstattung (Stand: WS 2000/2001)

Hinter den auf ganze Zahlen gerundeten Durchschnittswerten verbergen sich erhebliche Größenunterschiede. So sind der kleinsten Physik-Einrichtung beispielsweise 6 Professorenstellen, der größten 47 zugeordnet. Abbildung 5.4 gibt anhand der Zahl der Professorenstellen einen Überblick über die Größenverteilung der Physik-Einrichtungen in Deutschland.

Zahl der Professoren-Stellen	≤ 10	11 – 15	16 – 20	21 – 25	26 – 30	31 – 35	≥ 36
Zahl der Physik-Einrichtungen	4	15	15	9	6	5	4
davon in Ostdeutschland	2	3	2	3	1	-	-
davon in Westdeutschland	2	12	13	6	5	5	4

Abb. 5.4: Größenunterschiede gemessen an der Zahl der Professuren

Man erkennt, dass die 11 ostdeutschen Physik-Einrichtungen (einschließlich Humboldt-Universität Berlin) tendenziell kleiner sind als die 47 westdeutschen (einschließlich Freie und Technische Universität Berlin). Durchschnittlich gehören zu einer ostdeutschen Physik-Einrichtung 17 Professorenstellen, zu einer westdeutschen dagegen 22. Ein ähnliches Bild zeigen die Gesamtzahlen der Beschäftigten, die für Ostdeutschland durchschnittlich 152 und für Westdeutschland 191 betragen.

Die Zahl der aus Haushaltsmitteln finanzierten Professorenstellen ist eine zweckmäßige Basis zur Personalplanung. Aus ihr lassen sich die Zahlen der übrigen Beschäftigtengruppen mit Hilfe von Personalrelationen hochrechnen. Abbildung 5.5 zeigt dazu die aus den Angaben der Physik-Einrichtungen empirisch ermittelten Personalrelationen. Dabei berücksichtigen die arithmetischen Mittelwerte nicht nur die Personalrelationen der einzelnen Physik-Einrichtungen, sondern auch ihren jeweiligen Anteil an der Gesamtzahl der Professoren. Der Quartilsabstand gibt die Bandbreite für

die mittleren 50% der Fälle der gemeldeten Personalrelationen an. Die Fallzahl ist teilweise niedriger als 58, da in einigen Fällen einzelne Angaben fehlen. Ergänzend enthalten die beiden Spalten auf der rechten Seiten die getrennt berechneten Mittelwerte für die 11 ostdeutschen Physik-Einrichtungen einschließlich der HU Berlin und der 47 westdeutschen Physik-Einrichtungen einschließlich der FU und der TU Berlin.

	Deutschland insgesamt:			gewichtetes arithmetisches Mittel	
	gewichtetes arithm. Mittel	Quartilsabstand (mittlere 50%)	Fall-zahl	Ost-deutschland	West-deutschland
Wiss. Mitarb. auf HH-Stellen/ Professorenstelle	2,04	1,67 - 2,37	58	2,34	1,99
Wiss. Mitarb. auf HH-Dauerstellen/ Professorenstelle	0,79	0,60 - 0,96	58	1,00	0,76
Wiss. Mitarb. auf HH-Zeitstellen/ Professorenstelle	1,25	1,00 - 1,50	58	1,34	1,23
Wiss. Mitarb. auf DM-Stellen/ Professorenstelle	2,46	1,80 - 3,00	57	2,62	2,43
Techn. Mitarb. auf HH- und DM-Stellen/ Professorenstelle	2,03	1,46 - 2,60	56	1,98	2,04
Techn. Mitarb. auf HH- und DM-Stellen/ Wissenschaftler auf HH- und DM-Stellen	0,37	0,26 - 0,52	54	0,33	0,38
Verw.-Mitarb. auf HH- und DM-Stellen/ Professorenstelle	0,63	0,47 - 0,74	55	0,43	0,66

Abb. 5.5: Empirische Personalrelationen (Stand: WS 2000/2001)

Im Durchschnitt arbeiten für einen Physik-Professor 2 wissenschaftliche Mitarbeiter auf Haushalts- und 2,5 auf Drittmittelstellen. Das Verhältnis von Dauer- zu Zeitstellen beträgt ca. 2 zu 3. Hinter den Durchschnittswerten verbergen sich allerdings deutliche hochschulspezifische Unterschiede, was an den Variationsbreiten zu erkennen ist. Der Vergleich der Mittelwerte zeigt, dass die Professuren in Ostdeutschland mit deutlich mehr Haushaltsstellen für wissenschaftliche Mitarbeiter ausgestattet sind und mehr Drittmittelkräfte beschäftigen als in Westdeutschland. Dagegen entsprechen sich die Zahlen der technischen Mitarbeiter je Professur weitgehend.

5.2 Personalmodelle

Personalmodelle beschreiben die quantitative Personalausstattung und die qualitative Personalstruktur fachlicher Hochschuleinrichtungen sowie ihrer organisatorischen Teileinheiten. Im Rahmen der Ressourcenplanung bilden sie die Grundlage für die Ermittlung des Raum- und Flächenbedarfs. Darüber hinaus eignen sich Personalmodelle als Instrument der dezentralen Personalplanung durch Fachbereiche und Hochschulen.

Im Folgenden werden die Bausteine und Konstruktionsprinzipien eines Personalmodells anhand alternativer Beispiele vorgeführt. Dabei werden exemplarisch mehrere Physik-Einrichtungen modelliert, deren Profile in Lehre, Forschung und Organisation sich grundlegend unterscheiden. Abbildung 5.6 auf der folgenden Seite gibt dazu einen Überblick. In Modell 0 ist das Mengengerüst an wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Beschäftigten zusammengestellt, dass sich aus dem Mindestbedarf an Lehrkräften ergibt, die zur Ausrichtung eines Diplom- und eines Lehramts-Studienganges Physik benötigt werden. Typischerweise müssen Physik-Einrichtungen in erheblichem Umfang Studierende anderer Studiengänge ausbilden („Lehrexporte“). In Modell 1 wird daher innerhalb der Basisausstattung auch der Lehrkräftebedarf für Lehrexporte berücksichtigt. Modell 2 erweitert die Basisausstattung soweit, dass die Bildung von zwei Forschungsschwerpunkten möglich wird. Die Modelle 3, 4, und 5 veranschaulichen alternative Profilierungen des Forschungsspektrums.

	Modell 0	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5
Charakterisierung	Mindestbedarf ohne Lehrexport	Basisausstattung mit Lehrexport	erweiterte Basis-ausstattung	gemischtes Forschungsprofil	experimentelles Forschungsprofil	theoretisches Forschungsprofil
Organisation	Department	Department	2 Institute	3 Institute	3 Institute	2 Institute
Professuren	**8**	**12**	**18**	**24**	**24**	**24**
davon exp. apparatebezogen	2	3	6	7	9	6
exp. probenbezogen	3	4	6	8	9	6
theoretisch-deduktiv	2	3	4	7	4	8
computerbezogen	1	1	1	1	1	1
naturbeobachtend	–	–	–	–	–	2
Fachdidaktik	–	1	1	1	1	1
wissenschaftl. Mitarbeiter	**55 – 73**	**75 – 100**	**114 – 151**	**153 – 203**	**157 – 207**	**151 – 202**
davon auf HH-Dauerstellen	8	8	12	16	17	15
auf HH-Zeitstellen	17	24	36	49	49	50
auf DM-Stellen	22 – 40	31 – 56	48 – 85	64 – 114	67 – 117	62 – 113
nicht wiss. Mitarbeiter	**18 – 21**	**25 – 29**	**42 – 50**	**52 – 62**	**57 – 69**	**47 – 55**
davon technische Mitarbeiter	12 – 15	17 – 21	29 – 37	36 – 46	41 – 53	31 – 39
Verwaltungsmitarb.	6	8	13	16	16	16
Beschäftigte insgesamt	**73 – 94**	**100 – 129**	**156 – 201**	**205 – 265**	**214 – 276**	**198 – 257**

Abb. 5.6: Personalmodelle im Überblick

Die vorgestellten Personalmodelle können nur eine begrenzte Auswahl aus dem Spektrum unterschiedlicher Physik-Einrichtungen abdecken und sind gegebenenfalls um weitere Modelle zu ergänzen. Die ermittelten Personalzahlen illustrieren lediglich exemplarisch verschiedene Größenordnungen und Personalstrukturen und dienen in den folgenden Kapiteln als Mengengerüst der Flächenplanung. Keinesfalls verstehen sie sich als Empfehlungen zur Personalausstattung, da jede konkrete Personalplanung den Besonderheiten des Einzelfalles Rechnung tragen muss.

5.2.1 Grundlagen

Konzeption

Personalmodelle entstehen durch die Zuordnung von Stellen für die verschiedenen Beschäftigtengruppen zu den verschiedenen Organisationseinheiten bzw. Organisationsebenen.

Als Beschäftigtengruppen sind Hochschullehrer, wissenschaftliche Mitarbeiter auf Haushaltsdauerstellen, auf Haushaltszeitstellen und in Drittmittelprojekten sowie nicht wissenschaftliche Mitarbeiter mit technischen und mit Verwaltungsaufgaben zu differenzieren. Die Unterscheidung befristet beschäftigter wissenschaftlicher Mitarbeiter danach, ob sie aus Haushaltsmitteln oder aus Drittmitteln finanziert werden, mag in Zukunft ihre Bedeutung verlieren. Derzeit ist sie noch üblich und wird daher in den Personalmodellen berücksichtigt. Zusätzlich sind für Physik-Einrichtungen Diplomanden einzuplanen. Obwohl sie in der Regel nicht in einem Arbeitsverhältnis mit der Hochschule stehen, benötigen sie während der einjährigen Bearbeitung ihrer Diplomarbeit einen Arbeitsplatz. Studentische Hilfskräfte werden in der Physik nur in Ausnahmefällen beschäftigt.

Neben Stellen können auch Beschäftigungsverhältnisse, d. h. die Zahl der beschäftigten Personen, Elemente eines Personalmodells sein. Zur Umrechnung dienen Teilzeitfaktoren oder Besetzungsrelationen, die die durchschnittliche Zahl der Beschäftigten pro Stelle angeben. Als Grundlage für die Abschätzung des Personalmittelbedarfs ist der Ausweis von Vollzeitäquivalenten sinnvoll. Die Bedarfsplanung benötigt dagegen Informationen über die bereitzustellenden Arbeitsplätze.

Die für Hochschullehrer und wissenschaftliche Mitarbeiter auf Dauerstellen benötigten Arbeitsplätze entsprechen im Wesentlichen der Zahl der Stellen. Bei wissenschaftlichen Mitarbeitern auf Zeitstellen ist mit Beschäftigungsverhältnissen zu planen, da auch teilzeitbeschäftigte Doktoranden ganze Arbeitsplätze einnehmen. Der Teilzeitfaktor für Doktoranden und damit die Vollzeitäquivalente schwanken stark in Abhängigkeit von der Entwicklung des externen Arbeitsmarktes. Dagegen lässt sich die Zahl der Beschäftigungsverhältnisse von Doktoranden auf Basis der zu erwartenden Absolventenzahlen und der durchschnittlichen Promotionsquote abschätzen (vgl. Abbildung 5.16).

Bausteine

Ausgangspunkt für die Planung der Forschungsgruppen sind die Stellen für Hochschullehrer, deren Zahl die wichtigste Determinante für die Größe der Physik-Einrichtung und ihrer Lehrkapazität darstellt. Die inhaltliche Widmung der Professuren bestimmt das Forschungsprofil der Einrichtung sowie die Arbeitsweise der in den Forschungsgruppen tätigen wissenschaftlichen Mitarbeiter.

In Abbildung 5.7 sind die Personalrelationen zusammengestellt, mit denen in den folgenden Personalmodellen das unmittelbar in den Forschungsgruppen tätigte Personal geplant wird. Dabei handelt es sich um Durchschnittswerte, die durch Auswertung von Einzelfällen unter Berücksichtigung der empirischen Personalrelationen aus Abbildung 5.5 ermittelt wurden.

Forschungsgruppe	Hochschul-lehrer	wissenschaftliche Mitarbeiter			Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarbeiter	
		HH-Dauer	HH-Zeit	Drittmittel		Technik	Verwaltung
exp. apparatebez. FG	1	0 - 1	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
exp. probenbez. FG	1	0 - 1	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
theo.- deduktive FG	1	0 - 1	2	2 - 4	2 - 4		0,5
computerbez. FG	1	0 - 1	2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
naturbeobachtende FG	1	0 - 1	2	2 - 4	2 - 4	0,5	0,5
Nachwuchsgruppe	(0)		1	1 - 2	1 - 2		
Fachdidaktik	(1)	1		0 - 1	2 - 4		0,5

Abb. 5.7: Personalstruktur der Forschungsgruppen

Experimentelle Forschungsgruppen besitzen tendenziell einen höheren Personalbedarf als die übrigen Gruppen, denen daher hier weniger Drittmittelstellen und Diplomandenarbeitsplätze zugeordnet werden. Bei den Nachwuchsgruppen handelt es sich zurzeit überwiegend um von C1- oder C2-Stelleninhabern geleitete Arbeitsgruppen, in Zukunft werden ihre die Forschungsgruppen für die neu einzurichtenden W1-Stellen der Juniorprofessoren treten. Zur Durchführung der Lehramtsstudiengänge wird in vielen Fällen eine zusätzliche Didaktik-Professur benötigt. In Ausnahmefällen obliegt die Betreuung der Lehramts-Studiengänge nur einem wissenschaftlichen Mitarbeiter auf einer Haushaltsdauerstelle.

Auf der Ebene des Fachbereichs und gegebenenfalls der Institute sind wissenschaftliche Haushaltsdauerstellen für besondere Funktionen einzuplanen. Dazu gehören beispielsweise die Betreuung gemeinsamer Einrichtungen und eventuell vorhandener Großgeräte, die Organisation der Grundlagenpraktika, die Betreuung des experimentellen Hörsaals, die gemeinsame EDV-Betreuung sowie die Fachbereichs- bzw. Institutsverwaltung. Darüber hinaus sind wissenschaftliche Mitarbeiter auf Haushaltsdauerstellen auch einzelnen Forschungsgruppen zugeordnet. In den nachfolgenden Personalmodellen werden solche Zuordnungen exemplarisch beschrieben.

Generelle Aussagen lassen sich jedoch nur in Bezug auf die Gesamtzahl der dem Fachbereich zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Haushaltsdauerstellen machen. Gemäß Abbildung 5.5 besitzen die Physik-Einrichtungen derzeit durchschnittlich 0,8 wissenschaftliche Haushaltsdauer-

stellen je Professur. Allerdings werden zunehmend Dauerstellen in Zeitstellen umgewandelt, um langfristig eine größere personelle und inhaltliche Flexibilität zu erhalten. Dagegen wird von Fachvertretern eingewendet, dass wissenschaftliche Dauerstellen erforderlich seien, um die langfristige Betreuung komplexer Großgeräte sicherzustellen. Die Umwandlung von Dauer- in Zeitstellen werde demnach an eine Untergrenze stoßen. Die nachfolgenden Personalmodelle spiegeln diese Beobachtungen wider, indem pro Professur zwischen 0,6 und 0,7 Haushaltsdauerstellen eingeplant werden.

Technikerstellen sind auf Fachbereichsebene für die Mechanikwerkstatt, die Heliumverflüssigung und die Betreuung des experimentellen Hörsaals und der Praktika einzuplanen. Grundlage für die verwendete Personalrelation von 0,10 bis 0,15 Mechanikerstellen je experimentellem Wissenschaftler bildet die Untersuchung von Vogel/Scholz (1997, S. 40). Die Umrechnung der dort empfohlenen 10 bis 15 Physiker je Werkstattbeschäftigten unterstellt ein durchschnittliches Verhältnis der experimentellen zu den theoretischen Physikern von 2 zu 1 (vgl. dazu Abschnitt 2.2.2).

5.2.2 Personalmodelle für unterschiedliche Basisausstattungen

Eine wesentliche Determinante der Personalausstattung fachlicher Hochschuleinrichtungen ist der Bedarf an Lehrkräften. Dieser Bedarf kann mit unterschiedlichen Verfahren aus der Zahl der Studienplätze ermittelt werden. Dahinter steht die Annahme eines proportionalen Zusammenhangs zwischen der Zahl der auszubildenden Studierenden und den benötigten Lehrkräften, wie er beispielsweise in der Kapazitätsverordnung mit Hilfe von Curricularnormwerten (vgl. Abschnitt 5.3.2) oder den Personalrichtwerten des Wissenschaftsrates (1990, S. 10f.) modelliert wird.

Diesen Ansätzen wird hier das Konzept der **Basisausstattung** zur Seite gestellt. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, welche Personalausstattung unabhängig von der Zahl der Studierenden erforderlich ist, um den Lehr- und Forschungsbetrieb einer Physik-Einrichtung aufrecht zu halten. Mit der gleichen Leitfrage definiert der Wissenschaftsrat (1990, S. 14ff.) die fachspezifische personelle Grundausstattung. Allerdings lässt sich Basisausstattung nicht allgemeingültig quantifizieren, da sie sich aus mehreren, standortabhängigen Komponenten zusammensetzt.

Eine wesentliche Komponente der Basisausstattung ist der **Mindestbedarf** an Lehrkräften, der erforderlich ist, um einen grundständigen Physik-Studiengang sowie einen Lehramtsstudiengang anbieten zu können. Abbildung 5.8 beschreibt einen Versuch zur Quantifizierung dieser Mindestausstattung. Grundlage dazu bilden die in Abschnitt 3.3.4 erarbeiteten Studienstruktur-Modelle (vgl. die Abbildungen 3.16 und 3.17). Diese beschreiben typische Studienpläne für die Studiengänge Diplom-Physik und Lehramt an Gymnasien. Im Einzelfall können ortsspezifische Studienpläne von dem hier zugrunde gelegten Deputatsstundenbedarf deutlich abweichen. Kerngedanke der Rechnung ist, dass verpflichtend zu besuchende Lehrveranstaltungen unabhängig von der Zahl der Studierenden pro Studienjahr einmal durchzuführen sind. Um ein Minimum an Wahlmöglichkeiten zu schaffen, werden annahmegemäß vier Studienschwerpunkte bzw. -richtungen mit ihren Wahlpflichtfächern parallel angeboten. Lehrveranstaltungen anderer Fachbereiche für Physik-Studierende („Lehrimporte“) werden nicht berücksichtigt. Für die Grundlagenpraktika wird ein Betreuungsverhältnis von 1 zu 12 unterstellt, sodass für 100 Studienanfänger 8 Betreuer benötigt werden. Bei einer Schwundquote von 55 % (vgl. Abschnitt 3.2.3) und einer Betreuungsquote von 1 zu 8 sind im Fortgeschrittenpraktikum 7 Betreuer erforderlich.

Zur Berechnung des Bedarfs an Lehrpersonal wird angenommen, dass Hochschullehrer Vorlesungen und Seminare im Umfang von 14 SWS pro Studienjahr durchführen können. Mit der Reduzierung des Deputats von 16 auf 14 SWS wird insbesondere die Betreuung von Diplomarbeiten berücksichtigt. Wissenschaftliche Mitarbeiter können für Übungen und Praktika im Umfang von 16 SWS auf Dauerstellen bzw. 8 SWS auf Zeitstellen eingesetzt werden.

Vorlesungen und Seminare	
Grundstudium	25 SWS
Hauptstudium (Pflicht)	20 SWS
Studienschwerpunkte (4 x 14 SWS)	56 SWS
Bedarf an Deputatsstunden Hochschullehrer	101 SWS
dividiert durch 14 SWS pro Prof.	
= Bedarf an Hochschullehrern:	**7,2 Stellen**

Fachdidaktik	
Vorlesungen und Seminare	5 SWS
Praktika	4 SWS
Gesamtbedarf Deputatstunden	9 SWS
dividiert durch 16 bzw. 14	
= Bedarf an Lehrpersonal	0,6 – 0,7 Stellen

Übungen und Praktika	
Übungen Grundstudium (2 x 13 SWS)	26 SWS
Grundlagenpraktikum (8 x 11 SWS)	88 SWS
Übungen Hauptstudium (Pflicht)	8 SWS
Fortgeschrittenenpraktikum (7 x 15 SWS)	105 SWS
Studienschwerpunkte (4 x 4 SWS)	16 SWS
Bedarf an Deputatsstunden wiss. Mitarbeiter	243 SWS
dividiert durch 16 bzw. 8 SWS pro Mitarbeiter	
= Bedarf an wiss. Mitarbeitern	
nur mit Dauerverträgen	minimal 15 Stellen
oder	
nur mit Zeitverträgen	maximal 30 Stellen

Abb. 5.8: Mindestbedarf an Lehrkräften für Physik-Studiengänge

Abbildung 5.9 entwickelt aus dem **Mindestbedarf** von 7,2 Hochschullehrern **Personalmodell 0** mit 8 Professuren, um einen Anhaltspunkt für die Untergrenze der Basisausstattung zu erhalten. Entsprechend der durchschnittlichen Relation der experimentellen zu den theoretischen Professuren von 2 zu 1 (vgl. Abschnitt 2.2.2) werden fünf Forschungsgruppen den experimentellen, zwei der theoretisch-deduktiven und eine der computerbezogenen Arbeitsweise zugeordnet. Für die Fachdidaktik wird eine Haushaltsdauerstelle für einen wissenschaftlichen Mitarbeiter angesetzt.

Organisationseinheiten		Prof.	wissenschaftliche Mitarbeiter HH Dauer	HH Zeit	Drittmittel	Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarb. Technik	Verw.
Forschungsgruppen	exp. apparatebez. FG I	1	1	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	exp. probenbez. FG I	1	2	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	theo.-deduktive FG I	1	1	2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	computerbezogene FG	1		2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	Fachdidaktik		1		0 - 1	1 - 2		
	Summen:	8	5	17	22 - 40	23 - 41	6	4
Fachbereichsebene	Gem. Forschungseinricht.		1				1	
	Praktikum / Studienber.		1				1	
	experimenteller Hörsaal							
	Dekanat		1					1
	Studien- / Prüfungsverw.							1
	Mechanik-Werkstatt						4 - 7	
	Helium-Rückgewinnung						1	
	Summen:		3				6 - 9	2
Summen Fachbereich	Beschäftigtengruppen	8	8	17	22 - 40	23 - 41	12 - 15	6
	Wissenschaftler		55 –	73				
	davon experimentell		36 –	47				
	davon theoretisch		18 –	24				
	Nicht wiss. Mitarbeiter						18 –	21
	Beschäftigte insgesamt				73	——	94	

Abb. 5.9: Personalmodell 0 „Mindestbedarf ohne Lehrexport“

Die Zahlen der wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Mitarbeiter werden aus den in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Bausteinen zusammengesetzt. Mit den eingeplanten Stellen wird der in Abbildung 5.8 errechnete Mindestbedarf an Deputatsstunden abgedeckt. Da kein Lehrexport berücksichtigt wird, fehlt eine wesentliche Komponente der Basisausstattung einer Physik-Einrichtung. Personalmodell 0 besitzt daher nur hypothetischen Charakter.

Der aus **Lehrexporten** resultierende Ressourcenbedarf spielt für Physik-Einrichtungen eine wichtige Rolle. Im **Personalmodell 1** wird daher zusätzlich zum Mindestbedarf für die Physik-Studiengänge der Lehrkräftebedarf berücksichtigt, der sich aus den Physik-Veranstaltungen für Studierende der drei Fächergruppen Natur- und Geowissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Medizin/ Pharmazie ergibt. Sofern für jede Fächergruppe drei 4-stündige Veranstaltungen angeboten werden (vgl. Abschnitt 3.3.6), ist in jedem Studienjahr ein Hochschullehrerdeputat von 36 SWS erforderlich. Bei einem Lehrdeputat von 14 SWS pro Studienjahr entspricht dies drei zusätzlichen Professuren, wovon zwei den experimentellen und eine der theoretisch-deduktiven Arbeitsweise zugeordnet werden. Da zudem die Fachdidaktikgruppe mit einer Hochschullehrerstelle ausgestattet wird, ergeben sich für das Personalmodell 1 in Abbildung 5.10 insgesamt 12 Professuren.

Auch dieses Modell basiert auf den in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Personalrelationen. Die daraus resultierenden Stellen für Hochschullehrer und wissenschaftliche Mitarbeiter ermöglichen, gemäß der in Abschnitt 5.3.3 ermittelten Kapazität, die Betreuung von 250 Nebenfachstudierenden in besonderen Übungen und Praktika.

Organisationseinheiten		Prof.	wissenschaftliche Mitarbeiter HH Dauer	HH Zeit	Drittmittel	Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarb. Technik	Verw.
Forschungsgruppen	exp. apparatebez. FG I	1	1	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	exp. probenbez. FG I	1	2	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	theo.-deduktive FG I	1	1	2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG III	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	computerbezogene FG	1		2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Fachdidaktik	1	1		0 - 1	2 - 4		0,5
	Summen:	12	5	24	31 - 56	33 - 59	8	6
Fachbereichsebene	Gem. Forschungseinricht.		1				1	
	Praktikum / Studienber.		1				1	
	experimenteller Hörsaal						1	
	Dekanat		1					1
	Studien- / Prüfungsverw.							1
	Mechanik-Werkstatt						5 - 9	
	Helium-Rückgewinnung						1	
	Summen:		3				9 - 13	2
Summen Fachbereich	Beschäftigtengruppen	12	8	24	31 - 56	33 - 59	17 - 21	8
	Wissenschaftler		75 – 100					
	davon experimentell		48 – 63					
	davon theoretisch		27 – 37					
	Nicht wiss. Mitarbeiter						25 – 29	
	Beschäftigte insgesamt				100	——	129	

Abb. 5.10: Personalmodell 1 „Basisausstattung mit Lehrexport in drei Fächergruppen“

Da Lehre und Forschung gleichberechtigte Aufgaben wissenschaftlicher Hochschuleinrichtungen sind, darf sich die Personalplanung nicht ausschließlich am Personalbedarf der Lehre ausrichten (vgl. Wissenschaftsrat 1990). Dies gilt in besonderer Weise für die Physik mit ihrer intensiven Grundlagenforschung. Eine forschungsbezogene Personalplanung baut auf der kritischen Masse an Forschungsrichtungen auf, die erforderlich ist, um neben dem Minimum an fachlicher Breite Forschungsschwerpunkte bilden zu können (vgl. Abschnitt 2.1.3). Das in Abbildung 5.11 vorgestellte **Personalmodell 2** erweitert daher die Basisausstattung um eine forschungsbezogene Komponente. Da sich der Personalbedarf zur Bildung von Forschungsschwerpunkten einer generellen Quantifizierung entzieht, wird die an der Lehre orientierte Basisausstattung aus Personalmodell 1 exemplarisch um sechs auf 18 Professuren vergrößert.

Organisationseinheiten		Prof.	wissenschaftliche Mitarbeiter HH Dauer	HH Zeit	Drittmittel	Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarb. Technik	Verw.
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I	1	2	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG I	1	1	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Gem. Forscheinricht.		2				2	
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							1
	Summen:	12	6	25	37 - 62	37 - 62	15	7
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	1	1	2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG III	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG IV	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	computerbezogene FG	1		2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	Nachwuchsgruppe I			1	1 - 2	1 - 2		
	Fachdidaktik	1	1		0 - 1	2 - 4		0,5
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							1
	Summen:	6	3	11	11 - 23	13 - 26	2	4
Fachbereichsebene	Großgerät(e)		1				1	
	Praktikum / Studienber.		1				1	
	experimenteller Hörsaal						1	
	Dekanat		1					1
	Studien- / Prüfungsverw.							1
	Mechanik-Werkstatt						8 - 16	
	Helium-Rückgewinnung						1	
	Summen:		3				12 - 20	2
Summen Fachbereich	Beschäftigtengruppen	18	12	36	48 - 85	50 - 88	29 - 37	13
	Wissenschaftler		114 – 151					
	davon experimentell		81 – 106					
	davon theoretisch		32 – 44					
	Nicht wiss. Mitarbeiter						42 – 50	
	Beschäftigte insgesamt				156	——	201	

Abb. 5.11: Personalmodell 2 „erweiterte Basisausstattung“

Ein Fachbereich mit 18 Professuren lässt sich nicht mehr mit einer reinen Departmentstruktur koordinieren. Personalmodell 2 wird daher in Institute untergliedert, innerhalb derer allerdings die Departmentmerkmale umgesetzt werden sollten (vgl. Abschnitt 4.2.3). Dies führt zu einem zusätzlichen Bedarf von einer jeweils halben Dauerstelle für den Institutsgeschäftsführer und das Institutssekretariat. Zudem werden die gemeinsamen Einrichtungen der probenbezogenen Forschungsgruppen dem Institut für experimentelle Physik zugeordnet.

5.2.3 Personalmodelle für alternative Forschungsprofile

Nicht nur beim Flächen-, sondern auch beim Personalbedarf ergeben sich markante Unterschiede zwischen theoretischen und experimentellen Forschungsgruppen. Diese ergeben sich daraus, dass experimentelle Forschungsgruppen tendenziell größer als theoretische sind. Darüber hinaus benötigen experimentelle Physiker erheblich mehr technische Dienstleistungen (vgl. Abschnitt 4.2.4). Diese Unterschiede schlagen sich deutlich in der Personalstruktur der Physik-Einrichtung nieder, da das Verhältnis zwischen theoretischen und experimentellen Professuren verschiedener Physik-Einrichtungen eine große Bandbreite aufweist (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Die Personalmodelle 3, 4 und 5 illustrieren diese Effekte, indem sie dem gemischten Forschungsprofil in Abbildung 5.12 ein betont experimentelles Forschungsspektrum in Abbildung 5.13 und ein betont theoretisches in Abbildung 5.14 gegenüberstellen. Die Größenordnung von 24 Professuren ist dabei so gewählt, dass die Effekte unterschiedlicher Profilierungen deutlich werden, ohne allzu weit von der durchschnittlichen Personalausstattung (vgl. Abbildung 5.3) abzuweichen.

Personalmodell 3 orientiert sich mit seinen 15 experimentellen und 9 theoretischen Professuren an dem durchschnittlich gemischten Forschungsprofil mit einer Relation von 2 zu 1. Die experimentelle Ausrichtung von Personalmodell 4 spiegelt sich in dem Verhältnis von 18 experimentellen zu 6 theoretischen Professuren wider. Im Personalmodell 5 stimmen die Zahlen der experimentellen und der theoretischen Professuren mit jeweils 12 exakt überein, was angesichts der empirisch zu beobachtbaren Relationen (vgl. Abbildung 2.3) eine deutliche Betonung der theoretischen Physik widerspiegelt. Dabei werden die beiden naturbeobachtenden Forschungsgruppen als theoretisch charakterisiert, da ihr Ressourcenbedarf größere Gemeinsamkeiten mit den theoretischen als mit den experimentellen Professuren aufweist.

Im Vergleich zum gemischten Profil in Modell 3 führt die experimentelle Profilierung in **Personalmodell 4** zu einer um ca. 2 % höheren Zahl von Wissenschaftern und zu einer um knapp 9 % höheren Zahl von nicht wissenschaftlichen Mitarbeitern. Bei der Gesamtzahl der Beschäftigten beträgt der Unterschied im Mittel knapp 4 %.

Dagegen resultiert aus der theoretischen Profilierung in **Personalmodell 5** eine um ca. 3% niedrigere Beschäftigtenzahl als in Modell 3. Die Personalausstattung mit nicht wissenschaftlichen Mitarbeitern ist sogar um 10,5 % niedriger. Dagegen wird die geringere Ausstattung der theoretischen Forschungsgruppen mit wissenschaftlichen Mitarbeitern durch eine zusätzliche Nachwuchsgruppe fast vollständig ausgeglichen.

Organisationseinheiten		Prof.	wissenschaftliche Mitarbeiter HH Dauer	HH Zeit	Drittmittel	Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarb. Technik	Verw.
Institut für Experimentelle Physik I	exp. apparatebez. FG I	1	3	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							0,5
	Summen:	7	4	15	22 - 37	22 - 37	8	4
Institut für Experimentelle Physik II	exp. probenbez. FG I	1	2	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VIII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Gem. Forschungseinricht.		2				2	
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							1
	Summen:	8	5	17	25 - 42	25 - 42	11	5
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	1	2	2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG III	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG IV	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG V	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG VI	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG VII	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	computerbezogene FG	1		2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Fachdidaktik	1	1		0 - 1	2 - 4		0,5
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							0,5
	Summen:	9	4	17	17 - 35	19 - 38	2	5
Fachbereichsebene	Großgerät(e)		1				1	
	Praktikum / Studienber.		1				2	
	experimenteller Hörsaal						1	
	Dekanat		1					1
	Studien- / Prüfungsverw.							1
	Mechanik-Werkstatt						10 - 20	
	Helium-Rückgewinnung						1	
	Summen:		3				15 - 25	2
Summen Fachbereich	Beschäftigtengruppen	24	16	49	64 - 114	66 - 117	36 - 46	16
	Wissenschaftler		153 – 203					
	davon experimentell		104 – 136					
	davon theoretisch		48 – 66					
	Nicht wiss. Mitarbeiter						52 – 62	
	Beschäftigte insgesamt				205	—	265	

Abb. 5.12: Personalmodell 3 „gemischtes Forschungsprofil“

Organisationseinheiten		Prof.	wissenschaftliche Mitarbeiter HH Dauer	HH Zeit	Drittmittel	Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarb. Technik	Verw.
Institut für Experimentelle Physik I	exp. apparatebez. FG I	1	3	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VIII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG IX	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							0,5
	Summen:	9	4	19	28 - 47	28 - 47	10	5
Institut für Experimentelle Physik II	exp. probenbez. FG I	1	3	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VIII	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG IX	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Gem. Forschungseinricht.		2				2	
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							0,5
	Summen:	9	6	19	28 - 47	28 - 47	12	5
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	1	2	2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG III	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG IV	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	computerbezogene FG	1		2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Fachdidaktik	1	1		0 - 1	2 - 4		0,5
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							1
	Summen:	6	4	11	11 - 23	13 - 26	2	4
Fachbereichsebene	Großgerät(e)		1				1	
	Praktikum / Studienber.		1				2	
	experimenteller Hörsaal						1	
	Dekanat		1					1
	Studien- / Prüfungsverw.							1
	Mechanik-Werkstatt						12 - 24	
	Helium-Rückgewinnung						1	
	Summen:		3				17 - 29	2
Summen Fachbereich	Beschäftigtengruppen	24	17	49	67 - 117	69 - 120	41 - 53	16
	Wissenschaftler		157 – 207					
	davon experimentell		122 – 160					
	davon theoretisch		35 – 47					
	Nicht wiss. Mitarbeiter						57 – 69	
	Beschäftigte insgesamt				214	——	276	

Abb. 5.13: Personalmodell 4 „experimentelles Forschungsprofil“

Arbeitsgruppen		Prof.	wissenschaftliche Mitarbeiter HH Dauer	HH Zeit	Drittmittel	Diplomanden etc.	nicht wiss. Mitarb. Technik	Verw.
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I	1	2	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. apparatebez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	exp. probenbez. FG I	1	1	2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG II	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG III	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG IV	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG V	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	exp. probenbez. FG VI	1		2	3 - 5	3 - 5	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Gem. Forschungseinricht.		2				2	
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							1
	Summen:	12	6	26	38 - 64	38 - 64	15	7
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	1	3	2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG III	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG IV	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG V	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG VI	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG VII	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	theo.-deduktive FG VIII	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	computerbezogene FG	1		2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	naturbeobachtende FG I	1	1	2	2 - 4	2 - 4	1	0,5
	naturbeobachtende FG II	1		2	2 - 4	2 - 4		0,5
	Nachwuchsgruppe			1	1 - 2	1 - 2		
	Fachdidaktik	1	1		0 - 1	2 - 4		0,5
	Gem. EDV-Betreuung		1				1	
	Geschäftsführung							1
	Summen:	12	6	24	24 - 49	26 - 52	3	7
Fachbereichsebene	Großgerät(e)		1				1	
	Praktikum / Studienber.		1				2	
	experimenteller Hörsaal						1	
	Dekanat		1					1
	Studien- / Prüfungsverw.							1
	Mechanik-Werkstatt						8 - 16	
	Helium-Rückgewinnung						1	
	Summen:		3				13 - 21	2
Summen Fachbereich	Beschäftigtengruppen	24	15	50	62 - 113	64 - 116	31 - 39	16
	Wissenschaftler		151 – 202					
	davon experimentell		83 – 109					
	davon theoretisch		67 – 92					
	Nicht wiss. Mitarbeiter						47 – 55	
	Beschäftigte insgesamt				198	——	257	

Abb. 5.14: Personalmodell 5 „theoretisches Forschungsprofil“

5.3 Kapazitätsermittlung

5.3.1 Zwecke der Kapazitätsermittlung

Aufgabe der Kapazitätsermittlung ist die Quantifizierung der Studienplätze, die von einer fachlichen Hochschuleinrichtung bei einer bestimmten Ausstattung mit Lehrkräften bereitgestellt werden können. Allerdings dienen die ermittelten Studienplatzzahlen unterschiedlichen Zwecken. Diese sind

a) die Ermittlung der Zahl der maximal aufnehmbaren Studienanfänger,
b) die parametergestützte Zuweisung von Finanzmitteln,
c) die Bemessung des flächenbezogenen Ressourcenbedarfs sowie
d) die Gegenüberstellung mit den Studierendenzahlen im Rahmen einer Auslastungskontrolle.

Im Mittelpunkt des Interesses von Hochschulen und Öffentlichkeit stehen die Zulassungszahlen für Studienanfänger. Entsprechend hat sich die für diesen Zweck entwickelte Kapazitätsberechnung als Standard etabliert, nicht zuletzt deshalb, weil sie mit den in allen Bundesländern gleichlautenden Kapazitätsverordnungen (KapVO) eine einheitliche hochschulrechtliche Grundlage besitzt.

Obergrenzen für die Aufnahme von Studienanfängern sind jedoch nur für zulassungsbeschränkte Studiengänge von Bedeutung, in denen die Zahl der Studienbewerber die Aufnahmekapazität übersteigt. Da die Physik jedoch seit langem nicht zu den zulassungsbeschränkten Studienfächern gehört, stehen bei der Kapazitätsermittlung für Physik-Einrichtungen die übrigen Zwecke im Vordergrund. Dies lenkt den Blick auf neue Verfahren der Kapazitätsbestimmung.

5.3.2 Kapazitätsberechnung nach der Kapazitätsverordnung

Die zentralen Elemente der Kapazitätsberechnung gemäß der Kapazitätsverordnung (KapVO) sind die Berechnung der Lehrkapazität mittels Lehrdeputaten einerseits und die Quantifizierung des Ausbildungsaufwandes je Studierendem mittels studiengangspezifischen Curricularnormwerten (CNW) andererseits. Die einzelnen Rechenschritte werden in Abbildung 5.15 exemplarisch für die obigen sechs Personalmodelle vorgeführt.

Die Lehrkapazität ergibt sich aus der Summe der **Lehrdeputate** der Hochschullehrer und wissenschaftlichen Mitarbeiter auf Haushaltsdauer- und Haushaltszeitstellen. Zusätzlich sind die Lehrverpflichtungen von Lehrbeauftragten zu berücksichtigen. Lehrdeputate entsprechen den im Rahmen des Dienstrechts in den einzelnen Bundesländern für die verschiedenen Stellengruppen festgesetzten Regellehrverpflichtungen. Trotz abweichender Detailregelungen lassen sich als Regelfall für Hochschullehrer und für wissenschaftliche Mitarbeiter auf Haushaltsdauerstellen Deputate von 16 SWS pro Studienjahr (8 SWS pro Semester) und für wissenschaftliche Mitarbeiter auf Haushaltszeitstellen von 8 SWS (4 SWS pro Semester) ansetzen. Den aus Drittmitteln finanzierten wissenschaftlichen Mitarbeitern wird kein Lehrdeputat zugerechnet. In geringem Umfang können Deputate für die Übernahme bestimmter Funktionen reduziert werden. Für den Dekan ist beispielsweise eine Reduzierung um 2 SWS pro Semester möglich. Darüber hinaus können insbesondere in naturwissenschaftlich-technischen Fächern Haushaltsdauerstellen für wissenschaftliche Mitarbeiter als Funktionsstellen ohne Lehrverpflichtungen ausgewiesen werden, sofern sie für die Betreuung von Forschungsgeräten oder für sonstige Dienstleistungen benötigt werden.

Lehrdeputate: (pro Studienjahr)

Dekan	12	SWS
Professoren	16	SWS
WisMa (Dauer)	16	SWS
WisMa (Funktion)	0	SWS
WisMa (Zeit)	8	SWS

Curricularanteile:	Diplom:	Lehramt:
CNW Physik	4,50	2,25
Anteil Lehrimport	30 %	0 %
CA für LE Physik	3,15	2,25
Anteil Studienplätze	90 %	10 %
mittlerer CA	3,06	

Studienverläufe:

1. Studienjahr	100 %
2. Studienjahr	80 %
3. Studienjahr	45 %
4. Studienjahr	40 %
5. Studienjahr	40 %

Promotionen:

Promotionsquote	40 - 50 %
Promotionsdauer	4 Jahre

Abzüge für Lehrexporte im Modell 1

Export für 250 Studierende in 3 Fächergruppen

Vorl.:	8 SWS * 3	Fächergruppen	=	24	SWS
Übungen:	4 SWS * 8	Übungsgruppen	=	30	SWS
Praktika:	5 SWS * 21	Betreuer	=	104	SWS
		Summe:		158	SWS

Abzüge für Lehrexporte im Modell 2

Export für 375 Studierende in 3 Fächergruppen

Vorl.:	8 SWS * 3	Fächergruppen	=	24	SWS
Übungen:	4 SWS * 11	Übungsgruppen	=	45	SWS
Praktika:	5 SWS * 31	Betreuer	=	156	SWS
		Summe:		225	SWS

Abzüge für Lehrexporte in den Modellen 3 bis 5

Export für 500 Studierende in 3 Fächergruppen

Vorl.:	8 SWS * 3	Fächergruppen	=	24	SWS
Übungen:	4 SWS * 15	Übungsgruppen	=	60	SWS
Praktika:	5 SWS * 42	Betreuer	=	208	SWS
		Summe:		292	SWS

	Personal-modell 0	Personal-modell 1	Personal-modell 2	Personal-modell 3	Personal-modell 4	Personal-modell 5
Dekan	1	1	1	1	1	1
sonstige Professoren	7	11	17	23	23	23
WisMa (Dauer)	5	5	5	8	9	8
WisMa (Funktion)	3	3	7	8	8	7
WisMa (Zeit)	17	24	36	49	49	50
Zahl der Lehrkräfte	33	44	66	89	90	89
Deputatsstunden pro Studienjahr	340	460	652	900	916	908
Abzüge für Lehrexport	0	158	225	292	292	292
Lehrangebot Physik	340	302	427	608	624	616
Studienplätze (Deputat/mittl.CA*5)	556	493	698	993	1.020	1.007
davon Diplom	500	444	628	894	918	906
davon Lehramt	56	49	70	99	102	101
Studienanfänger	182	162	229	326	334	330
Absolventen	73	65	92	130	134	132
Doktoranden	117 - 146	104 - 129	146 - 183	208 - 261	214 - 267	211 - 264

Abb. 5.15: Kapazitätsberechnung nach der Kapazitätsverordnung

Die Inanspruchnahme der Lehrkapazität durch einen Studierenden während seines Studiums wird mit studiengangspezifischen **Curricularnormwerten (CNW)** quantifiziert. Der CNW für den Diplomstudiengang Physik beträgt einheitlich in allen Bundesländern 4,50. Die Curricularnormwerte für die Lehramtsstudiengänge der Physik unterscheiden sich nach Bundesländern und den Schularten, auf die das Studium ausgerichtet ist. Zur Vereinfachung wird daher in den Beispielrechnungen ein exemplarischer CNW von 2,25 angesetzt.

Da sich Curricularnormwerte auf Studiengänge, die Lehrkapazität aber auf Lehreinheiten bezieht, sind drei Umrechnungen erforderlich. Erstens ist die personelle Kapazität um die Deputatsstunden zu verringern, die für Studiengänge anderer Lehreinheiten eingesetzt werden („**Lehrexport**“). Exemplarisch wird für Personalmodell 1 ein Lehrexport von 158 SWS pro Studienjahr abgezogen, der

zur Ausbildung von rund 250 Nebenfachstudierenden in 3 Fächergruppen erforderlich sein dürfte. Für Modell 2 werden 225 SWS zur Ausbildung von ca. 375 Nebenfachstudierenden und für die Modelle 3, 4 und 5 292 SWS für ca. 500 Nebenfachstudierende angesetzt. Zweitens sind die Curricularnormwerte in Curricularanteile für eigene und für fremde Lehrveranstaltungen („**Lehrimport**“) aufzuteilen. Bei Lehrimporten von 30 % verbleibt bei den Physik-Einrichtungen für den Diplomstudiengang der Physik-Einrichtung ein Curricularanteil von 3,15. Der CNW für die Lehramtsstudiengänge bezieht sich nur auf den physikspezifischen Teil der Ausbildung. Unter der Annahme, dass die Mehrzahl der Studierenden parallel Mathematik studiert, ist kein Lehrimport zu berücksichtigen. Drittens sind die Curricularanteile für den Diplom- und die Lehramtsstudiengänge zu einem gewichteten Mittelwert zusammenzuführen. Bei einem Verhältnis der Studienplätze von 90 zu 10 ergibt sich ein mittlerer Curricularanteil von 3,06. Die Zahl der **Studienplätze**, die auf die Studiengänge und Studienjahre aufgeteilt werden kann, ergibt sich aus der Division des Lehrangebots nach Lehrexport durch den mittleren Curricularanteil. Dabei ist allerdings durch die Multiplikation mit 5 Studienjahren zu berücksichtigen, dass sich das Lehrangebot auf ein Studienjahr, der mittlere Curricularanteil dagegen auf die Regelstudienzeit von 5 Jahren bezieht.

Die Kapazitäten der Personalmodelle sind nicht proportional zur Zahl der Hochschullehrer. So ergibt sich im Modell 0 mit 8 Professuren aufgrund des fehlenden Lehrexports eine höhere Studienplatzzahl als im Modell 1 mit 12 Professuren. Die unterschiedlichen Studienplatzzahlen von Modell 3 und 4 beruhen darauf, dass für ein betont experimentelles Profil eine höhere Zahl von Funktionsstellen einzuplanen ist als für ein betont theoretisches Profil. Ergänzend werden die zu erwartenden Doktorandenzahlen bei Vollauslastung der berechneten Studienplätze ausgewiesen, um diese mit der Zahl der angebotenen Stellen abgleichen zu können.

Die vielfältige **Kritik an der Kapazitätsverordnung** lässt sich zu drei Kernargumenten bündeln:

Erstens werden von den Vertretern vieler Fächer die seit Mitte der achtziger Jahre unveränderten Curricularnormwerte angesichts der zunehmenden Bedeutung betreuungsintensiver Lehrveranstaltungen als zu niedrig kritisiert (Kluth 2001, S. 20). Aber auch eine Anpassung der Curricularnormwerte könnte die prinzipiellen Einwände gegen die Kapazitätsverordnung nicht entkräften.

Zweitens eigne sich die Ermittlung von Zulassungszahlen für zulassungsbeschränkte Studiengänge nicht als generelles Verfahren zur Kapazitätsermittlung. Die Kapazitätsverordnung sei entstanden, um möglichst vielen Studierenden ein Studium in den gewünschten Studienfächern zu ermöglichen. Dazu würde ermittelt, wie viele Studierende unter „Höchstlastbedingungen“ maximal ausgebildet werden können. Da die Nichtzulassung eines Studienbewerbers einen Eingriff in das Grundrecht auf Berufsfreiheit bedeutet, würden gegebenenfalls Abstriche an der Qualität von Lehre und Forschung in Kauf genommen. Eine Kapazitätsermittlung für nicht zulassungsbeschränkte Studienfächer wie die Physik müsse dagegen von der Bedingungen einer Normallast ausgehen (vgl. Wissenschaftsrat 1990, S. 3f.).

Drittens würden die in den Curricularnormwerten festgeschriebenen Betreuungsrelationen den Wettbewerb um die Studierenden behindern, da den Hochschulen ein wesentlicher Aspekt der Gestaltungsfreiheit ihrer Studienangebote genommen würde (Kluth 2001, S. 8).

5.3.3 Kapazitätsermittlung auf Basis von Zielvereinbarungen

Zielvereinbarungen sind ein neues Steuerungsinstrument des Hochschulmanagements, mit dem die Ressourcenbereitstellung durch den Staat und die dafür von den Hochschulen zu erbringenden Leistungen in Forschung und Lehre zum Gegenstand vertraglicher Vereinbarungen werden. In gleicher Weise kann das Binnenverhältnis zwischen der Hochschule und ihren Fachbereichen durch Zielvereinbarungen gestaltet werden. Kerngedanke dabei ist, die Autonomie formal untergeordneter Einheiten durch ihre Mitwirkung bei der Festlegung von Zielen und durch die freie Wahl

der Maßnahmen zu stärken. Hochschulen und Fachbereiche sollen die Möglichkeit erhalten, mit selbst gestalteten Angeboten in einen Wettbewerb um Studierende und Forschungsmittel zu treten. Die vertragliche Verpflichtung des Staates bzw. der Hochschule zur Bereitstellung bestimmter Ressourcen fokussiert die akademische Selbstabstimmung auf konkrete Ziele und das Verhältnis von Input und Output. Letztlich sollen Zielvereinbarungen dazu beitragen, die Effizienz des Hochschulsystems als Ganzes zu steigern (grundlegend Müller-Böling 1999).

Angesichts der breiten Akzeptanz dieses Instruments im Hochschulbereich erscheint es zweckmäßig, im Rahmen von Zielvereinbarungen zwischen Fachbereichen und Hochschulen bzw. zwischen Hochschulen und Wissenschaftsministerien auch die häufig strittigen Punkte der Kapazitätsermittlung auszuhandeln. Dies ist für die Physik auch ohne Abschaffung der Kapazitätsverordnung möglich (vgl. dazu Müller-Böling 2001), da ihre Anwendung auf Studiengänge ohne Zulassungsbeschränkungen schon heute hochschulrechtlich nicht zwingend ist (Kluth 2001, S. 22). Anders als in der starren Kapazitätsberechnung nach KapVO erlauben Zielvereinbarungen die Berücksichtigung der besonderen Bedingungen der Physik-Einrichtungen in Lehre und Forschung.

Um das Aushandeln von Stellenzahlen und Studienplätzen transparent zu gestalten, bietet es sich an, von der durch die KapVO vorgegebenen Kapazitätsberechnung auszugehen und die Verhandlungen auf das **Durchschnittsdeputat** und die **Normallast** zu fokussieren. Das Durchschnittsdeputat ist ein Rechengröße, die bei der Berechnung des Lehrangebotes für alle Lehrkräfte unabhängig von ihrer Eingruppierung und den ihnen übertragenen Funktionen anzusetzen ist. Bei der Normallast handelt es sich um den prozentualen Anteil an der nach KapVO unter Höchstlastbedingungen berechneten Studienplatzzahl, der unter normalen Bedingungen Studierenden zur Verfügung gestellt werden kann.

Abbildung 5.16 zeigt exemplarisch die Kapazitätsermittlung für die oben vorgestellten Personalmodelle unter der Annahme, dass im Rahmen einer Zielvereinbarung zwischen den Physik-Fachbereichen und ihren Hochschulen ein Durchschnittsdeputat von 9,0 SWS pro Studienjahr (4,5 SWS pro Semester) und eine Normallast von 75 % ausgehandelt wurden.

	Personal-modell 0	Personal-modell 1	Personal-modell 2	Personal-modell 3	Personal-modell 4	Personal-modell 5
Zahl der Lehrkräfte	33	44	66	89	90	89
Durchschnittsdeputat KapVO	10,3	10,5	9,9	10,1	10,2	10,2
Durchschnittsdeputat Zielver.	**9,0**	**9,0**	**9,0**	**9,0**	**9,0**	**9,0**
Deputatsstunden pro Studienjahr	297	396	594	801	810	801
Abzüge für Lehrexport	0	158	225	292	292	292
Lehrangebot Physik	297	238	369	509	518	509
Studienplätze Höchstlast	485	389	603	832	846	832
Normallast in %	**75**	**75**	**75**	**75**	**75**	**75**
Studienplätze Normallast	364	292	452	624	635	624
davon Diplom	328	263	407	561	571	561
davon Lehramt	36	29	45	62	63	62
Studienanfänger	119	96	148	205	208	205
Absolventen	48	38	59	82	83	82
Doktoranden	76 - 95	61 - 77	95 - 119	131 - 164	133 - 167	131 - 164

Abb. 5.16: Kapazitätsermittlung auf der Grundlage von Zielvereinbarungen

Das angesetzte Durchschnittsdeputat ist an das in Hessen bei der Kapazitätsberechnung für die Physik vorgegebene Mindestdeputat angelehnt. Die verrechnete Normallast spiegelt die Empfehlung des Wissenschaftsrats (1990, S. 50) zur Korrektur des Physik-CNW wider. Dennoch dürfen die Beispielzahlen nicht darüber hinwegtäuschen, dass gerade Zielvereinbarungen individuelle Regelungen ermöglichen sollen. Im Einzelfall erlaubt dabei ein niedriges Durchschnittsdeputat der Physik-Einrichtung eine stärkere Konzentration auf die Forschung, während ein Absenken der Normallast eine Profilierung des Lehrangebots durch betreuungsintensive Lehrveranstaltungen ermöglicht. In den zugehörigen Verhandlungen sind freilich die Vorstellungen der Physik-Einrichtung mit der Schwerpunktsetzung der Hochschule bzw. dem Budget des Wissenschaftsministeriums abzustimmen. Zudem gehört zur Vereinbarung von Zielen auch die Kontrolle ihres Erreichens. Daher sind einerseits realistische Studienplatzzahlen auszuhandeln, mit deren Belegung zumindest langfristig zu rechnen ist. Andererseits resultiert aus günstigen Forschungsbedingungen für die Physik-Einrichtung eine überdurchschnittliche Bringschuld.

Im Rahmen der Kapazitätsermittlung werden die zu erwartenden Absolventen- und Doktorandenzahlen bei Vollauslastung der vereinbarten Studienplätze errechnet. Dagegen basieren die in den Personalmodellen in Abschnitt 5.2 eingeplanten Arbeitsplätze für Diplomanden und Stellen für Doktoranden auf Personalrelationen innerhalb der Forschungsgruppen. In Abbildung 5.17 werden beide Ansätze einander gegenübergestellt, um die Planungen abgleichen zu können. Der Vergleich zeigt, dass in den Personalmodellen 1 bis 5 auch dann genügend Diplomandenarbeitsplätze eingeplant wurden, wenn alle vereinbarten Studienplätze an Studierende vergeben sind. Darüber hinaus kann allen promotionswilligen Absolventen eine Qualifikationsstelle angeboten werden.

	Personal-modell 0	Personal-modell 1	Personal-modell 2	Personal-modell 3	Personal-modell 4	Personal-modell 5
Absolventen	48	38	59	82	83	82
Arbeitsplätze für Diplomanden	23 - 41	33 - 59	50 - 88	66 - 117	69 - 120	64 - 116
Doktoranden	76 - 95	61 - 77	95 - 119	131 - 164	133 - 167	131 - 164
Stellen für Doktoranden	39 - 57	55 - 80	84 - 121	113 - 163	116 - 166	112 - 163

Abb. 5.17: Vergleich von Absolventen- bzw. Doktorandenzahlen und -arbeitsplätzen

Demgegenüber werden am Personalmodell 0 strukturelle Probleme sichtbar. Da nicht genügend Doktorandenstellen zur Verfügung stehen, ist bei der Basisausstattung ohne Lehrexport eine Abwanderung von Nachwuchswissenschaftlern in Kauf zu nehmen. Zudem müssten die Forschungsgruppen in Personalmodell 0 deutlich mehr Diplomanden als die eingeplanten Arbeitsplätze aufnehmen, um alle Absolventen ausbilden zu können. Dies ist nicht auf die geringe Zahl der Professuren, sondern auf den fehlenden Lehrexport zurückzuführen. Bei einer Vergrößerung des Lehrkörpers würde die Zahl der auszubildenden Absolventen proportional dazu steigen und damit die Mehrbelastung erhalten bleiben.

Zu einer ausgewogenen Nutzung der Lehrkapazitäten einer Physik-Einrichtung bedarf es folglich neben der diplomarbeitsintensiven Physik-Studiengängen Grundstudiumsveranstaltungen für andere Studiengänge, wie sie in den Modellen 1 bis 5 eingeplant sind. Personalmodell 0 wird daher in den anschließenden Beispielrechnungen zur Flächenplanung nicht weiter betrachtet.

6 Flächenplanung

Aufgabe des vorliegenden Kapitels ist die Entwicklung hochschulübergreifender Ansätze zur Flächenplanung von Physik-Einrichtungen. Gegenüber der im Hochschulrahmenplan vorgegebenen Flächenplanung mit Flächenrichtwerten erfolgt dabei eine zweifache Differenzierung: Erstens wird der Bedarf für verschiedene Raumnutzungsarten getrennt ermittelt. Zweitens werden neben der Zahl der Studienplätze weitere Merkmale der zu beplanenden Einrichtung, beispielsweise die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter, als Bezugsgrößen der Bedarfsbemessung verwendet.

Zunächst werden in Abschnitt 6.1 die Grundlagen des Konzepts vorgestellt. Darauf aufbauend erläutert Abschnitt 6.2 die Planungsansätze für Büro- und Rechnerflächen, Abschnitt 6.3 für Labor- und Hallenflächen, Abschnitt 6.4 für Infrastruktur- und Lagerflächen sowie Abschnitt 6.5 für Lehrraumflächen. Die dabei entwickelten Ansätze bilden die Bausteine, aus denen im Anwendungsfall ein Bedarfsmodell für die zu beplanende Physik-Einrichtung zusammengesetzt werden kann. Das Zusammenstellen von Bedarfsmodellen wird im 8. Kapitel an mehreren Beispielen vorgeführt.

Die hier vorgestellten hochschulübergreifenden Flächenansätze ermöglichen es, individuelle Anforderungen einzelner Forschungsgruppen oder auch Physik-Einrichtungen für die verschiedenen Raumnutzungsarten einordnen und vergleichen zu können. Dies schließt nicht aus, dass im jeweiligen Einzelfall plausible Gründe für abweichende Planungsansätze sprechen.

6.1 Grundlagen

6.1.1 Flächenplanung mit studienplatzbezogenen Flächenrichtwerten

Jede Flächenplanung beruht auf der Verknüpfung von Flächenansätzen mit bestimmten Bezugsgrößen der zu beplanenden Einrichtung, um die benötigte Hauptnutzfläche zu ermitteln. Dabei ist die **Hauptnutzfläche** als Summe der für die Zweckbestimmung des Gebäudes typischen Flächen definiert (Rahmenplan 2001, S. 79). Nebennutzflächen, die unabhängig von der jeweiligen Gebäudenutzung z. B. für Toiletten benötigt werden, Verkehrsflächen für Flure und Treppenhäuser sowie Funktionsflächen für die Gebäudetechnik bleiben bei Flächenplanung ausgeblendet.

Die vom Hochschulrahmenplan vorgegebene Flächenplanung arbeitet ausschließlich mit der Zahl der Studienplätze, die mit einem Flächenrichtwert zu multiplizieren ist. Für die natur- und ingenieurwissenschaftlichen und die medizinisch-theoretischen Fächer sowie die Agrar-, Forst- und Ernährungswissenschaften wird pauschal ein **Flächenrichtwert von 15 bis 18 m^2 pro Studienplatz** angesetzt (Rahmenplan 2001, S. 79f.). Dieser Wert gibt die Hauptnutzfläche an, die durchschnittlich pro Studienplatz für die Lehre und die Forschung der Lehrenden benötigt wird. Er enthält auch den Flächenbedarf des Verwaltungs- und technischen Personals, sowie für Geräte. Nicht berücksichtigt ist der Flächenbedarf für das ausschließlich in der Forschung tätige Drittmittelpersonal sowie die Flächen besonderer Großgeräte wie z. B. Beschleuniger und Forschungsreaktoren einschließlich der diesen funktional zugehörenden Räume. Für die Flächen des Drittmittelpersonals gibt der Rahmenplan (2001, S. 76) personenbezogene Orientierungswerte an, die für theoretisch forschende Naturwissenschaftler bis maximal 16 m^2 und für experimentell forschende Naturwissenschaftler bis maximal 27 m^2 pro Person betragen.

Ein mittels Flächenrichtwert für eine Physik-Einrichtung überschlägig ermittelter Flächenbedarf gibt einen ersten Anhaltspunkt für die einzuplanende Hauptnutzfläche, der allerdings aus mehreren Gründen zu konkretisieren ist. Erstens gilt der obige Flächenrichtwert für alle Natur- und Ingenieur-

wissenschaften, die medizinisch-theoretischen Fächer sowie die Agrar-, Forst- und Ernährungswissenschaften analog. Besonderheiten der einzelnen Fächer werden nicht berücksichtigt. Zweitens beschreiben die studienplatzbezogenen Flächenrichtwerte den Gesamtflächenbedarf für Lehre und lehrbezogene Forschung, ohne nach Nutzungsbereichen zu differenzieren. Problematisch für Physik-Einrichtungen ist daran insbesondere das Fehlen eines Anhaltspunktes für den Bedarf an Laborflächen. Der Arbeitskreis für Bedarfsermittlung des Landes Baden-Württemberg (1974) hat daher Teilrichtwerte für die benötigten Nutzungsbereiche ermittelt, die allerdings ebenfalls auf die Studienplätze als einzige Bezugsgröße abstellen. Drittens gehen Flächenrichtwerte von einem zur Zahl der Studienplätze proportionalen Bestand an Haushaltsstellen aus. Insbesondere in forschungsintensiven Fächern wie der Physik hängt der Bedarf an wissenschaftlichem Personal nicht nur von der – häufig stark schwankenden – Zahl der Studierenden, sondern auch von den Forschungsaktivitäten ab. Neben der Zahl der Studienplätze sollte folglich auch das Personal als weitere Bezugsgröße in der Flächenplanung berücksichtigt werden.

6.1.2 Differenzierte Flächenplanung mit mehreren Bezugsgrößen

Im Gegensatz zur pauschalen Gesamtbedarfsermittlung mit Flächenrichtwerten trennt die differenzierte Flächenplanung die Bedarfsermittlung für unterschiedliche Raumnutzungsarten und verwendet dabei unterschiedliche Bezugsgrößen.

Grundlage zur Differenzierung der Raumarten bilden die im Raumnutzungsschlüssel des statistischen Bundesamtes katalogisierten **Raumnutzungsarten (RNA)**. Raumarten mit gleicher oder ähnlicher Nutzung lassen sich zu Nutzungsbereichen gruppieren (vgl. Gerken u. a. 1997, S. 27). Abbildung 6.1 zeigt die für Physik-Einrichtungen wichtigsten Raumnutzungsarten und ihre Bündelung zu Nutzungsbereichen.

Nutzungs-bereiche:	Raumnutzungsarten Bezeichnung:	RNA:	Bezugsgröße:
Büros und Rechnerräume	Büroräume	211	Beschäftigte (diff. nach Arbeitsweise u. Gruppe)
	Besprechungsräume	231	FG, Institute, Fachbereich (pauschal)
	Kopierer/Drucker	281	FG, Institute, Fachbereich (pauschal)
	Rechnerräume	284	FG (diff. nach Arbeitsweise), Institute (pauschal)
Labore und Hallen	Standardlabore	342	Experimentatoren, FG (diff. nach Arbeitsweise)
	Sonderlabore	343-360	
	Versuchhallen	316	Fachbereich (pauschal)
Infrastruktur	Werkstatträume	322, 323	Techniker
	Heliumverflüssigung	840	Fachbereich (pauschal)
	Bibliotheksräume	541	Studienplätze (vereinfachend)
Lager	Archiv	421	Institute, Fachbereich (pauschal)
	Gerätelager	411	FG (differenziert nach Arbeitsweise)
	Sammlung	423	Fachbereich (pauschal)
Lehrräume	Hörsäle	511, 513	Studienplätze
	Seminarräume	523, 512	Studienplätze
	Terminalräume	283	Studienplätze
	Praktikumsräume	535	Praktikumsplätze, Versuchsaufbauten

Abb. 6.1: Raumnutzungsarten von Physik-Einrichtungen

Dabei werden Büro- und Rechnerflächen zusammengefasst, da zwischen den Arbeitsplatzrechnern in den Büros und den Workstations, Parallelrechnern, Servern und Peripheriegeräten in den Rechnerräumen über die lokalen Datennetze ein enger funktionaler Zusammenhang besteht. Dies bedingt allerdings, dass die Terminalräume für die Studierenden nicht den Rechner-, sondern den Lehrräumen zugeordnet werden.

Die rechte Spalte von Abbildung 6.1 zeigt die zur Planung der verschiedenen Raumnutzungsarten verwendeten **Bezugsgrößen**. Deren Herleitung beruht in erster Linie darauf, ob der Bedarf für die jeweilige Raumnutzungsart von den dort tätigen Beschäftigten, von den auszubildenden Studierenden oder von den vorhandenen Organisationseinheiten abhängt. Zur Bemessung der personalabhängigen Flächen eignet sich als Bezugsgröße die Zahl der in den jeweiligen Räumen tätigen Beschäftigten, wobei zwischen unterschiedlichen Beschäftigtengruppen und Arbeitsweisen zu differenzieren ist. „Experimentatoren“ als Bezugsgröße für die Laborflächen meint beispielsweise die in den Laborräumen experimentell tätigen Wissenschaftler und Diplomanden. Für die direkt der Ausbildung von Studierenden dienenden Flächen kann als Bezugsgröße zumeist die Zahl der Studienplätze herangezogen werden. Die davon abweichende Bemessung der Praktikumsflächen anhand der benötigten Versuche wird in Abschnitt 6.5 begründet. Die übrigen Flächen werden pauschal einzelnen Forschungsgruppen (FG) – gegebenenfalls differenziert nach deren Arbeitsweise –, Instituten oder dem Fachbereich als Ganzes zugeordnet.

6.2 Planung der Büro- und Rechnerflächen

6.2.1 Büroarbeitsräume

Büroräume dienen als Schreib- und Rechnerarbeitsplatz, zur Aufbewahrung von Arbeitsunterlagen sowie zu Besprechungen. Abbildung 6.2 zeigt die durchschnittlichen Flächenbedarfe der Büroarbeitsplätze und die übliche Bürobelegung für die verschiedenen Beschäftigtengruppen von Physik-Einrichtungen. Die angegebenen Bandbreiten basieren im Wesentlichen auf den Empfehlungen von König/ Kreuter (1997, S. 33-48). Dabei beruhen differenzierte Ansätze auf den unterschiedlichen Funktionen der Beschäftigtengruppen.

Beschäftigtengruppe:	Fläche pro Arbeitsplatz:	Büro-belegung:
Hochschullehrer	21 - **24** m^2	Einzelbüro
WisMa (Dauer)	16 - **18** m^2	Einzelbüro
Leiter Nachwuchsgruppe	16 - **18** m^2	Einzelbüro
WisMa (Zeitstelle) (theo. Arbeitsweise)	10 - **12** m^2	Doppelbüro
WisMa (Zeitstelle) (exp. Arbeitsweisen)	8 - **9** m^2	Doppelbüro
Sekretariate	12 - **18** m^2	Einzelbüro
Nicht wiss. Mitarbeiter	10 - **12** m^2	Doppelbüro
Diplomanden	**6** m^2	Doppel- bis Viererbüro

Abb. 6.2: Flächenfaktoren für Büroarbeitsplätze

Hochschullehrer und wissenschaftliche Mitarbeiter auf Dauerstellen nutzen ihre Büroräume auch zur Besprechung mit Studierenden. Daher sollten in ihren Büros neben dem persönlichen Arbeitsplatz von jeweils 10 bis 12 m^2 Besprechungsmöglichkeiten für 4 bzw. 2 Personen integriert werden. Für die Leiter von Nachwuchsgruppen sollte der gleiche Bürobedarf wie für wissenschaftliche Mitarbeiter auf Dauerstellen eingeplant werden, unabhängig davon, ob es sich um Juniorprofessoren oder um Habilitanden handelt.

Büroarbeitsplätze sind sowohl für theoretische als auch für experimentell arbeitende Doktoranden und Diplomanden erforderlich. Für Doktoranden mit apparatebezogener und probenbezogener Arbeitsweise reicht unter Umständen ein Büroarbeitsplatz von jeweils 8 bis 9 m^2 aus, da ein großer Teil der Forschungstätigkeiten im Labor stattfindet. Dagegen liegt der Hauptarbeitsplatz bei natur-

beobachtender Arbeitsweise ebenso wie bei theoretisch-deduktiver und computerbezogener Forschung im Büro, was einen größeren Flächenansatz von 10 bis 12 m^2 rechtfertigt. Sowohl für Diplomanden in den experimentellen als auch in den theoretischen Arbeitsgruppen genügt in der Regel ein Rechnerarbeitsplatz von ca. 6 m^2.

Aufgrund der Vorzimmerfunktion der Sekretariate und der damit verbundenen regelmäßigen Frequentierung durch Studierende sollten diese zusätzlich zur persönlichen Arbeitsplatzfläche von 10 bis 12 m^2 einen Flächenzuschlag von ca. 6 m^2 erhalten. Vielen Hochschullehrern in der Physik ist nur eine halbe Sekretariatsstelle zugeordnet. Sofern zwei dieser Stellen von einem Vollzeitbeschäftigten eingenommen werden, können zwei Forschungsgruppen einen Sekretariatsraum gemeinsam nutzen. Dies setzt freilich eine Anordnung in unmittelbarer Nachbarschaft voraus.

Die hervorgehobenen Zahlen in Abbildung 6.2. geben die Flächenfaktoren an, die in den Bedarfsmodellen des 8. Kapitels exemplarisch angesetzt werden. Dabei wird von 12, 18 und 24 m^2 Standardbüroräumen ausgegangen. Innerhalb der angegebenen Bandbreiten lassen sich die Empfehlungen ohne weiteres an andere Planungsraster anpassen.

6.2.2 Besprechungsräume

Physiker führen zum fachlichen Informationsaustausch und zur Koordination gemeinsamer Forschungsaktivitäten zahlreiche Besprechungen durch. Solche Besprechungen ergeben sich häufig spontan oder mit kurzen Vorlaufzeiten. Daher lassen sie sich zumindest in der Vorlesungszeit nur ausnahmsweise in Seminarräume durchführen.

Bei der Flächenplanung sind daher in ausreichendem Maße Besprechungsräume für kleinere bis mittlere Gruppen vorzusehen. Solche Besprechungsräume dienen darüber hinaus der Durchführung von Prüfungen und Besprechungen mit größeren Studierendengruppen. Auf Instituts- und auf Fachbereichsebene werden zudem Besprechungsräume für die Sitzungen der Selbstverwaltungsgremien benötigt.

Bei der Planung von Besprechungsräumen ist ein Flächenbedarf von 2 m^2 pro Sitzplatz anzusetzen. Üblich sind kleine Besprechungsräume mit 10 bis 12 Plätzen (= 20 bis 24 m^2 Grundfläche), mittlere mit 15 bis 18 Plätzen (= 30 bis 36 m^2) und große mit 20 bis 24 Plätzen (= 40 bis 48 m^2). In den Bedarfsmodellen des 8. Kapitels werden exemplarisch jeweils ein Besprechungsraum mit 24 m^2 für zwei Forschungsgruppen, ein Besprechungsraum mit 36 m^2 für jedes Institut und ein Sitzungsraum mit 48 m^2 auf Fachbereichsebene eingeplant.

6.2.3 Rechnerräume

In den Raumprogrammen der von HIS untersuchten Physik-Neubauten werden zwei bis fünf Prozent der Hauptnutzfläche von Rechnerräumen belegt. Der Bedarf an Rechnerräumen ist aufgrund der rasanten technischen Entwicklung im EDV-Bereich im Zeitablauf starken Veränderungen unterworfen. So hat beispielsweise die Miniaturisierung der Rechneranlagen dazu geführt, dass heute in der Regel keine Großgeräteräume mehr benötigt werden. Statt dessen ist die Ausstattung von Büroräumen mit Arbeitsplatzrechnern und ihr Anschluss an leistungsstarke Datennetze inzwischen selbstverständlich. Unter Planungsgesichtspunkten lassen sich drei Arten von Rechnerräumen unterscheiden:

Räume für Peripheriegeräte

Bei den Peripheriegeräten handelt es sich um Ergänzungen zu den Arbeitsplatzrechnern wie z. B. Drucker, Scanner oder Plotter. Häufig werden sie mit Kopiergeräten kombiniert. Die entsprechenden Räume gehören folglich zu den Büronebenräumen.

In der Regel benötigt jede Forschungsgruppe sowie jede Instituts- und Fachbereichsgeschäftsführung zum Aufstellen von Kopierern und Druckern ein Peripheriegeräteraum mit etwa 10 bis 12 m^2. Für diesen Zweck eignen sich auch Räume ohne Tageslicht, die Wärmeentwicklung der Geräte erfordert dann unter Umständen jedoch eine Umluftkühlung.

Rechnerräume im engen Sinne

Rechnerräume im engen Sinne sind zur Aufstellung von Servern, leistungsfähigen Workstations oder Parallelrechnern erforderlich, wie sie typischerweise von computerbezogen arbeitenden Physikern verwendet werden. Auch wenn solche Geräte Bedienungsterminals besitzen, werden sie in der Regel über das Datennetz von den Arbeitsplatzrechnern aus bedient (Host-Client-Systeme). Der Raumbedarf richtet sich daher im Wesentlichen nach der Größe der Geräte. Zumeist reichen auch für diesen Zweck Räume mit einer Grundfläche von 10 bis 12 m^2 aus. Teilweise sind 20 bis 24 m^2, seltener 30 bis 36 m^2 große Rechnerräume erforderlich.

Rechnerräume im engen Sinne werden von computerbezogen arbeitenden Forschungsgruppen sowie von gemeinsamen EDV-Einrichtungen der Institute bzw. Fachbereiche benötigt. Auch Rechnerräume kommen unter Umständen ohne Tageslicht aus. Statt der Umluftkühlung benötigen leistungsfähige Server und Parallelrechner allerdings häufig eine Vollklimatisierung.

Terminalräume

Terminalräume beherbergen PC-Pools für Studierende. Ihre Bemessung wird daher zusammen mit der Planung von Hörsaal- und Seminarraumflächen in Abschnitt 6.4.1 behandelt.

6.3 Planung der Labor- und Hallenflächen

6.3.1 Charakteristika physikalischer Gerätelabore

In **nass-präparative Laboren**, wie sie für Einrichtungen der Chemie und der Biowissenschaften typisch sind, werden experimentelle Tätigkeiten auf fest eingebauten Labortischen unter besonderen Abzügen und überwiegend von Hand ausgeführt. Als Planungsbasis eignen sich daher die persönlichen Arbeitsplätze der in den Laboren tätigen Mitarbeiter. Nass-präparative Labore sind in Physik-Einrichtungen jedoch nur vereinzelt zu finden.

Typischerweise nutzen Physiker **technologische Labore**, in denen Experimente nicht von Hand, sondern an Forschungsgeräten und Versuchsaufbauten durchgeführt werden. Die persönlichen Arbeitsplätze der Experimentatoren nehmen im Vergleich zur Stell- und Bedienfläche der Geräte geringe Teile der Laborfläche in Anspruch. Zudem existieren vielfältige Muster der Aufteilung zwischen Geräteflächen und Arbeitsplätzen. Die Planung der Gerätelabore muss daher vom Flächenbedarf und den Anforderungen der Forschungsgeräte und Versuchsaufbauten ausgehen.

In der experimentellen Physik werden eine Vielzahl unterschiedlicher Forschungsgeräte eingesetzt (vgl. Abschnitt 2.3.1). Zudem existieren von vielen Gerätetypen unterschiedliche Größenordnungen. So sind in einigen Laboren Tisch-Laser mit einem Flächenbedarf von 10 mal 20 Zentimeter zu finden, in anderen dagegen Höchstleistungslaser mit einer Grundfläche von 2 mal 8 Metern.

Schließlich führt der Einsatz gleichartiger Geräte in verschiedenen Versuchsaufbauten oder zu unterschiedlichen Zwecken zu differenzierten Anforderungen an die Laborräume.

Die Aufstellung eines konkreten Raumprogramms erfordert eine Bestandsaufnahme der Forschungsgeräte, die von der zu beplanenden Physik-Einrichtung derzeit und voraussichtlich in der Zukunft eingesetzt werden. Ein hochschulübergreifendes Konzept zur Laborflächenplanung auf Basis einer allgemeinen Typologie physikalischer Forschungsgeräte scheitert jedoch an der Mannigfaltigkeit der Gerätearten und -größen. Dennoch sind hochschulübergreifende Planungsansätze unverzichtbar, um die individuellen Anforderungen einordnen und vergleichen zu können.

6.3.2 Differenzierte Planungsansätze für Laborflächen

Ausgangspunkt der hier vorgeschlagenen Planungsansätze ist die Beobachtung, dass der Umfang der in der experimentellen Physik genutzten Versuchsaufbauten und Forschungsgeräte wesentlich von der Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter und Diplomanden beeinflusst wird. Darüber hinaus bestehen deutliche Zusammenhänge zwischen der Größe gemeinsamer Forschungseinrichtungen und der Zahl der experimentellen Forschungsgruppen eines Instituts oder Fachbereichs.

Als zentrale Bezugsgröße zur überschlägigen Bemessung des Laborflächenbedarfs eignet sich daher die Zahl der **Experimentatoren**. Mit dieser Bezeichnung lassen sich die in der jeweiligen Organisationseinheit experimentell tätigen wissenschaftlichen Mitarbeiter und Diplomanden zusammenfassen. Professoren und wissenschaftliche Mitarbeiter auf Dauerstellen zählen in der Regel nicht zu den Experimentatoren, da sie sich gewöhnlich auf konzeptionelle und organisatorische Forschungsaufgaben konzentrieren. Daneben sollte die Bemessung von Gemeinschaftsflächen die Zahl der experimentellen Forschungsgruppen berücksichtigen.

Sowohl die Aufteilung auf personen- und forschungsgruppenabhängig zu bemessende Flächen als auch die Festlegung der Flächenfaktoren sollte nach der Arbeitsweise der Experimentatoren differenziert werden (vgl. Abschnitt 2.4). In der Regel ist der Laborflächenbedarf eines Diplomanden geringer als der eines wissenschaftlichen Mitarbeiters. Im Folgenden werden daher für Diplomanden generell nur zwei Drittel der Flächenfaktoren für wissenschaftliche Mitarbeiter angesetzt.

Laborflächen für experimentell-apparatebezogene Physiker

Bei der experimentell-apparatebezogenen Arbeitsweise konzentrieren sich die experimentellen Tätigkeiten auf individuelle Versuchsaufbauten oder Forschungsgeräte. Dazu gehören beispielsweise optische Tischaufbauten oder Hochvakuumapparaturen. Sofern mehrere Experimentatoren an einem Aufbau oder Gerät arbeiten, handelt es sich um arbeitsteilige Tätigkeiten innerhalb einer Arbeitsgruppe. Der Laborbedarf apparatebezogen forschender Physiker beschränkt sich daher im Wesentlichen auf die der Forschungsgruppe zuzuordnenden Gerätelabore. In Ausnahmefällen wird eine Experimentierhalle benötigt, um befristet große Versuchsaufbauten aufzustellen.

Zur Ermittlung des Laborflächenbedarfs apparatebezogener Forschungsgruppen kann als Durchschnittswert ein Flächenfaktor in der Größenordnung von ca. 18 m^2 je wissenschaftlichen Mitarbeiter und von ca. 12 m^2 je Diplomand angesetzt werden. Damit sind auch kleinere Servicebereiche abgedeckt, die die Mitglieder der Forschungsgruppe gemeinsam nutzen.

Laborflächen für experimentell-probenbezogene Physiker

Die probenbezogene Arbeitsweise ermöglicht die forschungsgruppenübergreifende Nutzung von Gemeinschaftsgeräten und -einrichtungen, beispielsweise von Elektronenmikroskopen, NMR-Geräten oder Reinräumen.

Dies führt tendenziell zu einem verringerten Bedarf an Laborflächen, die der Forschungsgruppe unmittelbar zuzuordnen sind. Bei der Bedarfsermittlung kann dies mit einem gegenüber dem Ansatz für apparatebezogene Experimentatoren verminderten Flächenfaktor von beispielsweise 15 m^2 je wissenschaftlichen Mitarbeiter bzw. 10 m^2 je Diplomand berücksichtigt werden. Daneben benötigen probenbezogen arbeitende Forschungsgruppen teilweise nass-präparative Arbeitsplätze in Chemielaboren. Da diese durch die verschiedenen Gruppenmitglieder nur zeitweilig belegt werden, können bei Bedarf pauschal 24 bis 48 m^2 pro Forschungsgruppe eingeplant werden, was zwei bis vier nass-präparativen Arbeitsplätzen entspricht.

Zusätzlich benötigen probenbezogen forschende Physiker Laborflächen für gemeinsame Forschungseinrichtungen und -geräte. Organisatorisch sind diese Einrichtungen der Instituts- bzw. der Fachbereichsebene zuzuordnen. Der Bedarf an gemeinsam zu nutzenden Laborflächen lässt sich in Abhängigkeit von der Zahl der im Institut bzw. Fachbereich probenbezogen arbeitenden Forschungsgruppen und einem Zuschlag für die Zahl der probenbezogenen Experimentatoren bemessen. Erfahrungsgemäß eignen sich dazu Flächenfaktoren in der Größenordnung von rund 150 m^2 pro probenbezogener Forschungsgruppe bzw. 75 m^2 pro Nachwuchsgruppe und zusätzlich ca. 3 m^2 pro wissenschaftlichen Mitarbeiter und ca. 2 m^2 pro Diplomand.

Die forschungsgruppenübergreifende Gemeinschaftsfläche muss nicht von allen probenbezogenen Forschungsgruppen gemeinsam genutzt werden. In der Regel werden verschiedene Teilflächen für Gemeinschaftsgeräte unterschiedlicher Forschungsgruppen genutzt.

Laborflächen für naturbeobachtende Physiker

Bei der naturbeobachtenden Arbeitsweise, wie sie für die Astronomie, die Meteorologie und die Geophysik üblich ist, findet die eigentliche experimentelle Tätigkeit nicht im Labor statt. Dennoch werden zeitweilige technologische Arbeitsplätze benötigt, um Messgeräte zu entwickeln, zu montieren und zu testen.

Um den Laborflächenbedarf naturbeobachtender Physiker zu bemessen, können den einzelnen Forschungsgruppen pauschal Gerätelabore mit einer Fläche von beispielsweise 24 bis 48 m^2 zugeordnet werden.

6.3.3 Planungsansätze für Hallenflächen

In gewissem Umfang benötigen Physiker auch Hallenlabore mit Deckenhöhen von 5 m oder mehr. Dabei ist zwischen flexiblen Experimentierhallen und Großgerätehallen zu unterscheiden.

Flexible **Experimentierhallen** werden für wechselnde Großversuche apparatebezogener Forschungsgruppen oder zur Montage größerer Detektoren durch naturbeobachtende Physiker genutzt. Zumeist wird dazu auf der Fachbereichsebene jeweils eine Experimentierhalle mit einer Grundfläche zwischen 250 bis 450 m^2 bereitgehalten. Da der Bedarf jedoch sehr ortsspezifisch ist, ist die Größe der Experimentierhalle in jedem Fall in einer konkreten Planung den individuellen Anforderungen anzupassen.

Außerdem sind auf der Fachbereichsebene häufig **Gerätehallen** oder eigenständige Laborgebäude für die dauerhafte Unterbringung besonderer Großgeräte, insbesondere von Teilchenbeschleunigern, und die für ihren Betrieb erforderlichen Nebenräume zu berücksichtigen. Da der Flächenbedarf der jeweiligen Geräte stark variiert, sind hochschulübergreifende Bemessungsansätze nicht möglich. Die in den Bedarfsmodellen 2 bis 5 angesetzten Großgeräteflächen von 300 bzw. 500 m^2 dienen daher in erster Linie als Merkposten. Anzumerken ist, dass die Flächen solcher besonderen Großgeräte gemäß den Vorgaben des Rahmenplans (2001, S. 76) nicht kapazitätswirksam sind und daher bei der Ermittlung der Flächen je Studienplatz auszublenden sind. Dagegen sind die Flächen flexibler Experimentierhallen kapazitätswirksam.

6.3.4 Flächenansätze im Überblick

Abbildung 6.4 gibt einen Überblick zu den Planungsansätzen für physikalische Labor- und Hallenflächen in Abhängigkeit der verschiedenen Arbeitsweisen. Als Bezugsgrößen der angegebenen mittleren Flächenfaktoren dienen dabei zum einen die Zahl der Experimentatoren („Exp.“) und zum anderen die Zahl der Forschungsgruppen („FG“).

Abschläge beim Laborflächenbedarf für die Nutzung von Großforschungseinrichtungen lassen sich nicht generell quantifizieren (vgl. Abschnitt 2.4). Eine Anrechnung mag im Einzelfall möglich sein, sofern eine Forschungsgruppe dauerhaft einen überdurchschnittlich großen Anteil ihrer Forschungsaktivitäten an Großforschungseinrichtungen durchführt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Genehmigung, Finanzierung und Durchführung von Großgeräteprojekten vorbereitende Experimente an der Hochschule voraussetzt.

Eine von den individuellen Besonderheiten der jeweiligen Physik-Einrichtung losgelöste Bemessung der Hallenflächen ist nicht möglich. In den Bedarfsmodellen des 8. Kapitels werden daher lediglich exemplarisch eine flexible Experimentierhalle mit 350 m^2 und für die größeren Fachbereiche ein Teilchenbeschleuniger mit einem Flächenbedarf von 500 m^2 angesetzt.

Labornutzung durch	Labortyp	Zuordnung	durchschnittlicher Flächenbedarf bei apparatebez. Arbeitsweise	probenbez. Arbeitsweise	naturbeob. Arbeitsweise
individuelle Geräte/ Versuchsaufbauten	Gerätelabore	FG	18 m^2 pro Exp.	15 m^2 pro Exp.	
nass-präparative Arbeitsplätze	nass-präp. Labore	FG		24 - 48 m^2 pro FG	
technologische Arbeitsplätze	Gerätelabore	FG			24 - 48 m^2 pro FG
gemeinsame Geräte und Einrichtungen	Gerätelabore	Institut/ Fachbereich		150 m^2 pro FG 3 m^2 pro Exp.	
wechselnde Großversuche	Experimentierhalle	Fachbereich	250 bis 450 m^2 pro Fachbereich		
Großgeräte	Gerätehalle	Fachbereich	individuelle Bemessung		

Abb. 6.3: Differenzierte Planungsansätze für Labor- und Hallenflächen

6.4 Planung der Infrastruktur- und Lagerflächen

6.4.1 Flächen für technische Dienstleistungen

Die von Physik-Einrichtungen benötigten technischen Dienstleistungen lassen sich aus der Perspektive der Flächenplanung in vier Kategorien unterteilen (vgl. Abschnitt 4.2.4):

EDV-Techniker

EDV-Techniker unterstützen die Physiker bei der Installation, Wartung und Reparatur von Hard- und Software sowie insbesondere dem Betrieb und der Pflege lokaler Netzwerke. Ihre Stellen sind zumeist gemeinsamen EDV-Einrichtungen von Instituten oder Fachbereichen zugeordnet. Darüber hinaus sind EDV-Techniker direkt in computerbezogen arbeitenden Forschungsgruppen tätig.

EDV-Techniker benötigen keine besondern Werkstatträume. Ihnen kann ein Einzelbüro mit beispielsweise **18 m² als Arbeitsplatz** zugewiesen werden, da inzwischen Büroräume standardmäßig an das Datennetz angeschlossen sind. Der Zuschlag von 6 m² zum persönlichen Rechnerarbeitsplatz von 10 bis 12 m² dient dabei unter anderen zum Reparieren von Rechnern.

Dezentral tätige Elektroniker und Mechaniker

Zu den dezentral in den experimentellen Forschungsgruppen, bei den Gemeinschaftsgeräten, den Praktika und dem experimentellen Hörsaal tätigen Technikern gehören insbesondere Elektroniker und in geringerem Umfang Mechaniker. Als Arbeitsplätze sind für sie dezentrale Werkstatträume mit einer Grundfläche von **ca. 18 m² pro Person** einzuplanen (vgl. Vogel/Scholz 1997, S. 70).

Zentrale Mechanikwerkstatt und Heliumverflüssigung

Zu den zentralen technischen Dienstleistungen einer Physik-Einrichtung gehören die zentrale Mechanikwerkstatt und die Heliumverflüssigung.

Als Flächenbedarf der Mechanikwerkstatt sind **40 m² pro Mitarbeiter** anzusetzen, wovon etwa 30 m² auf die Werkstatträume, 7 m² auf das Lager, 1 m² auf den Sozialraum und 2 m² auf das Meisterbüro entfallen (Vogel/Scholz 1997, S. 58).

Für die Heliumverflüssigungsanlage wird eine Fläche von 100 bis 200 m² benötigt. Diese wird teilweise mit dem Argument, es handele sich um eine technische Ausstattung des Gebäudes, der Technikfläche zugeschlagen. Die Heliumverflüssigungsanlage ist jedoch eine typische Serviceeinrichtung der Physik, um den Bedarf an flüssigem Helium, das in vielen Experimenten als Kühlmittel eingesetzt wird, zu verringern. Das im Gebäude verlegte Leitungsnetz dient dabei nur der Rückführung des „verbrauchten“ Heliums. Die Versorgung der Labore mit flüssigem Kühlmittel erfolgt dagegen mit besonderen Behältern. Die Räume der Heliumverflüssigungsanlage sind folglich der Hauptnutzfläche zuzurechnen.

6.4.2 Bibliotheksflächen

Der Bedarf an Bibliotheksflächen wird im Wesentlichen von zwei Einflussgrößen bestimmt. Der Bedarf an Stellflächen für Bücher und sonstige Medien („Bibliothekarische Einheiten“) sowie an Flächen für das Bibliothekspersonal hängt in erster Linie vom Umfang des Buchbestandes des jeweiligen Faches ab. Dagegen ist für den Bedarf an Leseplätzen die Zahl der Studienplätze der wichtigste Einflussfaktor (vgl. Weidner-Russell/Senf 2001, S. 57ff.). Die Aufteilung der Bibliotheksversorgung zwischen der zentralen Universitätsbibliothek und den dezentralen Fachbereichs- bzw. Institutsbibliotheken – und damit auch die Zurechnung der Bibliotheksfläche – ist allerdings von den Besonderheiten des jeweiligen Standortes abhängig. So werden beispielsweise auf der unteren Ebene zunehmend kleinere Bibliotheken in fachbereichsübergreifende Bereichsbibliotheken zusammengeführt.

Davon losgelöst ist die Bibliotheksfläche in kapazitätswirksame und in kapazitätsunwirksame Anteile aufzuteilen. Die Planung der Bibliotheksflächen bedarf daher einer detaillierten Analyse der jeweiligen Standortbedingungen.

In den Bedarfsmodellen des 8. Kapitels wird statt dessen vereinfachend nur die kapazitätswirksame Bibliotheksfläche mit Hilfe des Teilrichtwerts von **0,6 m² HNF je Physik-Studienplatz** berücksichtigt, der in einer aktuellen Studie zu den Flächen niedersächsischer Hochschulen auf der Basis von Flächenbestandsdaten hergeleitet wurde (Weidner-Russell/Senf 2001, S. 125).

6.4.3 Lagerräume

Als Ergänzung der Büro-, Labor- und Lehrräume werden separate Lagerräume zum Aufbewahren von Akten, Ersatzteilen und -geräten sowie von Lehrmitteln benötigt. Spezielle Chemikalienlager werden von Physik-Einrichtungen in der Regel nicht benötigt. An die Lagerräume der Physik sind daher geringere bauliche Anforderungen zu stellen als an die übrigen Räume. So können als Lager beispielsweise Räume ohne Tageslicht in der Mittelzone eines Dreibundes oder im Keller genutzt werden. Zudem müssen Lagerräume nicht unbedingt in unmittelbarer Nähe der übrigen Räume des jeweiligen Nutzers liegen.

Da der Bedarf an Lagerflächen im Einzelnen nur schwer zu prognostizieren ist, muss sich die Flächenplanung für diesen Bereich auf pauschale Zuordnungen zu verschiedenen Organisationseinheiten beschränken.

Archiv

Zur Aufbewahrung von Akten sollte auf Instituts- und Fachbereichsebene jeweils ein Archivraum mit 10 bis 20 m^2 vorgesehen werden.

Gerätelager

Gerätelager werden von den experimentellen Forschungsgruppen benötigt, um Ersatzteile und nur zeitweilig genutzte Forschungsgeräte zu lagern. Erfahrungsgemäß reichen dafür Lagerflächen in der Größenordnung von ca. 10 % der Laborflächen aus. Entsprechend werden in den exemplarischen Bedarfsmodellen des 8. Kapitels jeweils ein 18 m^2 Lagerraum pro apparatebezogener Forschungsgruppe und jeweils ein 12 m^2 Lagerraum je probenbezogener und je naturbeobachtender Forschungsgruppe eingeplant. Darüber hinaus werden den gemeinsamen Forschungseinrichtungen der probenbezogenen Gruppen und den Großgeräten je nach Laborfläche Lagerflächen von 36 bis 72 m^2 zugeordnet.

Sammlung

Sammlungsräume zum Lagern von Lehrmitteln sind bei den zentralen Grund- und Fortgeschrittenenpraktika, dem experimentellen Hörsaal und den Demonstrationspraktika der Fachdidaktik erforderlich. Dabei hängt der Bedarf in erster Linie vom Umfang der vorzuführenden bzw. durchzuführenden Versuche, und nur in zweiter Linie von der Zahl der auszubildenden Studierenden ab.

Erfahrungsgemäß reichen Sammlungsflächen von jeweils bis 50 m^2 für die zentralen Praktika und den experimentellen Hörsaal sowie von bis zu 25 m^2 für die Fachdidaktik aus.

6.5 Planung der Lehrraumflächen

6.5.1 Bedarfsermittlung mit Teilrichtwerten

Teilflächenrichtwerte, kurz: Teilrichtwerte, quantifizieren die Hauptnutzfläche, die von einer bestimmten Raumnutzungsart benötigt wird, um die fachliche Ausbildung eines Studierenden zu ermöglichen. Die Dimension von Teilrichtwerten ist m^2 HNF pro Studienplatz. Prinzipiell lassen sich für alle von einer fachlichen Hochschuleinrichtung benötigten Raumnutzungsarten Teilrichtwerte ermitteln (vgl. Arbeitskreis für Bedarfsbemessung 1974). In diesem Fall entspricht die Summe aller Teilrichtwerte dem spezifischen Flächenrichtwert für den jeweiligen Studiengang.

Im Rahmen einer differenzierten Flächenplanung ist die Bedarfsermittlung mit Teilrichtwerten nur für jene Raumnutzungsarten zweckmäßig, deren Bedarf unabhängig vom Personalbestand und annähernd proportional zur Zahl der Studienplätze ist. Dies trifft auf Hörsäle, Seminarräume und PC-Terminals zu.

Teilrichtwerte beziehen sich allerdings ebenso wie Flächenrichtwerte auf Studiengänge. Bei der Flächenplanung für eine Physik-Einrichtung sind daher nur die Anteile der Teilrichtwerte zu verwenden, die den Lehrraumbedarf für Physik-Veranstaltungen pro Studienplatz beschreiben. Dagegen sind bei der Ermittlung des studienplatzbezogenen Flächenbedarfs auch die von anderen Fachbereichen für Physik-Studierende durchgeführten Lehrveranstaltungen zu berücksichtigen. In den Abbildungen 6.4 und 6.5 werden daher getrennte Teilrichtwerte für die Physik-Veranstaltungen und für die Lehrimporte hergeleitet.

Hörsäle

Hörsäle werden in der Regel zentral von den Hochschulen verwaltet. In der Physik finden hier in erster Linie die Pflichtvorlesungen im Grundstudium statt. Aufgrund der Studierendenzahlen liegen die Gruppengrößen dabei zum Teil auch unter 100 Studierenden. Vor allem in physikalischen Grundlagenvorlesungen sind nach Aussagen von Fachvertretern trotz der Entwicklungen in den visuellen Medien auch weiterhin Demonstrationsversuche notwendig. Dafür wird in jeder Physik-Einrichtung mindestens ein Hörsaal mit experimenteller Ausstattung benötigt, d. h. mit Gas-, Wasser-, Abwasser-, Druckluft- und Elektroanschlüssen im Podiumsbereich, mit fest installierten oder mobilen Experimentiertischen sowie mit Abzügen. Darüber hinaus sind Vorbereitungs- bzw. Sammlungsräume in ihrer unmittelbaren Nähe erforderlich. Dieser experimentelle Hörsaal wird in der Regel von anderen Natur- und Ingenieurwissenschaften mitgenutzt.

Basis ist der Flächenfaktor von 1,25 m^2 pro Sitzplatz, in dem ca. 0,9 bis 1,1 m² durchschnittliche Hörsaalfläche und 0,05 bis 0,2 m² durchschnittliche Vorbereitungsfläche enthalten sind (vgl. Haase/ Senf 1995). Unter Berücksichtigung der zeitlichen und platzmäßigen Ausnutzung ergibt sich daraus ein Teilrichtwert für den Hörsaalbedarf der Physik-Veranstaltungen von 0,28 m² und für den Hörsaalbedarf der Lehrimporte von 0,19 m² pro Physik-Studienplatz.

Seminarräume

Im Physikstudium werden in Seminarräumen sowohl Wahlpflichtvorlesungen als auch Seminare und Übungen durchgeführt, da diese Veranstaltungen von deutlich weniger als 100 Teilnehmern besucht werden. Seminarräume werden im Normalfall zentral verwaltet. Dennoch sind einzelne Seminarräume Instituten oder Forschungsgruppen zugeordnet, in denen neben Lehrveranstaltungen auch Besprechungen, Kolloquien und Prüfungen stattfinden. Im Hinblick auf eine effektive Nutzbarkeit sollten Seminarräume in unterschiedlichen Größenklassen vorgehalten werden. Der übliche Flächenbedarf liegt hier bei 2,2 m² pro Platz. Nach dem in den Abbildungen 6.4 und 6.5 verwendeten Verfahren resultiert daraus ein Teilrichtwert für den Seminarraumbedarf für Physik-Veranstaltungen von 0,42 m² und für Lehrimporte von 0,34 m^2 pro Studienplatz.

Praktikumsräume für Lehrimporte

In Abbildung 6.5 wird auch ein Teilrichtwert für Praktikumsräume von 0,10 m^2 pro Physik-Studienplatz hergeleitet. Dieser bezieht sich allerdings nur auf die Praktika, die Physik-Studierende als Wahlpflichtveranstaltungen in Chemie, Elektrotechnik oder Informatik-Fachbereichen absolvieren. Zur Ermittlung des Flächenbedarfs der Physik-Praktika wird dagegen in Abschnitt 6.5.2 ein detaillierteres Verfahren vorgestellt.

I.

Studienplan Diplom / Bachelor- + Master				erforderliche Raumart (gewichtete SWS)			
Semester	Verbleibe-quote	Veranstaltungstyp (SWS)		Wintersemester		Sommersemester	
		Vor-lesung	Seminar / Übung	Hörsaal	Seminar-raum	Hörsaal	Seminar-raum
1	1,00	5	3	5	3		
2	1,00	6	3			6	3
3	0,80	7	3	7	3		
4	0,80	7	4			7	4
Gew. Summe		**22,2**	**11,6**	**10,6**	**5,4**	**11,6**	**6,2**
5	0,45	9	5	8	6		
6	0,45	9	5			7	7
7	0,40	6	4	3	7		
8	0,40	2	5			0	7
9	0,40	0	0	Diplom- / Master-Arbeit			
10	0,40	0	0			Diplom- / Master-Arbeit	
Gew. Summe		**11,3**	**8,1**	**4,8**	**5,5**	**3,2**	**6,0**
Gew. Gesamtsum.		**33,5**	**19,7**	**15,4**	**10,9**	**14,8**	**12,2**

II.

Teilrichtwerte je Raumart (m² HNF je Studienplatz)				
Zeitbudget (ZB) = gew. Gesamtsumme / 3,05	5,0	3,6	4,8	4,0
Zeitliche Ausnutzung (AZ)	30	35	30	35
Platzmässige Ausnutzung (AR)	0,75	0,60	0,75	0,60
Platzfaktor (PF) = ZB / (AZ*AR)	0,22	0,17	0,21	0,19
Flächenfaktor (FF)	1,25	2,20	1,25	2,20
Teilrichtwert je Raumart = PF*FF	**0,28**	**0,37**	**0,27**	**0,42**

III.

Flächenbedarf an Hörsälen und Seminarräumen je Studiengang (m² HNF)		
Raumart	verwendeter Teilrichtwert: Maximum aus WS und SS	
Hörsäle	**0,28**	**x Zahl der Studienplätze**
Seminarräume	**0,42**	**x Zahl der Studienplätze**

Erläuterung der Verfahrensschritte:

I.

1. Als Grundlage dient das Studienstrukturmodell (vgl. Kapitel 3.3.5).
2. Die SWS werden pro Semester der erforderlichen Raumart zugeordnet. Es wird angenommen, dass Wahlpflichtveranstaltungen aufgrund der geringeren Studierendenzahlen in Seminarräumen stattfinden.
3. Die Summe je Veranstaltungsart über alle Winter- bzw. alle Sommersemester wird - gewichtet nach der Verbleibequote - errechnet.

II.

1. Das Zeitbudget (ZB) errechnet sich aus der Summe der SWS je Raumart, dividiert durch die Summe der jeweiligen Verbeleibequoten (3,05).
2. Zeitliche Ausnutzung (AZ) und platzmäßige Ausnutzung (AR) werden ermittelt (Vgl. Haase/Senf 1995). Dabei wird eine reduzierte zeitliche Ausnutzung für experimentelle Hörsäle aufgrund des Zeitbedarfs zum Auf- und Abbau der Experimente berücksichtigt.
3. Der Platzfaktor (PF) = ZB / (AZ*AR) wird errechnet.
4. Der Flächenfaktor (FF) für Hörsäle ergibt sich aus 1,1 m² Hörsaalfläche plus 0,15 m² Vorbereitungsfläche pro Platz.

III.

Der Flächenbedarf pro Studiengang ergibt sich aus für jede Raumart aus den ermittelten Teilrichtwerten multipliziert mit der Zahl der Studienplätze. Als Teilrichtwert wird das Maximum aus Winter- und Sommersemester verwendet.

Abb. 6.4: Teilrichtwerte für den Lehrraumbedarf der Physik-Veranstaltungen

I.

Studienplan Diplom / Bachelor + Master					erforderliche Raumart (gewichtete SWS)					
Semester	Verbleibe-quote	Veranstaltungstyp (SWS)			Wintersemester			Sommersemester		
		Vor-lesung	Seminar / Übung	Praktikum	Hörsaal	Seminar-raum	Prakti-kumsraum	Hörsaal	Seminar-raum	Prakti-kumsraum
1	1,00	8	4	0	7	5	0			
2	1,00	7	3	2				6	4	2
3	0,80	5	2	1	4	3	1			
4	0,80	4	2	0				3	3	0
Gew. Summe		**22,2**	**10,2**	**2,8**	**10,2**	**7,4**	**0,8**	**8,4**	**6,4**	**2,0**
5	0,45	1	3	1	1	3	1			
6	0,45	0	1	0				0	1	0
7	0,40	0	3	0	0	3	0			
8	0,40	0	3	0				0	3	0
9	0,40	0	0	0	Diplom- / Master-Arbeit					
10	0,40	0	0	0				Diplom- / Master-Arbeit		
Gew. Summe		**0,5**	**4,2**	**0,5**	**0,5**	**2,6**	**0,5**	**0,0**	**1,7**	**0,0**
Gew. Gesamtsum.		**22,7**	**14,4**	**3,3**	**10,7**	**10,0**	**1,3**	**8,4**	**8,1**	**2,0**

II.

Teilrichtwerte je Raumart (m² HNF je Studienplatz)						
Zeitbudget (ZB) = gew. Gesamtsumme / 3,05	3,5	3,3	0,4	2,8	2,6	0,7
Zeitliche Ausnutzung (AZ)	30	35	30	30	35	30
Platzmässige Ausnutzung (AR)	0,75	0,60	0,90	0,75	0,60	0,90
Platzfaktor (PF) = ZB / (AZ*AR)	0,16	0,16	0,02	0,12	0,13	0,02
Flächenfaktor (FF)	1,25	2,20	4,00	1,25	2,20	4,00
Teilrichtwert je Raumart = PF*FF	**0,19**	**0,34**	**0,06**	**0,15**	**0,28**	**0,10**

III.

Flächenbedarf an Hörsälen und Seminarräumen je Studiengang (m² HNF)		
Raumart	**verwendeter Teilrichtwert: Maximum aus WS und SS**	
Hörsäle	**0,19**	**x Zahl der Studienplätze**
Seminarräume	**0,34**	**x Zahl der Studienplätze**
Praktikumsräume	**0,10**	**x Zahl der Studienplätze**

Erläuterung der Verfahrensschritte:

I.

1. Als Grundlage dient das Studienstrukturmodell (vgl. Kapitel 3.3.5).
2. Die SWS werden pro Semester der erforderlichen Raumart zugeordnet. Es wird angenommen, dass Wahlpflichtveranstaltungen aufgrund der geringeren Studierendenzahlen in Seminarräumen stattfinden.
3. Die Summe je Veranstaltungsart über alle Winter- bzw. alle Sommersemester wird - gewichtet nach der Verbleibequote - errechnet.

II.

1. Das Zeitbudget (ZB) errechnet sich aus der Summe der SWS je Raumart, dividiert durch die Summe der jeweiligen Verbeleibequoten (3,05).
2. Zeitliche Ausnutzung (AZ) und platzmäßige Ausnutzung (AR) werden ermittelt (Vgl. Haase/Senf 1995). Dabei wird eine reduzierte zeitliche Ausnutzung für experimentelle Hörsäle aufgrund des Zeitbedarfs zum Auf- und Abbau der Experimente berücksichtigt.
3. Der Platzfaktor (PF) = ZB / (AZ*AR) wird errechnet.
4. Der Flächenfaktor (FF) für Hörsäle ergibt sich aus 1,1 m² Hörsaalfläche plus 0,15 m² Vorbereitungsfläche pro Platz.

III.

Der Flächenbedarf pro Studiengang ergibt sich aus für jede Raumart aus den ermittelten Teilrichtwerten multipliziert mit der Zahl der Studienplätze. Als Teilrichtwert wird das Maximum aus Winter- und Sommersemester verwendet.

Abb. 6.5: Teilrichtwerte für den Lehrraumbedarf der Lehrimporte

Rechner-Arbeitsplätze / PC-Pools

Rechnerplätze sind in der Physik für verschiedene Nutzungen notwendig. Zum einen werden sie trotz der zunehmenden Verbreitung privater PC unter den Studierenden zumindest in naher Zukunft weiterhin für freie Übungen, zum Verfassen von Studienarbeiten und Internetrecherchen benötigt. Zum anderen nehmen mit der Verstärkung der "Computational Physics" auch die computerbezogenen Lehrveranstaltungen zu. Um multimediale Lehr- und Lernmaterialien sinnvoll und zur Steigerung der Qualität der Lehre einsetzen zu können, wird vom Wissenschaftsrat "eine stärkere

Ausstattung von Arbeitsplatzrechnern für Studierende auf ein Verhältnis von **mindestens 1 : 10**" empfohlen (Wissenschaftsrat 1998). Unter Berücksichtigung des Platzfaktors von 3,5 m² pro Arbeitsplatz resultiert daraus ein **Teilrichtwert von 0,35 m² je Studienplatz**.

Je nach Lage im Gebäude (Südlage, Dachgeschoss etc.) benötigen Terminalräume eine Umluftkühlung. Durch den Einsatz von Client-Server-Systemen mit Flachbildschirmen lässt sich die Umluftkühlung auf einen Geräteraum von 10 bis 12 m² begrenzen, da die Bildschirmarbeitsplätze auf einen gemeinsamen Rechner zugreifen und ohne eigene Arbeitsplatzrechner auskommen.

6.5.2 Flächenbedarf der Praktika

Zur Bemessung des Flächenbedarfs physikalischer Praktikumsräume bieten sich als Bezugsgrößen die Zahl der benötigten Praktikumsplätze oder der erforderlichen Versuchsaufbauten an.

Aufgrund der zumeist fest installierten Experimente ist die Zahl der Praktikumsplätze in der Physik – anders als beispielsweise in den nass-präparativen Praktika der Chemie – nicht proportional zur Zahl der benötigten Versuchsaufbauten. Deren Zahl hängt vielmehr von der Zahl der Versuche ab, die die Studierenden absolvieren müssen, um einen Leistungsnachweis zu erhalten. Bei Physik-Einrichtungen mit wenigen Studierenden kann daher eine Flächenplanung auf Basis der benötigten Praktikumsplätze einen zu niedrigen Flächenbedarf ausweisen. Bei großen Studierendenzahlen fehlt dagegen ein Anreiz zur effizienten Gestaltung der Praktikumsorganisation. Sofern die Möglichkeit besteht, die Praktikumsorganisation eingehend zu analysieren (siehe dazu den nachfolgenden Exkurs), sollte der Flächenbedarf aus den benötigten Versuchsaufbauten hergeleitet werden. Dagegen erlaubt die Flächenplanung auf Basis der benötigten Praktikumsplätze nur eine überschlägige Abschätzung des Flächenbedarfs.

Grundpraktika

Die Experimente im Grundpraktikum sind in der Regel so kompakt, dass sie auf maximal 1 m² Tischfläche aufgebaut werden können. Da neben den Apparaturen noch Schreibfläche für die Versuchsauswertung benötigt wird, kann von einer reinen Arbeitsfläche von etwa 1,6 m² pro Versuch bzw. 0,8 m² pro Arbeitsplatz ausgegangen werden. Übliche Versuchstische haben dem entsprechend eine Größe von 90 x 180 cm. Je nach Versuchsanordnung im Raum kommen hierzu im Wesentlichen Flächen für die Sitzplätze der Studierenden sowie Lager- und Verkehrsflächen. Bei verstärktem Auf- und Abbau von Geräten werden zusätzliche Sammlungsflächen benötigt. Gewöhnlich liegt der durchschnittliche Flächenbedarf pro Versuchsaufbau zwischen 5,0 und 8,0 m² bzw. zwischen 2,5 und 4,0 m² pro Arbeitsplatz. Erfahrungsgemäß erweisen sich **Flächenfaktoren von 6 m² pro Versuchsaufbau bzw. 3 m² pro Arbeitsplatz** als zweckmäßig.

Abbildung 6.6 zeigt exemplarisch die Ermittlung des Flächenbedarfs für das Grundpraktikum in den Bedarfsmodellen 1 bis 5. Im oberen Bereich der Tabelle wird die überschlägige Bedarfsermittlung auf Basis der benötigten Praktikumsplätze vorgeführt. Dazu ist die Zahl der Praktikumsplätze mittels Division durch die durchschnittliche Belegungshäufigkeit in die Zahl der benötigten Arbeitsplätze umzurechnen, bevor diese mit dem entsprechenden Flächenfaktor multipliziert werden. Der untere Bereich veranschaulicht die Herleitung des Flächenbedarfs aus dem Set der benötigten Versuchsaufbauten (vgl. Abbildung E.7). Der Vergleich der Ergebnisse illustriert, dass eine detaillierte Analyse des Praktikumsbetriebs unter Umständen deutliche Einsparungspotentiale aufdecken kann.

Neben den Praktikumsräumen benötigt ein zentrales Grundpraktikum Büro- und Werkstatträume für die wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter. Deren Flächenbedarf lässt sich mit den in Abschnitt 6.2.1 bzw. 6.4.1 beschriebenen Ansätzen ermitteln. Zusätzlich sind Sammlungsflächen zwischen 25 und 50 m² einzuplanen.

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
Teilnehmer Physik	230	355	492	499	492
Teilnehmer andere Fächer	250	375	500	500	500
benötigte Praktikumsplätze	**480**	**730**	**992**	**999**	**992**
∅ Belegungshäufigkeit	5	5	5	5	5
Arbeitsplätze	96	146	198	200	198
Fläche pro Arbeitsplatz (m^2)	3	3	3	3	3
Flächenbedarf (m^2 HNF)	**288**	**438**	**595**	**600**	**595**
benötigte Versuchsaufbauten	**45**	**50**	**80**	**80**	**80**
davon für Physik	30	30	60	60	60
für andere Fächer	15	20	20	20	20
Fläche pro Aufbau (m^2)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Flächenbedarf (m^2 HNF)	**270**	**300**	**480**	**480**	**480**

Abb. 6.6: Flächenbedarf des Grundpraktikums

Fortgeschrittenenpraktika

In den Fortgeschrittenenpraktika hängt der Flächenbedarf im Wesentlichen von der Größe der genutzten Geräte ab. Aufgrund der Komplexität und stärkeren Störanfälligkeit können in der Regel weniger Versuche pro Raum untergebracht werden als in den Grundpraktika. Der Flächenbedarf pro Versuchsaufbau inklusive Verkehrs- und anderen Nebenflächen ist etwa doppelt so groß wie in den Grundpraktika. Im Mittel kann mit **Flächenfaktoren von 12 m^2 pro Versuch bzw.** bei Nutzung durch zwei Studierende von **6,0 m^2 pro Arbeitsplatz** gerechnet werden.

Die Zahl der benötigten Versuchsaufbauten ergibt sich in kleinen Physik-Einrichtungen aus dem Pflichtprogramm, das die Physik-Studierenden zu absolvieren haben. Durchschnittlich sind dies 15 Versuche. In großen Einrichtungen mit dezentralen Fortgeschrittenenpraktika ist dagegen für jede experimentelle Forschungsgruppe mindestens ein Versuch bzw. ein kleines Praktikumslabor mit 10 bis 15 m^2 einzuplanen. In Abbildung 6.7 sind die Flächenbedarf der Fortgeschrittenenpraktika in den Bedarfsmodellen 1 bis 5 zusammengestellt.

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
Teilnehmer	92	143	178	181	178
benötigte Versuchsaufbauten	**15**	**16**	**23**	**23**	**23**
Fläche pro Aufbau (m^2)	12	12	12	12	12
Flächenbedarf (m^2 HNF)	**180**	**192**	**276**	**276**	**276**

Abb. 6.7: Flächenbedarf des Fortgeschrittenenpraktikums

Demonstrationspraktika

Da Demonstrationspraktika experimentelle und seminaristische Anteile enthalten, benötigen sie besondere Räumlichkeiten. Die Räume für die Demonstrationspraktika werden meistens von der Fachdidaktik betreut. Aufgrund der geringen Zahl der Lehramtsstudierenden wird der Flächenbedarf nicht durch die Zahl der benötigten Arbeitsplätze bestimmt. Auch die Zahl der Versuchsaufbauten spielt eine untergeordnete Rolle, da die Studierenden ihre Experimente meist selbst entwickeln und zusammenstellen.

Ausgangspunkt des Flächenbedarfs ist die Differenzierung der Demonstrationspraktika in Themenbereiche, beispielsweise in Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Optik. Für ein bis zwei dieser Themenbereiche ist jeweils ein Praktikumsraum mit 20 bis 30 m^2 erforderlich, um die entsprechenden Demonstrationsversuche zu entwickeln und durchzuführen sowie zur Aufbewahrung der jeweiligen Versuchs-Bauteile. Zusätzlich ist experimenteller Seminarraum mit 40 bis 60 m^2 für 20 bis 30 Zuhörer sinnvoll.

Exkurs: Praktikumsbetrieb

Praktika nehmen mit rund 20 % der im Studienplan vorgesehenen Semesterwochenstunden sowohl zeitlich als auch inhaltlich einen großen Anteil des Physikstudiums ein. Da Physikpraktika auch von zahlreichen Studierenden anderer Fächer zu absolvieren sind, binden sie einen erheblichen Teil der Ressourcen einer Physik-Einrichtung. Voraussetzung für eine bedarfsgerechte Flächenplanung ist die detaillierte Bemessung der Praktikumsflächen. Dies setzt eine Analyse der qualitativen und quantitativen Aspekte des jeweiligen Praktikumsbetriebs voraus. Dazu will der vorliegende Exkurs Anhaltspunkte liefern.

Zunächst beschreibt Abschnitt E.1 Art und Zahl der Versuche, die die verschiedenen Teilnehmerkreise typischerweise in physikalischen Grund-, Fortgeschrittenen- und Demonstrationspraktika durchführen müssen. Abschnitt E.2 skizziert unterschiedliche Organisationsmuster und die damit verbundenen Formen der Personalzuordnung. Darauf aufbauend werden in Abschnitt E.3 exemplarische Modelle zur Planung der quantitativen Aspekte des Praktikumsbetriebs vorgestellt.

E.1 Art und Zahl der Versuche

E.1.1 Grundpraktika

Grundpraktika sind von den Studierenden der Physik, der Naturwissenschaften, der Ingenieurwissenschaften und der medizinischen Fächer im Rahmen ihres Grundstudiums zu absolvieren. Dazu müssen die Studierenden in Kurs- oder Kompaktform jeweils eine bestimmte Zahl vorgegebener Experimente durchführen.

Das Grundpraktikum soll den Studierenden die Gesetze der klassischen Physik nahe bringen. Sie sollen physikalische Abläufe und Messmethoden kennen lernen und den Umgang mit Problemen der Versuchsdurchführung und Ergebnisauswertung einüben. Die Versuche stammen aus den "klassischen" Themenbereichen Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Optik. Ergänzt werden sie durch einführende Experimente zur Atom- bzw. Kernphysik, teilweise auch zur Statistik und Fehlerrechnung. Vielfach können in einem Versuch mehrere physikalische Effekte gleichzeitig untersucht werden. In Abbildung E.1 sind exemplarisch die Versuche zusammengestellt, die Physik-Studierende an der Universität Kaiserslautern durchführen müssen.

Die Zahl der im Grundstudium durchzuführenden Versuche variiert für Studierende der Diplom-**Physik** an den einzelnen Hochschulen **zwischen 20 und 40 Versuchen** in zwei bis drei Semestern (siehe Abbildung E.4). Lehramts-Studierende experimentieren an den gleichen Apparaturen, müssen aber in der Regel weniger Versuche durchführen.

Die Studierenden führen die Experimente in Kleingruppen von zwei Personen und in unterschiedlicher Reihenfolge durch. Die Gruppenarbeit hat vor allem didaktische Gründe: sie erlaubt größtmögliche Eigenleistung jedes Einzelnen und intensiven gegenseitigen Austausch. Die aufgestellten Gruppen- bzw. Organisationspläne ordnen die Versuche in inhaltlich sinnvoller Weise. Wie im Beispiel der Universität Kaiserslautern zu erkennen ist, beginnt das Grundpraktikum häufig mit Versuchen zur Mechanik und Wärmelehre (Teil A) und endet mit der Atom- und Kernphysik (Teil C). Die Experimente sind so konzipiert, dass ihre Durchführung mit Auswertung in der Regel jeweils einen halben Tag (4 SWS) dauert. Bei einem Kurspraktikum mit einem Termin pro Woche sind somit rund **12 Versuche pro Semester** zu absolvieren.

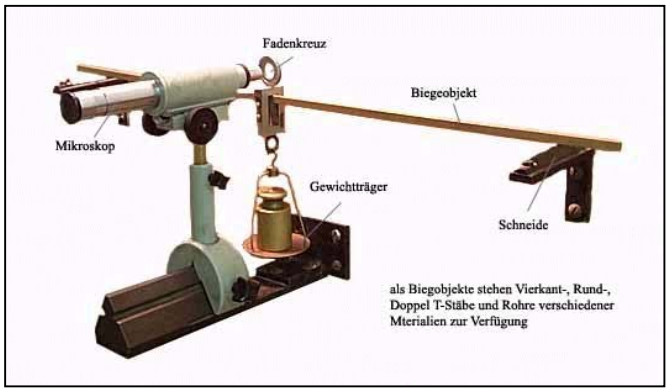
Themen-bereich	Praktikumsversuche		
	Teil A	**Teil B**	**Teil C**
Mechanik	Schwingungen Trägheitsmomente Kreisel Stoßversuche Viskosität Dehnen und Biegen Gravitation / Reversionspendel	Ultraschall	
Wärmelehre	Spezifische Wärme Wärmeleitung von Metallen Gasthermometer Bestimmung von cp:cV Zustandsänderung realer Gase		Wärmestrahlung Thermodynamische Kreisprozesse
Elektrizitäts-lehre		Elektrischer Trog Kompensationsschaltungen Elektrische Schwingkreise Transformator Wechselstromkreise Elektromaschinen	Kennlinien von Halbleiterelementen Transistorkennlinien
Optik		Linsensysteme Prisma Rotationsdispersion Beugung am Spalt Interferometrie	Gitterspektralapparat / Monochromator Mikrowellen / Bragg-Reflexion
Atom- und Kernphysik			e/m-Bestimmung Plancksche Konstante h Frank-Herz-Versuch Röntgenröhre Röntgenspektren Radioaktiver Zerfall

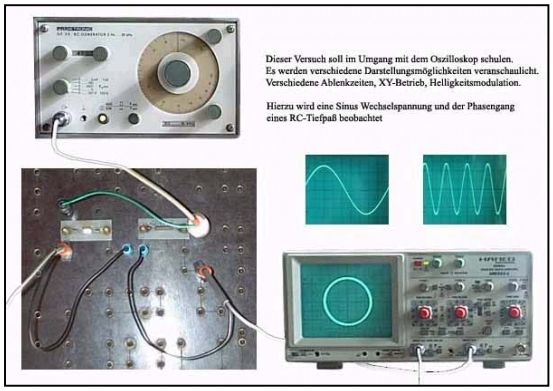
(Quelle: http://www.physik.uni-kl.de/w_ap/)

Abb. E.1: Versuche im Grundpraktikum für Physiker an der Universität Kaiserslautern

Nebenfach-Studierende und Studierende anderer Fächer müssen meistens weniger Versuche absolvieren als Physik-Studierende. Je nach Fach und Hochschule liegt die Zahl hier **zwischen 10 und 20 Versuchen** in einem oder zwei Semestern. Insbesondere Studierende anderer Naturwissenschaften können aufgrund der sehr ähnlichen Voraussetzungen dieselben Experimente nutzen wie die Physik-Studierenden. Für Studierende der Ingenieurwissenschaften müssen in der Regel nur einzelne, auf die spezifischen Anforderungen einzelner Studiengänge abgestimmte, spezielle Versuchsaufbauten konzipiert werden. Den größten Bedarf an zusätzlichen Versuchen haben die Medizin-Studiengänge, da ihre Ansprüche an das Physikpraktikum am stärksten von denen der anderen Studiengänge abweichen. Wichtige physikalische Themen der Medizin sind z. B. Strömungsdynamik (Blutkreislauf), Gasgesetze (Atmung) und Elektrische Potentiale (EKG).

Die Versuchsaufbauten im Grundpraktikum sind klein und wenig komplex. Teilweise können die Studierenden sie eigenhändig auf- und abbauen oder zumindest verändern. Da die Versuche zumeist nicht störanfällig gegenüber Erschütterungen sind, lassen sie sich auf handelsüblichen Arbeitstischen installieren. Bei ausreichender Größe der Tische eignen sie sich gleichzeitig als Schreibplatz für die Versuchsauswertung. Abbildung E.2 zeigt zwei Beispiele solcher Grundpraktikumsversuche.





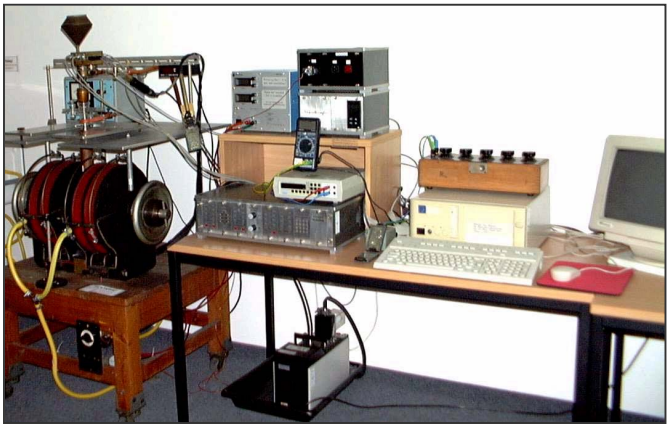
(Quelle: http://www.physik.uni-jena.de/~gpra/versuche.htm)

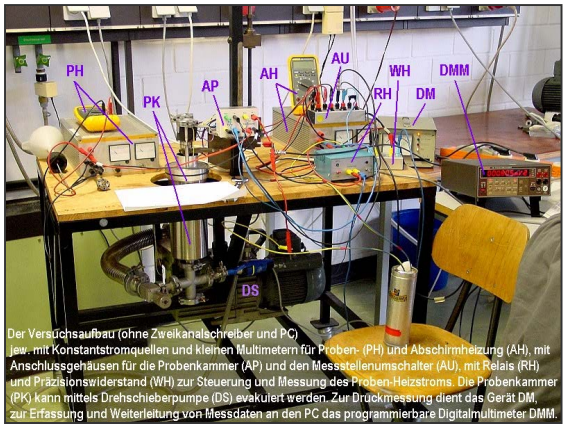
Abb. E.2: Versuche zur Biegung und zum Elektronenstrahloszilloskop im Grundpraktikum der Universität Jena

E.1.2 Fortgeschrittenenpraktika

Fortgeschrittenenpraktika sind in der Regel zweisemestrig und ausschließlich für Physik-Studierende konzipiert. Sie behandeln Themen der klassischen und der modernen Physik, z. B. Optik/Laserphysik, Festkörperphysik, Teilchen- und Kernphysik. Zumeist bestehen Wahlmöglichkeiten innerhalb der verschiedenen Versuchen eines Themenbereichs, zum Teil auch zwischen den angebotenen Themenbereichen.

Die Studierenden sollen im Fortgeschrittenenpraktikum ihre physikalischen Kenntnisse erweitern, ihre Experimentierpraxis vertiefen und zugleich für mögliche Diplomarbeitsthemen interessiert werden. Die Experimente sind komplexer als jene im Grundpraktikum und benötigen mehr Fläche. Aufgrund besonderer Anforderungen wie Erschütterungsschutz, Druckluft- oder Heliumversorgung können sie zum Teil nicht in einfachen Übungsräumen durchgeführt werden, sondern benötigen Laborbedingungen. Abbildung E.3 zeigt zwei typische Experimente aus den Fortgeschrittenenpraktika der Universitäten Leipzig und Duisburg.





(Quelle: http://www.uni-leipzig.de/~physfp/fprakt.html) (Quelle: http://fkpme246a.uni-duisburg.de/fp/FP.html)

Abb. E.3: Versuche zum Hall-Effekt und zu spezifischer Wärme von Festkörpern in den Fortgeschrittenenpraktika der Universitäten Leipzig und Duisburg

Hochschule	Zahl der Versuche	
	Grund praktikum	Fortgeschrittenen-praktikum
HU Berlin	26	12
U Bochum	32	15
TU Dresden	33	22
U Gießen	30	24
U Göttingen	40	10
U Heidelberg	40	14
U Kaiserslautern	36	10
U Karlsruhe	20	15
U Köln	40	16
U Leipzig	35	8
TU München	20	12

Abb.E.4: Zahl der Versuche (Diplom-Physik)

Die Fortgeschrittenenpraktika unterscheiden sich wesentlich stärker als die Grundpraktika. Da die angebotenen Versuchsaufbauten und Aufgabenstellungen unterschiedlich umfangreich sind, variiert die Zahl der durchzuführenden Experimente stärker als im Grundstudium. Wie Abbildung E.4 zeigt, liegt sie für Studierende der Diplom-Physik zwischen 8 und 24 Versuchen. Die Dauer für die Durchführung eines Versuches beträgt zwischen einem und drei Tagen mit jeweils 8 SWS. Teilweise werden die Praktika als Kompaktveranstaltungen angeboten. Gearbeitet wird auch hier üblicherweise in Zweiergruppen.

E.1.3 Demonstrationspraktika

Lehramtsstudierende müssen im Fortgeschrittenenpraktikum lediglich rund die Hälfte der Versuche für Diplom-Physiker durchführen, haben aber dafür ergänzend Lehr- bzw. Demonstrationspraktika zu absolvieren. In den Demonstrationspraktika sollen sie den Umgang mit schultypischen Geräten einüben sowie physikalische Phänomene zielgruppengerecht demonstrieren und erklären lernen. Stärker als in den anderen Praktika müssen die Studierenden hier ihre Versuchsaufbauten selbst entwickeln und installieren. Entsprechende Materialien (Gerätesammlung und ggf. Werkzeuge) sind ihnen hierfür zur Verfügung zu stellen. Die Entwicklung von Versuchen bzw. Versuchsreihen geschieht in Einzelarbeit oder Kleingruppen, die Vorstellung der Ergebnisse in Seminarform. Der zeitliche Umfang der Demonstrationspraktika beträgt rund 4 SWS.

E.2 Organisation und Personal

E.2.1 Grundpraktika

Die Grundpraktika verursachen aufgrund der Vielzahl der Studierenden und der Menge der durchzuführenden Versuche einen erheblichen Organisationsaufwand. Für eine adäquate Versorgung der Studierenden und eine effiziente Auslastung der vorhandenen Arbeitsplätze bzw. Räume ist daher eine **zentrale Organisation** durch eine spezielle Teileinheit für den gesamten Fachbereich sinnvoll. Nur selten sind die Grundpraktika mehreren Instituten oder Lehrstühlen zugeordnet.

In der Regel sind die Versuche des Grundpraktikums permanent aufgebaut. Praktikumsräume für Versuche, die nur im Wintersemester oder nur im Sommersemester von Studierenden durchzuführen sind, können daher oft nur halbjährig genutzt werden. Ein **bedarfsabhängiges Auf- und Abbauen** bietet nur eine eingeschränkte Alternative. An einigen Hochschulen gehören Versuchskonzeption und -aufbau zwar zum Lerninhalt der Grundpraktika und müssen von allen Studierenden an geeigneten Einzelbeispielen durchgeführt werden. Generell führt der bedarfsabhängige Auf- und Abbau von Experimenten jedoch zu einen erheblichen zusätzlichen Arbeitsaufwand für das Praktikumspersonal, teilweise auch für die Studierenden, da die Versuche nach jedem neuen Aufbauen kalibriert werden müssen, um die Qualität der Messergebnisse beurteilen zu können.

Auch in kleineren Physik-Einrichtungen ist zur Organisation ein dauerhaft beschäftigter wissenschaftlicher Mitarbeiter sowie mindestens ein Techniker notwendig. Da der Zeitaufwand für die Organisation der Praktika bei geringen Studierendenzahlen keine ganze Stelle ausfüllt, bietet sich inhaltlich eine Kombination von Praktikumsleitung und Studienberatung in einer Person an. Bei großen Zahlen zu betreuender Versuchsaufbauten oder bei häufigem Auf- und Abbau von Experimenten kann darüber hinaus mehr als eine Technikerstelle benötigt werden. Hier ist eine Stellenkombination mit der Vorbereitung der Experimentalvorlesungen zweckmäßig.

Der größte Personalbedarf im Rahmen der Praktika entsteht durch die Betreuung der Studierenden während der Versuchsdurchführung. Dazu gehören die Einweisung der Studierenden in die Versuche, die Hilfestellung bei auftretenden Problemen und die Überprüfung und Benotung der Versuchsprotokolle. Die Betreuung der Praktika ist eine originäre Lehraufgabe der wissenschaftlichen Mitarbeiter auf Haushaltszeitstellen, die dazu ein Deputat von 4 SWS pro Semester ansetzen können. Ergänzend können im Grundpraktikum Studierende höherer Semester (ggf. auch aus den zu versorgenden Nebenfächern) eingesetzt werden. Während Studierende als Betreuungspersonal in der Praxis meist eine höhere Motivation zeigen, besitzen Doktoranden mehr Experimentiererfahrung und einen größeren persönlichen Abstand zu den Praktikanten. Ein gemischter Einsatz von Doktoranden und Studierenden ist daher sinnvoll.

Organisation des physikalischen Grundpraktikums an der Universität Würzburg

Das physikalische Grundpraktikum für Nanostrukturtechniker und Diplomphysiker an der Universität Würzburg umfasst 36 Versuche (6 im 1. Semester und jeweils 10 im 2., 3. und 4. Semester). Lehramtsstudierende müssen davon 24 Versuche durchführen, andere Studiengänge (Mathematik, Informatik, Medizin etc.) lediglich 10. Im 1. Semester wird eine Begleitvorlesung zur Auswertung von Messungen und Fehlerrechnungen angeboten.

Alle Versuche sind permanent aufgebaut. Die Versuche für das 1. Semester werden dreifach vorgehalten, die für das 2. zweifach, die übrigen in der Regel einfach. Die 58 Versuchsaufbauten sind gleichmäßig auf 6 Praktikumsräume mit jeweils knapp 60 m^2 aufgeteilt. Die Studierenden arbeiten in Zweier-Gruppen. Das Praktikum ist an 5 Nachmittagen pro Woche belegt. Dabei werden die Versuchsaufbauten jedes Semester genutzt, da in Würzburg das Physik-Studium sowohl im Winter- als auch im Sommersemester begonnen werden kann.

Die Betreuung der Praktika erfolgt durch Studierende höherer Semester und Doktoranden. Im ersten Semester ist die Betreuungsrelation 1 : 12 (dies entspricht der Betreuung von 6 Versuchsaufbauten, aber nur 2 unterschiedlichen Versuchen), in den übrigen Semestern 1 : 8 (4 unterschiedliche Versuche).

Bei der Betreuung mehrerer identischer Aufbauten (siehe hierzu den obigen Kasten) kann das Betreuungsverhältnis höher ausfallen, als bei vielen unterschiedlichen Versuchen. In der Regel sind an den Hochschulen **Betreuungsverhältnisse zwischen 1 : 8 und 1 : 12** vorzufinden. Typisch sind Gruppen mit rund 24 Studierenden (12 Versuche), die von einem wissenschaftlicher Mitarbeiter und ein bis zwei studentischen Hilfskräften betreut werden.

E.2.2 Fortgeschrittenenpraktika

Bei Fortgeschrittenenpraktika ist zwischen einer zentralen und einer dezentral Organisationsform zu unterscheiden. **Zentral organisierte Fortgeschrittenenpraktika** werden in eigens dafür vorgesehenen Praktikumsräumen durchgeführt. Wie im Grundpraktikum absolvieren die Studierenden nacheinander mehrere vorgegebene oder zur Auswahl stehende Experimente. Die Versuche **dezentraler Laborpraktika** werden dagegen von den experimentellen Forschungsgruppen angeboten. Dazu hält jede experimentelle Forschungsgruppe einen oder mehrere Versuchsaufbauten in einem spezielle Praktikumslabor oder in den regulären Forschungslaboren bereit. In wenigen Phy-

sik-Einrichtungen experimentieren die Studierenden im Fortgeschrittenenpraktikum sogar gemeinsam mit den Doktoranden an deren Forschungsapparaturen. Anders als im Grundpraktikum können die Studierenden im Fortgeschrittenenpraktikum in der Regel einzelne Versuche oder Versuchsgruppen auswählen. Mit der Themenwahl wird vielfach bereits eine Richtung für das spätere Diplom eingeschlagen. Insbesondere in Zeiten sinkender Absolventenzahlen werben die Forschungsgruppen daher mit interessanten Praktikumsthemen um zukünftige Diplomanden und potentielle Doktoranden. Aufgrund des stärkeren Praxisbezuges geht der Trend bei den Fortgeschrittenenpraktika deutlich in Richtung dezentraler Laborpraktika.

An den Hochschulen lassen sich sowohl zentrale als auch dezentrale Fortgeschrittenenpraktika sowie Mischformen finden. Üblicherweise sind die zweisemestrigen Praktika entweder als Einheit konzipiert oder in zwei Unterabschnitte aufgeteilt. Bei einer Zweiteilung des Praktikums findet der erste Teil meistens in zentralen Praktikumsräumen und der zweite dezentral in Laboren einer oder mehrerer Forschungsgruppen bzw. Instituten statt. Gelegentlich ist auch eine Dreiteilung vorzufinden, wobei der dritte Teil dann ein (freiwilliges) Labor- bzw. Projektpraktikum umfasst.

Bei zentral organisierten Fortgeschrittenenpraktika rotiert die Zuständigkeit für die Praktikumsorganisation in der Regel zwischen den Lehrstühlen oder Instituten. Dezentrale Laborpraktika kommen zumeist ohne zentrale Praktikumsorganisation aus, sodass jede experimentelle Forschungsgruppe lediglich für die von ihr angebotenen Versuche verantwortlich ist. Wegen der deutlich kleineren Zahl Studierenden und deren inzwischen größerer Experimentiererfahrung ist der Bedarf an Betreuern hier wesentlich geringer. Die Praktikumsbetreuung wird hier ausschließlich von Doktoranden übernommen, welche – je nach Organisationsform – zwischen ein und vier Versuchen mit insgesamt zwei bis acht Studierenden betreuen.

E.2.3 Demonstrationspraktika

Die Demonstrationspraktika werden in der Regel zentral von den Didaktik-Einheiten der Physik-Einrichtungen organisiert. Die Konzeption und Betreuung der Versuche gehört zu den Aufgaben der Mitarbeiter der Fachdidaktik-Gruppe. Für die Pflege der Geräte ist unter Umständen bis zu einer halben Stelle für einen technischen Mitarbeiter nötig.

Bei Demonstrationspraktika ist neben dem Vorführen auch das Aufbauen der Versuche ein Teil der studentischen Aufgabe. Die Versuche des Demonstrationspraktikums sind daher typischerweise nicht vorinstalliert, sondern werden als Einzelteile in Schränken und Regalen gelagert.

E.3 Planungsmodelle

Aufgabe der quantitativen Planung des Praktikumsbetriebs ist die Anpassung des Angebots an Praktikumsplätzen und der für diese bereitgestellten Ressourcen an die Nachfrage durch Studierende. Nach einer Klärung der grundlegenden Begriffe werden dazu im Folgenden zwei Planungsmodelle vorgestellt. Aufgrund der zumeist fest installierten Experimente ist die Zahl der benötigten Praktikumsplätze in der Physik – anders als beispielsweise in den nass-präparativen Praktika der Chemie – nicht proportional zur Zahl der mindestens erforderlichen Versuchsaufbauten. Daher zeigt das erste Modell die Herleitung der Zahl der benötigten Praktikumsplätze aus den Studierendenzahlen und darauf aufbauend eine überschlägige Ermittlung der benötigten Arbeitsplätze. Demgegenüber werden im zweiten Modell die Praktikumsplätze ermittelt, die mit verschiedenen Sets von Versuchsaufbauten angeboten werden können.

Da sich die Ausgestaltung der Praktika an den verschiedenen Physik-Einrichtungen deutlich unterscheidet, können die Modelle allerdings nur exemplarische Zusammenhänge abbilden.

E.3.1 Grundlegende Begriffe

Versuchsaufbau

Zu einem Versuchsaufbau gehören die Versuchs- und Messgeräte, die zur Durchführung eines Experimentes benötigt werden, sowie der Arbeitstisch, auf dem diese Apparaturen vorinstalliert sind.

Arbeitsplatz

Ein studentischer Arbeitsplatz innerhalb eines Praktikums beschreibt den Ort, an dem ein Studierender einen Versuch durchführen kann. Da die Studierenden in der Physik zumeist in Zweiergruppen an einem Aufbau experimentieren, bietet ein Versuchsaufbau in der Regel zwei Arbeitsplätze.

Praktikumsplatz

Im Gegensatz dazu umfasst ein Praktikumplatz alle Voraussetzungen, die es einem Studierenden ermöglichen, alle für einen Leistungsnachweis innerhalb eines Semesters verlangten Versuche durchzuführen. Ein Praktikumsplatz erfordert daher eine Mehrzahl von Versuchsaufbauten. Üblicherweise wird die Zahl der verlangten Versuche bei Praktika, die wöchentlich zu einem festen Termin stattfinden („Kurspraktika“) mit der Zahl der Veranstaltungswochen abgestimmt. Mit 10 verschiedenen Versuchsaufbauten können bei 10 Veranstaltungswochen pro Semester durch einen wöchentlichen Ringtausch der Arbeitsplätze 20 Praktikumsplätze angeboten werden.

Um die Inanspruchnahme der Praktika durch Studierende unterschiedlicher Fächer vergleichen zu können, ist es zweckmäßig, den Praktikumsplatz jeweils auf ein Semester zu beziehen. Ein Physik-Studierender, der über drei Semester jeweils 10 Versuche durchzuführen hat, benötigt dementsprechend drei Praktikumsplätze, während ein Ingenieur-Studierender mit 10 Versuchen in einem Semester nur einen Praktikumsplatz belegt. Ein so definierter Praktikumsplatz ist dabei allerdings nur eine Rechengröße zur Quantifizierung der studentischen Nachfrage. Zur Ermittlung des Ressourcenbedarfs sind die nachgefragten Praktikumsplätze mittels Division durch die durchschnittliche Belegungshäufigkeit in die Zahl der erforderlichen Arbeitsplätze umzurechnen. Die Basis dazu bildet der nachfolgende Zusammenhang:

Zahl der Arbeitsplätze • ∅ Belegungshäufigkeit = Zahl der Praktikumsplätze

Kurs

Ein Kurs ist eine Gruppe von Studierenden, die gemeinsam an zumeist in regelmäßigen Abständen stattfindenden Praktikumsterminen ein vorgegebenes Programm an Experimenten durchführen. Bei wöchentlichen Kurspraktika finden die Praktikumstermine während der Vorlesungszeit gewöhnlich am gleichen Wochentag und zur gleichen Zeit statt. Dagegen werden bei Kompaktpraktika, die üblicherweise in den vorlesungsfreien Zeiten liegen, die Praktikumstermine eines Kurses auf benachbarte Tage gebündelt.

Belegungshäufigkeit

Die Belegungshäufigkeit beschreibt die Zahl der Kurse, die an einem Set von Versuchsaufbauten bzw. Arbeitsplätzen während eines Semesters oder eines Studienjahres durchgeführt werden.

Bei wöchentlichen Kurspraktika entspricht die Belegungshäufigkeit in einem Semester der Zahl der Termine, an denen die Arbeitsplätze während einer Semesterwoche belegt sind. Die mögliche Belegungshäufigkeit hängt wesentlich von den Studienplänen der zu versorgenden Fächer ab.

Vielfach sind die Vormittage für Vorlesungen und Seminaren reserviert, sodass Praktika und Übungen nur an den fünf Nachmittagen der Vorlesungswoche stattfinden können. Nachmittagstermine anderer Studienveranstaltungen oder von Gremiensitzungen schränken die Terminierung der Praktika häufig weiter ein. Eine umso höhere Belegungshäufigkeit lässt sich erreichen, je mehr Fächer(gruppen) aufgrund unterschiedlicher Stundenpläne auf verschiedene Wochentage verteilt werden können. An einigen Hochschulen gelingt es zudem, die Studierenden eines Faches oder einer Fächergruppe auf zwei oder mehr Nachmittagstermine aufzuteilen. Ergänzend zu den Kurspraktika werden darüber hinaus Kompaktpraktika in den vorlesungsfreien Zeiten angeboten.

Bei der empirischen Ermittlung ist die Belegungshäufigkeit auf ein Studienjahr zu beziehen, wenn sich der Praktikumsbetrieb im Sommer- und im Wintersemester deutlich unterscheidet. Dabei darf die Belegung des Praktikums nicht mit der durchschnittlichen Belegungshäufigkeit der Versuchsaufbauten verwechselt werden. Falls beispielsweise Physik-Studierende im Sommersemester mit Teil A ihres Grundpraktikums beginnen, Teil B im folgenden Wintersemester und Teil C im nächsten Sommersemester anschließen, und jeder Teil auf jeweils zwei Kurse aufgeteilt wird, ist das Praktikum im Sommersemester an vier und im Wintersemester an zwei Terminen belegt. Dennoch beträgt die durchschnittliche Belegungshäufigkeit der Versuche nur zwei, da die Aufbauten für Teil B im Sommersemester und die Aufbauten für Teil A und für Teil C im Wintersemester nicht belegt sind. In der Praxis lassen sich solche Lücken teilweise durch Praktikumsteilnehmer anderer Studiengänge füllen. Erfahrungsgemäß können mit einer effizienten Praktikumsorganisation im Grundpraktikum **durchschnittliche Belegungshäufigkeiten zwischen 4 und 6 Kursen pro Studienjahr** erreicht werden. Dies schließt nicht aus, dass einzelne Versuchsaufbauten, die zum Praktikumsprogramm vieler Studiengänge gehören, häufiger belegt werden können.

Die Belegungshäufigkeit der Fortgeschrittenenpraktika ist mit 3 bis 5 Kursen pro Studienjahr tendenziell geringer als die der Grundpraktika. Die Durchführung eines Experimentes nimmt im Fortgeschrittenenpraktikum gewöhnlich ein bis drei Tage in Anspruch. Sofern während der Vorlesungszeit ein fester Wochentag als Praktikumstermin angesetzt wird, erstreckt sich ein Experiment unter Umständen über drei Wochen.

E.3.2 Benötigte Praktikumsplätze auf Basis von Studienanfängerzahlen

Eine der wichtigsten Determinanten für die Nachfrage nach Praktikumsplätzen ist die Zahl der pro Studienjahr auszubildenden Studierenden. – Eine semesterweise Betrachtung ist nur zweckmäßig, wenn das Physik-Studium sowohl im Winter- als auch im Sommersemester begonnen werden kann und sich daher der Praktikumsbetrieb in beiden Semestern nicht unterscheidet. – Die Zahlen der pro Jahr auszubildenden **Physik-Studierenden** lassen sich aus der durchschnittlichen Zahl der Studienanfänger mit Hilfe der in Abschnitt 3.2.3 ermittelten Verlaufsquoten herleiten:

Die Grundpraktika beginnen an den meisten Hochschulen mit dem 2. Semester und erstrecken sich über 3 Semester. Der Verlaufsquote von 100% für das erste Studienjahr entsprechend wäre im 2. Semester für jeden Studienanfänger ein Praktikumsplatz vorzusehen. Da sich in der Praxis der Schwund des ersten Studienjahres jedoch bereits bei der Anmeldung zum Praktikum bemerkbar macht, ist es sinnvoll, in allen drei Praktikumssemestern für jeweils 80 % der Studienanfänger Praktikumsplätze bereitzustellen. Folglich werden im Grundpraktikum Praktikumsplätze für 240 % der Studienanfänger eines Jahres benötigt.

Die Fortgeschrittenenpraktika beginnen im 5. oder 6. Semester und dauern in der Mehrzahl der Fälle 2 Semester. Entsprechend der Verlaufsquoten sind daher Praktikumsplätze für rund 90 % der Studienanfänger der Diplom-Physik vorzusehen. Da Lehramtsstudierende nur ein Semester am Fortgeschrittenenpraktikum teilnehmen, ist mit einer Nachfrage durch ca. 60 % der Studienanfänger zu rechnen. Gleiches gilt für die Demonstrationspraktika.

In Abbildung E.5 sind die Ansätze zu einen überschlägigen Modell zur Berechnung der benötigten Praktikumsplätze zusammengefasst.

Semester	Verbleibequoten		Art der Praktika	Zahl der benötigten Praktikumsplätze pro Studienjahr
	Diplom	Lehramt		
1.	100%	100%		
2.	80%	80%	Grund-praktika	**240 % der Studienanfänger (Diplom)** (80 % der Studienanfänger x 3 Semester) + **240 % der Studienanfänger (Lehramt)** (80 % der Studienanfänger x 3 Semester)
3.	80%	80%		
4.	80%	80%		
5.	45%	60%	Fortgeschrittenen-praktika	**90 % der Studienanfänger (Diplom)** (45 % der Studienanfänger x 2 Semester) + **60 % der Studienanfänger (Lehramt)**
6.	45%	60%		
7.	40%	60%	Demonstrations-praktika	**60 % der Studienanfänger (Lehramt)**
8.	40%	60%		
9.	40%	60%	Praktische Studienanteile im Rahmen der Diplom- und Staatsexamensarbeiten in den Forschungsgruppen	
10.	40%	60%		

Abb. E.5: Ansätze zur Herleitung benötigter Praktikumsplätze aus Studienanfängerzahlen

Die Studienpläne für **Studierende der naturwissenschaftlichen, ingenieurwissenschaftlichen und medizinischen Fächer** sehen in der Regel einsemestrige physikalische Grundlagenpraktika vor, die in den ersten Studiensemestern zu absolvieren sind. Eine verallgemeinerbare Quantifizierung des Bedarfs an Praktikumsplätzen ist aufgrund der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten der Studiengänge nicht durchzuführen. Vielmehr ist fallbezogen zu untersuchen, welche Fächer bzw. Fächergruppen vor Ort von der Physik zu bedienen sind und wie viele Studierende einen Platz im Grundpraktikum nachfragen.

Abbildung E.6 zeigt die **Anwendung** der obigen Ansätze zur Ermittlung der benötigten Praktikumsplätze auf die fünf exemplarischen Physik-Einrichtungen, an denen im 5. Kapitel die Personal- und Kapazitätsplanung erläutert wurde. Als Basis für die Ressourcenplanung (siehe Abbildung 6.6) wird ergänzend die Zahl der benötigten Arbeitsplätze in den Grund- und Fortgeschrittenenpraktika berechnet. Dazu werden die Zahlen der benötigten Praktikumsplätze durch durchschnittliche Belegungshäufigkeiten von 5 Kursen pro Studienjahr im Grund- und 4 Kursen pro Studienjahr im Fortgeschrittenpraktikum dividiert.

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
Studierenden-Zahlen					
Studienplätze Physik	292	452	624	635	624
Studienanfänger Physik	96	148	205	208	205
davon Diplom	86	133	184	187	184
Lehramt	10	15	21	21	21
Grundpraktikum					
Teilnehmer Physik	230	355	492	499	492
Teilnehmer andere Fächer	250	375	500	500	500
benötigte Praktikumsplätze	480	730	992	999	992
∅ Belegungshäufigkeit	5	5	5	5	5
benötigte Arbeitsplätze	**96**	**146**	**198**	**200**	**198**
Fortgeschrittenenpraktikum					
Teilnehmer Diplom	77	120	166	168	166
Teilnehmer Lehramt	6	9	13	13	13
benötigte Praktikumsplätze	83	129	178	181	178
∅ Belegungshäufigkeit	4	4	4	4	4
benötigte Arbeitsplätze	**21**	**32**	**45**	**45**	**45**
Demonstrationspraktikum					
benötigte Arbeitsplätze	6	9	13	13	13

Abb. E.6: Ermittlung der benötigten Arbeitsplätze auf Basis von Studierendenzahlen

E.3.3 Verfügbare Praktikumsplätze auf Basis von Versuchsaufbauten

Da in der Physik die Versuchsaufbauten gewöhnlich nicht auf- und abgebaut werden (können), kann an einem Arbeitsplatz – anders als beispielsweise in den nass-präparativen Praktika der Chemie – immer nur das gleiche Experiment durchgeführt werden. Daher wird das **Minimum der** bereit zu stellenden **Arbeitsplätze** – zumindest bei niedrigen Teilnehmerzahlen – durch die Zahl der zu absolvierenden Experimente bestimmt.

Im Grundpraktikum für Physiker liegt das Minimum im Mittel bei 30 unterschiedlichen Versuchen. Diese sind auch dann bereitzuhalten, wenn weniger als 60 Studierende pro Semester auszubilden sind. Studierende der übrigen Naturwissenschaften müssen in der Regel nur einen Teil der Versuche für Physiker durchführen. Für Studierende der Ingenieurwissenschaften sind zusätzlich spezielle Versuchsaufbauten erforderlich. Da die Studierenden der medizinischen Studiengänge völlig andere Versuche durchführen, werden für sie ggf. weitere spezielle Versuchsaufbauten benötigt.

Im Durchschnitt haben die Physik-Studierenden im Fortgeschrittenenpraktikum 15 Experimente durchzuführen. Da aufgrund ihrer Komplexität jeder Versuch in der Regel nur einmal aufgebaut wird, müssen für das Fortgeschrittenenpraktikum mindestens 15 unterschiedliche Versuchsaufbauten bereitgestellt werden. Wahlmöglichkeiten für die Studierenden entstehen darüber hinaus nur, wenn die experimentellen Forschungsgruppen zusätzliche Versuche anbieten.

Dies wirft die Frage auf, wie viele Praktikumsplätze mit einen bestimmten Set von Versuchsaufbauten angeboten werden können. In Abbildung E.7 wird dazu ein exemplarisches Rechenmodell mit folgenden **Modellannahmen** vorgestellt:

- Das Grundpraktikum für Physikstudierende (Diplom und Lehramt) besteht aus 30 unterschiedlichen Experimenten (Phys. 1-30).
- Studierende der Naturwissenschaften benötigen keine eigenen Experimente, sondern führen Teile der Versuche für Physiker durch. Alle Aufbauten können gleichermaßen genutzt werden.
- Studierende der Ingenieurwissenschaften führen Teile der Versuche für Physiker durch. Die unterschiedlichen Fächer nutzen die Aufbauten ebenfalls in gleichen Anteilen. Zusätzlich benötigen sie 5 weitere Versuche (Ing. 1-5).
- Die medizinischen Studiengänge können die Experimente für Physiker nicht nutzen, sondern benötigen 10 spezielle Versuche (Med. 1-10).

Bei Lehrexport in alle drei Fächergruppen werden für das Grundpraktikum folglich mindestens 45 Versuche benötigt. Für das Fortgeschrittenenpraktikum sind mindestens 15 Aufbauten notwendig, wenn keine Wahlmöglichkeiten geschaffen werden sollen.

- Jeder Versuchsaufbau ist mit 2 Studierenden belegt (2 Arbeitsplätze pro Versuch).
- Wenn die Versuche „Physik 1 – 30“ ausschließlich von der Physik genutzt werden, können sie im Grundstudium maximal 6 mal pro Studienjahr durch Kurs- und/oder Kompaktpraktika belegt werden. Bei einer Nutzung durch mehrere Fächer(gruppen) kann im Studienjahr eine maximale Belegungshäufigkeit dieser Versuchsaufbauten von bis zu 10 erreicht werden.
- Im Fortgeschrittenenpraktikum können alle Versuche maximal 4-fach belegt werden.

	Versuche			Belegung			Zahl der verfügbaren Praktikumsplätze pro Studienjahr				
	Gesamtzahl der Aufbauten	Typ	jeweils vorhanden	Arbeitsplätze pro Versuch	Häufigkeit im Studienjahr	Fächer (-gruppe)	Phys.	Lehrexport Natw.	Lehrexport Ing.	Lehrexport Med.	Summe
Grundpraktikum	**30**	Phys. 1-30	1 x	2	6 x	Phys.	360				**360**
	45	Phys. 1-30	1 x	2	6 x	Phys.	360				**360**
					2 x	Natw.		120			**360**
					1 x	Ing.			120		
		Ing. 1-5	1 x	2	6 x	Ing.					
		Med. 1-10	1 x	2	6 x	Med.				120	
	50	Phys. 1-30	1 x	2	6 x	Phys.	360				**360**
					2 x	Natw.		120			**480**
					2 x	Ing.			240		
		Ing. 1-5	2 x	2	6 x	Ing.					
		Med. 1-10	1 x	2	6 x	Med.				120	
	80	Phys. 1-30	2 x	2	5 x	Phys.	600				**600**
					2 x	Natw.		240			**600**
					1 x	Ing.			240		
		Ing. 1-5	2 x	2	6 x	Ing.					
		Med. 1-10	1 x	2	6 x	Med.				120	
Fortgeschrittenenpraktikum	**15**		1 x	2	4 x	Phys.	**120**				
	18		1 x	2	4 x	Phys.	**144**				
	22		1 x	2	4 x	Phys.	**176**				

Abb. E.7: Ermittlung der Praktikumsplätze auf Basis der vorhandenen Versuchsaufbauten

Entsprechend den Modellannahmen können im Grundpraktikum mit 30 vorhandenen Versuchsaufbauten 360 Physik-Studierende pro Studienjahr ausgebildet werden. Sind darüber hinaus Lehrexporte für drei Fächergruppen zu leisten, werden mindestens 45 Aufbauten benötigt. Damit können jährlich 360 Physik-Studierende und 360 Studierende anderer Fächer versorgt werden. Durch Verdoppelung der fünf Versuchsaufbauten „Ing. 1 - 5“ kann die Zahl der Praktikumsplätze für Studierende anderer Fächer auf 480 erhöht werden.

Die vorgeführten Berechnungen basieren lediglich auf exemplarischen Werten für die verschiedenen Parameter, die im Anwendungsfall an konkreten Bedingungen der zu beplanenden Einrichtung anzupassen sind. Daher lassen sich die Modellergebnisse nur eingeschränkt als quantitative Anhaltspunkte verwenden. Dennoch verdeutlichen sie folgende Zusammenhänge:

a) Die Mindestzahl der benötigten Versuchsaufbauten wird von Zahl der verschiedenen Experimente bestimmt, die die Studierenden während des Praktikums durchzuführen haben.

b) Im Grundpraktikum kann tendenziell eine umso höhere Belegungshäufigkeit erreicht werden, je mehr unterschiedliche Fächer(gruppen) teilnehmen. Allerdings sind für einzelne Fächer spezielle Versuchsaufbauten erforderlich.

c) Da sich die Belegung unterschiedlicher Versuche deutlich unterscheiden kann, müssen nicht alle Aufbauten in der gleichen Anzahl bereitgestellt werden. Eine effiziente Belegungsplanung erfordert daher eine differenzierte Betrachtung Differenzierung unterschiedlicher Teilmengen der Versuchsaufbauten.

Sofern möglich sollte daher als Grundlage für die Flächenplanung einer Physik-Einrichtung der Praktikumsbetriebs eingehend analysiert werden.

7 Laborplanung

Aufgabe der Programmplanung („Raumbedarfsplanung“) ist die Zusammenstellung der benötigten Räume einer Einrichtung zu einem Raumprogramm. Dazu sind die Anforderungen der Nutzer in bauliche und technische Merkmale jedes einzelnen Raums zu übersetzen. Damit füllt die Programmplanung den von der Flächenplanung vorgegebenen Rahmen aus.

Angelpunkt des Raumprogramms einer Physik-Einrichtung sind die Laborräume. In der Regel belegen sie einen Anteil von 35 bis 45 % der benötigten Hauptnutzfläche. Weitere 6 bis 9 % des Flächenbedarfs werden von Praktikumsräumen in Anspruch genommen, die vergleichbare bauliche Merkmale aufweisen. Aufgrund ihrer aufwendigen gebäudetechnischen Ausstattung lassen sie sich als „hochinstalliert“ charakterisieren (vgl. Vogel/Holzkamm 1998, S. 125). Dies führt je nach Kostenflächenart zu Baukosten zwischen 2.000 bis 5.000 € pro m^2. Demgegenüber sind für Büroräume nur 900 bis 1.300 € pro m^2 anzusetzen.

Das vorliegende Kapitel beschränkt sich daher auf die Raumbedarfsplanung der Forschungs- und Lehrlabore von Physik-Einrichtungen (zu Büroräumen siehe König/Kreuter 1997, zu Hörsälen Haase/Senf 1995). Dabei handelt es sich überwiegend um technologische Labore zum Aufstellen von Versuchsaufbauten und Forschungsgeräten. Nass-präparative Labore, auf die sich sowohl die Praxis als auch die Literatur zur Laborplanung konzentriert (vgl. z. B. Vogel/Holzkamm 1998, KBOB 2000), werden von der Physik nur in geringem Umfang benötigt.

Auf den ersten Blick scheinen Gerätelabore ohne weiteres einer standardisierten Programmplanung zugänglich. Die verschiedenen physikalischen Versuchsaufbauten stellen jedoch unterschiedliche Anforderungen an die baukonstruktiven Merkmale, die gebäudetechnische Ausstattung und die Abschirmung der Laborräume, wie in Abschnitt 7.1. herausgearbeitet wird.

Dem breiten Spektrum der Anforderungen an physikalische Forschungslabore trägt die Dreiteilung in Standardlabore, Sonderlabore und Versuchshallen Rechnung (vgl. bereits Franz 1970, S. 42ff.). **Standardlabore** sind für vielfältige Nutzungen und Geräte ausgelegt, **Sonderlabore** werden dagegen auf die spezifischen Anforderungen bestimmter Nutzungen maßgeschneidert. Zusätzlich werden **Experimentierhallen** für eine befristete Nutzung durch wechselnde Großversuche oder zur Unterbringung von Großgeräten benötigt. Entsprechend wird in Abschnitt 7.2 ein Ansatz zur Standardisierung der baulichen Merkmale und technischen Ausstattung von Physik-Laboren vorgestellt. Ergänzend sind in Abschnitt 7.3 Planungshinweise zu ausgewählten Sonderlaboren und Versuchshallen zusammengestellt. Abschnitt 7.4 schließt das Kapitel mit baulichen Planungshinweisen zu Praktikumsräumen ab.

7.1 Grundlagen

7.1.1 Labormerkmale im Überblick

Laborräume beherbergen die experimentellen Arbeitsplätze von Forschern, Studierenden und Technikern sowie die für die Experimente benötigten Geräte. Da physikalische Experimente typischerweise hochgradig technisiert sind, werden die Anforderungen an die Laborräume in erster Linie von den eingesetzten Forschungsgeräten bestimmt. In Abbildung 7.1 sind die Merkmale zusammengestellt, mit denen sich die wesentlichen Anforderungen der Physiker an Laborräume systematisieren lassen. Ausgangspunkt bildet die Unterscheidung zwischen baukonstruktiven Merkmalen, gebäudetechnischen Ausstattungen und festen Einbauten.

1 Baukonstruktive Merkmale

1.1 Raummerkmale
- Breite
- Tiefe
- Höhe
- Deckentraglast
- Anordnung im Gebäude

1.2 Abschirmung
- Schallisolation
- Magnetfeldabschirmung
- Strahlenschutz
- Erschütterungsschutz

1.3 Raumauskleidung
- Bodenbelag
- Wände
- Decke

2 Gebäudetechnische Ausstattung

2.1 Wasser/Heizung
- Heizung
- Kaltwasser
- Warmwasser
- Abwasser
- Kühlwasser

2.2 Raum-Luft-Technik
- Mechanische Be- und Entlüftung
- Kühlung
- Klimatisierung
- Vakuum für Schnüffelabsaugung
- Sonderabsaugung
- Reinraumbedingungen

2.3 Elektrik/Elektronik
- Wechselstrom 230-Volt
- Drehstrom 380-Volt
- Ersatzstromversorgung
- Telefonanschluss
- Datennetz

2.4 Medien
- Druckluft
- Heliumrückführung
- Gaszuleitung: Helium, Stickstoff, Argon, Erdgas
- Sondergase
- flüssiges Helium
- flüssiger Stickstoff

3 Einbauten

3.1 Abschirmung
- Verdunkelung
- Schallisolation
- Magnetfeldabschirmung
- Strahlenschutz

1.2 Laborausstattung
- Labortische (gefedert)
- Laborspülen
- Spülbecken
- Abzüge
- Gasflaschenschrank

3.2 sonstige Einbauten
- Wandtafel
- Magnettafel
- Wandschränke

Abb. 7.1: Wesentliche Merkmale physikalischer Laborräume

Aus den Anforderungen an die Laborräume ist der Abschirmungsbedarf gegen Tageslicht, Schall, Erschütterungen, Magnetfelder und radioaktive Strahlen hervorzuheben. Die Physik benötigt solche Abschirmungen, um ihre Experimente weitgehend ungestört von Umwelteinflüssen durchführen zu können. Zudem sind physikalische Versuche häufig selbst eine Quelle störender, teilweise auch gefährlicher Emissionen. Tendenziell sind daher kleinere Laborräume, in denen jeweils ein Versuch untergebracht werden kann, besser geeignet als Großraumlabore. Bei der Unterbringung mehrerer Versuche in einem Raum sind ausreichend Freiflächen zwischen den Versuchen einzuplanen. Bei der Realisierung von Abschirmungen ist zu bedenken, dass diese nur in wenigen Fällen vollständig und umfassend sein müssen.

Nur selten sind beispielsweise gesondert gegründete Fundamente erforderlich. Oftmals reicht ein Erschütterungsschutz durch druckluftgefederte Labortische oder die Anordnung im Kellergeschoss aus. Vielfach kann eine einfache Abschirmung von Magnetfeldern oder schwacher Strahlenquellen durch abschirmende Einbauten ohne Eingriffe in die Gebäudekonstruktion erreicht werden.

Die umfangreichen gebäudetechnischen Installationen dienen zum einen zur Herstellung und zum Konstanthalten besonderer Laborbedingungen, zum anderen der Ver- und Entsorgung der Ver-

suchsaufbauten und -geräte. In der Regel schließt die technische Ausstattung den jeweiligen Laborraum an verschiedene Leitungsnetze an, die sich über das ganze Gebäude oder zumindest Teile davon erstrecken.

Anders als in den nass-präparativen Laboren, wie sie für Chemie- und Biologie-Einrichtungen typisch sind, werden in den von Physiker überwiegend genutzten Gerätelaboren keine fest eingebauten Labortische und Abzüge benötigt. „Der Physiker bevorzugt weitgehend leere Räume." (Franz 1970, S. 43).

7.1.2 Nutzungsflexibilität durch Standardisierung

Nutzungsflexibilität beschreibt die Möglichkeiten, innerhalb eines gegebenen Raumprogramms auf veränderte Nutzungsanforderungen zu reagieren. Sie gewinnt ihre Bedeutung daraus, dass für einen Neubau oder eine grundlegende Sanierung eines Physik-Gebäudes eine Nutzungszeit von 30 oder mehr Jahren zu erwarten ist. In diesem Zeitraum ist für Laborräume mit einer Vielzahl unterschiedlicher Nutzungen zu rechnen. Erstens geht der technologische und wissenschaftliche Fortschritt mit dem Einsatz verbesserter oder gar neuer Geräte einher. Versuchsaufbauten werden daher häufig geändert, erweitert oder ersetzt. Zweitens schwanken die Mitgliederzahlen der Forschungsgruppen durch wechselnde Erfolge bei der Drittmitteleinwerbung und Doktorandenrekrutierung. Für viele Laborräume ist daher eine wechselnde Zuordnung zu verschiedenen Forschungsgruppen zu erwarten. Drittens können sich im Zeitverlauf die Forschungsrichtungen einzelner Forschungsgruppen, teilweise sogar der ganzen Physik-Einrichtung verändern. Häufig gehen solche Veränderungen mit dem Wechsel von Hochschullehrern einher.

Auf den ersten Blick scheint Nutzungsflexibilität bei den Gerätelaboren der Physik aufgrund der fehlenden Einbauten von vorneherein gegeben zu sein. Raummaße und gebäudetechnische Installationen können wechselnde Nutzungen durch unterschiedliche Geräte und Versuchsaufbauten jedoch erheblich einschränken. Neben der Ausrichtung an den derzeitigen Anforderungen der derzeitigen Nutzer ist daher im Raumprogramm eine gewisse Nutzungsflexibilität zu berücksichtigen.

Eine Möglichkeit dazu bietet die **Definition von Standardräumen**. Aus diesem Set heraus werden den verschiedenen Nutzern nach dem Baukastenprinzip einzelne Räume zugewiesen, um ihre jeweiligen Anforderungen abzudecken. Da jeder Standardraum für eine Vielzahl von Nutzungen ausgelegt ist, sind Nutzerwechsel ohne Umbaumaßnahmen möglich. Dies erlaubt eine befristete Zuordnung zu Forschungsgruppen.

Anders als für die niedriginstallierten Büroräume stößt die Definition hochinstallierter Standardlabore jedoch an wirtschaftliche Grenzen. Um die höchstmögliche Nutzungsflexibilität zu erreichen, müsste jedes Labor nach dem Prinzip des kleinsten gemeinsamen Vielfachen mit allen baukonstruktiven Vorkehrungen und technischen Installationen ausgerüstet werden, die zumindest von einer Forschungsgruppe benötigt werden. Eine solche Maximalinstallation sprengt die Baukosten und wird trotz zu erwartender Nutzerwechsel nur zu einem geringen Anteil genutzt werden.

Standardlabore sollten daher nur für die häufigsten Nutzungsvarianten ausgelegt werden (siehe dazu die Planungshinweise in Abschnitt 7.2). Zusätzlich sind in das Raumprogramm Sonderlabore aufzunehmen, die für die spezifischen Anforderungen einzelner Nutzungen maßgeschneidert sind (vgl. die Beispiele in Abschnitt 7.3). Dabei wird für die Sonderlabore bewusst in Kauf genommen, dass ein Nutzungswechsel mit mehr oder weniger umfangreichen Umbaumaßnahmen verbunden sein wird. Nach den Erfahrungen des Instituts für Physik der HU Berlin lassen sich etwa 50 % des Laborflächenbedarfs mit Standardlaboren abdecken, während für die übrigen 50 % Sonderlabore und Versuchshallen erforderlich sind.

7.1.3 Laboranordnung und Grundrissorganisation

Aufgrund der Emissionen durch den Betrieb der Forschungsgeräte benötigen experimentelle Physiker Büroarbeitsplätze in vom Laborbetrieb abgetrennten Räumen. Im Mittelpunkt der Grundrissorganisation von Physik-Gebäuden steht daher die Frage nach der Anordnung der Labor- und Büroräume. Aus Nutzersicht sind möglichst kurze Wegen zwischen Labor- und Büroräumen anzustreben. Im Idealfall liegen alle Labor- und Büroräume jeder Arbeitsgruppe in unmittelbarer Nachbarschaft auf einer Etage. Bautechnisch ist dagegen eine Zonierung der hochinstallierten Labor- und der niedriginstallierten Büroräume in getrennten Gebäudetrakten vorteilhaft, um zwischen den Laboren möglichst kurze Leitungsnetze installieren zu können (Vogel/Holzkamm 1998, S. 125). Da Büros niedrigere Raumhöhen und geringere Raumtiefen erfordern als Labore, sind aus bautechnischer Perspektive separate Gebäude mit unterschiedlichen Geschosshöhen ideal. Jedes Physik-Gebäude stellt einen individuellen Kompromiss zwischen diesen beiden Anforderungen dar.

Verbreitete Grundrissorganisationen sind **asymmetrische Zweibünde** mit einem 4,50 m bis 5,00 m tiefen Bürobund auf der einen Seite und einem 6,50 m bis 7,00 m tiefen Laborbund auf der gegenüberliegenden Seite. Im Laborbund vereinfachen vertikale Versorgungsschächte die gebäudetechnischen Installationen in übereinanderliegenden Laboren. Zur Verkürzung der erforderlichen Leitungsnetze wird man Laborräume mit vergleichbaren Installationen nebeneinander in der gleichen Etage unterbringen. Zumindest prinzipiell ermöglichen es asymmetrische Zweibünde, Labor- und Büroräume jeder Forschungsgruppe einander gegenüberliegend anzuordnen. Die Realisierung dieses Prinzips setzt allerdings mit dem Gebäudegrundriss korrespondierende Flächenbedarfe der einzelnen Forschungsgruppen voraus. In der praktischen Umsetzung werden sich daher vielfältige Ausnahmen ergeben, die für einzelne Wissenschaftler mit besonders weiten Wegen zwischen Büro- und Laborarbeitsplatz verbunden sind.

Eine alternative Grundrissorganisation stellen **asymmetrische Dreibünde** dar, in denen zwischen Büro- und Laborbund eine Mittelzone liegt. Bautechnisch hat diese Variante den Vorteil geringerer Fassadenflächen aufgrund eines eher quadratischen Gebäudegrundrisses und eines kleineren Verkehrsflächenbedarfs (Vogel/Holzkamm 1998, S. 127). Allerdings entsteht im Dreibund in der Mittelzone ein größerer Anteil von Flächen ohne Tageslicht, der häufig nicht vollständig durch Funktionsräume für die Haustechnik, für Toiletten und ähnliches belegt werden kann. Von den zur Hauptnutzfläche von Physik-Einrichtungen zählenden Räumen eignen sich für die Mittelzone neben Lagerräumen nur Rechnerräume für Server, Workstations und Peripheriegeräte sowie Fotolabore, die allerdings aufgrund der zunehmend verwendeten digitalen Kameras nur noch selten benötigt werden. Obwohl Laserlabore und Reinräume häufig gegen das Tageslicht abgeschirmt werden müssen, dürfen sie aufgrund arbeitsrechtlicher Vorschriften nur in der Dunkelzone liegen, wenn sie keine dauerhaften Arbeitsplätze beherbergen.

Eine dritte Variante besteht in getrennten Büro- und Labortrakten, die jeweils aus **symmetrischen Zweibünden** mit beidseitigen Raumtiefen von 4,50 bis 5,00 m in den Büro- und von 6,50 bis 7,00 m in den Labortrakten bestehen. Mit einer solchen Grundrissorganisation werden von vorneherein längere Wege zwischen Büro- und Laborarbeitsplätzen in Kauf genommen. Dafür sprechen neben bautechnischen Vorteilen, dass auch in der praktischen Umsetzung mittlere Entfernungen für alle Gruppenmitglieder erreicht werden. Dies kann beispielsweise durch rechtwinkelig aneinander gefügte Büro- und Labortrakte geschehen. Ein solches Konzept wurde mit dem Neubau für das Kirchhoff-Institut für Physik der Universität Heidelberg realisiert, der auf der folgenden Seite beschrieben wird.

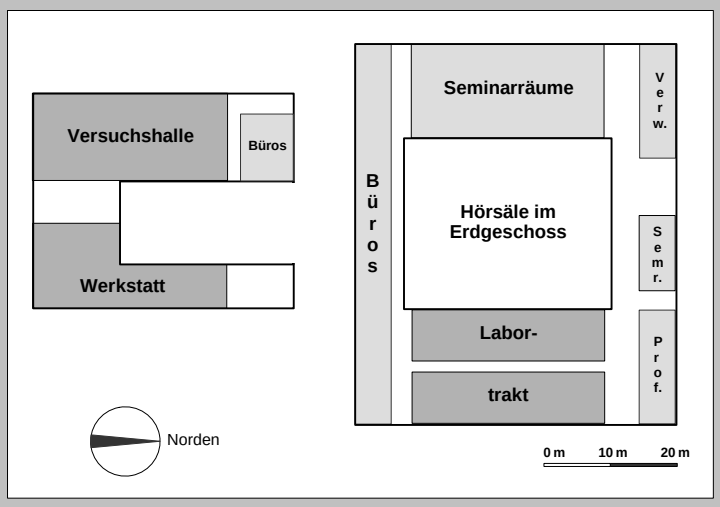
Neben dem Hauptgebäude benötigen Physik-Einrichtungen regelmäßig ein oder mehrere **Satellitengebäude** zur Unterbringung von Experimentier- und Großgerätehallen. In Nebengebäuden lassen sich einfacher große Raumhöhen realisieren als im Hauptgebäude. Darüber hinaus erleichtert die räumliche Distanz die Abschirmung des Magnetfelds großer NMR-Geräten.

Neubau des Kirchhoff-Instituts für Physik der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Das Kirchhoff-Institut ist eines von fünf Instituten der Heidelberger Fakultät für Physik und Astronomie, die zur Zeit überwiegend in Altbauten im Bereich des Philosophenweges untergebracht sind. Im Rahmen einer langfristigen Verlegung der gesamten Fakultät erhält das Kirchhoff-Institut einen Neubau im Universitätsgelände Neuenheimer Feld. Baubeginn war im Juli 1999, der Einzug ist für die zweite Hälfte des Jahres 2002 vorgesehen. Insgesamt umfasst die Baumaßnahme ein Instituts- sowie ein Werkstatt- und Versuchshallengebäude mit zusammen 6.883 m^2 Hauptnutzfläche, 651 m^2 Nebennutzfläche, 3.993 m^2 Funktionsfläche und 1.044 m^2 Verkehrsfläche. Die Aufteilung der Hauptnutzfläche auf die verschiedenen Nutzungsbereiche kann der nebenstehenden Tabelle entnommen werden.

	m^2 HNF	%
Büroräume	1.463	21,3
Rechnerräume	155	2,2
Büro- und Rechnerflächen	1.618	23,5
Gerätelabore	1.472	21,4
nass-präparative Labore	147	2,1
Hallenflächen	546	7,9
Werkstattflächen	705	10,2
Lagerräume	468	6,8
Labor- und Werkstattflächen	3.338	48,5
Praktikumsräume	80	1,2
Terminalräume	70	1,0
Hörsäle	516	7,5
Seminarräume	735	10,7
Sammlungen und Vorbereitung	188	2,7
Bibliotheksflächen	86	1,3
Lehr- und Bibliotheksflächen	1.674	24,3
Sozial- und sonstige Räume	253	3,7
Hauptnutzfläche	6.883	100,0

Da die weiteren Bauabschnitte nicht unmittelbar auf den ersten folgen werden, ist der Neubau als in sich geschlossenes Ganzes konzipiert. Bemerkenswert ist die Grundrissorganisation, die mit der folgenden Übersicht skizziert ist. Jedem der vier Flügel des Atriumbaus wird jeweils eine Hauptnutzung zugeordnet. Im Westflügel liegen die Seminarräume. Im zweibündigen Ostflügel sind die Labore untergebracht. Der einbündige Südflügel ist den Büroräumen der wissenschaftlichen Mitarbeiter vorbehalten. Mittelpunkt des Nordflügels bildet eine viergeschossigen Halle mit Glasfassade und offenem Treppenhaus, die zusammen mit dem Hörsaalfoyer für Ausstellungen genutzt werden kann. Die beiden dort integrierten Seminarräume sollen insbesondere für interne Veranstaltungen verwendet werden. Im östlichen Teil des Nordflügels sind die Professorenbüros und im westlichen die Institutsverwaltung untergebracht. Im Erdgeschoss des Innenhofes liegen zwei Hörsäle.



Das U-förmige Nebengebäude beherbergt in seinem Westflügel die (nicht unterkellerten) zweigeschossigen Experimentierhallen und einige Büros für die Wissenschaftler, deren Versuche jeweils in der Halle aufgebaut sind. In der östlichen Zone sind auf drei Geschossen die Institutswerkstätten mit deren Nebenräumen untergebracht.

Um alle Labore des Instituts in einem Labortrakt unterbringen zu können, müssen die Forschungsgruppen auf die unmittelbare Nähe ihrer Büro- und Laborräume verzichten. Dies erlaubt es, ähnliche Labore nebeneinander zu installieren, und vereinfacht die Medienversorgung über vertikale Versorgungsschächte. Die Labore sind je nach Bedarf spitzengekühlt oder klimatisiert und haben als Standardausstattung eine Medienplatte, über die Elektrizität, Druckluft, Kühlwasser und eine Abgasleitung bereitgestellt werden. Mit Helium werden zunächst nur die Labore versorgt, die dies kurzfristig benötigen. Nachinstallationen sind aufgrund ausreichend dimensionierter Versorgungsschächte ohne weiteres möglich. Etwa zwei Drittel der Labore sind derart ausgestattete Standardlabore.

Entsprechend der Nutzungsanforderungen sind die übrigen Labore besonders untergebracht bzw. ausgestattet: Die Optiklabore liegen wegen der Lichtsituation im Keller. Dort befindet sich auch der einzige Raum mit separatem Fundament. Die Tieftemperaturlabore besitzen einen Deckendurchbruch zu den darunter liegenden Technikräumen, wo in Betonröhren die Kryostatendewars abgesenkt werden können. Ein Chemielabor steht dem gesamten Institut zur gemeinsamen Verfügung.

7.2 Standardlabore

Als **Standardlabore** werden hier physikalisch-technologische Labore bezeichnet, die sich in Bezug auf ihre Abmessungen und ihre gebäudetechnische Ausstattung standardisieren lassen und damit für eine Vielzahl unterschiedlicher Nutzungen geeignet sind.

Eine Standardisierung von Laboren erfordert Kompromisse zwischen den derzeitigen Bedürfnissen der aktuellen Nutzer und möglichen Anforderungen an die Laborräume in der Zukunft. Ziel ist es dabei, die Standardlabore ohne Umbaumaßnahmen für veränderte Forschungsaktivitäten nutzen zu können und so eine befristete Zuordnung zu Forschungsgruppen zu ermöglichen. Da Standards aus Kostengründen nicht nach dem Prinzip des kleinsten gemeinsamen Vielfachen festgelegt werden können, lässt sich ein großer Anteil des physikalischen Laborflächenbedarfs nicht standardisieren. Neben den Standardlaboren werden daher in erheblichem Umfang auf die speziellen Anforderungen der derzeitigen Nutzer zugeschnittene Sonderlabore benötigt (vgl. Abschnitt 7.3).

7.2.1 Baukonstruktive Merkmale

Zu den baukonstruktiven Merkmalen gehören nach Abbildung 7.1 die Raummerkmale, die baulichen Vorkehrungen zur Abschirmung von Umwelteinflüssen sowie die Raumauskleidung.

Bei Physik-Neubauten wird für Labore üblicherweise eine Raumtiefe zwischen 6,50 m und 7,00 m vorgesehen (U Göttingen 6,50 m, HU Berlin 6,80 m, U Heidelberg 6,90 m). Raumtiefen zwischen 4,50 m und 5,50 m finden sich nur dann, wenn Labore in einem Bürobund untergebracht werden (so teilweise U Göttingen mit 4,50 m). Die Raumbreite ist vom Fassadenraster abhängig, das im Hochschulbau häufig mit 1,20 m, teilweise auch mit 1,44 m oder 1,80 m angesetzt wird.

In Abbildung 7.2 sind einige Laborgrößen nach Abzug der Wandstärken für Fassadenraster von 1,20 m und 1,80 m zusammengestellt. Laborbreiten unter drei Meter werden nicht aufgeführt, da sich schmale, tiefe Labore nicht zum Aufstellen von Geräten eignen (vgl. Franz 1970, S. 44).

Achsen bei einem Fassadenraster von		Laborbreite (Innenmaß):	Labortiefe (Innenmaß):				
1,20 m	1,80 m		4,50	4,90 m	5,25 m	6,50 m	6,90 m
3	2	3,45 m	15,5 m^2	16,9 m^2	18,1 m^2	22,4 m^2	**23,8 m^2**
4		4,65 m	20,9 m^2	22,8 m^2	24,4 m^2	30,2 m^2	32,1 m^2
	3	5,25 m	23,6 m^2	25,7 m^2	27,6 m^2	34,1 m^2	**36,2 m^2**
5		5,85 m	26,3 m^2	28,7 m^2	30,7 m^2	38,0 m^2	40,4 m^2
6	4	7,05 m	31,7 m^2	34,6 m^2	37,0 m^2	45,8 m^2	**48,7 m^2**

Abb. 7.2: Laborflächen in Abhängigkeit von Fassadenraster und Labortiefe

Innerhalb dieser Vorgaben sollten drei Varianten von Standardlaboren mit einer Grundfläche von 20 bis 30 m^2, mit 30 bis 40 m^2 und mit 40 bis 60 m^2 festgelegt werden. Bei einer Labortiefe von 6,90 m können beispielsweise Raumgrößen von 24 m^2 für ein bis zwei Experimentatoren als kleines und von 48 m^2 für drei bis vier Experimentatoren als großes Standardlabor ausgewählt werden. Eine mittlere Variante von z. B. 36 m^2 für zwei bis drei Forscher ist bei gleicher Labortiefe nur bei einem Fassadenraster von 1,80 m möglich.

Nach dem Baukastenprinzip ist jeder Forschungsgruppe ein Set aus kleinen, mittleren und großen Standardlaboren zuzuordnen. Dabei muss es sich nicht um identische Sets handeln. Dennoch ist eine einseitige Verteilung kleiner, mittlerer und großer Standardlabore innerhalb des Gebäudes zu vermeiden. Laborräume mit einer Grundfläche von 60 m^2 oder mehr sollten als Sonderlabore nur bei einen konkreten Bedarf für den jeweiligen Nutzer eingeplant werden (vgl. Abschnitt 7.3.5).

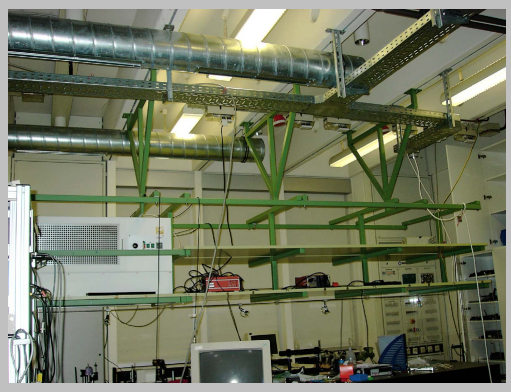
Häufig wünschen Physiker verschiebbare Wände. Bei der üblichen Skelettbauweise ist das Versetzen nicht tragender Zwischenwände ohne großen Aufwand möglich, sofern an den Seitenwänden keine Leitungen und Anschlüsse verlegt werden (müssen). Auch in solchen Fällen lässt sich der Bedarf an wechselnden Laborgrößen zumeist durch Tausch kleiner gegen große Standardlabore zwischen Forschungsgruppen abdecken.

Die Mehrzahl der physikalischen Versuchsaufbauten kommt mit einer lichten Laborhöhe von 3,40 m bis 3,60 m aus. Höhere Laborräume werden zumeist nur von Tieftemperaturphysikern zum Aufstellen von Kryostaten benötigt. Dieser Bedarf sollte durch Sonderlabore abgedeckt werden. Bei abgehängten Decken mit darüber liegenden Installationsleitungen führt dies zu Geschosshöhen von 4,00 m bis 4,50 m. Nach neueren Konzepten wird auf die Deckenverkleidung häufig verzichtet, um einen leichteren Zugang zu den Installationsleitungen und Platz für einzelne, die übrigen Geräte überragende Aufbauten zu schaffen.

Eine Deckentraglast von 7,5 bis 10 kN pro m^2 reicht für die meisten physikalischen Experimente aus. Die Bodenbeläge müssen in erster Linie antistatisch sein. Teilweise wird Kälteresistenz gegen flüssiges Helium oder flüssigen Stickstoff gewünscht, was sich nur mit Holzböden realisieren lässt. Dennoch sind viele Labore mit PVC-Böden ausgestattet, wobei gelegentliche Reparaturen aufgrund von Kälteschäden in Kauf genommen werden. Einen einfachen Schutz gegen Kälteschäden bieten Teppichbeläge auf dem PVC-Boden in den Bereichen, in denen mit flüssigem Helium oder Stickstoff hantiert wird.

Rippendecke im MPI für Quantenoptik

Im Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München haben sich Halfenschienen an der Rippendecke zur Befestigung von Geräten und zur Installation von Medien bewährt. Die Halfenschienen sind an der Unterseite der Rippen eingegossen, um Tragkonstruktionen über den Versuchsaufbauten aufhängen zu können. Die Hohlräume zwischen den Rippen schaffen Platz für längslaufende Medientrassen und einzelne, besonders hohe Versuchsaufbauten. Zur Aufnahme von querlaufenden Medientrassen sind in den Rippen im Abstand von etwa 1 m Öffnungen mit ca. 15 cm Durchmesser vorhanden.



Laserlabor mit Rippendecke im Max-Planck-Institut für Quantenoptik
(Foto: Bauabteilung der Max-Planck-Gesellschaft)

7.2.2 Gebäudetechnische Ausstattung

Die Standardisierung der gebäudetechnischen Ausstattung betrifft nicht nur die einzelnen Laborräume, sondern auch die Verlegung von Leitungsnetzen innerhalb des Gebäudes. Dies macht es zweckmäßig, zwischen Basis-, Zusatz- und Sonderausstattungen zu unterscheiden.

Die **Basisausstattung** definiert diejenigen Installationen, mit denen alle Standard- und Sonderlabore auszurüsten sind. Demgegenüber umfasst die **Zusatzausstattung** diejenigen Anschlüsse, die bei Bedarf in einzelnen Laborräumen ohne größeren Aufwand nachrüstbar sein sollen. Dafür sind bereits beim Bau oder der Sanierung des Gebäudes entweder die entsprechende Leitungen zu verlegen oder ausreichend große Versorgungsschächte zur Erweiterung der Leitungsnetze vorzusehen. Eine **Sonderausstattung** wird dagegen nur bei besonderem Bedarf einzelner Nutzer in deren Laborräumen installiert. Daher benötigen Sonderausstattungen keine zentralen bzw. in jeden Raum erweiterbare Leitungsnetze. Gegebenenfalls sind gesonderte Zu- und Ableitungen zu einzelnen Laborräumen vorzusehen. In Abbildung 7.3 sind exemplarisch die typischen Ausstattungselemente von Physik-Laboren zusammengestellt.

Basisausstattung:	Zusatzausstattung:	Sonderausstattung:
- Heizung - Kaltwasser - Abwasser - mech. Be- und Entlüftung - Vakuum für Schnüffelabsaugung - Stromanschlüsse 230 und 380 Volt - Telefonanschluss - Datennetz - Druckluft	- Verdunkelung - Kühlwasser - Heliumrückführung - Gaszuleitung: Helium, Stickstoff, Argon	- Kühlung - Klimatisierung - Sonderabsaugung - Reinraumbedingungen - Erdgas - Reinstickstoff - Gasflaschenschrank für sonstige Sondergase

Abb. 7.3: Elemente der gebäudetechnischen Laborausstattung

Im Rahmen der Festlegung der Ausstattungselemente ist zu entscheiden, mit welchen Medien die Labore über zentrale Leitungen versorgt werden sollen und für welche Medien eine dezentrale Versorgung ausreicht.

Grundsätzlich müssen alle Laborräume an das Datennetz angeschlossen werden, um die elektronische Steuerung der Versuchsgeräte und die Datenauswertung von den Arbeitsplatzrechnern in den Büros aus zu ermöglichen. Üblich ist eine zentrale Versorgung mit Druckluft, Helium, Stickstoff und gegebenenfalls auch Argon. Im Einzelfall zu prüfen sind zentrale Leitungsnetze für Kühlwasser und die Rückleitung verdampften Heliums.

Für eine zentrales Kühlwassersystem spricht der geringere Wasserverbrauch im Vergleich zur veralteten Kühlung mit Frischwasser. Bei wenigen Nutzern sind allerdings dezentrale Kühlwassersysteme in Betracht zu ziehen. In vielen Bereichen der Physik wird flüssiges Helium zur Erzeugung tiefer Temperaturen eingesetzt. Ein Leitungsnetz zur Rückführung des verdampften Heliums zu einer zentralen Heliumverflüssigungsanlage führt zu erheblichen Einsparungen beim Bedarf an Helium. Allerdings ist die Heliumrückverflüssigung mit nicht vernachlässigbaren Kosten verbunden, sodass bei niedrigen Marktpreisen eine dezentrale Versorgung ohne Wiederverwendung zeitweise billiger sein kann. Aufgrund der großen Preisschwankungen für flüssiges Helium halten die meisten Physik-Einrichtungen dennoch an einer zentralen Heliumrückverflüssigung fest.

Einzelne Physik-Einrichtungen entscheiden sich für eine zentrale Versorgung mit Reinstickstoff, wenn eine Mehrzahl der Nutzer Stickstoff als Prozessgas oder zum Trocknen oder Abblasen empfindlicher Proben benötigt. Flüssiger Stickstoff wird außer von der Heliumverflüssigungsanlage nur von wenigen Nutzern benötigt, sodass lediglich Zuleitungen vom zentralen Stickstofftank zu diesen Räumen erforderlich sind. Gegebenenfalls lässt sich der flüssige Stickstoff auch mit Kannen in die Labore transportieren. Auch für Erdgas ist kein gebäudeweites Leitungsnetz erforderlich, da es nur in den wenigen nass-präparativen Laboren Verwendung findet. Argon wird von einem Teil der experimentellen Physiker als Schutzgas eingesetzt. Eine dezentrale Versorgung mit Gasflaschen erfordert bei jedem Nutzer einen Gasflaschenschrank. Als Alternative dazu ist ein zentraler Gasflaschenschrank mit Zuleitungen zu allen Bedarfsträgern. Gegebenenfalls lassen sich solche Versorgungsnetze auf Teile des Gebäudes beschränken. Für alle übrigen Sondergase reicht in der Regel eine dezentrale Versorgung beispielsweise mit in den Laboren untergebrachten Gasflaschen aus.

Üblicherweise werden die Anschlüsse von Grund- und Zusatzausstattung in einer Medientafel an der Kopf- oder einer Seitenwand zusammengefasst. Bei größeren Laborräumen sind Deckenampeln zweckmäßig, um in der Raummitte aufgebaute Versuchsgeräte zu ver- und entsorgen. Zur

Stromversorgung mit 230-Volt-Wechsel- und 380 Volt-Drehstrom werden Stromschienen angeboten, die entlang der Schiene an beliebigen Stellen die Nachrüstung von Steckdosen erlauben.

Bei dem in Abbildung 7.4 dargestellten Standardlabor des Max-Planck-Instituts für Metallforschung in Stuttgart sind Decken- und Wandinstallationen deutlich zu erkennen.

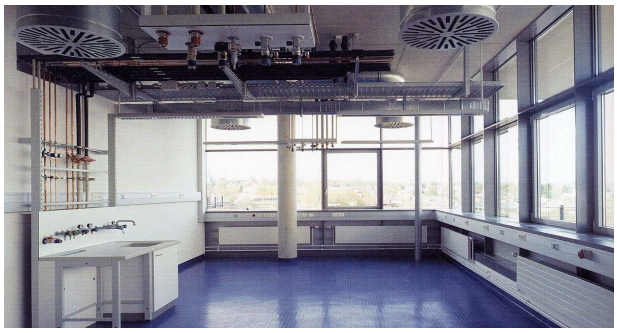


Abb. 7.4: Standardlabor im Max-Planck-Institut für Metallforschung
(Foto: Bauabteilung der Max-Planck-Gesellschaft)

7.2.3 Nutzungsbeispiele

Die Einrichtung physikalischer Gerätelabore bleibt typischerweise dem Nutzer vorbehalten. Dennoch sollen hier einige Nutzungsbeispiele für Standardlabore mit einer Grundfläche von 24, 36 und 48 m^2 vorgestellt werden. Standardlabore lassen sich beispielsweise zum Aufbau von Laserversuchen auf optischen Tischen, für Elektronenmikroskope, für die unterschiedlichsten Formen der Spektroskopie oder für Ultra-Hochvakuum-Beschichtungsanlagen nutzen.

Standardlabore mit einer Grundfläche von 24 m^2 eignen sich für kleinere Experimente oder Messgeräte, die gegen Störungen durch benachbarte Versuche besonders empfindlich sind. Abbildung 7.5 zeigt dazu exemplarisch die Aufstellung eines Elektronenmikroskops mit einem Stellflächenbedarf von 200 mal 300 cm in einem kleinen Standardlabor mit den Innenmaßen 345 mal 690 cm. Zusätzlich ist das Labor mit einem Schreibplatz (SP) ausgestattet, der allerdings keinen dauerhaften Büroarbeitsplatz ersetzt. Er dient lediglich dazu, während der Experimente kleinere Schreibarbeiten zu erledigen.

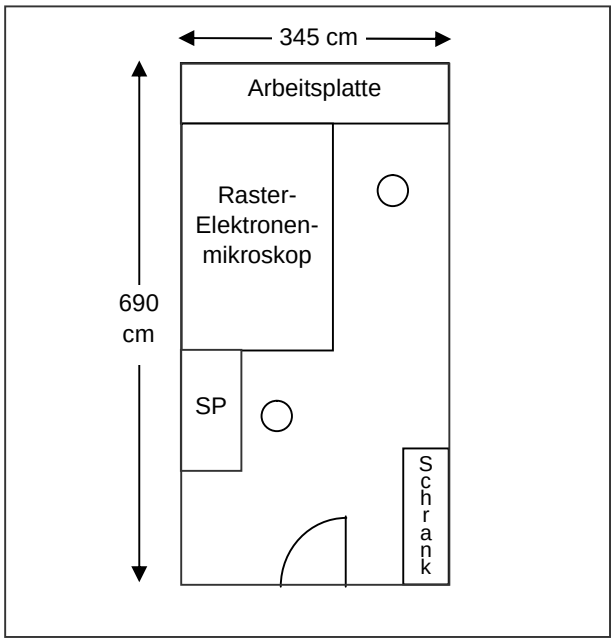


Abb. 7.5: Nutzungsbeispiel für ein 24 m^2 Standardlabor

Die Abbildungen 7.6 und 7.7 zeigen Nutzungsbeispiele für mittlere und große Standardlabore mit 36 bzw. 48 m^2. Mittelpunkt der Einrichtung des 36 m^2 Labors ist ein optischer Tisch mit 180 cm Breite und 300 cm Länge, wie er häufig für Laserversuche verwendet wird. Zusätzlich sind im Labor zwei kleine Schreibplätzen (SP 1, SP 2), ein Rack für die Steuerelektronik und ein Schrank untergebracht. Die Gerätestellfläche wird in diesem Fall dadurch begrenzt, dass der optische Tisch von allen vier Seiten zugänglich sein muss. Bei Verzicht auf die Schreibplätze kann die Stellfläche eine Länge von 350 bis 360 cm einnehmen. Kann das Gerät an einer der beiden Längswände aufgestellt werden, ist zudem eine Breite von bis zu 300 cm nutzbar.

Als Nutzungsbeispiel für ein großes Standardlabor mit 48 m^2 zeigt Abbildung 7.7 den Grundriss eines Dünnschichtexperimentes, bei dem in zwei Ultra-Hochvakuum-Aufdampfanlagen mit einer Grundfläche von jeweils 200 mal 300 cm dünne Beschichtungen erzeugt werden können. Zusätzlich ist das Labor an der Fensterseite mit einer durchgehenden, 80 cm tiefen Schreibfläche ausgestattet, an der bis zu vier Experimentatoren Platz finden. Die Blickrichtung der Schreibplätze zur

Fensterfront hin erfordert allerdings einen Blendschutz. Die Stellfläche der beiden UHV-Aufdampfanlagen kann auch für einen größeren Versuchsaufbau genutzt werden.

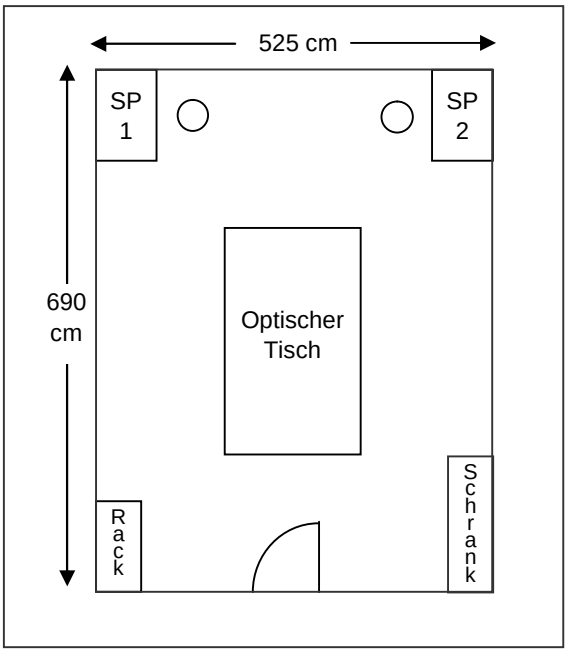


Abb. 7.6: Nutzungsbeispiel für ein 36 m² Standardlabor

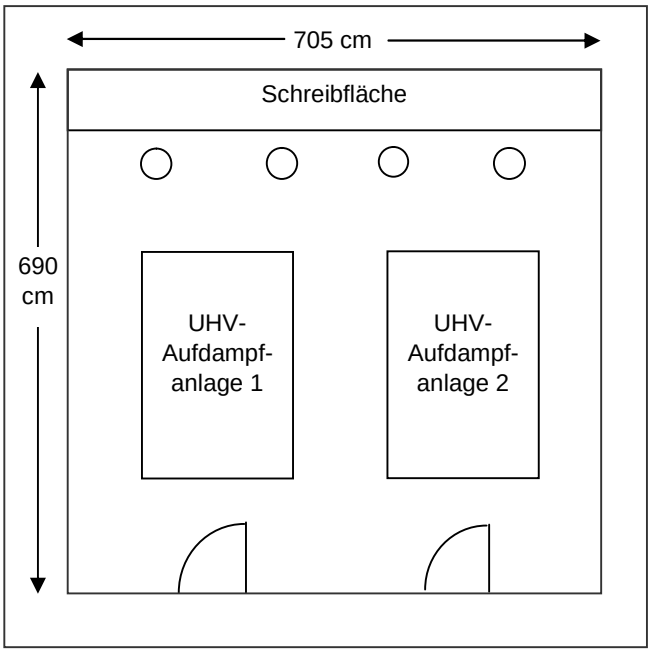


Abb. 7.7: Nutzungsbeispiel für ein 48 m² Standardlabor

7.3 Ausgewählte Sonderlabore und Hallen

Als **Sonderlabor** werden hier alle Labore bezeichnet, die aufgrund einer spezifischen Nutzung von den Standardlaboren abweichende Maße und/oder Ausstattungen benötigen. Dies bedeutet nicht, dass jedes Sonderlabor ein Unikat ist. Häufig weichen nur einzelne Aspekte von den Standardlaboren ab. Zudem gibt es einige Typen von Sonderlaboren, die sich in ähnlicher Form in vielen Physik-Einrichtungen finden. Für einige Beispiele sind im Folgenden Planungshinweise zusammengestellt.

Reinräume

Reinräume sind luftdicht versiegelte Laborräume, in die über ein mehrstufiges Filtersystem nahezu staubfreie Luft eingelassen wird und die nur über eine Schleuse betreten werden können. Zudem wird die Lufttemperatur auf einem konstanten und die Luftfeuchtigkeit auf einem konstant niedrigen Niveau gehalten. Dies erfordert eine aufwendige Lüftungstechnik. Reinräume sind daher sowohl in der Anschaffung als auch in der Unterhaltung sehr teuer. Darüber hinaus benötigen sie neben der eigentlichen Reinraumfläche ein Vielfaches an Funktionsfläche für die zugehörige Technik.

Die Anforderungen von Hochschulphysikern an Reinräume unterscheiden sich deutlich von denen der Industrie, teilweise gibt es auch Unterschiede zu den Anforderungen von Hochschuleinrichtungen der Elektrotechnik. Letzteres beruht darauf, dass das Ziel physikalischer Forschung die Herstellung und Charakterisierung möglichst kleiner Strukturen, zumeist im Nanometerbereich (10^{-9} m) ist, während sich die Elektrotechnik vorzugsweise mit Anwendung und Weiterentwicklung der Prozessortechnologie beschäftigt.

Üblicherweise werden Reinräume gemäß einer amerikanischen Norm nach der Anzahl von Teilchen mit einem Durchmesser von mindestens 0,5 Mikrometern (µm) pro Kubikfuß (ft^3) Luft charakterisiert. An Hochschulen reicht eine Reinraumklasse von 1.000 aus. Niedrigere Klassen von 100

oder gar 10 werden nur in bestimmten Zonen bzw. nur an einzelnen Arbeitsplätzen benötigt. Neben der Reinraumklasse sind bei der Konzeption von Reinräumen die Größe, die Anordnung im Gebäude und die Abschirmung gegen Schwingungen zu beachten. In Physik-Einrichtungen lassen sich drei Typen von Reinräumen unterscheiden:

a) **einzelne Reinräume** innerhalb des Institutsgebäudes von 20 bis 50 m^2 HNF mit dezentraler Lüftungstechnik in Nebenräumen (vgl. dazu Stief/Grabowski 1999),
b) **zusammenhängende Reinräume** innerhalb des Institutsgebäudes von 100 bis 300 m^2 HNF mit zentraler Lüftungstechnik im Untergeschoss und
c) **separate Reinraumgebäude** mit einer Reinraumfläche von 400 bis 500 m^2 HNF.

Einzelne Reinräume decken den Bedarf einzelner Forschungsgruppen, zusammenhängende Reinräume von Forschungsschwerpunkten ab. Separate Reinraumgebäude sind nur ausnahmsweise in Physik-Einrichtungen, häufiger dagegen in Elektrotechnik-Einrichtungen anzutreffen. Solche Gebäude dienen nicht nur für Forschung und Lehre, sondern auch dem Wissenstransfer. Beispielsweise werden ausgegründeten Start-up-Unternehmen Reinraumflächen zur Verfügung gestellt.

Reinräume sind bezüglich ihrer Einrichtung nass-präparativen Laboren vergleichbar. Auch wenn ein Teil der Fläche, insbesondere bei größeren Reinräumen, der Aufstellung von Forschungsgeräten dient, kann daher mit einem Flächenbedarf von 10 bis 12 m^2 pro Arbeitsplatz gerechnet werden (Vogel/Trisl 2002, S. 178).

Nass-präparative Labore

Forschungsgruppen der Festkörper- und Biophysik benötigen zur Präparation ihrer Proben einfache Chemielabore, vereinzelt auch Gentechnik-Sicherheitslabore. Da dieser Bedarf nicht bei allen experimentellen Forschungsgruppen besteht, werden die nass-präparativen Labore hier den Sonderlaboren zugerechnet, obwohl sie sich bezüglich Größe und Ausstattung standardisieren lassen.

Da in den nass-präparativen Laboren nur vorbereitende Tätigkeiten ausgeführt werden, muss nicht jedem Gruppenmitglied ein Dauerarbeitsplatz eingerichtet werden. In der Regel reichen Labore mit ein bis zwei nass-präparativen Arbeitsplätzen und einer Größe von 20 bis 24 m^2 aus. Um den Einbau von Abzügen zu erleichtern, ist eine Anordnung im Obergeschoss vorteilhaft. Detaillierte Planungshinweise können Vogel/Holzkamm (1998, S. 154-184) entnommen werden.

Temperaturkonstante Labore

Um Längenänderungen von Versuchsaufbauten aus Metall zu vermeiden, werden teilweise temperaturkonstante Labore benötigt, in denen die Temperatur trotz wechselnder Jahreszeiten nur um +/– 0,5 Celsius schwankt. Solche Anforderungen können entweder durch eine Klimatisierung der zentralen Lüftung oder durch dezentral in den einzelnen Räumen installierten Umluft-Klimaanlagen erfüllt werden.

Besondere Schwierigkeiten ergeben sich, wenn in dem Labor Geräte betrieben werden, die eine hohe Wärmeleistung abgegeben. Um die Klimaanlage nicht zu überlasten, bietet sich eine Abkapselung dieser Geräte mit einer separaten Luftzu- und -abfuhr an. Dazu sind allerdings ausreichend große Versorgungsschächte erforderlich.

Erschütterungsabgeschirmte Labore

Ein wichtiger Aspekt der Laborplanung für Physik-Einrichtungen ist die Abschirmung gegen mechanische Schwingungen, da diese auf viele Experimente störend wirken. Dies gilt insbesondere für hochauflösende Untersuchungs- und Lithographieverfahren mit Hilfe von Elektronen- oder Rastersondenmikroskopen.

Falls eine Schwingungsdämpfung der Versuchsaufbauten, z. B. durch druckluftgefederte Versuchstische, nicht ausreicht, sind besondere Anforderungen an die Laborräume zu stellen. Ein einfache Möglichkeit zur Schwingungsdämpfung ist die Anordnung der entsprechenden Labore im Kellergeschoss. Da sich Schwingungen durch das Erdreich übertragen, sind allerdings auch die Schwingungsquellen in der Nachbarschaft des Gebäudes zu beachten. So können beispielsweise erschütterungsempfindliche Experimente in Gebäuden, die in der Nähe von Schienenwegen liegen, oftmals nur nachts durchgeführt werden.

Eine effektive Möglichkeit zur Abschirmungen mechanischer Schwingungen bieten gesondert gegründete, vom übrigen Gebäude entkoppelte Fundamente. Diese Lösung ist allerdings sehr kostenintensiv.

Tieftemperaturlabore

In Tieftemperaturlaboren werden in sogenannten Kryostaten mit Hilfe von flüssigem Helium extrem tiefe Temperaturen erzeugt. Dabei handelt es sich um zylindrische Geräte mit einem Durchmesser zwischen 1 und 1,5 m und einer Höhe zwischen 2,5 und 3 m. Beschickt werden sie entweder, indem der äußere Zylinder nach oben gefahren oder die Untersuchungsprobe von oben in den Zylinder hinabgelassen wird. Im ersten Fall ist eine Raumhöhe von 5 bis 6 m erforderlich. Kryostate, die sich von oben beschicken lassen, können unter den Laborfußboden versenkt werden, was jedoch einen Deckendurchbruch erfordert und die Nutzung des darunter liegenden Raumes beeinträchtigt.

Großraumlabore

Großlabore besitzen eine Grundfläche von 60 m^2 oder mehr. Zumeist entsteht ein solcher Flächenbedarf, um räumliche Distanz zwischen einzelnen Versuchselementen zu schaffen. So wird beispielsweise zwischen Hochleistungslasern als Strahlungsquelle und den eigentlichen Versuchsaufbauten häufig eine längere Laserstrecke benötigt, um den Laserstrahl zu fokussieren und das Experiment gegenüber den Störungen durch den Laser abzuschirmen. Weitere Nutzungen für Großlabore können NMR-Apparaturen sein, die aufgrund ihrer starken Magnetfelder aus Sicherheitsgründen mit größeren Freiflächen umgeben sein müssen. Dagegen präferieren Physiker zum Aufstellen kleinerer und mittlerer Versuchsgeräte separate Laborräume, da die Zwischenwände wechselseitige Störungen der Experimente vermindern.

Großlabore unterscheiden sich bezüglich der technischen Ausstattung zumeist nicht von den Standardlaboren. Zur Medienversorgung werden häufig Deckenampeln installiert, um mitten im Labor aufgestellte Versuchsaufbauten versorgen zu können. Sofern keine besonderen Raumhöhe erforderlich ist – diese wird zum Teil zum Aufstellen größerer NMR-Apparaturen benötigt –, können Großlabore zusammen mit den Standardlaboren in den Laborbünden untergebraucht werden.

Großgeräte- und Experimentierhallen

Gemeinsame Merkmale aller Hallenlabore sind eine lichte Raumhöhe von 5 m oder mehr und eine zusammenhängende Grundfläche von mindestens 100 m^2. Hallenlabore lassen sich in Großgeräte- und Experimentierhallen unterteilen. **Großgerätehallen** dienen zur Aufstellung besonderer Großgeräte, beispielsweise von Teilchenbeschleunigern oder NMR-Geräten. Ihre baukonstruktiven Merkmale und technischen Ausstattungen sind an die Anforderungen des jeweiligen Gerätes anzupassen. **Experimentierhallen** sind großräumige „Verfügungslabore“ (Franz 1970, S. 48) zur befristeten Nutzungen durch wechselnde Großversuche. Abbildung 7.8 auf der folgenden Seite vermittelt einen Eindruck von der Nutzung einer Experimentierhalle.

Bei Neubauten werden Hallenlabore zumeist als separate Gebäude errichtet, in den häufig auch die zentrale Mechanik-Werkstatt untergebracht wird. In älteren Physik-Gebäuden sind Hallenlabore teilweise in die unteren Geschosse integriert. Regelmäßig wird eine ebenerdige LKW-Zufahrt be-

nötigt, um schwere Geräte und Teile anliefern und abtransportieren zu können. Zum Lastentransport innerhalb der Halle ist der Einbau eines Deckenkranes zweckmäßig. Zu den üblichen Anforderungen gehört eine Tragfähigkeit des Hallenbodens von 20 bis 30 kN pro m^2.

Großgerätehallen können unter Umständen in Leichtbauweise errichtet werden, um die Nutzungsdauer des Gebäudes der des Großgerätes anzugleichen, die gewöhnlich 10 Jahre nicht übersteigt. Dagegen sind Experimentierhallen für häufige Nutzungswechsel im Abstand von zwei bis drei Jahren auszulegen. Dafür werden freie Flächen von 100 m^2 oder eines Vielfachen davon ohne feste Einbauten benötigt. Zur Ver- und Entsorgung der Versuchsaufbauten mit Medien haben sich Verteilungskanäle mit herausnehmbaren Abdeckungen bewährt.

Abb.7.8: Experimentierhalle des MPI für Mikrostrukturphysik in Halle
(Foto: Bauabteilung der Max-Planck-Gesellschaft)

7.4 Praktikumsräume

7.4.1 Baukonstruktive Merkmale

Die baulichen Anforderungen der **Grundpraktika** ergeben sich aus der Anzahl der Versuche, ihres jeweiligen Platzbedarfes sowie der Anordnung der Experimente im Raum. Darüber hinaus spielen auch sinnvolle Gruppengrößen eine Rolle.

Die Abbildungen 7.9 und 7.10 zeigen exemplarisch die Unterbringung von Grundpraktikumsversuchen in einem kleinen Standardlabor von 24 m^2 und einem großen Standardlabor von 48 m². Die Versuchstische mit den Maßen 90 x 180 cm sind hierbei in Reihen an den Seitenwänden des Raumes, beim größeren Raum auch in zwei Mittelreihen aufgestellt. Die vorgesehenen Schränke dienen der Lagerung von Ersatzgeräten bzw. -teilen für die Experimente. Bei verstärktem Auf- und Abbau von Geräten werden zusätzliche Sammlungsflächen benötigt, die je nach Anordnung der Praktikumsräume auch zentralisiert werden können.

Die beiden Skizzen machen deutlich, dass bei einer kompletten Belegung aller Arbeitsplätze sehr beengte Arbeitsbedingungen herrschen. Die rechnerische Arbeitsplatzgröße pro Studierendem liegt in diesem Fall bei 2,0 bzw. 2,4 m², die Fläche pro Versuchsaufbau entsprechend bei 4,0 bzw. 4,8 m². Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass eine hundertprozentige Belegung der Plätze aus verschiedenen Gründen nur in seltenen Fällen sinnvoll und möglich ist. Neben der eingeschränkten Bewegungsfreiheit der Studierenden sprechen auch angemessen zu betreuende Gruppengrößen gegen eine zu dichte Raumbelegung. Darüber hinaus sind vielfach Experimente für verschiedene Studierendengruppen gleichzeitig in einem Raum aufgebaut, werden jedoch zu unterschiedlichen Terminen genutzt. Bei einer Auslastung zwischen 60 und 80 Prozent ergibt sich dagegen ein Flächenbedarf zwischen 2,5 und 4,0 m² pro Praktikumsplatz bzw. zwischen 5,0 und 8,0 m² pro Versuchsaufbau. Innerhalb dieser Bandbreiten lassen sich auch realistische Flächenfaktoren festlegen (vgl. Abschnitt 6.5.2).

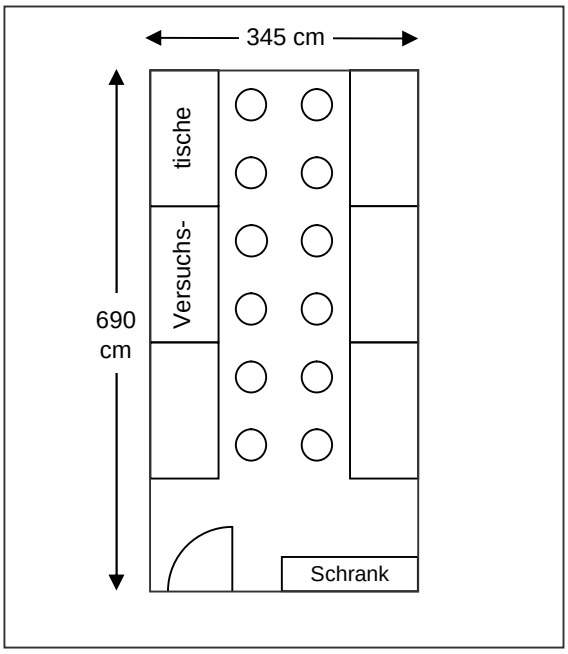


Abb.7.9: Nutzung eines 24 m² Standard-labors als Praktikumsraum

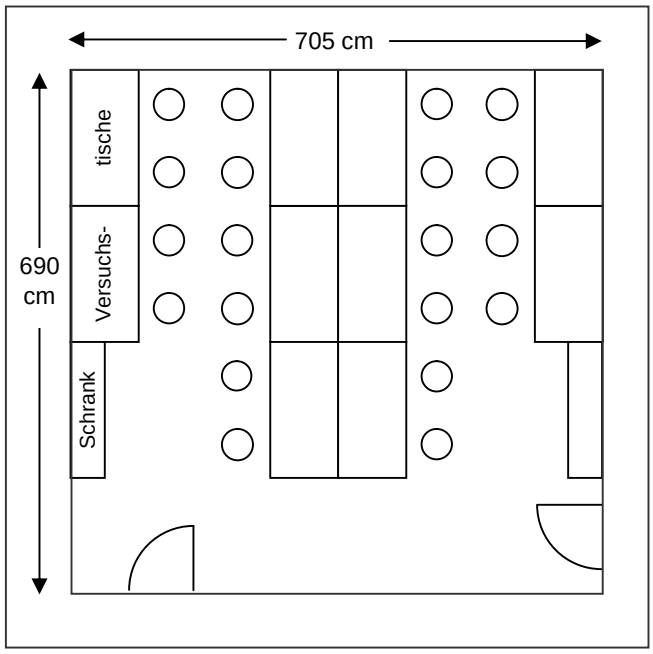


Abb.7.10: Nutzung eines 48 m² Standard-labors als Praktikumsraum

In den **Fortgeschrittenenpraktika** experimentieren die Studierenden unter forschungsähnlichen Bedingungen. Aufgrund der Komplexität und Störanfälligkeit können nur ein bis zwei Versuche in einem Raum untergebracht werden. Erfahrungsgemäß benötigt bei dezentraler Zuordnung jede beteiligte experimentelle Forschungsgruppe ein kleines Standardlabor mit 24 m².

7.4.2 Gebäudetechnische Ausstattung

Praktikumsräume benötigen nicht alle gebäudetechnischen Ausstattungen der Forschungslabore. Durch die Gruppierung nach den Themengebieten kann die Basisausstattung im Wesentlichen auf die Versorgung mit 230 Volt Wechselstrom, einen Trinkwasserzu- und -abfluss sowie die Druckluftversorgung beschränkt bleiben. In den Räumen, in denen optische Versuche durchgeführt werden, sind Verdunkelungsmöglichkeiten erforderlich. Kühlwasser, Schnüffelleitungen und 380-Volt-Drehtstromanschlüsse werden nur in den Räumen benötigt, in denen Versuche aus der modernen Physik oder für das Fortgeschrittenenpraktikum aufgebaut sind. Abbildung 7.11 zeigt die typischen Ausstattungselemente physikalischer Praktikumsräume. Zusätzlichen Installationsaufwand verursacht, dass in Praktikumsräumen jeder Versuchsaufbau über eine Energie- bzw. Medienleiste an den Wänden bzw. der Decke mit den verschiedenen Anschlüssen ausgerüstet werden muss.

Basisausstattung:	Zusatzausstattung:	Sonderausstattung:
- Heizung - Kaltwasser - Abwasser - Mech. Be- und Entlüftung - Wechselstrom 230 Volt - Telefonanschluss - Druckluft	- Verdunkelung - Kühlwasser - Vakuum für Schnüffelabsaugung - Drehstrom 380 Volt	- Datennetz - Kühlung - Technischer Stickstoff

Abb. 7.11: Elemente der gebäudetechnischen Ausstattung von Praktikumsräumen

8 Bedarfsmodelle

Bedarfsmodelle verknüpfen die Flächenansätze für die verschiedenen Raumnutzungsarten mit dem Bedarf der einzelnen Organisationseinheiten zu umfassenden Planungsmodellen für fachliche Hochschuleinrichtungen. Gestützt auf die Analyse von Forschung, Lehre, Organisation und Personal der zu beplanenden Einrichtung erlauben sie eine detaillierte Bemessung des Flächenbedarfs.

Das vorliegende Kapitel stellt Bedarfsmodelle für Physik-Einrichtungen und ihre Konstruktionsprinzipien anhand exemplarischer Mengengerüste vor. Die Bedarfsmodelle in Abschnitt 8.1 zeigen die Einflussfaktoren und möglichen Größenordnungen des Flächenbedarfs von Forschungsgruppen mit verschiedenen Arbeitsweisen. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 8.2 fünf beispielhafte Bedarfsmodelle für die Physik-Einrichtungen zusammengestellt, an denen im 4. Kapitel bereits die Personalplanung illustriert wurde. Die dabei errechneten Beispielszahlen dienen in Abschnitt 8.3 der Herleitung physikspezifischer Bedarfsrelationen. Abschließend widmet sich Abschnitt 8.4 der überschlägigen Abschätzung von Baukosten.

8.1 Bedarfsmodelle Forschungsgruppen

Forschungsgruppen sind die elementaren Organisationseinheiten fachlicher Hochschuleinrichtungen. In der Physik lassen sich anhand der idealtypischen Arbeitsweisen (vgl. Abschnitt 2.4) experimentell-apparatebezogene, experimentell-probenbezogene, theoretisch-deduktive, computerbezogene und naturbeobachtende Forschungsgruppen unterscheiden. Für diese sowie für die Fachdidaktikgruppen werden in den folgenden Abbildungen Bedarfsmodelle vorgestellt. Abbildung 8.1 beginnt mit dem Flächenbedarfsmodell für **apparatebezogene Forschungsgruppen**.

Personal		**Büro- und Rechnerflächen**			**Labor- u. Werkstattflächen**			**Lager-flächen**
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächen-bedarf	Exp.	Flächen-faktor	Flächen-bedarf	
Professor	1	1	24 m²	24 m²	5 - 7	18 m²	90 - 126 m²	Gerätelager 18 m²
WisMa (HH Dauer)	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²				
WisMa (HH Zeit)	2	2	9 m²	45 - 63 m²				
WisMa (Drittmittel)	3 - 5	3 - 5						
Diplomanden	3 - 5	3 - 5	6 m²	18 - 30 m²	3 - 5	12 m²	36 - 60 m²	
Sekretariat	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²	Gerätelabore:		126 - 186 m²	
Techniker	1				Werkstatt		18 m²	
		Besprechung		0 - 24 m²				
		Kopierer/Drucker		12 m²				
10 - 16 Personen				99 - 189 m²			144 - 204 m²	18 m²
								Gesamtfläche: 261 - 411 m²

Abb. 8.1: Bedarfsmodell für apparatebezogene Forschungsgruppen

Grundlage der Flächenplanung für eine Forschungsgruppe ist ihr Personalbestand, der im linken Block dargestellt wird. Im Gegensatz zu den in Abbildung 5.7 vorgestellten Personalrelationen, die die durchschnittliche Personalausstattung beschreiben, ist bei der Flächenplanung zu berücksichtigen, welche Beschäftigten der jeweiligen Gruppe organisatorisch zugeordnet sind. Entsprechend gibt es einige Forschungsgruppen mit, andere ohne unbefristet beschäftigtem wissenschaftlichen

Mitarbeiter. Gleiches gilt für die Sekretariate, auch wenn diese die Forschungsgruppen ohne direkt zugeordnetes Sekretariat mitversorgen. Demgegenüber kann die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter auf Drittmittelstellen und der Diplomanden im Zeitablauf schwanken. Bei flexibler Ressourcenzuordnung passt sich die Gesamtfläche der Forschungsgruppe diesen Änderungen an. Die Flächenfaktoren für die Büroarbeitsplätze sind Abbildung 6.3 entnommen. Die Bandbreiten von 0 bis 1 Besprechungsräumen bzw. 0 bis 24 m^2 ergeben sich daraus, dass für zwei Forschungsgruppen ein gemeinsamer Besprechungsraum eingeplant wird, der organisatorisch nur einer Gruppe zugeordnet wird. Der Nebenraum von 12 m^2 dient in erster Linie der Aufstellung von Peripheriegeräten wie Druckern oder Kopierern. Gegebenenfalls können dort auch kleinere Workstations oder Server untergebracht werden. Insgesamt ergeben sich daraus Büro- und Rechnerflächen von 99 bis 189 m^2 pro Forschungsgruppe.

Charakteristisch für die apparatebezogene Arbeitsweise ist die Fokussierung auf individuelle Versuchsaufbauten und Forschungsgeräte wie optische Tischaufbauten oder Hochvakuumapparaturen. Der Bedarf der dazu benötigten Gerätelabore richtet sich nach der Zahl der in der Gruppe tätigen Experimentatoren. Dazu gehören die wissenschaftlichen Mitarbeiter, die mit einem Flächenfaktor von 18 m^2 pro Person berücksichtigt werden, und die Diplomanden, denen nur 2/3 des Flächenfaktors, d. h. hier 12 m^2 pro Person, zugerechnet werden. Zusätzlich ist ein Werkstattraum für den technischen Mitarbeiter zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich für apparatebezogene Forschungsgruppen ein Bedarf an Labor- und Werkstattfläche zwischen 144 und 204 m^2. Zusammen mit dem Lagerraum von 18 m^2 führt dies zu einem Gesamtflächenbedarf von 261 bis 411 m^2.

Probenbezogene Forschungsgruppen, deren Flächenbedarf in Abbildung 8.2 modelliert wird, können in größerem Umfang gemeinsame Forschungseinrichtungen, beispielsweise größere Laserstrecken, NMR-Geräte oder auch Elektronenmikroskope nutzen. Dies führt zu einem geringeren Flächenfaktor für die der Forschungsgruppe unmittelbar zugeordnete Laborfläche von 15 m^2 pro wissenschaftlichem und technischem Mitarbeiter bzw. von 10 m^2 pro Diplomand. Außerdem ist für jede zweite Forschungsgruppe ein nass-präparatives Labor von 24 m^2 einzuplanen.

Personal		**Büro- und Rechnerflächen**			**Labor- u. Werkstattflächen**			**Lager-flächen**
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächen-bedarf	Exp.	Flächen-faktor	Flächen-bedarf	
Professor	1	1	24 m^2	24 m^2				Gerätelager 12 m^2
WisMa (HH Dauer)	0 - 1	0 - 1	18 m^2	0 - 18 m^2				
WisMa (HH Zeit)	2	2	9 m^2	45 - 63 m^2	5 - 7	15 m^2	75 - 105 m^2	
WisMa (Drittmittel)	3 - 5	3 - 5						
Diplomanden	3 - 5	3 - 5	6 m^2	18 - 30 m^2	3 - 5	10 m^2	30 - 50 m^2	
Sekretariat	0 - 1	0 - 1	18 m^2	0 - 18 m^2	Gerätelabore:		105 - 155 m^2	
Techniker	1				Werkstatt		18 m^2	
		Besprechung		0 - 24 m^2	nass-präp. Lab.		0 - 24 m^2	
		Kopierer/Drucker		12 m^2				
10 - 16 Personen				99 - 189 m^2			123 - 197 m^2	12 m^2
								Gesamtfläche: 234 - 398 m^2
		zusätzliche Anteile an gemeinsamen Laborflächen			personenabhängige Komponente:			21 - 31 m^2
					pauschale Komponente:			150 m^2
					Flächenanteil:			171 - 181 m^2

Abb. 8.2: Bedarfsmodell für probenbezogene Forschungsgruppen

Auf Fachbereichs- bzw. Institutsebene sind für die probenbezogenen Forschungsgruppe zusätzlich gemeinsame Laborflächen einzuplanen. Deren Größe richtet sich nach der Zahl der probenbezogenen Experimentatoren mit einem Flächenfaktor von 3 m^2 pro wissenschaftlichem Mitarbeiter bzw. von 2 m^2 pro Diplomand und der Zahl der probenbezogenen Forschungsgruppen, für die jeweils 150 m^2 angesetzt werden. Pro Gruppe ergibt sich daraus ein durchschnittlicher Anteil von 171 bis 181 m^2, der sich aus einer personenabhängigen Komponente von hier 21 bis 31 m^2 und einer pauschalen Komponente von 150 m^2 zusammensetzt.

Bei der Flächenplanung für **theoretisch-deduktive Forschungsgruppen** sind gemäß Abbildung 8.3 eine im Vergleich zu den experimentellen Forschungsgruppen etwas geringere Personenzahl sowie größere Büroarbeitsplätze für wissenschaftliche Mitarbeiter von 12 m^2 pro Person zu berücksichtigen. Beide Effekte heben sich in ihrer Wirkung allerdings weitgehend auf, sodass der Büro- und Rechnerflächenbedarf zwischen 84 und 192 m^2 der theoretisch-deduktiven Gruppen in etwa dem der experimentellen Forschungsgruppen entspricht. Da sich der Bedarf theoretisch-deduktiver Gruppen allerdings auf Büro- und Rechnerflächen beschränkt, beträgt ihr Gesamtflächenbedarf weniger als die Hälfte des Bedarfs der apparatebezogenen Forschungsgruppen.

Personal		**Büro- und Rechnerflächen**		
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächenbedarf
Professor	1	1	24 m^2	24 m^2
WisMa (HH Dauer)	0 - 1	0 - 1	18 m^2	0 - 18 m^2
WisMa (HH Zeit)	2	2	12 m^2	48 - 72 m^2
WisMa (Drittmittel)	2 - 4	2 - 4		
Diplomanden	2 - 4	2 - 4	6 m^2	12 - 24 m^2
Sekretariat	0 - 1	0 - 1	18 m^2	0 - 18 m^2
		Besprechung		0 - 24 m^2
		Kopierer/Drucker		12 m^2
7 - 13 Personen		84 - 192 m^2		
		Gesamtfläche: 84 - 192 m^2		

Abb. 8.3: Bedarfsmodell für theoretisch-deduktive Forschungsgruppen

In den von HIS untersuchten Raumprogrammen für Physik-Neubauten werden **computerbezogenen Forschungsgruppen** erheblich größere Flächen zugeordnet als den übrigen theoretischen Gruppen. Dem in Abbildung 8.4 dargestellten Bedarfsmodell ist zu entnehmen, dass der größte Flächenanteil für PC-Terminals benötigt wird. Dabei handelt es sich allerdings um Lehrräume, deren Größe von der Zahl der Physik-Studienplätze abhängt – gemäß Abschnitt 6.5.1 sind pro Studienplatz 0,35 m^2 anzusetzen –, und die daher streng genommen der Fachbereichsebene zuzuordnen sind. Der computerbezogenen Forschungsgruppe ist lediglich die Betreuung übertragen. Allerdings geht die Schaffung computerbezogener Professuren häufig mit der Einrichtung umfangreicher PC-Terminals einher, sodass deren Zuordnung zu einer Forschungsgruppe für die Bedarfsplanung durchaus Relevanz besitzt.

Der Bedarf der computerbezogenen Forschungsgruppen an Rechnerräumen im engen Sinne, d. h. zur Aufstellung von Workstations, Parallelrechnern und Servern, ist dagegen nur unerheblich größer als der theoretischer Gruppen. In der Regel reichen Geräteräume mit einer Gesamtfläche in der Größenordnung von 24 m^2 aus. Darüber hinaus ist bei der Flächenplanung zu berücksichtigen, dass computerbezogenen Forschungsgruppen fast immer eine Technikerstelle und vielfach eine Dauerstelle für einen wissenschaftlichen Mitarbeiter zugeordnet werden.

Personal		Büro- und Rechnerflächen			der Forschungsgruppe zugeordnete Lehrräume	
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächenbedarf		
Professor	1	1	24 m²	24 m²	Terminalräume (0,35 m² pro Physik-Studienplatz)	102 - 222 m²
WisMa (HH Dauer)	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²		
WisMa (HH Zeit)	2	2	12 m²	48 - 72 m²		
WisMa (Drittmittel)	2 - 4	2 - 4				
Diplomanden	2 - 4	2 - 4	6 m²	12 - 24 m²		
Sekretariat	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²		
Techniker	1	1	18 m²	18 m²		
		Besprechung		0 - 24 m²		
		Kopierer/Drucker		12 m²		
		Rechner		24 m²		
8 - 14 Personen		138 - 234 m²			102 - 222 m²	
		Gesamtfläche: 240 - 456 m²				

Abb. 8.4: Bedarfsmodell für computerbezogene Forschungsgruppen

Der in Abbildung 8.5 ermittelte Büro- und Rechnerflächenbedarf **naturbeobachtender Forschungsgruppen** entspricht weitgehend dem theoretischer Gruppen. Da sie ihre Beobachtungsdaten über das Datennetz beziehen und dazu besonders leistungsfähige Rechner einsetzen, ist in der Regel ein Rechnerraum erforderlich. Darüber hinaus benötigen naturbeobachtende Physiker in geringem Umfang Gerätelabore, um Messgeräte für den Einsatz außerhalb der Hochschule zu entwickeln, zu montieren und zu testen. Darin werden allerdings keine dauerhaften Arbeitsplätze eingerichtet, so dass für die Forschungsgruppen, denen ein Techniker zugeordnet ist, zusätzlich ein Werkstattraum von 18 m² einzuplanen ist.

Personal		Büro- und Rechnerflächen			Labor- u. Werkstattflächen			Lagerflächen
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächenbedarf	Exp.	Flächenfaktor	Flächenbedarf	
Professor	1	1	24 m²	24 m²	Gerätelabore		48 m²	Gerätelager 12 m²
WisMa (HH Dauer)	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²				
WisMa (HH Zeit)	2	2	12 m²	48 - 72 m²				
WisMa (Drittmittel)	2 - 4	2 - 4						
Diplomanden	2 - 4	2 - 4	6 m²	12 - 24 m²				
Sekretariat	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²				
Techniker	0 - 1				Werkstatt		0 - 18 m²	
		Besprechung		0 - 24 m²				
		Kopierer/Drucker		12 m²				
		Rechner		12 m²				
7 - 14 Personen		108 - 204 m²			48 - 66 m²			12 m²
		Gesamtfläche: 168 - 282 m²						

Abb. 8.5: Bedarfsmodell für naturbeobachtende Forschungsgruppen

Nicht an jeder Physik-Einrichtung, die Lehramtstudiengänge anbietet, ist eine **Fachdidaktik**-Professur eingerichtet. Dennoch werden auch in diesem Fällen personelle und räumliche Ressourcen für die Ausbildung der Lehramtsstudierenden benötigt. Die Bandbreiten im Flächenbedarf der

Fachdidaktiken, die Abbildung 8.6 zu entnehmen sind, beruhen daher im Wesentlichen darauf, ob die Fachdidaktikgruppe von einen Hochschullehrer geleitet wird oder ob für die Betreuung der speziellen Veranstaltungen für Lehramtsstudierende lediglich ein wissenschaftlicher Mitarbeiter auf einer Haushaltsdauerstelle zuständig ist.

Personal		**Büro- und Rechnerflächen**			**der Forschungsgruppe zugeordnete Lehrräume**		**Lager-flächen**
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächen-bedarf			
Professor	0 - 1	0 - 1	24 m²	24 m²	Demonstrations-praktika	48 - 72 m²	Sammlung 24 m²
WisMa (HH Dauer)	1	1	18 m²	18 m²			
WisMa (Drittmittel)	0 - 1	0 - 1	12 m²	0 - 12 m²			
Diplomanden	2 - 4	2 - 4	6 m²	12 - 24 m²	Seminarraum (18 -24 Plätze)	36 - 48 m²	
Sekretariat	0 - 1	0 - 1	18 m²	0 - 18 m²			
		Kopierer/Drucker		12 m²			
3 - 8 Personen				66 - 108 m²		84 - 120 m²	24 m²
							Gesamtfläche: 174 - 252 m²

Abb. 8.6: Bedarfsmodell für Fachdidaktik-Gruppen

Abbildung 8.7 gibt einen Überblick über die Bandbreiten des Flächenbedarfs physikalischer Forschungsgruppen. Anzumerken ist, dass der überdurchschnittlich große Flächenbedarf der computerbezogenen Gruppen zu fast 50 % durch Terminalräume verursacht wird. Davon abgesehen besitzen die apparatebezogenen Forschungsgruppen den größten Bedarf an individuell zugeordneten Räumen. Der Flächenbedarf der probenbezogenen Gruppen ist etwas geringer. Zusätzlich benötigen probenbezogene Forschungsgruppen erhebliche Laborflächen für gemeinsame Forschungsgeräte und -einrichtungen. Obwohl die dargestellten Bandbreiten bereits eine erheblichen Spielraum zur Anpassung an individuelle Bedingungen lassen, können sie von einzelnen Forschungsgruppen durchaus über- oder unterschritten werden. Die Flächenangaben sind daher lediglich als Anhaltspunkte, nicht aber als Empfehlungen zu verstehen.

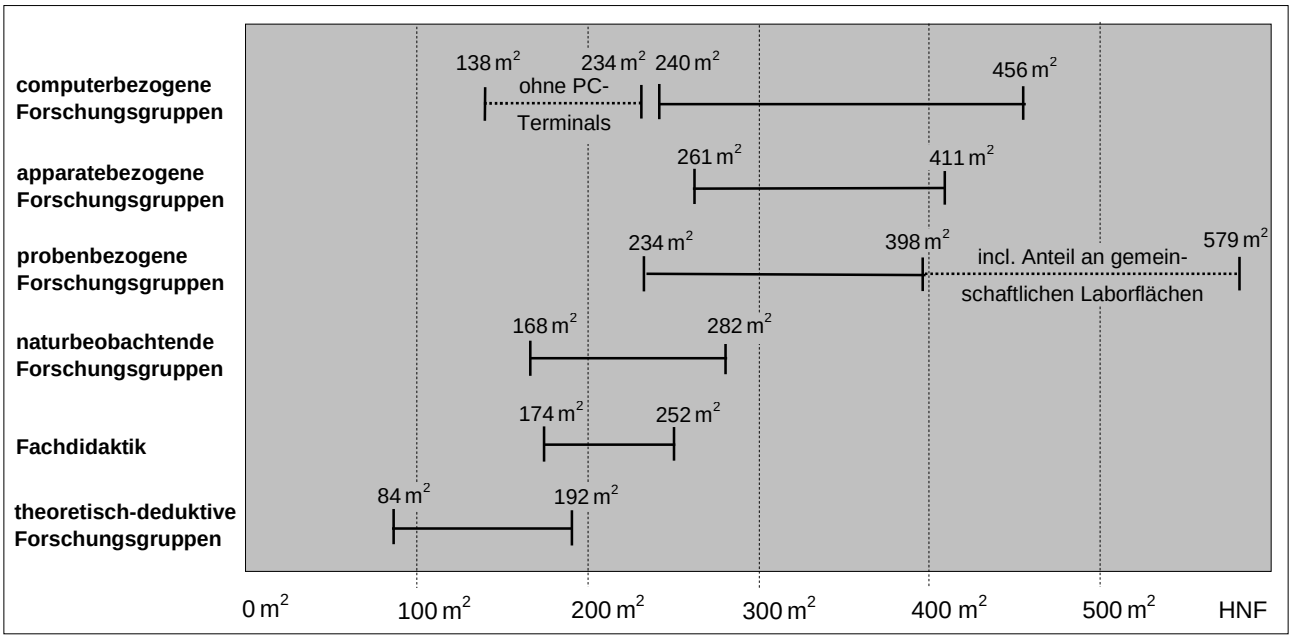


Abb. 8.7: Bandbreiten des Flächenbedarfs physikalischer Forschungsgruppen

Neben den von C3- und C4-Professoren geleiteten Forschungsgruppen sind in der Ressourcenplanung die **Nachwuchsgruppen** zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich zurzeit noch überwiegend um Gruppen von habilitierenden C1-Stelleninhabern oder von Privatdozenten, die auf C2-Stellen beschäftigt sind. In Zukunft werden verstärkt die Forschungsgruppen von Juniorprofessoren auf W1-Stellen einzuplanen sein. In Abbildung 8.8 ist exemplarisch der Flächenbedarf einer probenbezogenen Nachwuchsgruppe abgebildet.

Nachwuchsgruppen haben erheblich weniger Mitglieder als die Forschungsgruppen der Hochschullehrer. Aufbauend auf dem niedrigeren Personalbestand sind dieselben Flächenansätze zu verwenden wie für reguläre Forschungsgruppen mit der gleichen Arbeitsweise. Darüber hinaus sind die probenbezogenen Nachwuchsgruppen auch bei der Ermittlung der forschungsgruppenübergreifenden Laborflächen zu berücksichtigen. Räume, die wie Sekretariate, Besprechungsräume und nass-präparative Labore von mehreren Gruppen genutzt werden, werden in der Regel allerdings nicht den Nachwuchs-, sondern den regulären Forschungsgruppen zugeordnet.

Personal		**Büro- und Rechnerflächen**			**Labor- u. Werkstattflächen**			**Lager-flächen**
Kategorie	Pers.	Arbeitsplätze Zahl	Arbeitsplätze Größe	Flächen-bedarf	Exp.	Flächen-faktor	Flächen-bedarf	
Nachwuchswiss.	1	1	18 m²	18 m²	2 - 3	15 m²	30 - 45 m²	Gerätelager 12 m²
WisMa (Drittmittel)	1 - 2	1 - 2	9 m²	9 - 18 m²				
Diplomanden	1 - 2	1 - 2	6 m²	6 - 12 m²	1 - 2	10 m²	10 - 20 m²	
		Kopierer/Drucker		12 m²	Gerätelabore:		40 - 65 m²	
3 - 5 Personen				45 - 60 m²			40 - 65 m²	12 m²
		Gesamtfläche: 97 - 137 m²						
		zusätzliche Anteile an gemeinsamen Laborflächen			personenabhängige Komponente:			6 - 9 m²
					pauschale Komponente:			75 m²
					Flächenanteil:			81 - 84 m²

Abb. 8.8: Bedarfsmodell für Nachwuchsgruppen (Beispiel: probenbezogene Arbeitsweise)

8.2 Bedarfsmodelle Fachbereiche

8.2.1 Konstruktionsprinzipien

Bedarfsmodelle für Fachbereiche ordnen den einzelnen Organisationsebenen jeweils ihren Bedarf an Büro- und Rechnerflächen, an Labor- und Werkstattflächen und an Lehrraum- und Bibliotheksflächen zu. Daher entsprechen die Zeilen der hier exemplarisch vorgestellten Bedarfsmodelle den Personalmodellen des 5. Kapitels. Der Flächenbedarf für die einzelnen Raumnutzungsarten wird in verschiedenen Spalten eingetragen. Zusätzlich wird für die vier Nutzungsbereiche und für die Gesamtfläche jeweils eine Summenspalte angesetzt.

Am Beispiel des Bedarfsmodells 2 werden im Folgenden schrittweise die Bedarfsermittlungen für Büro- und Rechnerflächen, für Labor- und Werkstattflächen, für Lagerflächen sowie für Lehrraum- und Bibliotheksflächen in getrennten Abbildungen vorgestellt. Die von den Nutzungsbereichen in Abbildung 8.1 abweichende Zuordnung der Werkstattflächen zu den Laboren und der Bibliotheksflächen zu den Lehrräumen dient der besseren Übersichtlichkeit. Abbildung 8.9 beginnt mit den Büro- und Rechnerflächen.

Personalausstattung: 18 Prof. (12 exp. Prof. + 6 theo. Prof.) 48 WisMa HH (12 Dauer + 36 Zeit) 68 WisMa Drittmittel 46 nicht wiss. Ma. (33 Techn. + 13 Verw.) 452Studienplätze		Büroarbeitsplätze						Büro-räume	Be-spre-chung	Kopierer Drucker	Rechner	Büro- u. Rechner-flächen
		Prof. 24 m^2/Ap	WM Dauer 18 m^2/Ap	WM Zeit theo. 12 m^2/Ap	WM Zeit exp. 9 m^2/Ap	Diplom 6 m^2/Ap	Sekr. 18 m^2/Ap	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I	1	1		6	4	1	138	24	12		174
	exp. apparatebez. FG II	1			6	4		102		12		114
	exp. apparatebez. FG III	1			6	4		102		12		114
	exp. apparatebez. FG IV	1	1		6	4	1	138	24	12		174
	exp. apparatebez. FG V	1			6	4		102		12		114
	exp. apparatebez. FG VI	1			6	4		102		12		114
	exp. probenbez. FG I	1	1		6	4	1	138	24	12		174
	exp. probenbez. FG II	1			6	4		102		12		114
	exp. probenbez. FG III	1			6	4	1	120	24	12		156
	exp. probenbez. FG IV	1			6	4		102		12		114
	exp. probenbez. FG V	1			6	4	1	120	24	12		156
	exp. probenbez. FG VI	1			6	4		102		12		114
	Nachwuchsgruppe		1		2	2		48		12		60
	Gem. Forschungseinricht.		2					36				36
	Gem. EDV-Betreuung		1					18		12	12	42
	Geschäftsführung	1	1				1	60	36	12		108
	Summen:	13	8		74	50	6	1.530	156	180	12	1.878
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	1	1	5		3	1	138	24	12	12	186
	theo.-deduktive FG II	1		5		3		102		12	12	126
	theo.-deduktive FG III	1		5		3	1	120	24	12	12	168
	theo.-deduktive FG IV	1		5		3		102		12	12	126
	computerbezogene FG	1	1	5		3	1	138	24	36	36	234
	Nachwuchsgruppe		1	2		2		54		12	12	78
	Fachdidaktik	1	1	1		3		72		12	12	96
	Gem. EDV-Betreuung		1					18		12	12	42
	Geschäftsführung	1	1				1	60	36	12		108
	Summen:	7	6	28		20	4	804	108	132	120	1.164
Fachbereichs-ebene	Experimentierhalle											
	Großgerät(e)		1					18				18
	Zentrale Praktika		18					18				18
	davon Grundprakt. Physik											
	Grundprakt. Export											
	Fortg.-Prakt. Physik											
	Dekanat	1	2				1	78	48	12	12	150
	Studien- / Prüfungsverw.						1	18				18
	Mechanik-Werkstatt											
	Helium-Rückgewinnung											
	Summen:		21				2	132	48	12	12	204
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle											
	Seminarräume											
	Bibliothek											
Flächenbedarf Fachbereich	Arbeitsplätze	20	35	28	74	70	12					
	Gesamtflächen (m^2 HNF)							2.466	312	324	144	3.246

Abb. 8.9: Modellierung der Büro- und Rechnerflächen für Bedarfsmodell 2

Die Zuordnung der Büroarbeitsplätze basiert auf dem in Abbildung 5.11 dargestellten Personalmodell. Dabei werden die Zahlen der in den Forschungsgruppen tätigen wissenschaftlichen Mitarbeiter auf Haushaltszeit- und auf Drittmittelstellen addiert. Statt der im Personalmodell angegebenen Bandbreiten werden Durchschnittswerte angesetzt. Die Flächenfaktoren können der Kopfzeile entnommen werden. Arbeitsplätze für Stellen, die in den Personalmodellen mehreren Forschungsgruppen gemeinsam zugeordnet wurden, werden hier einer Organisationseinheit zugeschlagen.

Zusätzlich zu den personenbezogenen Büroarbeitsplätzen für Geschäftsführer und Sekretariat sind bei den Institutsgeschäftsführungen und dem Dekanat jeweils ein Professorenbüro für den Direktor bzw. Dekan und beim Dekanat ein 18 m^2 Büro für die Fachschaft einzuplanen.

Abbildung 8.10 zeigt die Bedarfsermittlung für Labor- und Werkstattflächen. Die Gerätelaborflächen der Forschungsgruppen ergeben sich durch Multiplikation der Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter mit den angegebenen Flächenfaktoren zuzüglich der Zahl der Diplomanden multipliziert mit 2/3 des Flächenfaktors.

Personalausstattung:
18 Prof. (12 exp. Prof. + 6 theo. Prof.)
48 WisMa HH (12 Dauer + 36 Zeit)
68 WisMa Drittmittel
46 nicht wiss. Ma. (33 Techn. + 13 Verw.)
452 Studienplätze

		Gerätelabore				Chemie-labore	Hallen	Werk-stätten	Labor- u. Werkstatt-flächen	Archiv	Gerätelager	Sammlung	Lagerflächen
		Experimentatoren: WisMa	Experimentatoren: Dipl.	Flächenfaktor m^2 HNF	Flächenbedarf m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF	m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I	6	4	18	156			18	174		18		18
	exp. apparatebez. FG II	6	4	18	156			18	174		18		18
	exp. apparatebez. FG III	6	4	18	156			18	174		18		18
	exp. apparatebez. FG IV	6	4	18	156			18	174		18		18
	exp. apparatebez. FG V	6	4	18	156			18	174		18		18
	exp. apparatebez. FG VI	6	4	18	156				156		12		12
	exp. probenbez. FG I	6	4	15	130	24		18	172		12		12
	exp. probenbez. FG II	6	4	15	130			18	148		12		12
	exp. probenbez. FG III	6	4	15	130	24		18	172		12		12
	exp. probenbez. FG IV	6	4	15	130			18	148		12		12
	exp. probenbez. FG V	6	4	15	130	24		18	172		12		12
	exp. probenbez. FG VI	6	4	15	130			18	148		12		12
	Nachwuchsgruppe	3	2	15	65				65		12		12
	Gem. Forschungseinricht.	probenbez. Ap: 3 / probenbez. FG: 150			1.144			36	1.180		48		48
	Gem. EDV-Betreuung												
	Geschäftsführung									18			18
	Summen:	75	50		2.925	72		234	3.231	18	234		252
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I												
	theo.-deduktive FG II												
	theo.-deduktive FG III												
	theo.-deduktive FG IV												
	computerbezogene FG												
	Nachwuchsgruppe												
	Fachdidaktik											24	24
	Gem. EDV-Betreuung												
	Geschäftsführung									18			18
	Summen:									18		24	42
Fachbereichs-ebene	Experimentierhalle						350		350				
	Großgerät(e)						300	18	318		48		48
	Zentrale Praktika							36	36			48	48
	davon Grundprakt. Physik												
	Grundprakt. Export												
	Fortg.-Prakt. Physik												
	Dekanat									18			18
	Studien- / Prüfungsverw.												
	Mechanik-Werkstatt							480	480				
	Helium-Rückgewinnung							100	100				
	Summen:						650	634	1.284	18	48	48	114
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle											48	48
	Seminarräume												
	Bibliothek												
Flächenbedarf Fachbereich	Arbeitsplätze	75	50										
	Gesamtflächen (m^2 HNF)				2.925	72	650	868	4.515	54	282	120	456

Abb. 8.10: Modellierung der Labor- , Werkstatt- und Lagerflächen für Bedarfsmodell 2

Probenbezogene Forschungsgruppen erhalten bei Bedarf ein nass-präparatives Labor mit 24 m^2. Die gemeinsame Laborfläche ergibt sich durch Multiplikation der Zahl der probenbezogenen Wissenschaftler mit einem Flächenfaktor von 3 m^2 und der Zahl der Diplomanden mit 2/3 dieses Faktors. Zusätzlich werden pro probenbezogener Forschungsgruppe 150 m^2 und pro probenbezogener Nachwuchsgruppe 75 m^2 an Gemeinschaftslaborfläche veranschlagt. Pauschal werden dem Fachbereich eine Experimentierhalle von 350 m^2, eine Heliumsverflüssigungsanlage von 100 m^2 und in den Modellen 3 bis 5 exemplarisch 300 m^2 bzw. 500 m^2 für einen Teilchenbeschleuniger zugeordnet. Der Flächenbedarf der Mechanikwerkstatt ergibt sich aus der mittleren Zahl der Mechaniker (hier: 12) multipliziert mit einem Flächenfaktor von 40 m^2. Darin sind die Flächen für Materiallager, Meisterbüro und Sozialraum enthalten.

Die Lagerflächen werden auf der rechten Seite in einer eigenen Rubrik zusammengefasst. Sie ergeben sich aus den pauschalen Zuweisungen von Archiv-Räumen zu Instituten und Dekanat, von Gerätelagern zu Forschungsgruppen und gemeinsamen Forschungseinrichtungen sowie von Sammlungsräumen zur Fachdidaktik, den zentralen Praktika und dem experimentellen Hörsaal.

Personalausstattung: 18 Prof. (12 exp. Prof. + 6 theo. Prof.) 48 WisMa HH (12 Dauer + 36 Zeit) 68 WisMa Drittmittel 46 nicht wiss. Ma. (33 Techn. + 13 Verw.) 452 Studienplätze		Praktikumsräume: Versuchsaufbauten	Praktikumsräume: Flächenfaktor m^2 HNF	Praktikumsräume: Flächenbedarf m^2 HNF	Studienplätze	Teilrichtwert m^2HNF/ Stud.pl.	PC-Terminalräume m^2 HNF	Hörsäle m^2 HNF	Seminarräume m^2 HNF	Bibliotheksflächen m^2 HNF	Lehrräume und Bib.-flächen m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I										
	exp. apparatebez. FG II										
	exp. apparatebez. FG III										
	exp. apparatebez. FG IV										
	exp. apparatebez. FG V										
	exp. apparatebez. FG VI										
	exp. probenbez. FG I										
	exp. probenbez. FG II										
	exp. probenbez. FG III										
	exp. probenbez. FG IV										
	exp. probenbez. FG V										
	exp. probenbez. FG VI										
	Nachwuchsgruppe										
	Gem. Forschungseinricht.										
	Gem. EDV-Betreuung										
	Geschäftsführung										
	Summen:										
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I										
	theo.-deduktive FG II										
	theo.-deduktive FG III										
	theo.-deduktive FG IV										
	computerbezogene FG				452	0,35	158				158
	Nachwuchsgruppe										
	Fachdidaktik			72					48		120
	Gem. EDV-Betreuung										
	Geschäftsführung										
	Summen:			72			158		48		278
Fachbereichsebene	Experimentierhalle										
	Großgerät(e)										
	Zentrale Praktika			492							492
	davon Grundprakt. Physik	30	6,00	180							180
	Grundprakt. Export	20	6,00	120							120
	Fortg.-Prakt. Physik	16	12,00	192							192
	Dekanat										
	Studien- / Prüfungsverw.										
	Mechanik-Werkstatt										
	Helium-Rückgewinnung										
	Summen:			492							492
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle				452	0,28		127			127
	Seminarräume				452	0,42			190		190
	Bibliothek				452	0,60				271	271
Flächenbedarf Fachbereich	Studienplätze				452						
	Gesamtflächen (m^2 HNF)			564			158	127	238	271	1.358

Abb. 8.11: Modellierung der Lehrraum- und Bibliotheksflächen für Bedarfsmodell 2

Abbildung 8.11 beschreibt die Bedarfsermittlung für Lehrraum- und Bibliotheksflächen. Dazu sind als weitere Planungsebene die Anteile der Physik-Einrichtung an den zentral verwalteten Hörsälen, Seminarräumen und Bibliotheksflächen zu ergänzen. Die entsprechenden Flächenbedarfe werden ebenso wie die für PC-Terminals benötigte Fläche durch Multiplikation der Physik-Studienplätze (hier: 452) mit raumartenspezifischen Teilrichtwerten für Physik-Veranstaltungen ohne Lehrimporte berechnet (vgl. Abbildung 6.4). Die Zuweisung von 72 m^2 für Demonstrationspraktika und 48 m^2 Seminarraumfläche an die Fachdidaktik erfolgt pauschal.

Lediglich die benötigten Praktikumsflächen werden nicht aus Studienplatzzahlen hergeleitet. Planungsgrundlage bilden statt dessen die erforderlichen Versuchsaufbauten, die in einer eingehenden Analyse der Praktikumsorganisation ermittelt (vgl. Abschnitt 6.5.2) und mit Flächenfaktoren von 6 bzw. 12 m^2 pro Versuchsaufbau multipliziert werden. Bei den Versuchsaufbauten im Grund-

praktikum ist danach zu differenzieren, wie viele davon für die Physik und wie viele ausschließlich für Studierende anderer Fächer benötigt werden. Lehrräume werden überwiegend der Fachbereichs- oder Hochschulebene zugeordnet. Ausnahmen bilden die Lehrräume der Fachdidaktik und die PC-Terminals, die häufig unter der Obhut der computerbezogenen Forschungsgruppe stehen. Als Modifikation zu Abbildung 8.11 kann die Fläche des Fortgeschrittenenpraktikums auf die experimentellen Forschungsgruppen aufgeteilt werden.

Den Gesamtbedarf des im Bedarfsmodell 2 modellierten Fachbereichs ist Abbildung 8.13 im nachfolgenden Abschnitt 8.2.2 zu entnehmen.

8.2.2 Bedarfsmodelle exemplarischer Physik-Fachbereiche

Im Folgenden sind die Ergebnisspalten der fünf Bedarfsmodelle für die exemplarischen Physik-Einrichtungen zusammengestellt, die in Abschnitt 5.2 zur Illustration der Personalplanung entwickelt wurden. Der Gesamtflächenbedarf des jeweiligen Fachbereichs ist in der vorletzten Zeile auf der rechten Seite abzulesen. Zur ersten Orientierung zeigt die letzte Spalte die prozentualen Flächenanteile der vier Nutzungsbereiche. Ausführlichere, auf Kennzahlen gestützte Auswertungen und Vergleiche der sechs Bedarfsmodelle erfolgen in Abschnitt 8.3.

Die vorgestellten Bedarfmodelle zeigen exemplarische Mengengerüste für den Flächenbedarf unterschiedlicher Physik-Einrichtungen. Sie illustrieren damit unterschiedliche Größenordnungen und Nutzungsprofile. Keinesfalls lassen sie sich zur Bedarfsermittlung für konkrete Physik-Einrichtungen einsetzen. In jedem Planungsprozess ist auf Basis der erläuterten Konstruktionsprinzipien ein individuelles Bedarfsmodell zu entwickeln. Dabei mögen die hier verwendeten Flächenansätze als Anhaltspunkte dienen. Aber auch sie sind den konkreten Bedingungen vor Ort anzupassen.

Personalausstattung: 12 Prof. (7 exp. Prof. + 5 theo. Prof.) 32 WisMa HH (8 Dauer + 24 Zeit) 45 WisMa Drittmittel 27 nicht wiss. Ma. (19 Techn. + 8 Verw.) 292 Studienplätze		Büro- u. Rechner-flächen m^2 HNF	Labor- u. Werkstatt-flächen m^2 HNF	Lager-flächen m^2 HNF	Lehrräume und Bib.-flächen m^2 HNF	Gesamt-flächen m^2 HNF
Forschungs-gruppen	exp. apparatebez. FG I	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG II	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG III	114	174	18		306
	Nachwuchsgruppe	60	78	12		150
	exp. probenbez. FG I	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG II	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG III	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG IV	114	148	12		274
	theo.-deduktive FG I	174				174
	theo.-deduktive FG II	114				114
	theo.-deduktive FG III	114				114
	computerbezogene FG	198			102	300
	Nachwuchsgruppe	66				66
	Fachdidaktik	84		24	120	228
	Summen:	1.788	1.240	138	222	3.388
Fachbereichs-ebene	Gem. Forschungseinricht.	30	1.090	36		1.156
	Zentrale Praktika	18		36	450	504
	davon Grundprakt. Physik				180	
	Grundprakt. Export				90	
	Fortg.-Prakt. Physik				180	
	Dekanat	150		18		168
	Studien- / Prüfungsverw.	18				18
	Mechanik-Werkstatt		280			280
	Helium-Rückgewinnung		100			100
	Summen:	216	1.470	90	450	2.226
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle			24	82	106
	Seminarräume				110	110
	Bibliothek				175	175
Flächenbedarf Fachbereich	Gesamtflächen (m^2 HNF)	2.004	2.710	252	1.039	6.005
	Flächenprofil (%)	33,4	45,1	4,2	17,3	100,0

Abb. 8.12: Bedarfsmodell 1 „Basisausstattung mit Lehrexport in drei Fächergruppen“

Personalausstattung: 18 Prof. (12 exp. Prof. + 6 theo. Prof.) 48 WisMa HH (12 Dauer + 36 Zeit) 68 WisMa Drittmittel 46 nicht wiss. Ma. (33 Techn. + 13 Verw.) 452 Studienplätze		Büro- u. Rechner-flächen m^2 HNF	Labor- u. Werkstatt-flächen m^2 HNF	Lager-flächen m^2 HNF	Lehrräume und Bib.-flächen m^2 HNF	Gesamt-flächen m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG II	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG III	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG IV	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG V	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG VI	114	156	12		282
	exp. probenbez. FG I	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG II	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG III	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG IV	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG V	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG VI	114	148	12		274
	Nachwuchsgruppe	60	65	12		137
	Gem. Forschungseinricht.	36	1.180	48		1.264
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.878	3.231	252		5.361
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	186				186
	theo.-deduktive FG II	126				126
	theo.-deduktive FG III	168				168
	theo.-deduktive FG IV	126				126
	computerbezogene FG	234			158	392
	Nachwuchsgruppe	78				78
	Fachdidaktik	96		24	120	240
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.164		42	278	1.484
Fachbereichs-ebene	Experimentierhalle		350			350
	Großgerät(e)	18	318	48		384
	Zentrale Praktika	18	36	48	492	594
	davon Grundprakt. Physik				180	
	Grundprakt. Export				120	
	Fortg.-Prakt. Physik				192	
	Dekanat	150		18		168
	Studien- / Prüfungsverw.	18				18
	Mechanik-Werkstatt		480			480
	Helium-Rückgewinnung		100			100
	Summen:	204	1.284	114	492	2.094
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle			48	127	175
	Seminarräume				190	190
	Bibliothek				271	271
Flächenbedarf Fachbereich	Gesamtflächen (m^2 HNF)	3.246	4.515	456	1.358	9.575
	Flächenprofil (%)	33,9	47,2	4,8	14,2	100,0

Abb. 8.13: Bedarfsmodell 2 „erweiterte Basisausstattung“

Personalausstattung: 24 Prof. (15 exp. Prof. + 9 theo. Prof.) 65 WisMa HH (16 Dauer + 49 Zeit) 91 WisMa Drittmittel 57 nicht wiss. Ma. (41 Techn. + 16 Verw.) 624 Studienplätze		Büro- u. Rechner-flächen m^2 HNF	Labor- u. Werkstatt-flächen m^2 HNF	Lager-flächen m^2 HNF	Lehrräume und Bib.-flächen m^2 HNF	Gesamt-flächen m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik I	exp. apparatebez. FG I	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG II	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG III	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG IV	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG V	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG VI	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG VII	174	174	18		366
	Nachwuchsgruppe	60	78	12		150
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.188	1.296	156		2.640
Institut für Experimentelle Physik II	exp. probenbez. FG I	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG II	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG III	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG IV	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG V	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG VI	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG VII	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG VIII	114	148	12		274
	Nachwuchsgruppe	60	65	12		137
	Gem. Forschungseinricht.	36	1.532	72		1.640
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.362	2.877	198		4.437
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	174				174
	theo.-deduktive FG II	114				114
	theo.-deduktive FG III	132				132
	theo.-deduktive FG IV	138				138
	theo.-deduktive FG V	150				150
	theo.-deduktive FG VI	114				114
	theo.-deduktive FG VII	156				156
	computerbezogene FG	156			218	374
	Nachwuchsgruppe	66				66
	Fachdidaktik	96		24	120	240
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.446		42	338	1.826
Fachbereichs-ebene	Experimentierhalle		350			350
	Großgerät(e)	18	518	48		584
	Zentrale Praktika	18	54	48	756	876
	davon Grundprakt. Physik				360	
	Grundprakt. Export				120	
	Fortg.-Prakt. Physik				276	
	Dekanat	138		18		156
	Studien- / Prüfungsverw.	18				18
	Mechanik-Werkstatt		600			600
	Helium-Rückgewinnung		100			100
	Summen:	192	1.622	114	756	2.684
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle			48	175	223
	Seminarräume				262	262
	Bibliothek				374	374
Flächenbedarf Fachbereich	Gesamtflächen (m^2 HNF)	4.188	5.795	558	1.905	12.446
	Flächenprofil (%)	33,6	46,6	4,5	15,3	100,0

Abb. 8.14: Bedarfsmodell 3 „gemischtes Forschungsprofil“

Personalausstattung: 24 Prof. (18 exp. Prof. + 6 theo. Prof.) 66 WisMa HH (17 Dauer + 49 Zeit) 94 WisMa Drittmittel 63 nicht wiss. Ma. (47 Techn. + 16 Verw.) 635 Studienplätze		Büro- u. Rechner-flächen m^2 HNF	Labor- u. Werkstatt-flächen m^2 HNF	Lager-flächen m^2 HNF	Lehrräume und Bib.-flächen m^2 HNF	Gesamt-flächen m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik I	exp. apparatebez. FG I	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG II	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG III	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG IV	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG V	156	174	18		348
	exp. apparatebez. FG VI	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG VII	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG VIII	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG IX	114	174	18		306
	Nachwuchsgruppe	60	78	12		150
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.458	1.644	192		3.294
Institut für Experimentelle Physik II	exp. probenbez. FG I	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG II	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG III	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG IV	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG V	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG VI	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG VII	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG VIII	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG IX	114	172	12		298
	Nachwuchsgruppe	60	65	12		137
	Gem. Forschungseinricht.	36	1.708	72		1.816
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.494	3.225	210		4.929
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	174				174
	theo.-deduktive FG II	114				114
	theo.-deduktive FG III	156				156
	theo.-deduktive FG IV	114				114
	computerbezogene FG	216			222	438
	Nachwuchsgruppe	66				66
	Fachdidaktik	84		24	120	228
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.074		42	342	1.458
Fachbereichs-ebene	Experimentierhalle		350			350
	Großgerät(e)	18	518	48		584
	Zentrale Praktika	18	54	48	756	876
	davon Grundprakt. Physik				360	
	Grundprakt. Export				120	
	Fortg.-Prakt. Physik				276	
	Dekanat	138		18		156
	Studien- / Prüfungsverw.	18				18
	Mechanik-Werkstatt		720			720
	Helium-Rückgewinnung		100			100
	Summen:	192	1.742	114	756	2.804
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle			48	178	226
	Seminarräume				267	267
	Bibliothek				381	381
Flächenbedarf Fachbereich	Gesamtflächen (m^2 HNF)	4.218	6.611	606	1.924	13.359
	Flächenprofil (%)	31,6	49,5	4,5	14,4	100,0

Abb. 8.15: Bedarfsmodell 4 „experimentelles Forschungsprofil“

Personalausstattung: 24 Prof. (12 exp. Prof. + 12 theo. Prof.) 65 WisMa HH (15 Dauer + 50 Zeit) 90 WisMa Drittmittel 51 nicht wiss. Ma. (35 Techn. + 16 Verw.) 624 Studienplätze		Büro- u. Rechner-flächen m^2 HNF	Labor- u. Werkstatt-flächen m^2 HNF	Lager-flächen m^2 HNF	Lehrräume und Bib.-flächen m^2 HNF	Gesamt-flächen m^2 HNF
Institut für Experimentelle Physik	exp. apparatebez. FG I	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG II	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG III	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG IV	174	174	18		366
	exp. apparatebez. FG V	114	174	18		306
	exp. apparatebez. FG VI	114	174	18		306
	Nachwuchsgruppe	60	78	12		150
	exp. probenbez. FG I	174	172	12		358
	exp. probenbez. FG II	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG III	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG IV	114	148	12		274
	exp. probenbez. FG V	156	172	12		340
	exp. probenbez. FG VI	114	148	12		274
	Nachwuchsgruppe	60	65	12		137
	Gem. Forschungeinricht.	36	1.180	48		1.264
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	1.938	3.327	270		5.535
Institut für Theoretische Physik	theo.-deduktive FG I	174				174
	theo.-deduktive FG II	114				114
	theo.-deduktive FG III	174				174
	theo.-deduktive FG IV	114				114
	theo.-deduktive FG V	156				156
	theo.-deduktive FG VI	114				114
	theo.-deduktive FG VII	174				174
	theo.-deduktive FG VIII	114				114
	computerbezogene FG	198			218	416
	Nachwuchsgruppe	66				66
	naturbeobachtende FG I	186	66	12		264
	naturbeobachtende FG II	126	48	12		186
	Nachwuchsgruppe	66	24			90
	Fachdidaktik	84		24	120	228
	Gem. EDV-Betreuung	42				42
	Geschäftsführung	108		18		126
	Summen:	2.010	138	66	338	2.552
Fachbereichs-ebene	Experimentierhalle		350			350
	Großgerät(e)	18	518	48		584
	Zentrale Praktika	18	54	48	756	876
	davon Grundprakt. Physik				360	
	Grundprakt. Export				120	
	Fortg.-Prakt. Physik				276	
	Dekanat	150		18		168
	Studien- / Prüfungsverw.	18				18
	Mechanik-Werkstatt		480			480
	Helium-Rückgewinnung		100			100
	Summen:	204	1.502	114	756	2.576
Anteile an zentral verwalteten Flächen	Hörsäle			48	175	223
	Seminarräume				262	262
	Bibliothek				374	374
Flächenbedarf Fachbereich	Gesamtflächen (m^2 HNF)	4.152	4.967	498	1.905	11.522
	Flächenprofil (%)	36,0	43,1	4,3	16,5	100,0

Abb. 8.16: Bedarfsmodell 5 „theoretisches Forschungsprofil“

8.3 Bedarfsrelationen

8.3.1 Nutzungsprofile

Abbildung 8.17 zeigt die Nutzungsprofile der fünf Bedarfsmodelle, d. h. die Aufteilung benötigten Hauptnutzfläche auf die verschiedenen Raumnutzungsbereiche. Deutlich wird die besondere Bedeutung der Labor- und Werkstattflächen für die Physik, die mit 43 bis 50 % den größten Flächenanteil beanspruchen. Büro- und Rechnerräume haben einen Anteil am Flächenbedarf von 32 bis 36 %, Lagerräume von knapp 5 %. Lehrräume und Bibliotheksflächen belegen 14 bis 17 % der Hauptnutzfläche, wobei der größte Teil davon – zwischen 6 und 9 % der Gesamtfläche – auf Praktikumsräume entfällt.

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
Büro/Besprechung	29,6 %	29,0 %	29,8 %	28,1 %	31,9 %
Drucker- und Rechnerräume	3,8 %	4,9 %	3,9 %	3,5 %	4,2 %
Büro- und Rechnerflächen	**33,4 %**	**33,9 %**	**33,6 %**	**31,6 %**	**36,0 %**
Gerätelabore	29,5 %	30,5 %	30,3 %	32,9 %	27,1 %
nass-präparative Labore	0,8 %	0,8 %	0,8 %	0,9 %	0,6 %
Versuchshallen	5,8 %	6,8 %	6,8 %	6,4 %	7,4 %
techn. Dienstleistungen	9,0 %	9,1 %	8,7 %	9,4 %	8,0 %
Labor- und Werkstattflächen	**45,1 %**	**47,2 %**	**46,6 %**	**49,5 %**	**43,1 %**
Archivräume	0,3 %	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
Gerätelager	2,5 %	2,9 %	2,9 %	3,1 %	2,8 %
Sammlungsräume	1,4 %	1,3 %	1,0 %	0,9 %	1,0 %
Lagerflächen	**4,2 %**	**4,8 %**	**4,5 %**	**4,5 %**	**4,3 %**
Praktikumsräume	8,7 %	5,9 %	6,7 %	6,2 %	7,2 %
Terminalräume	1,7 %	1,7 %	1,8 %	1,7 %	1,9 %
Hörsäle	1,4 %	1,3 %	1,4 %	1,3 %	1,5 %
Seminarräume	2,6 %	2,5 %	2,5 %	2,4 %	2,7 %
Bibliotheksflächen	2,9 %	2,8 %	3,0 %	2,9 %	3,2 %
Lehrraum- und Bibliotheksflächen	**17,3 %**	**14,2 %**	**15,3 %**	**14,4 %**	**16,5 %**

Abb. 8.17: Nutzungsprofile im Vergleich

Der Vergleich der Flächenbedarfe von 12.446 m^2 HNF in Modell 3, von 13.359 m^2 HNF in Modell 4 und von 11.522 m^2 HNF in Modell 5 erlaubt es, Größeneffekte auszublenden und die Wirkungen unterschiedlicher Forschungsprofile zu untersuchen. Im Vergleich zum gemischten Forschungsprofil mit 15 experimentellen und 9 theoretischen 24 Professuren in Modell 3 führt die experimentelle Ausrichtung mit 18 experimentellen und nur 6 theoretischen Professuren in Modell 4 zu einem um 7,5 % höheren, die theoretische Ausrichtung mit jeweils 12 experimentellen und theoretischen Professuren in Modell 5 dagegen zu einem um 7,5 % niedrigeren Flächenbedarf.

Abbildung 8.18 illustriert die absoluten Flächenbedarfe des theoretischen, des gemischten und des experimentellen Forschungsprofils für die verschiedenen Raumnutzungsarten. Deutlich wird, dass die Verschiebungen im Nutzungsprofil durch eine stärkere experimentelle Profilierung auf zusätzlichem Bedarf insbesondere an Labor- und Werkstattflächen beruhen. Auch der Büroflächenbedarf des experimentellen Profils ist aufgrund der höheren Zahl von Drittmittelbeschäftigten leicht höher als der des theoretischen Profils.

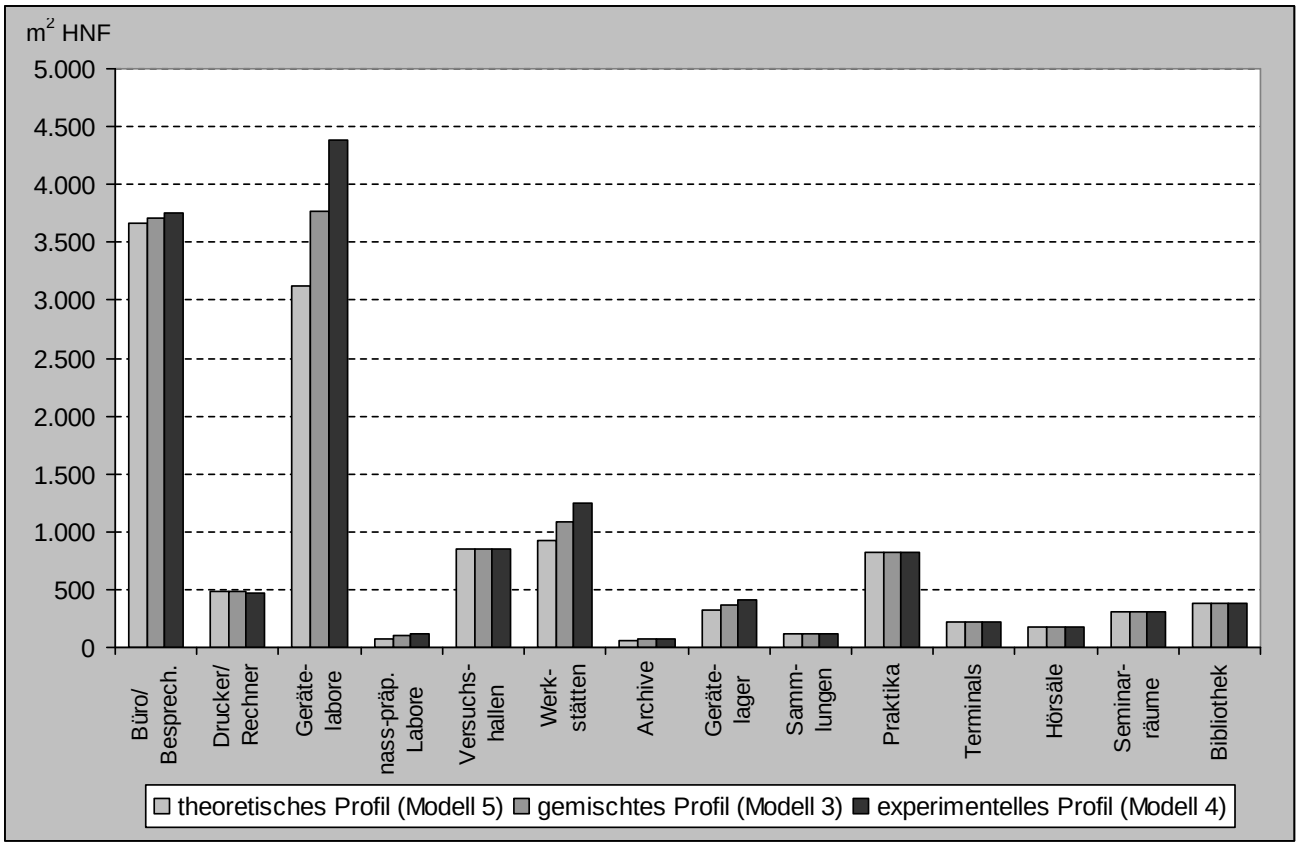


Abb. 8.18: Differenzierte Flächenbedarfe bei unterschiedlichen Forschungsprofilen

8.3.2 Flächenansätze pro Studienplatz

Zum Vergleich mit dem fachgruppenbezogenen Flächenrichtwert der Hochschulrahmenplanung werden in Abbildung 8.19 die in den exemplarischen Bedarfsmodellen eingeplanten Flächen pro Physik-Studienplatz berechnet. Dazu wird die Fläche des Drittmittelpersonals und der Großgeräte als nicht kapazitätswirksam aus den Gesamtflächen herausgerechnet. Außerdem werden die für die Studierenden anderer Studienfächer („Lehrexport“) benötigten Praktikumsflächen abgezogen. Die Ermittlung der Lehrraumflächen für die Veranstaltungen der Physik-Studierenden in anderen Fachbereichen erfolgt mit den in Abbildung 6.5 hergeleiteten Teilrichtwerten, deren Summe 0,63 m^2 pro Studienplatz beträgt.

Der Rahmenplan (2001, S. 79f.) gibt für die Gruppe der natur- und ingenieurwissenschaftlichen und die medizinisch-theoretischen Fächer sowie die Agrar-, Forst- und Ernährungswissenschaften einen Flächenrichtwert von 15 bis 18 m^2 pro Studienplatz vor. Die hier für die Physik ermittelten Flächenansätze pro Studienplatz liegen innerhalb dieser Bandbreite. Bei der Berechnung der Drittmittelflächen für die experimentellen Physiker werden die vorgegebenen Orientierungswerte von bis zu 27 m^2 (Rahmenplan 2001, S. 76) voll ausgeschöpft. Je nach Verhältnis der experimentell zu den theoretisch forschenden Doktoranden ergibt sich dabei eine durchschnittlicher Flächenfaktor pro Drittmittelbeschäftigtem zwischen 21 und 24 m^2. Dies spiegelt wider, dass in der Physik nicht nur der Büro-, sondern auch der Laborflächenbedarf stark mit der Zahl der Beschäftigten schwankt.

Der Vergleich der Modelle 3, 4 und 5 zeigt, dass ein betont experimentelles Profil zu einem 2 m^2 höheren Flächenbedarf pro Studienplatz führen kann als ein ausgeprägt theoretisches Profil. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die von experimentellen Forschungsgruppen betreuten Diplomanden Laborfläche benötigen und dass sich die Verteilung der Studierenden auf experimentelle und theoretische Diplomarbeiten am Profil des Fachbereichs orientiert.

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
wiss. Mitarbeiter Drittmittel	45	68	91	94	90
davon mit theo. Arbeitsweise	15	18	27	18	38
davon mit exp. Arbeitsweise	30	50	64	76	52
Bürofläche DM-WisMa, theoretisch	180 m^2	216 m^2	324 m^2	216 m^2	456 m^2
+ Bürofläche DM-WisMa, experimentell	270 m^2	450 m^2	576 m^2	684 m^2	468 m^2
+ Laborfläche DM-WisMa, experimentell	540 m^2	900 m^2	1.152 m^2	1.368 m^2	936 m^2
= Fläche DM-WisMa	990 m^2	1.566 m^2	2.052 m^2	2.268 m^2	1.860 m^2
∅ Fläche pro DM-WisMa	22,00 m^2	23,03 m^2	22,55 m^2	24,13 m^2	20,67 m^2
Gesamtfläche Fachbereich	6.005 m^2	9.575 m^2	12.446 m^2	13.359 m^2	11.522 m^2
- Fläche DM-WisMa	990 m^2	1.566 m^2	2.052 m^2	2.268 m^2	1.860 m^2
- Fläche Großgeräte	0 m^2	300 m^2	500 m^2	500 m^2	500 m^2
= kapazitätswirksame Fläche	5.015 m^2	7.709 m^2	9.894 m^2	10.591 m^2	9.162 m^2
- Lehrraumfläche Export	90 m^2	120 m^2	120 m^2	120 m^2	120 m^2
+ Lehrraumfläche Import	184 m^2	285 m^2	393 m^2	400 m^2	393 m^2
= kap.wirksame Fläche Physik	5.109 m^2	7.874 m^2	10.167 m^2	10.871 m^2	9.435 m^2
: Studienplätze Physik	292	452	624	635	624
= Fläche je Physik-Studienplatz	17,50 m^2	17,42 m^2	16,29 m^2	17,12 m^2	15,12 m^2

Abb. 8.19: Berechnung des Flächenbedarfs pro Physik-Studienplatz bei Normallast

Die von Modell 1 zu Modell 3 leicht abnehmenden Flächenansätze pro Studienplatz zeigen die Wirkungen unterschiedlich großer Fachbereiche. Diese fallen relativ gering aus, da der in Modell 1 abgebildete Fachbereich eine Departmentstruktur besitzt, während die übrigen Modelle zusätzliche Büro-, Besprechungs- und Rechnerräume für Institutsverwaltungen enthalten.

Der Flächenansatz pro Studienplatz wird auch von der Auslastung der Lehrkapazität beeinflusst. In Abschnitt 5.3.3 wurde angenommen, dass in einer Zielvereinbarung zwischen Fachbereich und Hochschule eine Normallast von 75 % der Studierenden, die maximal ausgebildet werden können, vereinbart wurde. Abbildung 8.20 stellt daher den Flächenansätzen pro Studienplatz bei dieser Normallast die entsprechenden Ergebnisse bei Höchstlast gegenüber. Dabei ist der Mehrbedarf an Lehrräumen für die bei Ausnutzung der Höchstlast zusätzlich auszubildenden Studierenden und an Büro- und Laborflächen für die zusätzlichen Diplomanden berücksichtigt. Im Ergebnis führt die Erhöhung der Studienplatzzahlen um ca. 33 % daher nur zu einer Verringerung des Flächenbedarfs pro Studienplatz von 18 bis 20 %.

		Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
vereinbarte Normallast	Studienplätze	292	452	624	635	624
	Fläche je Studienplatz	17,50 m^2	17,42 m^2	16,29 m^2	17,12 m^2	15,12 m^2
Höchstlast	Studienplätze Physik	389	603	832	846	832
	Fläche je Studienplatz	13,97 m^2	14,10 m^2	13,38 m^2	14,01 m^2	12,47 m^2

Abb. 8.20: Vergleich des Flächenbedarfs pro Studienplatz bei Normal- und Höchstlast

8.3.3 Studienplatzbezogene und wissenschaftlerbezogene Flächenansätze

Die Bedarfsermittlung mit studienplatzbezogenen Flächenrichtwerten unterstellt einen proportionalen Zusammenhang zwischen dem Flächenbedarf und der Zahl der Studienplätze. In der forschungsintensiven Physik hängt der Bedarf an wissenschaftlichem Personal allerdings nicht nur

von der Zahl der Studierenden, sondern auch von den Forschungsaktivitäten ab (vgl. Abschnitt 6.1.2). Aus diesem Grund trennt Abbildung 8.21 zwischen den unmittelbar von den Studierenden benötigten Flächen und dem Flächenbedarf der Hochschullehrer und ihrer wissenschaftlichen Mitarbeiter. Dadurch wird sichtbar, dass weniger 30 % der gesamten Hauptnutzfläche einer Physik-Einrichtung unmittelbar von der Zahl der Studienplätze abhängt.

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
Studienplatzbezogene Fläche (HNF)	1.783 m^2	2.516 m^2	3.369 m^2	3.550 m^2	3.219 m^2
Anteil an der Gesamtfläche	30 %	26 %	27 %	27 %	28 %
pro Studienplatz	6,11 m^2	5,57 m^2	5,40 m^2	5,59 m^2	5,16 m^2
Wissenschaftlerbezogene Fläche (HNF)	4.222 m^2	7.059 m^2	9.077 m^2	9.809 m^2	8.303 m^2
Anteil an der Gesamtfläche	70 %	74 %	73 %	73 %	72 %
pro Professor	352 m^2	392 m^2	378 m^2	409 m^2	346 m^2
pro Wissenschaftler HH	96 m^2	107 m^2	102 m^2	109 m^2	93 m^2
pro Wissenschaftler	32 m^2	53 m^2	50 m^2	53 m^2	46 m^2

Abb. 8.21: Studienplatz- und wissenschaftlerbezogene Flächenansätze

Zu den **studienplatzbezogenen Flächen** sind neben den Lehrraum- und Bibliotheksflächen, die ca. 15 % der Gesamtfläche in Anspruch nehmen (vgl. Abbildung 8.17), auch die persönlichen Büro- und Laborarbeitsplätze der Diplomanden zu rechnen, die rund 10 % der Gesamtfläche belegen.

Vor der Ermittlung des Flächenbedarfs pro Physik-Studienplatz sind aus den studienplatzbezogenen Flächen die Praktikumsflächen für Studierende anderer Fächer herauszurechnen. Nach der Division durch die Zahl der Studienplätze ergeben sich in Abhängigkeit von Größe und Forschungsprofil des jeweiligen Fachbereichs unmittelbare Flächenbedarfe pro Physik-Studienplatz zwischen 5 und 6 m^2.

Demgegenüber handelt es sich bei der **wissenschaftlerbezogenen Fläche** um die restliche Gesamtfläche, die nicht studienplatzbezogen ist. Folglich zeigen die durchschnittlichen Flächenbedarfe von 350 bis 410 m^2 je Professor, von 95 bis 110 m^2 je Wissenschaftler auf einer Haushaltsstelle und von 30 bis 55 m^2 je Wissenschaftler nicht die den jeweiligen Personen individuell zugeordnete Flächen, sondern beinhalten auch Flächenanteile an gemeinsamen Einrichtungen.

8.3.4 Flächenrelationen für Forschungsgruppen

Abbildung 8.22 zeigt die durchschnittlichen Flächenbedarfe pro Physik-Professur, deren Zahl definitionsgemäß der Zahl der Forschungsgruppen entspricht. Aus den Beispieldaten der fünf Bedarfsmodelle ergeben sich durchschnittliche Flächenansätze zwischen 480 und 555 m^2 je Professur. Davon sind allerdings nur 255 bis 290 m^2 unmittelbar den jeweiligen Forschungsgruppen zugeordnet. (Die Lehrräume der computerbezogenen Forschungsgruppe und der Fachdidaktik bleiben hier ausgeblendet, da sie bei der Berechnung der Durchschnittswerte zu Verzerrungen führen.) Zusätzlich wird jeder Forschungsgruppe ein durchschnittlicher Anteil an den gemeinsamen Laborflächen von 50 bis 75 m^2 zugerechnet, was einem Zuschlag von 50 bis 55 % auf die individuell zugeordneten Labor- und Lagerflächen entspricht. (Die Flächen der Experimentierhalle und Großgeräte gemäß der Definition des HBFG sind in diesem Zuschlag nicht enthalten.)

	Bedarfs-modell 1	Bedarfs-modell 2	Bedarfs-modell 3 (gem. Profil)	Bedarfs-modell 4 (exp. Profil)	Bedarfs-modell 5 (theo. Profil)
Zahl der Forschungsgruppen	**12**	**18**	**24**	**24**	**24**
davon mit exp. Arbeitsweise	7	12	15	18	12
davon mit theo. Arbeitsweise	5	6	9	6	12
∅ Gesamtfläche je Forschungsgruppe	**500 m²**	**532 m²**	**519 m²**	**557 m²**	**480 m²**
davon der FG unmittelbar zugeordnet	264 m²	276 m²	268 m²	292 m²	256 m²
davon Büro- und Rechnerfläche	149 m²	150 m²	146 m²	148 m²	151 m²
davon Labor- und Werkstattfläche	103 m²	114 m²	110 m²	132 m²	95 m²
davon Lagerfläche	12 m²	12 m²	11 m²	13 m²	11 m²
Anteil an gem. Labor- und Lagerflächen	65 m²	68 m²	67 m²	74 m²	51 m²
als Zuschlag zur Labor- u. Lagerfläche der FG	56 %	54 %	55 %	51 %	48 %
∅ Fläche einer exp. Forschungsgruppe	**342 m²**	**327 m²**	**340 m²**	**337 m²**	**342 m²**
davon Büro- und Rechnerfläche	148 m²	141 m²	148 m²	145 m²	146 m²
davon Labor- und Werkstattfläche	177 m²	171 m²	176 m²	176 m²	179 m²
davon Lagerfläche	16 m²	16 m²	16 m²	16 m²	17 m²
Anteil an gem. Labor- und Lagerflächen	111 m²	102 m²	107 m²	99 m²	102 m²
als Zuschlag zur Labor- u. Lagerfläche der exp. FG	57 %	55 %	56 %	52 %	52 %
∅ Fläche einer theo. Forschungsgruppe	**155 m²**	**173 m²**	**147 m²**	**158 m²**	**171 m²**
davon Büro- und Rechnerfläche	150 m²	169 m²	144 m²	154 m²	155 m²
davon Labor- und Werkstattfläche	0 m²	0 m²	0 m²	0 m²	12 m²
davon Lagerfläche	5 m²	4 m²	3 m²	4 m²	4 m²

Abb. 8.22: Flächenbedarf physikalischer Forschungsgruppen

Empirische Kennzahlen zum Flächenbestand in den Physik-Einrichtungen

In der von HIS durchgeführten Erhebung ergaben sich für das Wintersemester 2000/2001 eine durchschnittliche Flächenausstattung von 535 m² HNF je Physik-Professur und von 97 m² je Wissenschaftler. Bei Zugrundelegung des von Gerken u. a. (1997, S. 31) ermittelten Nutzungsprofils sind darin 41 % Laborfläche, d. h. 220 m² pro Forschungsgruppe und 40 m² pro Wissenschaftler enthalten. Mit der Annahme, dass die Physik etwa doppelt so viele experimentelle wie theoretische Forschungsgruppen umfasst, lässt sich daraus auf eine durchschnittliche Laborfläche von 330 m² je experimenteller Forschungsgruppe schließen. Die Rückrechnung auf 60 m² Laborfläche pro experimentell tätigem Wissenschaftler erscheint dagegen problematisch, da experimentelle Forschungsgruppen tendenziell mehr wissenschaftliche Mitglieder beschäftigen als theoretische.

Die detaillierte Abbildung der einzelnen Forschungsgruppen in den Bedarfsmodellen ermöglicht eine differenzierte Analyse des Durchschnittsbedarfs experimenteller und theoretischer Gruppen. Dabei zeigt sich, dass experimentelle Professuren eine individuelle Fläche von 325 bis 340 m² und einen Anteil von rund 100 m² an gemeinsamen Laborflächen benötigen. Dabei sind apparatebezogene und probenbezogene Forschungsgruppen zusammengefasst, obwohl in der detaillierten Bedarfsplanung gemeinsame Laborflächen nur für letztere eingeplant werden. Theoretische Forschungsgruppen kommen mit durchschnittlich 145 bis 175 m² aus. Einzelnen Gruppen zugeordnete Lehrräume, z. B. Demonstrationspraktika der Fachdidaktik, sind darin nicht enthalten.

8.4 Baukosten

Mit der von der Zentralstelle für Bedarfsbemessung und wirtschaftliches Bauen (ZBWB) entwickelten **Kostenflächenarten-Methode** lassen sich die Baukosten der hier exemplarisch modellierten Physik-Gebäude abschätzen. Dazu sind den in den Bedarfsmodellen ermittelten Flächen nach Raumnutzungsarten getrennt Kostenflächenarten (KFA) zuzuordnen. Abbildung 8.23 zeigt die hier auf Basis der Richtlinien für die Baukostenplanung (ZBWB 1998) verwendete Zuordnung. Dabei wird unterstellt, dass die Gerätelaborflächen zu 50 % aus Standardlaboren bestehen, die der KFA 5 zuzurechnen sind. Weitere 30 % werden der KFA 6, 15 % der KFA 7 und 5 % der KFA 9 zugeordnet, um die Sonderlabore zu berücksichtigen.

Anders als die Bedarfsmodelle berücksichtigt die Kostenflächenarten-Methode auch Nebennutzflächen. Dabei handelt es sich insbesondere um Abstellräume in der KFA 2 und Toiletten- und Waschräume in der KFA 5, welche hier pauschal mit Zuschlägen von 8 bzw. 2 % zur gesamten Hauptnutzfläche eingeplant werden. Die Zuschläge für Funktionsflächen, für horizontale und für vertikale Verkehrsflächen sowie der Faktor für den Bruttorauminhalt können Abbildung 8.23 entnommen werden. Die Kostensätze basieren ebenfalls auf den Richtlinien für wirtschaftliches Bauen (ZBWB 1998), sind jedoch auf den Preisstand 02/2002 und in Euro umgerechnet.

Die errechneten Baukosten für die fünf Bedarfsmodelle sind in den Abbildungen 8.24 und 8.25 dargestellt. Bedarfsmodell 3 wird in beiden Abbildungen gezeigt, um die Wirkungen verschiedener Größenordnungen und unterschiedlicher Forschungsprofile der Physik-Einrichtungen auf die Baukosten zu illustrieren. Beide Effekte schlagen sich in erster Linie in den absoluten Baukosten nieder. Die Gebäudekosten pro m^2 HNF werden lediglich durch das Forschungsprofil beeinflusst, da eine stärkere experimentelle Ausrichtung zu einem Mehrbedarf an Laborflächen führt.

Die errechneten Gebäudekosten liegen mit 3.741 bis 3.825 € pro m^2 HNF allerdings etwa 12 % über dem vom Rahmenplan (2001, S. 89) vorgegebenen Flächenrichtwert von 3.371 € pro m^2 HNF.

Kostenflächenart	Nutzungsbeispiele Physik
KFA 1	nicht vorhanden
KFA 2	Archiv (421) Gerätelager (411) Abstellraum (731)
KFA 3	Besprechungsraum (231) Kopierer/Drucker (281) Werkstatt (322, 323) Sammlung (423)
KFA 4	Büroraum (211) Terminalraum (523)
KFA 5	Standardlabor (342) nass-präparatives Labor (352) Experimentierhalle (316) Großgerätehalle (316) Hörsaal ohne Experimentierbühne (513) Seminarraum (523, 512) Praktikumsraum (523) Bibliothek (541) Toiletten- und Waschraum (711, 712)
KFA 6	Rechnerraum (284) Labor mit bes. Raum-Luft-Technik (345) Hörsäle mit Experimentierbühne (511)
KFA 7	Labor mit bes. Erschütterungsschutz (347) Labor mit einfachem Strahlenschutz (349)
KFA 8	nicht vorhanden
KFA 9	Kernphysiklabor (349) Reinraum (359)
KFA 10	Funktionsfläche (pauschal 26%)
KFA 11	Verkehrsfläche horizontal (pauschal 32%)
KFA 12	Verkehrsfläche vertikal (pauschal 5%)
KFA 13	BRI-Faktor BRI/BGF (pauschal 4,2)

Quelle: ZBWB (1998):
Richtlinien für die Baukostenplanung

Abb. 8.23: Zuordnung von Raumnutzungs- zu Kostenflächenarten

Kosten-flächen-art	Kosten-kennwert in € / m² (Preisstand: 02/2002)	Bedarfsmodell 1 12 Professuren (6.005 m² HNF)		Bedarfsmodell 2 18 Professuren (9.575 m² HNF)		Bedarfsmodell 3 24 Professuren (12.446 m² HNF)	
		Fläche[1] (m²)	Kosten (€)	Fläche[1] (m²)	Kosten (€)	Fläche[1] (m²)	Kosten (€)
KFA 1	429	0	0	0	0	0	0
KFA 2	549	648	355.752	1.102	604.998	1.434	787.266
KFA 3	889	874	776.986	1.524	1.354.836	1.902	1.690.878
KFA 4	1.337	1.710	2.286.270	2.624	3.508.288	3.530	4.719.610
KFA 5	2.031	2.399	4.872.369	3.613	7.338.003	4.780	9.708.180
KFA 6	2.908	620	1.802.960	1.085	3.155.180	1.291	3.753.646
KFA 7	5.192	266	1.378.476	439	2.277.990	566	2.936.855
KFA 8	8.845	0	0	0	0	0	0
KFA 9	13.406	89	1.186.431	146	1.960.628	189	2.527.701
Zwischensumme KFA 1 - 9		**6.605**	**12.659.244**	**10.533**	**20.199.923**	**13.691**	**26.124.137**
KFA 10	1.615	1.717	2.773.440	2.739	4.422.807	3.560	5.748.851
KFA 11	839	2.114	1.773.310	3.371	2.827.900	4.381	3.675.760
KFA 12	2.877	330	950.129	527	1.515.172	685	1.969.450
KFA 13	93	4,2 x BGF[2]	4.643.843	4,2 x BGF[2]	7.405.542	4,2 x BGF[2]	9.625.868
Zwischensumme KFA 10 - 13			**10.140.723**		**16.171.420**		**21.019.929**
Summe			**22.799.967**		**36.371.343**		**47.144.066**
Gebäudekosten (€ / m² HNF)			**3.797**		**3.799**		**3.788**

[1] Nutzfläche, HNF nach Modell, NNF pauschal 10 % Zuschlag auf HNF (8 % KFA 2, 2 % KFA 5)
[2] inkl. 17 % KGF

Abb. 8.24: Baukosten für unterschiedlich große Physik-Einrichtungen

Kosten-flächen-art	Kosten-kennwert in € / m² (Preisstand: 02/2002)	Bedarfsmodell 3 gemischtes Profil (12.446 m² HNF)		Bedarfsmodell 4 experimentelles Profil (13.359 m² HNF)		Bedarfsmodell 5 theoretisches Profil (11.522 m² HNF)	
		Fläche[1] (m²)	Kosten (€)	Fläche[1] (m²)	Kosten (€)	Fläche[1] (m²)	Kosten (€)
KFA 1	429	0	0	0	0	0	0
KFA 2	549	1.434	787.266	1.555	853.695	1.300	713.700
KFA 3	889	1.902	1.690.878	2.100	1.866.900	1.722	1.530.858
KFA 4	1.337	3.530	4.719.610	3.552	4.749.024	3.506	4.687.522
KFA 5	2.031	4.780	9.708.180	5.145	10.448.480	4.413	8.962.803
KFA 6	2.908	1.291	3.753.646	1.466	4.262.256	1.108	3.223.227
KFA 7	5.192	566	2.936.855	658	3.418.153	468	2.432.192
KFA 8	8.845	0	0	0	0	0	0
KFA 9	13.406	189	2.527.701	219	2.941.947	156	2.093.347
Zwischensumme KFA 1 - 9		**13.691**	**26.124.137**	**14.695**	**28.540.454**	**12.674**	**23.643.650**
KFA 10	1.615	3.560	5.748.851	3.821	6.170.431	3.295	5.321.813
KFA 11	839	4.381	3.675.760	4.702	3.945.314	4.056	3.402.716
KFA 12	2.877	685	1.969.450	735	2.113.876	634	1.823.155
KFA 13	93	4,2 x BGF[2]	9.625.868	4,2 x BGF[2]	10.331.761	4,2 x BGF[2]	8.910.836
Zwischensumme KFA 10 - 13			**21.019.929**		**22.561.380**		**19.458.519**
Summe			**47.144.066**		**51.101.834**		**43.102.168**
Gebäudekosten (€ / m² HNF)			**3.788**		**3.825**		**3.741**

[1] Nutzfläche, HNF nach Modell, NNF pauschal 10 % Zuschlag auf HNF (8 % KFA 2, 2 % KFA 5)
[2] inkl. 17 % KGF

Abb. 8.25: Baukosten für Physik-Einrichtungen mit unterschiedlichem Forschungsprofil

9 Planungsschritte: Checkliste

Die vorliegende Untersuchung enthält Planungshilfen zur Bedarfsplanung für Physik-Einrichtungen an Universitäten. Sie will damit die Planung und Beurteilung von Restrukturierungsmaßnahmen sowie von Neubau- und Sanierungsprojekten in der Physik unterstützen. Entsprechend umfasst der Adressatenkreis alle daran beteiligten Fachvertreter, Planer und Entscheidungsträger in Hochschulen und Ministerien.

Eine bedarfsgerechte Ressourcenplanung erfordert die eingehende Analyse von Forschung, Lehre, Organisationsstruktur und Personalausstattung der zu beplanenden Physik-Einrichtung. Des Weiteren sind die individuellen Anforderungen der einzelnen Forschungsgruppen und die vorhandenen Forschungsgeräte zu erfassen. Darauf aufbauend kann ein konkretes Bedarfsmodell für den Ressourcenbedarf der zu beplanenden Physik-Einrichtung entwickelt werden. Dabei sind neben dem Status quo auch absehbare Veränderungen zu berücksichtigen. Zur Unterstützung solcher Planungsprozesse bietet dieser Bericht folgende Planungsbausteine:

- **Typische Strukturmuster** in Forschung, Lehre und Organisation von Physik-Einrichtungen zeigen Ansatzpunkte für die Analyse der strukturellen Grundlagen auf.
- **Exemplarische Personalmodelle** vermitteln eine „Bauanleitung“ zur Modellierung der Personalausstattung der zu beplanenden Physik-Einrichtung. Die Abbildung der Personalstruktur in einem Personalmodell ist als Mengengerüst für die Bedarfsplanung unerlässlich, kann mit geringen Modifikationen aber auch für andere Zwecke genutzt werden.
- **Flächenansätze und -faktoren** beschreiben Bausteine, die sich in unterschiedlicher Weise zu Planungsmodellen kombinieren lassen, um den Ressourcenbedarf der zu beplanenden Physik-Einrichtung zu ermitteln.
- **Bedarfsmodelle** für Forschungsgruppen und Fachbereiche zeigen Größenordnungen des Ressourcenbedarfs in Abhängigkeit von verschiedener Arbeitsweisen und Profilierungen auf.
- **Bedarfsrelationen** erlauben es, individuelle Anforderungen einzuordnen und zu vergleichen. Die errechneten Bedarfsgrößen zeigen, dass sich der Flächenbedarf pro Studienplatz bei normaler Auslastung der Kapazitäten innerhalb des von der Rahmenplanung vorgegebenen Rahmens von 15 bis 18 m^2 bewegt. Allerdings hängen nur 30 % des Flächenbedarfs unmittelbar von der Zahl der Studienplätze ab.

Zwangsläufig muss eine hochschulübergreifende Untersuchung von den individuellen Besonderheiten einzelner Physik-Einrichtungen oder Forschungsgruppen abstrahieren. Um konkrete Bedarfsgrößen für eine zu beplanende Physik-Einrichtung ermitteln zu können, sind eine Vielzahl von Planungsschritten durchzuführen. Abbildung 9.1 gibt dazu einen Überblick in Form einer Checkliste. Anschließend werden die zentralen Ergebnisse der Untersuchung kapitelweise zusammengefasst.

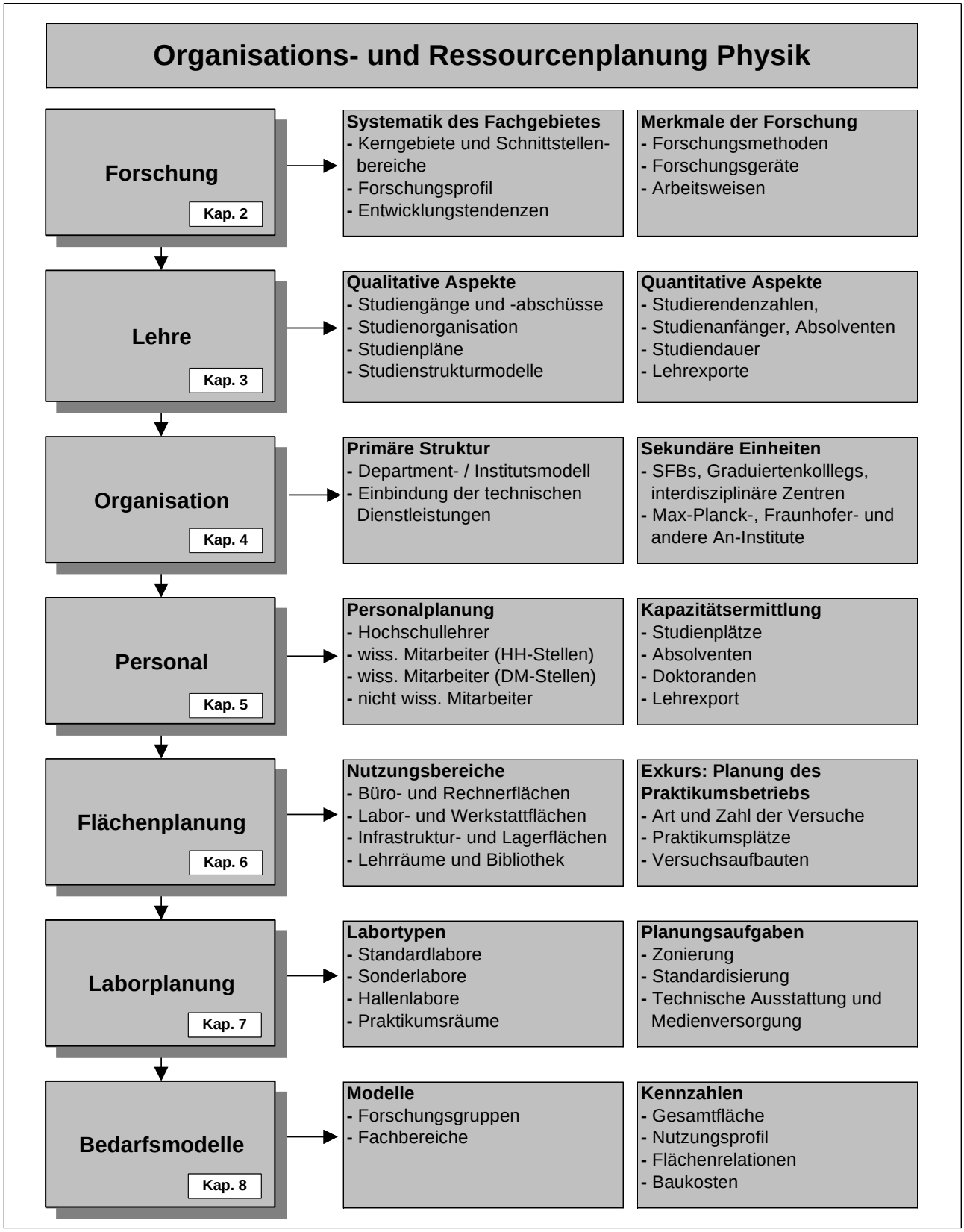


Abb. 9.1: Planungsschritte im Überblick

Forschung

Forschungsgebiete

Kap. 2.1

In der Physik lassen sich die folgenden Kerngebiete und Schnittstellenbereiche mit Nachbarwissenschaften unterscheiden:

Kerngebiete:
- Elementarteilchenphysik
- Kernphysik
- Atom-, Molekül- und Plasmaphysik
- Quantenoptik und Laserphysik
- Festkörperphysik
- Astronomie, Astrophysik und Kosmologie

Schnittstellenbereiche:
- Biophysik
- Geo- und Umweltphysik
- Materialwissenschaften
- Medizinphysik
- Meteorologie
- Mikroelektronik
- Mikrosystemtechnologie
- Nanowissenschaften
- Physikalische Chemie
- Didaktik der Physik

Welche Forschungsgebiete sind in der zu beplanenden Einrichtung vertreten?
Welche Schwerpunkte werden dabei gebildet?
Welche Veränderungen des Forschungsprofils sind zu erwarten?

Arbeitsweisen

Kap. 2.4

Aus Perspektive der Ressourcenplanung kann jede Forschungsgruppe einer der folgenden Arbeitsweisen zugeordnet werden:

(a) experimentell-apparatebezogene Arbeitsweise
(b) experimentell-probenbezogene Arbeitsweise
(c) naturbeobachtende Arbeitsweise
(d) theoretisch-deduktive Arbeitsweise
(e) computerbezogene Arbeitsweise

Die Fachdidaktik ist gesondert zu betrachten.

Welchen Arbeitsweisen sind die Forschungsgruppen der zu beplanenden Physik-Einrichtung zuzuordnen?

Forschungsprofil

Kap. 2.2

Aufgrund ihres ausgeprägten Laborflächenbedarfs sind die apparate- und die probenbezogene Arbeitsweise als typisch experimentell, alle übrigen einschließlich der Fachdidaktik als theoretisch zu charakterisieren.

Nach dem Zahlenverhältnis der experimentellen und der theoretischen Forschungsgruppen lassen sich folgende idealtypische Forschungsprofile von Physik-Einrichtungen unterscheiden:

	Verhältnis der experimentellen zu den theoretischen Forschungsgruppen
theoretisches Profil	1 zu 1
gemischtes Profil	2 zu 1
experimentelles Profil	4 zu 1

Geräte

Kap. 2.3

Die experimentelle Physik findet an und mit Geräten statt. Für die Ressourcenplanung ist daher eine Bestandaufnahme der in der zu beplanenden Einrichtung vorhandenen größeren Forschungsgeräte unerlässlich.

Lehre

Studien-angebot	Zur Charakterisierung des Studienangebotes ist zwischen allgemeinen Physik-Studiengängen gemäß der Rahmenordnung, speziellen Physik-Studiengängen mit davon abweichenden Studien- und Prüfungsordnungen (z. B. Technische Physik, Computational Physics) sowie verwandten Studiengängen in den Schnittstellenbereichen mit Nachbarwissenschaften (z.B. Biophysik, Umweltphysik) zu unterscheiden. Innerhalb der allgemeinen Physik sind vertiefende Studienrichtungen üblich, die im Vergleich zu speziellen und verwandten Studiengängen jedoch einen größeren Anteil an allgemeinen Physik-Veranstaltungen besitzen. Abgeschlossen werden die Physik-Studiengänge überwiegend als Diplom-Physiker, seltener als Diplom-Ingenieur. Vereinzelt sind bereits Bachelor- und/ oder Master-Abschlüsse zu finden. Lehramtstudiengänge bilden für das Lehramt an Haupt- und Realschulen, an Gymnasien (Sekundarstufe II) oder an berufsbildenden Schulen aus. In einem konkreten Planungsprozess sind daher für die zu beplanende Physik-Einrichtung folgende Fragen zu beantworten: Welche Studienrichtungen innerhalb der allgemeinten Physik können gewählt werden? Welche speziellen und verwandten Studiengänge werden angeboten? Welche Abschlüsse können erworben werden? Werden Lehramtsstudiengänge angeboten und – wenn ja – für welche Schularten?	**Kap. 3.1**
Studien-struktur	Die anschließende Analyse der Studienstruktur jedes angebotenen Studienganges erfolgt in drei Schritten: (a) Darstellen der Studienorganisation, d. h. der Grobstruktur des Studiengangs während der Regelstudienzeit (b) Zusammenstellen des Studienplanes, d. h. der in den einzelnen Semestern zu besuchenden Pflicht-, Wahlpflicht und Wahlfächer (c) Transformieren in ein Studienstrukturmodell, d. h. die Ermittlung der für die einzelnen Studiensemestern bereitzustellenden Deputatsstunden. Dabei ist sowohl zwischen den Veranstaltungsformen als auch zwischen den von der Physik-Einrichtung und den von anderen Fächern durchzuführenden Veranstaltungen („Lehrimporte“) zu differenzieren.	**Kap. 3.3**
Studierenden-zahlen	Grundlage der quantitativen Analyse der Lehre einer zu beplanenden Physik-Einrichtung bildet die regelmäßige Erfassung folgender Daten für die verschiedenen Studiengänge: • Zahl der Studierenden (innerhalb der Regelstudienzeit) • Zahl der Studienanfänger, Vordiplome, Absolventen • Verlaufs- bzw. Verbleibequoten in den nachfolgenden Studienjahren • Doktoranden, Promotionen, Promotionsquote Darauf aufbauend können die im jeweiligen Planungszeitraum zu erwartenden Studierendenzahlen prognostiziert werden.	**Kap. 3.2**

Organisation

Einbindung in die Hochschulstruktur

Die für die Physik-Studiengänge zuständige Physik-Einrichtung kann

(a) als eigenständige(r) Physik-Fachbereich/Fakultät
(b) als Institut für Physik innerhalb einer math.-naturwiss. Fakultät oder
(c) als Mehrzahl physikalischer Institute neben anderen innerhalb eines fächerübergreifenden Fachbereichs

in die Hochschulstruktur eingebunden sein. Fall (c) entsteht zumeist durch die Fusion mehrerer Fachbereiche. Alternativ können bei Beibehaltung der Fachbereiche übergeordnete gemeinsame Fakultäten als zusätzliche Organisationsebene eingeführt werden.

Kap. 4.2.1 und 4.2.2

Interne Gliederung

Für die interne Gliederung wird gegenüber dem klassischen **Instituts-Modell** häufig das **Department-Modell** präferiert. Diese Alternative ist durch folgende vier Merkmale gekennzeichnet:

(a) keine interne Gliederung
(b) zentrale Geschäftsführung
(c) gemeinsame Infrastruktur
(d) flexible Ressourcenzuordnung

In der Praxis sind vielfach Mischformen zu finden, in denen zwar Institute als Teileinheiten existieren, diese aber Departmentmerkmale (b, c und d) besitzen.

Kap. 4.2.3

Einbindung der techn. Dienstleist.

Bei der Einbindung der technischen Dienstleistungen in die Physik-Einrichtung sind die in der folgenden Tabelle markierten organisatorischen Zuordnungen zu empfehlen („(X)“ markiert Alternativvorschläge).

Technische Dienstleistungen	Zuordnung zu			
	FG	Institut	Fach-bereich	Hoch-schule
allgemeine technische Assistenz	X			
chemisch-technische Assistenz	X			
EDV-Betreuung	(X)	X		
Elektroniker	X		(X)	
Feinmechaniker			X	
Glasbläser (in geringem Umfang)				X

Kap. 4.2.4

Sekundäre Organisationseinheiten

Sonderforschungsbereiche, Graduiertenkollegs und interdisziplinäre Zentren institutionalisieren als sekundäre Organisationseinheiten fachgebiets- und fächerübergreifende Forschungen. Ihre Hauptaufgaben bestehen in der Doktorandenausbildung und der Einwerbung von Drittmitteln.

Welche sekundären Organisationseinheiten sind mit der zu beplanenden Physik-Einrichtung verbunden?

Kap. 4.3

Kooperationspartner

Für die Physik von besonderer Bedeutung sind Kooperationen mit am Hochschulstandort oder in dessen Nähe gelegenen Instituten der Max-Planck-, der Fraunhofer-Gesellschaft oder An-Institute anderer Träger in Form

- gemeinsamer Forschungsaktivitäten
- personeller Verflechtungen und
- der gemeinsame Nutzung von Forschungsgeräten.

Kap. 4.4

Personal

Personal-bestand	Basis der Personalplanung ist eine laufende Personalstatistik. Darin sind die Daten der zu wiederkehrenden Stichtagen in der Physik-Einrichtung tätigen wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Beschäftigten zu erfassen. Die Zahl der Hochschullehrer und wissenschaftlichen Mitarbeitern auf Dauerstellen wird im Wesentlichen dem Stellenplan entsprechen. Größeren Schwankungen unterliegt dagegen die Zahl der als wissenschaftliche Mitarbeiter auf Zeitstellen beschäftigten Doktoranden. Dies liegt erstens am schwankenden Umfang der eingeworbenen Drittmittel. Längerfristige Veränderungen ergeben sich zweitens bei der Besetzungsrelation der Haushaltszeitstellen. Während es Mitte der 90er Jahre üblich war, jede BAT2a-Stelle auf zwei Mitarbeiter aufzuteilen, erhalten die Doktoranden wegen der günstigen Arbeitsmarktsituation derzeit ganze BAT2a-Verträge. Eine langfristige Prognose kann auf die Nachfrage nach Doktorandenstellen gestützt werden. Diese ergibt sich aus der Promotionsquote und der Absolventenzahl, die sich durch Fortschreibung der Studienanfängerzahlen mehrere Jahre im voraus abschätzen lässt.	**Kap. 5.1**
Personal-planung	Die von den Wissenschaftsministerien vorgegebenen, starren Stellenpläne werden in Zukunft zunehmend durch eine eigenverantwortliche Personalplanung der Hochschulen und Fachbereiche ersetzt werden. Um global zugewiesene Finanzmittel effizient einsetzen zu können, ist es allerdings auch erforderlich, die quantitative Personalausstattung und die qualitative Personalstruktur mit Hilfe eines **Personalmodells** zu planen. Angelpunkt des Personalmodells einer Physik-Einrichtung ist die Planung der Hochschullehrerstellen. Darauf kann die Personalplanung für die übrigen Beschäftigtengruppen aufgebaut werden. Zentrale Planungsebene sind dabei die den Hochschullehrern zugeordneten Forschungsgruppen, deren durchschnittliche Personalausstattung sich mit Personalrelationen planen lässt. Grundlage der Personalplanung auf Fachbereichs- und Institutsebene ist dagegen die Definition der Funktionen, die von den betroffenen Mitarbeitern zu übernehmen sind. Darüber hinaus bilden Personalmodelle die Grundlage zur Planung des Raum- und Flächenbedarfs.	**Kap. 5.2**
Kapazitäts-ermittlung	Die Planung des Lehrpersonals ist mit der Kapazität zur Ausbildung von Studierenden, d. h. der Zahl der Studienplätze, abzustimmen. Da für Physik-Studiengänge auf absehbare Zeit keine Zulassungsbeschränkungen zu erwarten sind, ist die Anwendung der Kapazitätsverordnung nicht zwingend. Beispielsweise lassen sich im Rahmen einer **Zielvereinbarung** zwischen der Physik-Einrichtung und Hochschulleitung über die Aushandlung des Durchschnittsdeputats und Normalauslastung standortspezifische Forschungs- und Lehrbedingungen aushandeln.	**Kap. 5.3**

Flächenplanung

Raumnutzungsarten

Jede Flächenplanung beruht auf der Verknüpfung von Flächenansätzen mit bestimmten Bezugsgrößen der zu beplanenden Einrichtung. Häufig wird die Zahl der Studienplätze als alleinige Bezugsgröße verwendet, die mit einem Flächenrichtwert multipliziert die benötigte Hauptnutzfläche ergibt. Dagegen trennt die differenzierte Flächenplanung die Bedarfsermittlung für unterschiedliche Raumnutzungsarten und verwendet dabei unterschiedliche Bezugsgrößen. Die folgende Tabelle gibt dazu einen Überblick.

Nutzungsbereiche	Raumnutzungsarten	Bezugsgrößen	
Büros und Rechnerräume	Büroräume	Beschäftigte	Kap. 6.2
	Besprechungsräume	FG, Institute, Fachbereich (pauschal)	
	Kopierer/Drucker	FG, Institute, Fachbereich (pauschal)	
	Rechnerräume	FG (diff. nach Arbeitsweise), Institute (pauschal)	
Labore und Hallen	Standardlabore	Experimentatoren, FG (diff. nach Arbeitsweise)	Kap. 6.3
	Sonderlabore		
	Versuchshallen	Fachbereich (pauschal)	
Infrastruktur	Werkstatträume	Techniker	Kap. 6.4
	Heliumverflüssigung	Fachbereich (pauschal)	
	Bibliotheksräume	Studienplätze (vereinfachend)	
Lager	Archiv	Institute, Fachbereich (pauschal)	
	Gerätelager	FG (differenziert nach Arbeitsweisen)	
	Sammlung	Fachbereich (pauschal)	
Lehrräume	Hörsäle	Studienplätze	Kap. 6.5
	Seminarräume	Studienplätze	
	Terminalräume	Studienplätze	
	Praktikumsräume	Versuchsaufbauten	

Praktikumsbetrieb

Exkurs

Da Physikpraktika auch von zahlreichen Studierenden anderer Fächer zu absolvieren sind, binden sie einen erheblichen Teil der Ressourcen einer Physik-Einrichtung. Voraussetzung für eine bedarfsgerechte Flächenplanung der Praktikumseinrichtungen ist die Berücksichtigung der qualitativen und quantitativen Charakteristika des jeweiligen Praktikumsbetriebs.

Dazu sind die Art und Zahl der Versuche, die die verschiedenen Teilnehmerkreise im Grund-, Fortgeschrittenen- und Demonstrationspraktikum durchführen müssen, in einem Belegungsmodell zusammenzustellen. Aufgrund der zumeist fest installierten Experimente ist die Zahl der Praktikumsplätze in der Physik – anders als beispielsweise in den nass-präparativen Praktika der Chemie – nicht proportional zur Zahl der benötigten Versuchsaufbauten. Deren Zahl hängt vielmehr von der Zahl der Versuche ab, die die Studierenden absolvieren müssen, um einen Leistungsnachweis zu erhalten.

Laborplanung

Bedarfs-bemessung	Physiklabore sind typischerweise Gerätelabore, in denen Experimente an Forschungsgeräten und Versuchsaufbauten durchgeführt werden. Die persönlichen Arbeitsplätze der Experimentatoren nehmen im Vergleich zur Stell- und Bedienfläche der Geräte nur geringe Teile der Laborfläche in Anspruch. Aufgrund der Vielfalt der physikalischen Forschungsgeräte ist in der überschlägigen Bedarfsbemessung der Laborflächenbedarf dennoch auf Basis der Zahl der Experimentatoren zu bemessen. Im Durchschnitt kann mit einem Flächenbedarf von **18 m^2 pro Experimentator** gerechnet werden. Bei apparatebezogen forschenden Physikern beschränkt sich der Laborbedarf auf der Forschungsgruppe unmittelbar zuzuordnende Gerätelabore. Demgegenüber werden bei der probenbezogenen Arbeitsweise Laborflächen in erheblichem Umfang (durchschnittlich 150 m^2 pro Forschungsgruppe) für gemeinsame Geräte und Einrichtungen mehrerer Forschungsgruppen benötigt.	**Kap. 6.3**
Technische Ausstattung	Zur gebäudetechnischen Ausstattung von Gerätelaboren gehören umfangreiche Leitungsnetze innerhalb des Gebäudes. Dies macht eine Differenzierung zwischen einer flächendeckenden Basis-, einer nachrüstbaren Zusatz- und individuellen Sonderausstattungen zweckmäßig. Darüber hinaus sind die Labore so im Gebäude anzuordnen, dass einerseits den Nutzern nicht zu lange Wege zu ihren Büroräumen entstehen und andererseits alle Laboranforderungen bautechnisch möglichst kostengünstig realisiert werden können.	**Kap. 7.1**
Standardi-sierung	Physikalische **Standardlabore** sind für vielfältige Nutzungen geeignete Gerätelabore mit standardisierten Abmessungen und Ausstattungsmerkmalen. Bei Planung eines Neubaus sollten in Abhängigkeit von den Vorgaben des Planungsrasters zwei oder drei Varianten mit einer Grundfläche mit 20 bis 30 m^2, mit 30 bis 40 m^2 und mit 40 bis 60 m^2 festgelegt werden. Zum Aufstellen kleinerer und mittlerer Versuchsgeräte präferieren Physiker separate Laborräume, da die Zwischenwände wechselseitige Störungen der Experimente vermindern. Laborräume mit einer Grundfläche von 60 m^2 oder mehr sollten nur bei einen konkreten Bedarf als Sonderlabore eingeplant werden. Nach dem Baukastenprinzip ist jeder Forschungsgruppe ein Set aus kleinen, mittleren und großen Standardlaboren zuzuordnen. Dabei muss es sich nicht um identische Sets handeln. Dennoch ist eine einseitige Verteilung kleiner, mittlerer und großer Standardlabore innerhalb des Gebäudes zu vermeiden. Neben den Standardlaboren werden in erheblichem Umfang auf die speziellen Anforderungen der derzeitigen Nutzer zugeschnittene **Sonderlabore** benötigt. Dabei wird für die Sonderlabore bewusst in Kauf genommen, dass ein Nutzungswechsel mit mehr oder weniger umfangreichen Umbaumaßnahmen verbunden sein wird. Erfahrungsgemäß lassen sich etwa 50 % des Laborflächenbedarfs mit Standardlaboren abdecken, während für die übrigen 50 % Sonderlösungen erforderlich sind. Außerdem benötigen Physik-Einrichtungen unterschiedlich große **Experimentierhallen** für einen befristeten Aufbau wechselnder Großversuche und zur Unterbringung von Großgeräten.	**Kap. 7.2** **Kap. 7.3**
Praktikums-räume	Praktikumsräume, die auch als Lehrlabore bezeichnet werden, benötigen nicht alle gebäudetechnischen Ausstattungen der Forschungslabore. Zusätzlichen Installationsaufwand verursacht jedoch, dass in Praktikumsräumen jeder Versuchsaufbau über eine Energie- bzw. Medienleiste an den Wänden bzw. der Decke mit den verschiedenen Anschlüssen ausgerüstet werden muss.	**Kap. 7.4**

Bedarfsmodelle

Forschungs-gruppen-Modelle

Kap. 8.1

Bedarfsmodelle verknüpfen die Flächenansätze für die verschiedenen Raumnutzungsarten mit dem Bedarf der einzelnen Organisationseinheiten zu umfassenden Planungsmodellen.

Forschungsgruppen sind die elementaren Bedarfsträger personeller und räumlicher Ressourcen. Ihr Flächenbedarf wird maßgeblich von ihrer jeweiligen Arbeitsweise geprägt, wie in der folgenden Tabelle zu erkennen ist. Zugleich zeigen die großen Bandbreiten, dass verschiedene Personalausstattungen auch bei gleicher Arbeitsweise zu erheblich voneinander abweichenden Bedarfsanforderungen führen können.

Arbeitsweise:	Flächenbedarf pro Forschungsgruppe (HNF)
Computerbezogen	240 – 456 m^2 (ohne Terminals 138 - 234 m^2)
Apparatebezogen	261 – 411 m^2
Probenbezogen	234 – 398 m^2 (+ ca. 180 m^2 Anteil an gem. Laborfläche)
Naturbeobachtend	168 – 282 m^2
Fachdidaktik	174 – 252 m^2
Theoretisch-deduktiv	84 – 192 m^2

Fachbereichs-Modelle

Kap. 8.2

Die hier vorgestellten Fachbereichsmodelle zeigen exemplarische Mengengerüste für den Flächenbedarf unterschiedlicher Physik-Einrichtungen. Sie illustrieren damit unterschiedliche Größenordnungen und Nutzungsprofile:

Modell	Personal	Profil:	Studienplätze	Flächenbedarf
1	12 Prof., 77 wiss. Mitarb.	gemischt	292	6.005 m^2 HNF
2	18 Prof., 116 wiss. Mitarb.	gemischt	452	9.575 m^2 HNF
3	24 Prof., 156 wiss. Mitarb.	gemischt	624	12.446 m^2 HNF
4	24 Prof., 160 wiss. Mitarb.	experimentell	635	13.359 m^2 HNF
5	24 Prof., 155 wiss. Mitarb.	theoretisch	624	11.522 m^2 HNF

In jedem Planungsprozess ist auf Basis der erläuterten Konstruktionsprinzipien ein individuelles Bedarfsmodell zu entwickeln.

Kennzahlen

Kap. 8.3

Aus den exemplarischen Bedarfsmodellen lassen sich Flächenfaktoren und Kennzahlen für vereinfachte Bedarfsbemessungen herleiten:

- Pro Physik-Studienplatz werden je nach Forschungsprofil zwischen 15,10 und 17,50 m^2 HNF benötigt.
- Der Flächenbedarf einer Physik-Einrichtung hängt nur zu 30 % unmittelbar von der Zahl der Studienplätze ab, zu 70 % dagegen von der Zahl der Wissenschaftler auf Haushalts- und Drittmittelstellen. Dabei liegt der durchschnittliche Flächenbedarf zwischen 30 und 55 m^2 pro Wissenschaftler.
- Die Gebäudekosten für Physik-Neubauten liegen aufgrund des hohen Anteils an hochinstallierten Laborflächen bei ca. 3.800 € pro m^2 HNF (Preisstand 02/2002).

Kap. 8.4

Literaturverzeichnis

Arbeitskreis für Bedarfsbemessung der Staatlichen Hochbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg (1974): Flächenrichtwerte im Hochschulbereich, Teil A: Studienfächer der Universitäten, Stuttgart 1974

Brinckmann, Hans (1996): Der Fachbereich als überforderte Grundeinheit für Lehre und Forschung, in: Wissenschaftsmanagement, 1/1996, S. 11-18

Bühner, Rolf (1996): Betriebswirtschaftliche Organisationslehre, 8. Aufl., München 1996

Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f 2000): Grund- und Strukturdaten 2000/2001, Berlin 2000.

Denkschrift zum Jahr der Physik (2000), hrsg. von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Bad Honnef 2000

Franz, Ekbert (1970): Fachbereich Physik, in: Linde, Horst (Hrsg.): Hochschulplanung – Beiträge zur Struktur- und Bauplanung, Band 3, Düsseldorf 1970, S. 40-50

Freie Universität Berlin (2001): Selbstdarstellung des Fachbereichs Physik der FUB anlässlich der Evaluation von Studium und Lehre durch eine externe Gutachterkommission am 24.1.2001, Berlin 2001

Gerken, Horst/Lange, Ulrich/Thauer, Thomas/Weidner-Russell, Brigitte (1997): Nutzungs- und Kostenflächenarten-Profile im Hochschulbereich, HIS Hochschulplanung 123, Hannover 1997

Haase, Korinna/Senf, Mathias (1995): Materialien zur Hörsaalplanung, HIS Hochschulplanung 111, Hannover 1995

Heublein, Ulrich/Schmelzer, Robert/Sommer, Dieter/Spangenberger, Heike (2002): Studienabbrecherstudie 2002 – Die Studienabbrecherquoten in den Fächergruppen und Studienbereichen der Universität und Fachhochschulen, HIS Kurzinformation A5/2002, Hannover 2002

Holtkamp, Rolf/Koller, Petra/Minks, Karl-Heinz (2000): Hochschulabsolventen auf dem Weg in den Beruf – Eine Untersuchung des Berufsübergangs der Absolventenkohorten 1989, 1993 und 1997, HIS Hochschulplanung 143, Hannover 2000

Informationsdienst Wissenschaft (idw vom 09.01.2002): Universität Bonn legt Konzept für die Lehrerausbildung vor (http://idw-online.de)

Kluth, Winfried (2001): Nachfrage Steuerung der Studienangebote – Rechtsgutachten, hrsg. vom Centrum für Hochschulentwicklung, Gütersloh 2001

Kneifel, Gerda/Ude, Albrecht (2001): Physik: Absolventen im Aufwind, in: "Die Zeit" vom 14.5.2001

König, Herbert/Kreuter, Helena (1997): Büroräume/Büroarbeitsplätze in Hochschulen, HIS Hochschulplanung 124, Hannover 1997

Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP 1995, ..., 2001): [jährliche] Statistiken zum Physikstudium in Deutschland, jeweils veröffentlicht in der Septemberausgabe der Physikalischen Blätter

Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP 2001a): Beschlussvorlage KFP vom 05./06.2001, Bad Honnef 2001

Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des [schweizer] Bundes (KBOB 2000): Laborbauten - Empfehlung, Ausgabe 1/Januar 2000 (http://www.kbob.ch/pdf/d_e_labor.pdf)

Krcmar, Helmut (2003): Informationsmanagement, 3. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 2003

Krüger, Hartmut (1995): Institut an der Universität, in: Wissenschaftsmanagement, 1/1995, S. 42f.

Kultusministerkonferenz/Hochschulrektorenkonferenz: Rahmenordnung für die Diplomprüfung im Studiengang Physik - Universitäten und gleichgestellten Hochschulen, ohne Ortsangabe 1993

Minks, Karl-Heinz (2000): Die Krise ist vorüber – die Anforderungen an Physikabsolventen haben sich geändert, in: Physikalische Blätter, 3/2000, S. 3

Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSWF NRW 2001): Eckpunkte zur Gestaltung von BA-/MA-Studiengängen für Lehrämter, Düsseldorf 09.Mai 2001

Müller-Böling, Detlef (2001): Für eine nachfrageorientierte Steuerung des Studienangebots an Hochschulen – Vorschläge zur Ablösung der Kapazitätsverordnung, Arbeitspapier des Centrum für Hochschulentwicklung, Berlin 2001

Physik-Handbuch (1998), hrsg. von Ingo Peschel und Alexander M. Bradshaw im Auftrag der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Bad Honnef 1998

Rahmenplan (2001): 31. Rahmenplan für den Hochschulbau nach dem Hochschulbauförderungsgesetz 2002-2005, vom Planungsausschuss für den Hochschulbau mit Wirkung von 11.10.2001 beschlossen

Rauner, Max/Jorda, Stefan (2002): Big Business und Big Bang – Berufs- und Studienführer Physik, Berlin 2002

Schreiber, Michael (2001): Computational Physics – die dritte Säule der Physik, in: Physikalische Blätter 6/2001, S. 3

Schulte-Zurhausen, Manfred (1999): Organisation, 2. Aufl., München 1999

Stief, Christian/Grabowski, Axel (1999): „Nicht nur sauber, sondern rein“ – Reine Räume zur Herstellung kleinster Strukturen, in: Magazin Forschung der Universität des Saarlandes, 2/1999, S. 49-57

Technische Universität Berlin (2001): Physik, Tätigkeiten und Berufsmöglichkeiten, Homepage der allgemeinen Studienberatung der TU Berlin, 2001

Technische Universität Braunschweig (2001): In 4 Jahren zum Diplom in Physik, Homepage des Fachbereichs für Physik und Geowissenschaften, 2001

Universität Göttingen (2001): Aufbaustudiengang Schulpädagogik und Didaktik, Homepage der zentralen Studienberatung, Göttingen 2001

Universität Kiel (2002): Studieninformationsblatt PHYSIK - Diplom, Internetseite der Universität Kiel, 2002

Universität Konstanz (2000): Hans Dampf in allen Gassen, Pressemitteilung vom 21.06.2000

Vogel, Bernd/Fenner, Henrich/Frerichs, Tim (2001): Elektrotechnik und Informationstechnik an Universitäten und Fachhochschulen, HIS Hochschulplanung 148, Hannover 2001

Vogel, Bernd/Holzkamm, Ingo (1998): Chemie und Biowissenschaften an Universitäten, HIS Hochschulplanung 131, Hannover 1998

Vogel, Bernd/Scholz, Werner (1997): Wissenschaftliche Werkstätten an Hochschulen, HIS Hochschulplanung 121, Hannover 1997

Vogel, Bernd/Trisl, Oliver (2002): Bauliche Entwicklungsplanung für die Natur- und Ingenieurwissenschaften der Technischen Universität Darmstadt, unveröffentlichtes Gutachten, HIS GmbH, Hannover 2002

Weidner-Russell, Brigitte/Senf, Matthias (2001): Zu den Flächen niedersächsischer Hochschulen – Untersuchung aus Anlass der Einrichtung eines integrierten Liegenschafts-, Bau-, und Gebäudemanagements des Landes Niedersachsen, HIS Hochschulplanung 154, Hannover 2001

Wissenschaftsrat (1990): Empfehlungen für die Planung des Personalbedarfs der Universitäten, Köln 1990

Wissenschaftsrat (1992): Stellungnahme zu den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachbereichen an den Universitäten der neuen Länder, in: Wissenschaftsrat (Hrsg.): Empfehlungen zur künftigen Struktur der Hochschullandschaft in den neuen Ländern und im Ostteil von Berlin – Teil IV, Köln 1992, S. 125-240

Wissenschaftsrat (1998): Empfehlungen zur Hochschulentwicklung durch Multimedia in Studium und Lehre, Mainz 1998

Zentralarchiv für Hochschulbau (1974) (Hrsg.): Handbuch der baubezogenen Bedarfsplanung, Stuttgart 1974

Zentralstelle für Bedarfsbemessung und wirtschaftliches Bauen (ZBWB 1998): Richtlinien für die Baukostenplanung, Freiburg 1998

Ziegler, Thomas (2000): Erfahrungsbericht aus der Software Unternehmensberatung, in: Pro-Physik.de - Das Physik-Portal der deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2000

Stichwortverzeichnis

Abschlussarbeit 46
Absolventen ..... 31f.
Allgemeiner Studiengang 27
An-Institute..... 65
Anwendungsorientierung 50
Arbeitsmarkt..... 32f.
Arbeitsplätze 73f., 111, 114
Arbeitsweisen 18ff., 155
Archiv..... 98, 138
Astronomie..... 10, 38
Bachelor-Studiengang .....25f., 35f., 39f., 46f.
Basisausstattung..... 75ff.
Baukosten..... 151f.
Bedarfsmodelle 131ff., 161
Belegungshäufigkeit..... 111f.
Besprechungsräume..... 92
Beschäftigtengruppen 73
Bezugsgrößen ..... 90f.
Bibliotheksräume / -flächen..... 97, 139
Büroräume / -arbeitsplätze..... 91f., 137
Computational Physics..... 15, 23
Computerbezogene Arbeitsweise ... 20, 133f.
Curricularnormwert (CNW)..... 83f.
Demonstrationspraktika 46, 103f., 108,110
Departmentmodell..... 57f., 157
Didaktik / Fachdidaktik .....13, 44, 74, 134f.
Diplom-Studiengang .....25f., 35, 38f., 46f.
Drittmittel-Beschäftigte..... 73, 89
Durchschnittsdeputat ..... 86f.
ECTS 40
Elektronik-Stellen / -Werkstätten 60f., 97
Erschütterungsabgeschirmte Labore
..... 118, 127
Experimentatoren..... 90f., 94
Experimentelle Physik..... 15, 42
Experimentell-apparatebezogene
Arbeitsweise..... 20, 94, 131f.
Experimentell-probenbezogene
Arbeitsweise..... 20, 94f., 132f.
Experimentierhallen 95f., 128, 138
Fachbereich / Fakultät ..... 55, 57ff.
Fachbereichs-Modelle.....136ff., 140ff., 161
Fächer / Fächergruppen..... 42ff., 48f.
Flächenplanung 89f., 159
Flächenansätze / -faktoren.91ff., 102f., 147ff.
Flächenrichtwert..... 89, 147f.
Forschung..... 7ff., 155
Forschungsgebiete 7ff., 21f. 155
Forschungsgemeinschaften 17f., 65f., 67
Forschungsgeräte 16ff., 155
Forschungsgruppe 55f., 74
Forschungsgruppen-Modelle..... 131ff., 161
Forschungsschwerpunkte, inhaltliche..... 13f.
Forschungsprofile, methodische
..... 15, 79f., 155
Fortgeschrittenenpraktikum.... 43, 103, 107ff.
Fraunhofer-Gesellschaft..... 65f.
Funktionsstellen ..... 74f.
Gerätelabore / technologische Labore
..... 93f., 138
Gerätelager..... 98, 138
Gemeinsame Einrichtungen .. 17, 74, 95, 138
Gemeinsame Fakultät 57
Graduiertenkolleg..... 62
Großraumlabore..... 128
Großforschungseinrichtungen 17f., 21, 96
Großgeräte/ -forschung..... 17f., 23f.
Großgerätehallen 95f., 128, 138
Grundpraktikum ..... 43, 102f., 105ff.
Grundrissorganisation ..... 119ff.
Grundstudium 37
Hauptnutzfläche (HNF) 89, 97
Hauptstudium..... 37
Haushalts-Personal..... 73f.
Heliumverflüssigung..... 61, 97
Hochschulstandorte ..... 2f.
Hochschulstruktur 54ff., 157
Höchstlast 85 148
Hörsäle 75, 99ff., 139
Hermann von Helmholtz - Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren.... 17f., 65f.
Infrastruktur / -flächen ..... 96ff., 137ff.
Institut / Institutsmodell.....54ff., 59f., 74, 157
Interdisziplinäre Zentren..... 62f.
Interdisziplinarität 22, 50
Kapazitätsermittlung. 83ff., 158
Kapazitätsverordnung (KapVO) ..... 83ff.
Kennzahlen..... 146ff., 161
Klassische Physik 7, 8
Kooperationspartner, außeruniversitäre
..... 54, 64f., 157
Kostenflächenarten (KFA)..... 151f.
Kurs ..... 111f.
Labore 93ff., 117ff., 137f., 160
Lagerräume / -flächen..... 98, 138
Lehramts-Studiengänge.....25f., 36, 41f., 47f.
Lehrdeputat..... 75f., 83f.
Lehre 25ff., 156

Lehrexport.....48f., 77, 84f., 113ff.
Lehrimport..... 85, 99, 101
Lehrräume / -flächen..... 45f., 98ff.
Lehrstuhl..... 55f.
Master-Studiengang.....25f., 35f., 39f., 46f.
Max-Planck-Gesellschaft ..... 65f.
Mechaniker / -werkstatt..... 61, 97, 138
Mindestbedarf ..... 75f.
Moderne Physik ..... 7ff.
Nachwuchsgruppe / Juniorprofessur
..... 55f., 74, 136
Nass-präparative Labore..... 93, 127, 138
Naturbeobachtende Arbeitsweise
..... 19, 21, 95, 134
Normallast..... 86f., 148
Nutzungsbereiche ..... 90f.
Nutzungsflexibilität 119
Nutzungsprofile..... 146f.
Organisation(sstruktur)..... 53ff., 157
Organisationseinheit 53
Orientierungswerte..... 89
PC-Pools / -Terminals....93, 101f., 134, 139f.
Peripheriegeräte (Kopierer / Drucker) 93
Personal / -bedarf 63, 158
Personalbestand..... 69ff.
Personalmodelle / -planung 69, 72ff., 158
Personalrelationen 71f., 74
Pflichtveranstaltungen..... 42f.
Physik, Charakteristika..... 1f.
Planungshilfen 153
Praktikum.....45f., 105ff., 159
Praktikumsflächen / -räume
.....102ff., 129ff., 139, 160
Praktikumsplätze..... 102f., 111ff.
Primäre Organisationsmuster..... 53ff., 67
Programmplanung / Raumbedarfsplanung
.....89, 117ff., 160
Projektstudium 46
Promotionen / Promotionsquote 31f., 84, 86f.
Raumausstattung.....117f., 123f., 130f., 160
Raummerkmale, baukonstruktive
.....117f., 122f., 129f.
Raumnutzungsarten (RNA)..... 90f., 159
Raumprogramm..... 89, 117
Regelstudienzeit ..... 35f.
Rechnerräume 92f., 134, 137
Reinräume ..... 126f.
Sammlung..... 98, 138
Sekretariate 74, 92, 137
Sekundäre Organisationseinheiten
.....54, 62f., 67, 157
Seminar 45
Seminarräume 99ff., 139
Sonderforschungsbereich (SFB) 62
Sonderlabore ..... 126ff.
Spezielle Physik-Studiengänge..... 27
Standardlabore 119, 122ff., 160
Studienanfänger..... 28
Studienangebot..... 25f., 156
Studienarbeit..... 46
Studiendauer / -zeit..... 31, 49
Studienorganisation ..... 34ff.
Studienpläne..... 37ff.
Studienplätze 83ff., 139
Studienrichtung / -schwerpunkt..... 27, 38, 43
Studienstruktur / -Modelle 34ff., 46ff., 156
Studierende / Studierendenzahlen . 27ff., 156
Technische Dienstleistungen . 60f., 96ff., 157
Technisches Personal..... 74 , 96f., 157
Teilrichtwerte. ..... 98 , 101, 139
Teilzeitfaktor / Vollzeitäquivalente ..... 73f.
Theoretisch-deduktive Arbeitsweise.. 19, 133
Theoretische Physik..... 14, 43
Tieftemperaturlabore..... 127
Übung 45
Veranstaltungstypen ..... 45f.
Verlaufsquoten..... 29f.
Versuche..... 105ff.
Versuchsaufbauten .....102f., 111, 114ff.
Verwaltungs-Personal ..... 73f.
Verwandte Studiengänge..... 27
Vorlesung..... 45
Wahl(pflicht)veranstaltungen..... 38, 43f.
Werkstätten..... 75, 97, 138
Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried
Wilhelm Leibniz 17f., 65
Zielvereinbarungen ..... 85f.