

# Vertical integration of biochemistry: The interdisciplinary spiral curriculum in the Brandenburg reformed medical study programme

## Abstract

**Objective:** A key recommendation for further improvement of undergraduate medical education is vertical integration, in particular the close connection of basic medical science and clinical learning content. The project described here aimed to develop and implement an interdisciplinary spiral curriculum for biochemistry, which has its own subject systematics, is integrated into the organ- and topic-related modules of the Brandenburg reformed medical study programme and exploits learning theory-based benefits of vertical integration. This project report provides a specific implementation example for practitioners.

**Methodology:** Curriculum development took place in an interdisciplinary process. Learning success was analysed comparatively using the Progress Test Medicine, and student perception was evaluated using a questionnaire.

**Results:** The spiral curriculum for biochemistry is fully integrated into a Z-curriculum, both across the entire length of the study programme as well as at the level of modules, modules' learning objectives, weekly topics and interdisciplinary classes. Exemplary mapping with the NKLM and the national catalogue of exam-relevant topics, comparable learning success with other universities and student evaluations confirm the intended subject systematics, the high degree of vertical integration and its positive evaluation, e.g. in terms of relevance of learning content and deep learning. According to level 9 of Harden's integration ladder, the biochemical subject identity has been retained, but subject autonomy has been largely abandoned.

**Conclusion:** The spiral curriculum for biochemistry implements key recommendations for further improvement of undergraduate medical education, demonstrates the successful application of the principles of vertical integration and confirms the opportunities associated with its use.

**Keywords:** medical education, curriculum, teaching, biochemistry

Jenny Engelmann<sup>1</sup>  
Julia Schendzielorz<sup>2,3</sup>  
Fabian Otte<sup>1</sup>  
Alexander Bertram<sup>1</sup>  
Meike Hoffmeister<sup>1,2</sup>  
Stefanie Oess<sup>1,2,3</sup>

1 Brandenburg Medical School Theodor Fontane (MHB), Institute of Biochemistry, Neuruppin, Germany

2 Faculty of Health Sciences, Joint Faculty of the University of Potsdam, Brandenburg Medical School Theodor Fontane and Brandenburg Technical University Cottbus-Senftenberg, Neuruppin, Germany

3 Brandenburg Medical School Theodor Fontane (MHB), Center for Curriculum Development and Educational Research (ZSAW-BB), Neuruppin, Germany

## 1. Introduction

### 1.1. Background

Key recommendations for further improvement of undergraduate medical education are a modular, interdisciplinary course structure that abandons the separation between preclinical and clinical study sections and the intertwining of theoretical and practical content throughout the entire length of the study programme [1]. For basic medical sciences like biochemistry, the development of such interdisciplinary Z-curricula, characterised by horizontal integration with other basic science subjects and vertical integration with clinical subjects, is challenging (see figure 1). In particular, this challenge lies in arranging the learning content according to the subject's

internal logic while at the same time integrating it into organ- or topic-related modules.

With this project report, we provide a specific example of how these recommendations can be implemented, applying learning theory-derived principles to the design of vertically integrated Z-curricula. We address practitioners with responsibility for teaching, teaching coordination and curriculum development in order to demonstrate feasibility and opportunities, promote discussion within and across faculties, and support current developments in medical education.

### 1.2. The Brandenburg reformed medical study programme

The Brandenburg reformed medical study programme (*Brandenburgischer Modellstudiengang Medizin, BMM*)

### Infobox: Terms and definitions

#### Vertical integration

In the narrower sense, the term refers to integration of basic medical science and clinical educational content, or the integration of theory and practice, with abolishment of the traditional division into pre-clinical and clinical study sections. In a broader sense, vertical integration is a pedagogical approach that goes beyond this, gradually introducing learners to the professional community by allowing them to take responsibility for patient care [2], [5]. Whilst the BMM exhibits many features of vertical integration in the broader sense, we generally use the term in the narrower sense in context of the biochemistry curriculum.

#### Z-Curriculum

A curriculum covering all subjects of undergraduate medical education, with bidirectional vertical integration of clinical and theoretical educational content throughout the entire course of study. Clinical content and practical skills increase continuously over the course of the programme, whilst basic science content decreases accordingly, resulting in the typical Z-structure [1], [24].

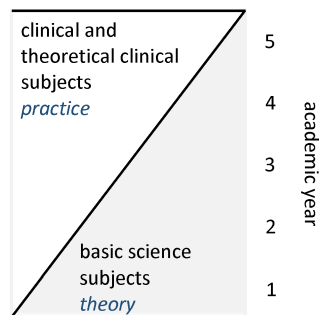


Figure 1: Key terms, their definitions and use in this project report

#### Spiral curriculum

First formulated by Jerome Bruner in 1960 and characterised by students revisiting topics multiple times throughout the course of their studies, with the level of difficulty, detail and complexity increasing each time. The repeated revisiting of topics with increasing competence levels is visualised by a spiral. The structure of medical Z-curricula allows for and promotes the organisation of learning content within a spiral curriculum [1], [21].

#### Learning spiral

The term is used in various contexts and is closely linked to the concept of the spiral curriculum. 'Learning spiral' can refer to the recurring arrangement of learning content within the spiral curriculum and rather conveys the learner's perspective, whereas the spiral curriculum conveys the curriculum perspective focussing on the entirety of all content strands. Here, we use the term 'learning spiral' to define and describe the various content strands within the spiral curriculum for biochemistry [1], [5].

#### Didactic reduction

A didactic method in which learning content is deliberately reduced to facilitate the learning process. It is a central element of spiral curricula, in which, during early stages of study, learning content is reduced in terms of amount, depth of detail and complexity to tailor it to the students' level of knowledge and skills. In the context of medical education, it is also used to describe the reduction of subject-specific content to essential concepts with the aim of creating space for general topics (communication skills, scientific work). It can also refer to individual classes in which quantity is reduced in favour of comprehensibility [20].

is a reformed or model degree programme in accordance with § 41 of the German Medical Licensing Regulation (*Ärztliche Approbationsordnung, ÄApprO, 2002*). Structure, content and teaching philosophy are characterised by comprehensive vertical integration [2]: The BMM has a Z-curriculum and is organised in modules. At the beginning of the programme, modules focussing on basic medical sciences incorporate clinical content, while towards the end of the programme, basic science content is imbedded in clinically defined modules. From the first year onwards, students are involved in patient care with gradually increasing responsibility (see figure 1). The curriculum is competency-based; teaching and examination follow centrally defined cognitive, psychomotor/communicative as well as affective learning objectives. Problem-based learning (PBL) is the central teaching/learning format and structures the curriculum: the week typically begins and ends with a PBL case tailored to the topic of the week. Within this PBL frame, two interdisciplinary seminars (IDS), a practical class and an exercise in diagnostics and therapy (EDT) are offered to support students in achieving their self-set learning goals. An IDS is taught jointly by two teachers from two disciplines. Summative assessments take place at the end of each semester across all modules and use various examination formats, in particular multiple choice (MC) ques-

tions, objective structured clinical/practical examination (OSCE/OSPE) parcours and oral-practical examinations. In MC exams, the number of questions per subject and learning objective is determined by a centrally defined blueprint [3], [4].

### 1.3. Learning theory basis of vertical integration

The integration of basic medical sciences, especially vertical integration, is associated with various advantages derived from learning theory models and research [2], [5]: Through the clinical context, students recognise the relevance of the basic science content and thus the purpose of learning, which, according to adult learning theory [6], [7], motivates them to engage with the topic. Another advantage relates to the way in which knowledge is stored and retrieved in memory and is supported by findings in cognitive psychology [8], [9]. These indicate that knowledge is most effective when its organisation matches the way in which the knowledge is to be used. In the context of medical education, this means that integrating basic science content with clinical examples and explicitly linking the concepts of both areas promotes knowledge retrieval, long-term retention and a deeper understanding

[2], [5]. Finally, by repeatedly applying basic sciences to explain various clinical scenarios, vertical integration promotes not only deep learning of the basic sciences but also allows students to derive broader basic science concepts and thus facilitates transfer of basic science knowledge [5].

An inevitable consequence of integrating basic sciences into clinical contexts is the distribution across many relatively small units, whose arrangement is partly determined by the clinical discipline. This carries the risk that teaching may not be sufficiently systematic or in line with the internal logic of the subject, preventing students from recognising broader, subject-inherent connections and the overall conceptual picture [2], [10].

## 1.4 Objectives of the project presented here

We aimed to develop an interdisciplinary spiral curriculum for biochemistry that is fully integrated into the modules of the BMM and has its own subject systematics and internal logic. Integration should not only promote an understanding of clinical relevance, but also deepen the comprehension of biochemical subject knowledge and subject-inherent connections. Regarding subject systematics, it should be provided that, while applying didactic reduction, the subject is covered appropriately in terms of breadth and depth. At the same time, through the appropriate selection and arrangement of content units in a learning spiral, students should first work through simpler, less complex content and build on this knowledge in the course of their studies, deepening and expanding it (see figure 1).

## 2. Project description

### 2.1. Conditions and procedure

The development of the spiral curriculum for biochemistry commenced with the appointment of the professor of biochemistry in the winter semester (WS) 17/18. At that time, approximately 150 students were enrolled in the BMM, spread across semesters 2, 4 and 6. The overall modular structure of the BMM had been developed and documented in the study regulations. The modules' learning objectives (including those with biochemical content) and the classes with biochemical participation were defined for semesters 1-6.

The spiral curriculum for biochemistry was developed in an interdisciplinary process involving professor and staff of the Institute of Biochemistry, the department for curriculum development (meanwhile ZSAW-BB), colleagues from basic, clinical and theoretical clinical subjects, and BMM students. The existing learning objectives with biochemical content and the assignment of biochemistry to classes in semesters 1-6 were revised in WS 17/18. The development for semesters 7-10 followed successively until the summer semester (SS) 19. Interdisciplinary dis-

cussions took place both formally during regularly held module planning conferences and in informal exchanges. All development results were confirmed by the central study committee.

## 2.2. Spiral curriculum for biochemistry

### 2.2.1. Extent, distribution and formats of biochemistry classes

The spiral curriculum for biochemistry covers semesters 1-10 and biochemistry is represented in 16 of the 30 modules of the BMM (see figure 2). The spiral curriculum for biochemistry comprises 72 individual classes with a total of 148 teaching hours (TH; 45 minutes each). Of a total of 1513 TH of module-dependent, subject-specific teaching (excluding scientific internship and hospital placement), 9.8% are therefore taught by or with the involvement of biochemistry. In line with the principle of the Z-curriculum, the majority of these classes lie in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> academic year (see figure 3 A/B). Half of the biochemistry classes are IDS, while the other half is comprised of tutorials, practical classes, EDTs, lectures, and seminars (see figure 3 C). Of the IDS, 5 (14%) take place in horizontal integration with the basic medical science subjects anatomy and physiology, while the vast majority (31; 86%) are vertically integrated with clinical and theoretical clinical subjects. Over the course of the study programme, biochemistry cooperates with 16 different disciplines in the IDS format.

### 2.2.2. Learning spirals of biochemical topics

In the spiral curriculum for biochemistry, the biochemical topics are distributed over a total of 23 learning spirals (see attachment 1). The individual learning spirals correspond to traditional biochemical themes developed inductively by staff of the Institute of Biochemistry from two standard textbooks [11], [12]. All learning spirals are addressed in at least three different modules and relate to four or more modules' learning objectives.

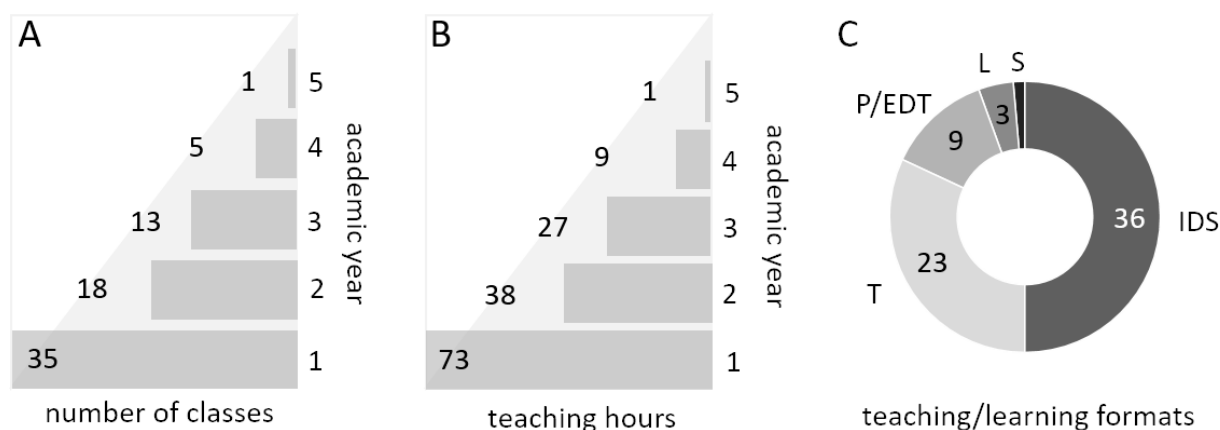
### 2.2.3. Detailed description of the learning spiral nucleic acids

The learning spiral nucleic acids spans semesters 1-10 and is integrated into nine different modules (see attachment 2). It is divided into 24 biochemical content units, which are simpler and less complex at the beginning of the programme and become increasingly detailed and extensive as the programme progresses. All content units address one or more of the centrally defined modules' learning objectives. These are either explicitly phrased as subject-specific learning objectives focused on the topic of nucleic acids or integrate the nucleic acid aspect into an organ- or clinically-oriented learning objective. 18 of the content units are directly related to the weekly topic or PBL case. For these content units, the IDS is the most frequently used teaching format and the main focus

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>First study section</b>																	
Semester 1	Introduction*	Movement*			A&E I		Cardiovascular System*			Assessment							
Semester 2	Respiration*		Practical Day		Blood*		Nutrition/Digestion/Metabolism*			Assessment							
Semester 3	Nervous System*		Practical Day		Inflammation/Immune Response*			Assessment									
Semester 4	Kidney*		Practical Day		Skin		Experience and Behavior*			Assessment							
Semester 5	A&E II		Sensory Systems		Practical Day		Hormones/Sexual Organs/Sexuality*			Assessment							
<b>Second study section</b>																	
Semester 6	Health Care			Bio-metrics		Scientific Internship *			Assessment								
Semester 7	Clinical Reasoning and Decision Making*			Elective Speciality		Clinical Reasoning and Decision Making*		OM		Assessment							
Semester 8	Obstetrics and Gynaecology*			Paediatrics*		AIEP			Assessment								
Semester 9	Psychiatry			Neurology		OPC		Surgery			Assessment						
Semester 10	Internal Medicine			Geriatrics*		Assessment		Second Part of State Medical Exam									
<b>Third study section</b>																	
Semester 11	Practical year																
Semester 12	structured as 3 sets of 16 weeks: Surgery, Internal Medicine, Elective																

**Figure 2: Representation of the subject of biochemistry within the BMM**

Modules in which the subject of biochemistry is involved are marked with an asterisk \*. Presentation according to the BMM study regulations in the version dated 21 July 2022. AIEP: Anaesthesiology, intensive care, emergency medicine, pain therapy; A&E: Acute and emergency care; OM: Occupational medicine; OPC: Elective outpatient primary care



**Figure 3: Biochemistry Z-curriculum in the BMM**

A Distribution of classes taught by or with the participation of biochemistry over academic years one to five of the BMM. B Number of teaching hours (45 min) of the classes shown in A. C Distribution of classes across the teaching/learning formats interdisciplinary seminar (IDS), tutorial (T), practical class (P), exercise in diagnostics and therapy (EDT), lecture (L) and seminar (S)

is to establish interdisciplinary connections between nucleic acids and the weekly topic. Content units that are not directly related to the PBL case or weekly topic are mostly implemented in a flipped classroom format. Students can work on the asynchronous part at a time of their choosing using the learning platform (LP). The synchronous part takes place as a tutorial (T) and is not assigned to a specific module week. On the one hand, the content addressed in the LP/T teaching format is more focussed on foundational knowledge; on the other hand, specific cross-module longitudinal connections within the spiral curriculum are established explicitly.

All biochemical content units and module's learning objectives are related to the contents of the National Competence Based Catalogue of Learning Objectives for Undergraduate Medical Education (*Nationaler Kompetenz-basierter Lernzielkatalog Medizin; NKLM*) [<https://nklm.de/zend/menu>] and the catalogue of exam-relevant topics (*Gegenstandskatalog; GK*) "Chemistry for Physicians and Biochemistry/Molecular Biology" [13]. They are almost exclusively assigned to chapters 12, 19.1 and 19.2 of the GK, which deal explicitly with nucleic acids and the storage, transmission and expression of genetic information, as well as subchapters in which these aspects are integrated into other subject areas (e.g. erythropoiesis). In addition, a few topics listed in the GK "Biology for Physicians" are taught by biochemistry. In return, a few topics that are traditionally covered by biochemistry fall under the responsibility of other subjects in the BMM, e.g. the topic "antibiotic mode of action of sulfonamides" (GK 19.1.1) is assigned to pharmacology.

#### 2.2.4. Intersection of several biochemical learning spirals in the IDS Joint Pain

In the spiral curriculum for biochemistry, usually several learning spirals converge in an individual class, e.g. in the IDS Joint Pain, which is part of the learning spiral nucleic acids. This IDS is taught in the module "Clinical Reasoning and Decision Making" in semester 7 as a corporate class with rheumatology and serves to achieve

the biochemical learning objective "describe principles of the synthesis and degradation of nucleotides and derive and explain processes, symptoms and treatment options for nucleotide metabolism disorders using the example of gout". The individual thematic sections of the biochemistry part cover six different learning spirals and the relative amount of time allocated to the content of the different learning spirals or thematic sections varies (see figure 4).

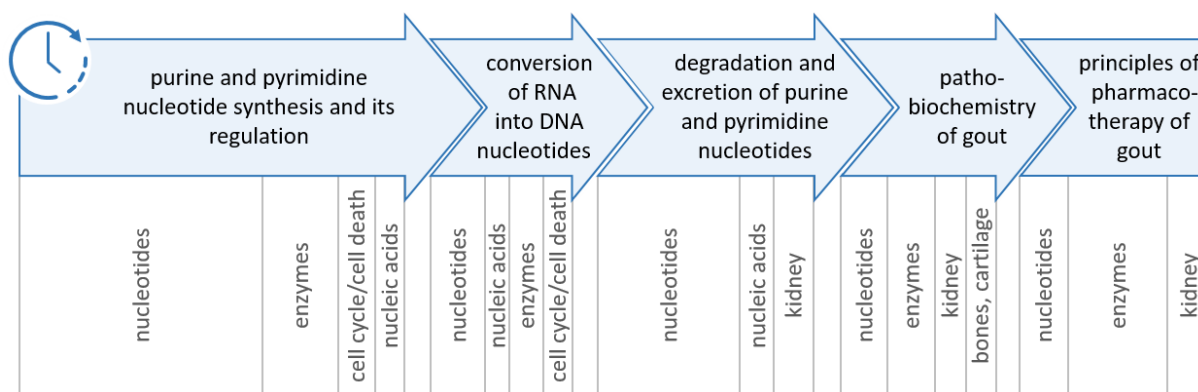
## 3. Results

### 3.1. Comparative evaluation of learning success using the Progress Test Medicine (PTM)

We aimed to examine whether students in the BMM's spiral curriculum for biochemistry, which deviates from the traditional subject systematics in terms of content arrangement, achieve learning outcomes in biochemistry that are comparable to those of other curricula. Thus, in an accompanying scientific study, we analysed learning outcomes using the PTM [14] and compared them with those of students at the other participating universities.

#### 3.1.1. Analysis method and study population

The PTM is a formative assessment at graduate level [14]. Participation at the beginning of each semester is mandatory for BMM students. The PTM results from SS23, WS23/24 and SS24 were analysed. The majority of participating universities offer model degree programmes in accordance with the German ÄApprO (see attachment 3 A). The number of participating students per semester and assessment ranged from 452 (SS23, semester 3) to 1848 (SS23, semester 4) (see attachment 3 B).



**Figure 4: Biochemical learning spirals addressed in the IDS joint pain**

Schematic representation of the structure of the IDS, including the chronological sequence of the thematic sections (top) and the learning spirals addressed therein (bottom). The width of the boxes corresponds to the approximate relative time allocated to the thematic sections and learning spirals

### 3.1.2. Statistical analysis

The statistics software R (version 4.4.3; R Core Team, 2025) was used for data management and statistical analyses. The normal distribution of the values was assessed by the Shapiro-Wilk test. Group differences were analysed using a t-test for normally distributed values in both compared groups (BMM and others), or using a Mann-Whitney U test for non-normally distributed values in one of the compared groups. Significant differences are assumed for p-values  $\leq 0.05$ . The tests for non-inferiority were performed based on the t-test for normally distributed values or based on the Mann-Whitney U test for non-normally distributed values. Seven different equivalence thresholds  $\Delta$  ( $\Delta = \text{Cohen's } d * \text{SD}_{\text{other}}$ ) were tested to investigate effect sizes from Cohen's  $d=0.2$  (small effects) to Cohen's  $d=0.8$  (large effects).

### 3.1.3 Questions analysed

To select PTM questions for the analysis, we defined four categories for questions with biochemical content (see figure 5 A). Using a two-step approach, out of a total of 600 PTM questions we identified 101 questions and assigned them to one of the categories: In the first step, two members of the Institute of Biochemistry independently assessed whether the question corresponded to one of the categories. In the second step, all questions that were named by at least one member were assigned to one of the categories by consensus among at least three members or were assessed as not belonging to any of the categories. The mention of the question's topic in the GK "Chemistry for Physicians, Biochemistry and Molecular Biology" was an inclusion criterion for category I or II, regardless of whether the topic was addressed in the spiral curriculum biochemistry (see figure 5 A).

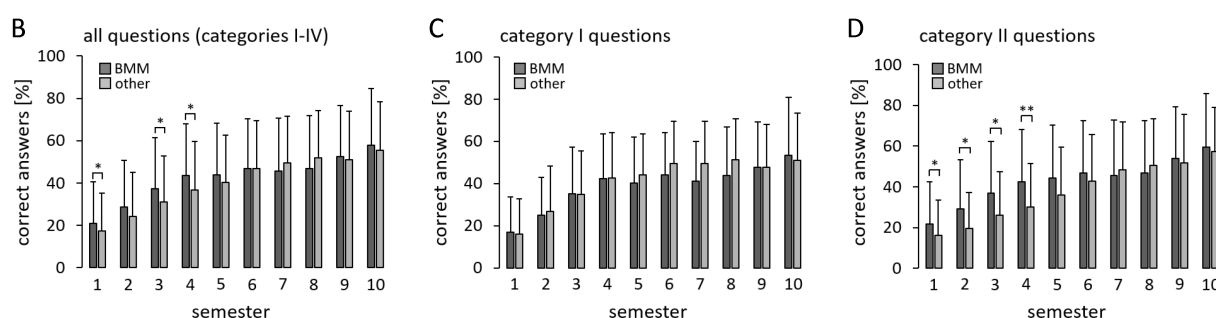
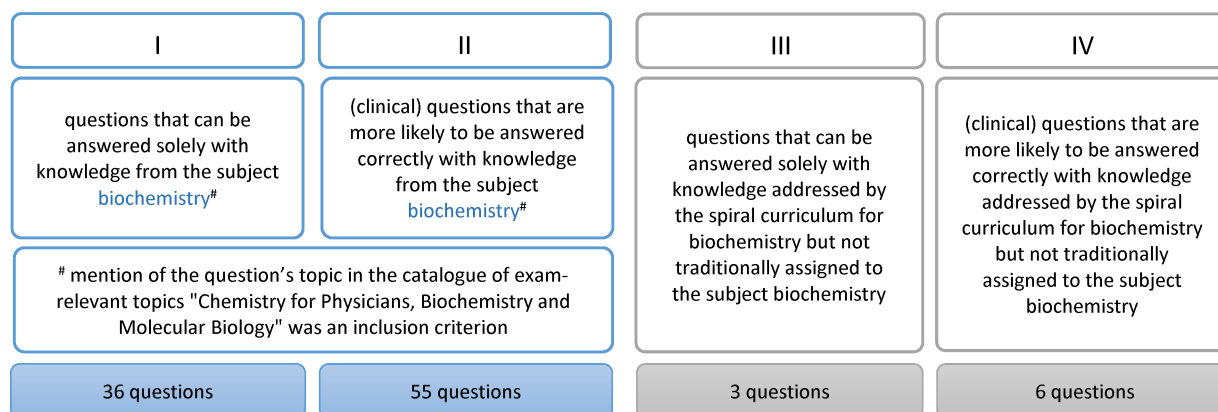
### 3.1.4. Research question 1: Do the BMM students' PTM results in biochemistry differ significantly from other universities?

At the end of the study programme (semester 10) and in the majority of semesters, there was no significant difference in response behaviour between BMM students and students at the reference universities. In semesters 1, 3 and 4, BMM students answered significantly more questions correctly than students at the reference universities (see figure 5 B). An individual evaluation of the four categories showed that there were no significant differences in response behaviour for questions in category I, which tested isolated biochemical content (see figure 5 C). For questions in category II, in which biochemical knowledge was embedded in clinical contexts, BMM students in semesters 1-4 answered significantly more questions correctly compared to students at the reference universities (see figure 5 D). No significant differences were observed for questions in categories III and IV, although the statistical power for these categories is limited due to the small number of questions (3 and 6, respectively) (data not shown).

### 3.1.5. Research question 2: Can it be ruled out that BMM students perform worse than students of other universities in answering biochemistry-related PTM questions?

Since the absence of evidence of a significant difference is not equivalent to evidence of non-inferiority, a non-inferiority test was performed. At the end of the study programme (semester 10), significant inferiority of BMM students compared to students at the reference universities could be ruled out with regard to questions in categories I-IV (small effects of Cohen's  $d=0.2$  with  $p \leq 0.05$ ; medium and strong effects of Cohen's  $d=0.5 - 0.8$  with  $p \leq 0.001$ ). Across all semesters, medium and strong effects could be ruled out (medium effects of Cohen's  $d=0.6$  with  $p \leq 0.05$ ; strong effects of Cohen's  $d=0.8$  with  $p \leq 0.001$ ).

A



**Figure 5: Comparative analysis of learning success in biochemistry using the Progress Test Medicine (PTM)**

A Definitions of categories I-IV, including the number of questions assigned from the PTMs of SS23, WS23/24 and SS24.

B-D Mean±standard deviation of the proportion of PTM questions answered correctly by BMM students of semesters 1-10 compared with students from other universities participating in the PTM (see attachment 3). For statistical analysis, a t-test was performed for normally distributed data and a Mann-Whitney U test for non-normally distributed data. Significant differences are assumed for p-values ≤0.05. \* indicates significant differences with a p-value of ≤0.05; \*\* indicates a significant difference with a p-value of ≤0.01

Overall, we show that students in the spiral curriculum for biochemistry achieve at least equivalent learning success, and inferiority can be ruled out.

### 3.2. Evaluation of the spiral curriculum for biochemistry by BMM students

The spiral curriculum for biochemistry was evaluated by BMM students in semesters 1-10 using a 15-item questionnaire. Each item was rated on a 5-point Likert scale, with the additional option "I don't know". The questionnaire was piloted with a group of 4 students and adapted. The survey was conducted voluntarily and anonymously in the WS24/25 via the web application SoSci Survey [<https://www.sosicisurvey.de/>]. By participating, the students agreed to the use of the results in a scientific study. No personal data was collected. No obligation for ethical consultation existed according to § 15 of the professional code of the Brandenburg State Medical Association (*Berufsordnung der Landesärztekammer Brandenburg*). Of the 574 students invited by email, 196 completed the questionnaire fully or in part (overall response rate 34.1%). Response rates per semester ranged from 49.3% (semester 3) to 21.6% (semester 8). The data was evaluated using descriptive statistics. The percentages for

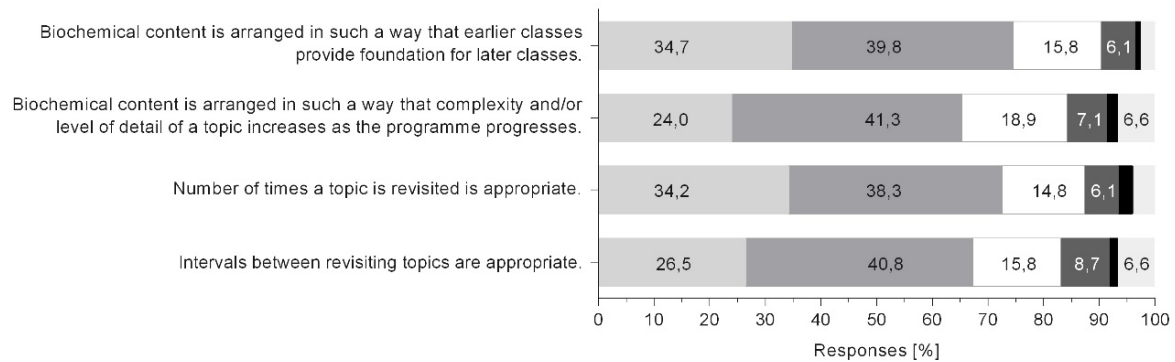
"strongly agree" and "agree" were combined as "agreement".

Regarding the structure of the spiral curriculum for biochemistry, the majority of students agreed that the biochemistry content was arranged in a way that earlier classes provide the foundation for later classes (74.5% agreement) and that the level of detail and complexity of a topic increased as the programme progressed (65.3% agreement). The majority of students rated the frequency and intervals for revisiting topics as appropriate (72.4% and 67.3% agreement) (see figure 6 A).

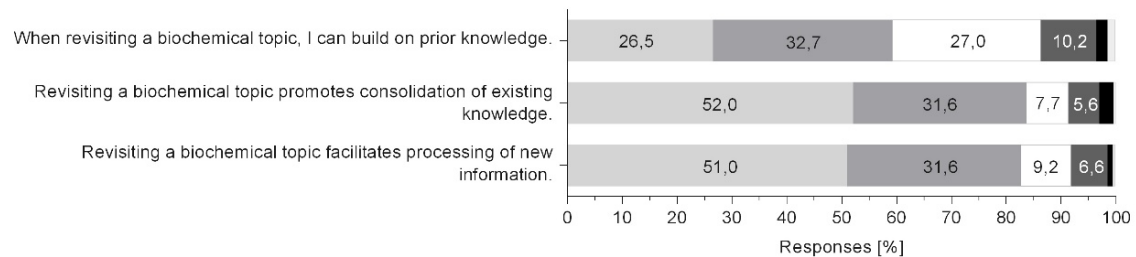
With regard to their learning process, the majority of students indicated that revisiting a topic allowed them to build on prior knowledge (59.2% agreement), consolidated existing knowledge (83.7% agreement) and made it easier for them to process new information (82.7% agreement) (see figure 6 B).

The majority of students supported that combining biochemical with clinical and theoretical clinical learning content demonstrates the relevance of biochemistry (84.7% agreement), motivates them to study biochemistry (77.6% agreement), and promotes their understanding of biochemistry and comprehension of connections within the subject biochemistry (82.1% and 73% agreement). The students also indicated that integration pro-

## A

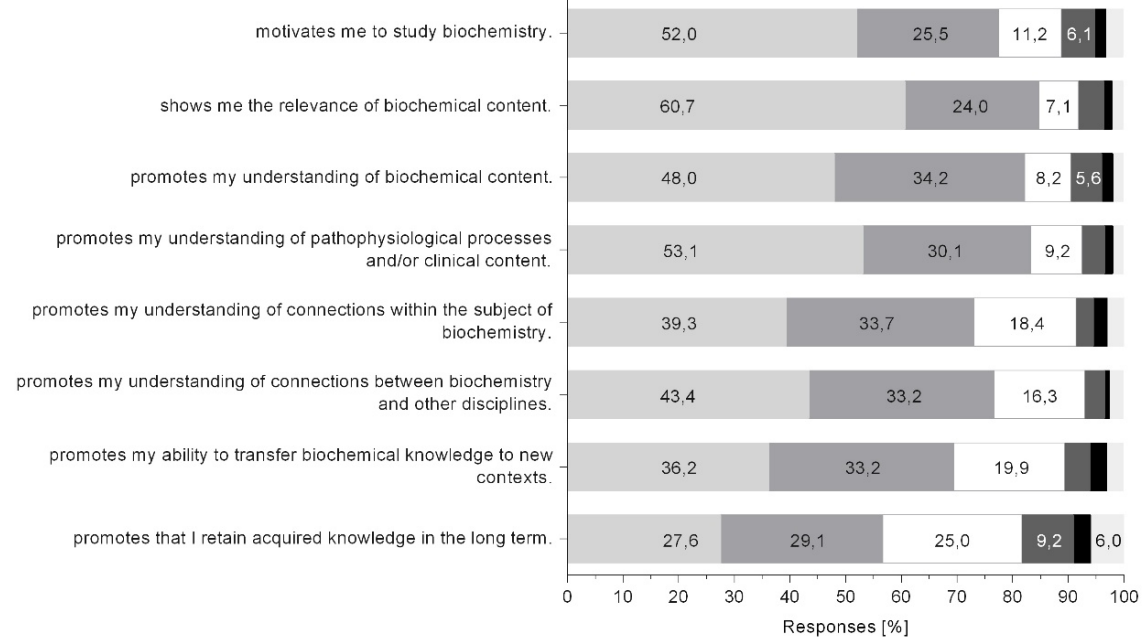


## B



## C

Combination of biochemical with clinical and theoretical clinical content...



strongly agree agree neither agree nor disagree disagree strongly disagree no response

**Figure 6: Evaluation of the spiral curriculum for biochemistry by BMM students**

Numbers correspond to percentages of all students of semesters 1-10 who completed the questionnaire fully or in part (n=196). A Evaluation of the curriculum structure, B Evaluation of the learning process, and C Impact of vertical integration. The survey was conducted using an electronic questionnaire comprising 15 items. Each item was rated on a 5-point Likert scale, with the additional option "I don't know"

moted their understanding of pathophysiological processes and clinical learning content (83.2% agreement) as well as the connections between biochemistry and clinical disciplines (76.5% agreement). In addition, the majority of students felt that integration promoted their ability to transfer biochemical knowledge to new contexts (69.4% agreement) and to retain acquired knowledge in the long term (56.6% agreement) (see figure 6 C).

## 4. Discussion

The spiral curriculum for biochemistry in the BMM meets the requirements specified in terms of subject systematics and provides an appropriate representation of the subject biochemistry in both breadth and depth. On the one hand, all learning spirals taken together show that the traditional biochemical topics are covered extensively in terms of breadth (see attachment 1). On the other hand, the exemplary learning spiral nucleic acids demonstrates depth of coverage by covering the relevant chapters of the GK and NKLM (see attachment 2). In addition, the majority of students state that earlier classes in the curriculum provide foundation for later classes (see figure 6 A), which suggests that the curriculum does not have any major gaps. This is also indicated by the at least equivalent learning success in the PTM (see figure 5).

A characteristic feature of the spiral curriculum for biochemistry is that it possesses a relatively small number of TH. Its total number of 148 is substantially lower than that of other medical study programmes, which we have derived from five randomly selected, publicly available study regulations (304 to 397 TH for the subjects of chemistry, biochemistry and molecular biology) [15], [16], [17], [18], [19]. This is a consequence of didactic reduction [20] that takes place in the BMM on three levels: “tailoring to the level of knowledge in the early stages of the study programme”, “focusing on essential concepts with exemplary learning” and “reducing the number of topics in individual classes”. At the same time, PBL is the central teaching/learning format and students work on biochemical learning objectives in PBL-guided self-study without this being reflected in the TH [4]. Another feature of the spiral curriculum for biochemistry is that subject boundaries may shift, e.g. in the learning spiral nucleic acids between biochemistry and biology or pharmacology (see attachment 2). Such shifts occur several times in the curriculum. They are explicit assignments of responsibility made during interdisciplinary module planning conferences and apply to learning content at the intersection of several subjects.

One risk of spiral curricula expressed by critics is that dividing the subject into various, small content units could result in a loss of internal logic, making it difficult for students to recognise subject-inherent connections [2], [10]. The example of the nucleic acids learning spiral shows that the spiral curriculum does follow an internal logic and is structured from simple to complex and more detailed learning content (see attachment 2). From the

students' perspective, the internal logic is reflected, for instance, in a functional structure and the development of the learning material from simple to complex (see figure 6 A). In addition, the majority of students regards the re-visiting of biochemical topics positively, particularly in respect to characteristic elements of learning spirals, namely the activation and consolidation of prior knowledge as well as its connection to new information [21] (see figure 6 B). The repeated engagement with content is a typical feature of spiral curricula and provides the basis for students to derive broader basic science concepts and general principles [5]. The students' perception that both their understanding of biochemical content and their ability to identify subject-inherent connections are promoted (see figure 6 C) suggests that the subject of biochemistry is accessible for students due to its comprehensible internal logic. This perception is confirmed by the students' learning success in biochemistry, which is at least equivalent to that of students in other model and traditional study programmes (see figure 5).

The degree of curricular integration can be evaluated using the integration ladder developed by Harden [22], [23], [24]. This defines 11 levels: from isolation (subject-specific teaching without awareness of the other subjects' teaching content) to transdisciplinarity (complete dissolution of subject boundaries and immersion in the clinical learning environment). The spiral curriculum for biochemistry in the BMM can be classified as level 9, multidisciplinary [24]. The prerequisite for this high degree of integration is created by the structure of the BMM, in particular by the organ- and topic-related modules, the central importance of PBL and the resulting focus of the learning process on interdisciplinary problems. The decisive factor for classification at level 9 is the complete integration of the spiral curriculum for biochemistry throughout the entire length of the study programme and across all structural levels. Biochemistry views topics through its subject's lens and contributes to the students' understanding through the biochemical perspective. While the subject identity is retained, subject autonomy is largely abandoned [24]. This is evident, for example, in examinations, which take place at the end of each semester as joint interdisciplinary exams across several modules. According to the students' perception, vertical integration promotes understanding of clinical learning content and the connections between biochemistry and other subjects (see figure 6 C). Furthermore, vertical integration highlights the relevance of biochemical learning content and has a motivating effect (see figure 6 C). This demonstrates the successful implementation of the principles of vertical integration and confirms the opportunities associated with its use.

### 4.1. Limitations

One limitation of the accompanying study is that, due to the relatively low number of students in the BMM, the survey was conducted with students from all semesters. Given that students in the early study phase have not yet

completed the entire curriculum, it cannot be ruled out, that this affects the evaluation. Naturally students are, apart from the BMM, not familiar with any other biochemical curriculum and therefore unable to compare its structure and effects, which limits the significance of the results. In addition to the systematics of the spiral curriculum for biochemistry of the BMM, students come into contact with the traditional subject systematics of biochemistry through textbooks and other learning resources. The accompanying study was not designed to investigate the effect of the spiral curriculum's subject systematics on learning behaviour and success under controlled conditions, i.e. free from the influences of other subject systematics. The findings are therefore limited to the effects of the subject systematics of the spiral curriculum in the real world learning environment.

Limitations of the BMM's spiral curriculum include the considerable time required for consultation and coordination between the individual disciplines and the difficulty of incorporating thematic advancements and new scientific findings into the curriculum [25]. In addition, the various learning spirals in the BMM's spiral curriculum for biochemistry vary in size, and it cannot be ruled out that the expansion of individual learning spirals, such as biochemical laboratory techniques, would have a positive effect on the students' overall understanding.

## 5. Conclusion

With the spiral curriculum for biochemistry in the BMM, we have developed and successfully implemented a curriculum that implements the central recommendations for the further improvement of basic science medical education, as stated by the German Science and Humanities Council [1] and the drafts for the amendment of the ÄApprO of 2020 and 2023 [26], [27].

Regardless of the current uncertainty in respect to content and timing of the amendment of the ÄApprO, we would like to use this specific example to foster the discussion on the further improvement of medical education, in particular by strengthening vertical integration, and to support curricular development processes both in medical education and in other health professions.

## Notes

### Use of AI-supported programmes

DeepL Pro (DeepL AI GmbH) was used for the first draft of the English translation of the manuscript. The draft was subsequently reviewed and revised by the authors, who take full responsibility for the content.

## Authors' ORCIDs

- Jenny Engelmann: [0009-0004-4705-0037]
- Julia Schendzielorz: [0000-0003-2471-094X]
- Fabian Otte: [0009-0008-3068-5967]
- Meike Hoffmeister: [0000-0003-3561-5286]
- Stefanie Oess: [0000-0001-7381-1216]

## Acknowledgements

We thank Andreas Winkelmann (Institute of Anatomy, MHB) for his conceptual support in assessing learning success, Maren März and Iván Roselló Atanet (Charité, Berlin) for providing the original PTM data and their support in the analysis, and Luca Caramenti (Institute of Biostatistics and Registry Research/Centre for Clinical Studies, MHB) for statistical support. We would also like to thank the student assistants/doctoral candidates at the Institute of Biochemistry, in particular Vivien Latuske and Ronny Gierecki, for piloting the questionnaire. We thank Steve Swendeman (Boston) for help with the English translation.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## Attachments

Available from <https://doi.org/10.3205/zma001857>

1. Attachment\_1.pdf (118 KB)  
Learning spirals within the spiral curriculum for biochemistry in the BMM
2. Attachment\_2.pdf (191 KB)  
Learning spiral of nucleic acids
3. Attachment\_3.pdf (114 KB)  
Participation in the Progress Test Medicine (PTM)

## References

1. Wissenschaftsrat. Neustrukturierung des Medizinstudiums und Änderung der Approbationsordnung für Ärzte. Empfehlungen der Expertenkommission zum Masterplan Medizinstudium 2020. Köln: Wissenschaftsrat; 2018. Zugänglich unter/available from: <https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/7271-18.html>
2. Wijnen-Meijer M, van den Broek S, Koens F, Ten Cate O. Vertical integration in medical education: the broader perspective. *BMC Med Educ.* 2020;20(1):509. DOI: 10.1186/s12909-020-02433-6

3. Reinsch S, Walther J, Oess S, Tschorr W, Nübel J, Schwanemann J, Leineweber CG. Socialization, Professional Identity Formation and Training for Uncertainty: Comparison of Student- and Clinician-Lead Problem Based Learning Groups in the First Year of Medical Education. *J Problem Based Learn High Educ.* 2023;11(1):60-78. DOI: 10.54337/ojs.jpblhe.v11i1.7372
4. Winkelmann A, Schendzielorz J, Maske D, Arends P, Bohne C, Hölzer H, Harre K, Nübel J, Otto B, Oess S. The Brandenburg reformed medical curriculum: study locally, work locally. *GMS J Med Educ.* 2019;36(5):Doc49. DOI: 10.3205/zma001257
5. Brauer DG, Ferguson KJ. The integrated curriculum in medical education: AMEE Guide No. 96. *Med Teach.* 2015;37(4):312-322. DOI: 10.3109/0142159X.2014.970998
6. Kaufman DM, Mann KV. Teaching and Learning in Medical Education: How Theory can Inform Practice. In: Swanwick T, editors. *Understanding Medical Education: Evidence, Theory and Practice.* Weinheim: Wiley-VCH; 2010. p.16-36. DOI: 10.1002/9781444320282.ch2
7. Knowles MS. *The modern practice of adult education from pedagogy to andragogy.* Cambridge: The Adult Education Company; 1980.
8. Ambrose SA, Bridges MW, DiPietro M, Lovett MC, Norman MK. *How Learning Works: Seven Research-Based Principles for Smart Teaching.* Weinheim: Jossey-Bass/Wiley; 2010.
9. Regehr G, Norman GR. Issues in cognitive psychology: implications for professional education. *Acad Med.* 1996;71(9):988-1001. DOI: 10.1097/00001888-199609000-00015
10. Benbassat J, Bauml R. A proposal for teaching basic clinical skills for mastery: the case against vertical integration. *Acad Med.* 2007;82(1):83-91. DOI: 10.1097/01.ACM.0000249875.80170.92
11. Heinrich PC, Müller M, Graeve L, Koch HG, editors. *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie.* 10. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer; 2022. DOI: 10.1007/978-3-662-60266-9
12. Müller-Esterl W. *Biochemie. Eine Einführung für Mediziner und Naturwissenschaftlicher.* Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum; 2018. DOI: 10.1007/978-3-662-54851-6
13. Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen. *IMPP-Gegenstandskatalog für den schriftlichen Teil des Ersten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung, Teilkatalog „Chemie für Mediziner und Biochemie/Molekularbiologie“.* Mainz: Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen; 2014. Zugänglich unter/available from: <https://www.impp.de/pruefungen/allgemein/gegenstandskataloge.html?file=files/PDF/Gegenstandskataloge/Medizin/GK>
14. Nouns ZM, Georg W. Progress testing in German speaking countries. *Med Teach.* 2010;32(6):467-470. DOI: 10.3109/0142159X.2010.485656
15. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. *Studienordnung (StO) für den Studiengang Medizin an der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster mit dem Abschluss „Ärztliche Prüfung“ (Staatsexamen) vom 25. März 2014.* Münster: Westfälische Wilhelms-Universität Münster; 2014. Zugänglich unter/available from: [https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/wwu/ab\\_uni/ab2014/ausgabe14/beitrag\\_04.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/wwu/ab_uni/ab2014/ausgabe14/beitrag_04.pdf)
16. Universität Düsseldorf. *Studien- und Prüfungsordnung für den Modellstudiengang Medizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf vom 07. Oktober 2013 ergänzt durch die Zweite Ordnung zur Änderung der Studien- und Prüfungsordnung vom 27. September 2019.* Düsseldorf: Universität Düsseldorf; 2019. Zugänglich unter/available from: [https://www.medizinstudium.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Medizinische\\_Fakultaet/Medizinstudium/Dokumente/Ordnungen\\_und\\_Regularien/Modellstudiengang/Studien-\\_und\\_Pruefungsordnung\\_fuer\\_den\\_Modellstudiengang.pdf](https://www.medizinstudium.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Medizinische_Fakultaet/Medizinstudium/Dokumente/Ordnungen_und_Regularien/Modellstudiengang/Studien-_und_Pruefungsordnung_fuer_den_Modellstudiengang.pdf)
17. Universität zu Köln. *Studienordnung (StO) für den Modellstudiengang Humanmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln mit dem Abschluss "Ärztliche Prüfung" vom 16. März 2021.* Köln: Universität zu Köln; 2021. Zugänglich unter/available from: [https://medfak.uni-koeln.de/sites/medfakdekanat/studium\\_lehre/Downloads/AM\\_2021-23\\_StO\\_Humanmedizin\\_ger.pdf](https://medfak.uni-koeln.de/sites/medfakdekanat/studium_lehre/Downloads/AM_2021-23_StO_Humanmedizin_ger.pdf)
18. Goethe-Universität Frankfurt. *Studienordnung für den Studiengang Medizin an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main mit dem Abschluss Ärztliche Prüfung vom 3. Juli 2014 in der Fassung vom 2. Mai 2019. Mit den Änderungen vom 7. Juli 2022. Nichtamtliche Lesefassung.* Frankfurt/Main: Goethe-Universität Frankfurt; 2022. Zugänglich unter/available from: [https://www.uni-frankfurt.de/123355454/Medizin\\_\\_StaatsEx\\_\\_nichtamtliche\\_Lesefassung.pdf](https://www.uni-frankfurt.de/123355454/Medizin__StaatsEx__nichtamtliche_Lesefassung.pdf)
19. Universität Duisburg-Essen. *Studienordnung für den Studiengang Medizin an der Universität Duisburg-Essen mit dem Abschluss der Ärztlichen Prüfung (Staatsexamen) vom 17. März 2004 zuletzt geändert durch vierundzwanzigste Änderungsordnung vom 05. März 2025.* Essen: Universität Duisburg-Essen; 2025. Zugänglich unter/available from: [https://www.uni-due.de/imperia/md/content/zentralverwaltung/bereinigte\\_sammlung/9-26.pdf](https://www.uni-due.de/imperia/md/content/zentralverwaltung/bereinigte_sammlung/9-26.pdf)
20. Lehner M. *Didaktische Reduktion.* Bern: Haupt Verlag; 2020. DOI: 10.36198/9783838537153
21. Harden RM. What is a spiral curriculum? *Med Teach.* 1999;21(2):141-143. DOI: 10.1080/01421599979752
22. Allouch S, Ali RM, Al-Wattary N, Nomikos M, Abu-Hijleh MF. Tools for measuring curriculum integration in health professions' education: a systematic review. *BMC Med Educ.* 2024;24(1):635. DOI: 10.1186/s12909-024-05618-5
23. Baig N, Siddiqui F, Baig MA, Khursheed I, Meah KM. Level of integration in current undergraduate curricula of two private-sector medical colleges in Karachi. *Can Med Educ J.* 2022;13(3):84-90. DOI: 10.36834/cmef.73910
24. Harden RM. The integration ladder: a tool for curriculum planning and evaluation. *Med Educ.* 2000;34(7):551-557. DOI: 10.1046/j.1365-2923.2000.00697.x
25. Dahle LO, Brynhildsen J, Behrbohm Fallsberg M, Rundquist I, Hammar M. Pros and cons of vertical integration between clinical medicine and basic science within a problem-based undergraduate medical curriculum: examples and experiences from Linköping, Sweden. *Med Teach.* 2002;24(3):280-285. DOI: 10.1080/01421590220134097
26. Bundesministerium für Gesundheit. *Verordnung zur Neuregelung der ärztlichen Ausbildung, Referentenentwurf 17.11.2020.* Berlin: Bundesministerium für Gesundheit; 2020. Zugänglich unter/available from: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/gesetze-und-verordnungen/detail/verordnung-zur-neuregelung-der-aerztlichen-ausbildung>
27. Bundesministerium für Gesundheit. *Verordnung zur Neuregelung der ärztlichen Ausbildung, Überarbeiteter Referentenentwurf 15.06.2023.* Berlin: Bundesministerium für Gesundheit; 2023. Zugänglich unter/available from: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/gesetze-und-verordnungen/detail/verordnung-zur-neuregelung-der-aerztlichen-ausbildung>

**Corresponding author:**

Stefanie Oess  
Brandenburg Medical School Theodor Fontane (MHB),  
Institute of Biochemistry, Campus Neuruppin, Fehrbelliner  
Str. 38, Building D, D-16816 Neuruppin, Germany  
stefanie.oess@mhb-fontane.de

*This article is freely available from*  
<https://doi.org/10.3205/zma001857>

**Received:** 2025-06-20  
**Revised:** 2025-12-22  
**Accepted:** 2026-02-16  
**Published:** 2026-06-15

**Please cite as**

Engelmann J, Schendzielorz J, Otte F, Bertram A, Hoffmeister M, Oess S.  
Vertical integration of biochemistry: The interdisciplinary spiral  
curriculum in the Brandenburg reformed medical study  
programme. *GMS J Med Educ.* 2026;43(5):Doc63.  
DOI: 10.3205/zma001857, URN: urn:nbn:de:0183-zma0018576

**Copyright**

©2026 Engelmann et al. This is an Open Access article distributed  
under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See  
license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

# Vertikale Integration der Biochemie: Das interdisziplinäre Spiralcurriculum im Brandenburgischen Modellstudiengang Medizin

## Zusammenfassung

**Zielsetzung:** Zentrale Forderung für die Weiterentwicklung des Medizinstudiums ist die vertikale Integration, insbesondere die enge Verknüpfung von grundlagenwissenschaftlichen und klinischen Lerninhalten. Im beschriebenen Projekt sollte ein interdisziplinäres Spiralcurriculum Biochemie mit eigener Fachsystematik entwickelt und implementiert werden, das in die organ- und themenbezogenen Module des Brandenburgischen Modellstudiengangs Medizin integriert ist und die lerntheoretischen Vorteile der vertikalen Integration nutzt. Der Projektbericht bietet ein konkretes Umsetzungsbeispiel für Praktiker\*innen.

**Methodik:** Die Entwicklung erfolgte in einem interdisziplinären Prozess. Der Lernerfolg wurde mit Hilfe des Progress Test Medizin vergleichend analysiert und die studentische Bewertung mittels eines Fragebogens evaluiert.

**Ergebnisse:** Das Spiralcurriculum Biochemie ist sowohl über den gesamten Studienverlauf als auch auf Ebene der Module, Modullernziele, Wochenthemen und interdisziplinären Lehrveranstaltungen vollständig in ein Z-Curriculum integriert. Ein exemplarisches Mapping mit NKLM und Gegenstandskatalog, der mit anderen Universitäten vergleichbare Lernerfolg und die Evaluation der Studierenden belegen die angestrebte Fachsystematik, die hochgradige vertikale Integration und deren positive Bewertung, z. B. in Bezug auf Relevanz und Förderung des Verständnisses der Lerninhalte. Gemäß Stufe 9 der Integrationsleiter nach Harden ist die biochemische Fachidentität erhalten, die Fachautonomie hingegen weitgehend aufgegeben.

**Schlussfolgerung:** Das Spiralcurriculum Biochemie setzt zentrale Forderungen zur Weiterentwicklung des Medizinstudiums um, demonstriert die erfolgreiche Anwendung der Prinzipien der vertikalen Integration und bestätigt die mit ihrem Einsatz verbundenen Chancen.

**Schlüsselwörter:** medizinische Ausbildung, Lehrplan, Lehre, Biochemie

Jenny Engelmann<sup>1</sup>  
Julia Schendzielorz<sup>2,3</sup>  
Fabian Otte<sup>1</sup>  
Alexander Bertram<sup>1</sup>  
Meike Hoffmeister<sup>1,2</sup>  
Stefanie Oess<sup>1,2,3</sup>

1 Medizinische Hochschule  
Brandenburg Theodor  
Fontane (MHB), Institut für  
Biochemie, Neuruppin,  
Deutschland

2 Fakultät für  
Gesundheitswissenschaften,  
Gemeinsame Fakultät der  
Universität Potsdam, der  
Medizinischen Hochschule  
Brandenburg und der BTU  
Cottbus-Senftenberg,  
Neuruppin, Deutschland

3 Medizinische Hochschule  
Brandenburg Theodor  
Fontane (MHB), Zentrum für  
Studiengangsentwicklung,  
Aus- und  
Weiterbildungsforschung  
(ZSAW-BB), Neuruppin,  
Deutschland

## 1. Einleitung

### 1.1. Hintergrund

Zentrale Forderungen für die Weiterentwicklung des Medizinstudiums sind der modulare, fächerübergreifende Studienaufbau unter Aufgabe der Trennung von vorklinischem und klinischem Abschnitt sowie die Verknüpfung von theoretischen und praktischen Inhalten über den gesamten Studienverlauf [1]. Für Grundlagenfächer wie die Biochemie ist die Entwicklung solcher interdisziplinärer Z-Curricula mit horizontaler Integration mit den anderen Grundlagenfächern sowie vertikaler Integration mit den

klinischen und klinisch-theoretischen Fächern eine Herausforderung (siehe Abbildung 1). Diese besteht insbesondere in der Anordnung der Ausbildungsinhalte entlang einer Fachsystematik bei gleichzeitiger inhaltlicher Eingliederung in organ- oder themenbezogene Module. Mit diesem Projektbericht geben wir ein konkretes Beispiel dafür, wie diese Forderungen umgesetzt und dabei die aus der Lehr-/Lerntheorie abgeleiteten Prinzipien für die Gestaltung vertikal integrierter Z-Curricula angewendet werden können. Wir wenden uns an Praktiker\*innen mit Verantwortung in der Lehre, Lehrorganisation und Curriculumsentwicklung, um Machbarkeit und Chancen aufzuzeigen, die fakultätsinterne wie auch -übergreifende Diskussion zu fördern und aktuelle Entwicklungsprozesse in der medizinischen Ausbildung zu unterstützen.

### Infobox: Begriffe und Definitionen

#### Vertikale Integration

Im engeren Sinne steht der Begriff für die Verbindung von grundlagenwissenschaftlichen mit klinischen Ausbildungsinhalten bzw. die Verbindung von Theorie und Praxis, einhergehend mit der Aufhebung der traditionellen Unterteilung in einen vorklinischen und einen klinischen Studienabschnitt. Im weiteren Sinne wird vertikale Integration als ein darüber hinausgehender pädagogischer Ansatz verstanden, der die Lernenden schrittweise in die professionelle Gemeinschaft einführt, indem sie, ihrem Wissensstand entsprechend, Verantwortung in der Versorgung von Patient\*innen übernehmen [2], [5]. Während der BMM viele Merkmale der vertikalen Integration im weiteren Sinne trägt, verwenden wir den Begriff im Kontext des biochemischen Curriculums in der Regel im engeren Sinne.

#### Z-Curriculum

Alle Fächer des Medizinstudiums umfassendes Curriculum mit bidirektionaler vertikaler Integration von klinischen und theoretischen Ausbildungsinhalten über den gesamten Studienverlauf. Klinische Inhalte bzw. klinisch-praktische Kompetenzen nehmen im Verlauf des Studiums kontinuierlich zu, grundlagenwissenschaftliche Inhalte entsprechend ab, was zur typischen Z-Struktur führt [1], [24].

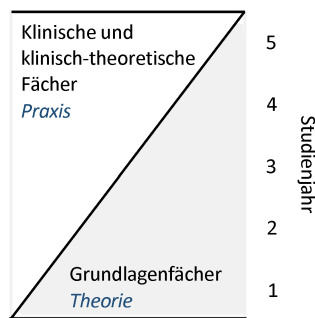


Abbildung 1: Zentrale Begriffe, ihre Definitionen und Verwendungen in diesem Projektbericht

## 1.2. Der Brandenburgische Modellstudiengang Medizin (BMM)

Der BMM ist ein Modellstudiengang nach §41 der Ärztlichen Approbationsordnung (ÄApprO, 2002). Struktur, Inhalte und Lehrphilosophie weisen Charakteristika umfassender vertikaler Integration auf [2]: Der BMM ist modular aufgebaut und verfügt über ein Z-Curriculum. Zu Beginn des Studiums beziehen grundlagenorientierte Module klinische und klinisch-theoretische Inhalte ein, während zum Ende des Studiums Grundlageninhalte in klinisch definierten Modulen aufgegriffen werden. Studierende sind vom ersten Studienjahr an mit zunehmend mehr Verantwortung in die Versorgung von Patient\*innen einbezogen (siehe Abbildung 1). Das Curriculum ist kompetenzbasiert; Lehre und Prüfung orientieren sich an zentral festgelegten kognitiven, anwendungsbezogenen und affektiven Lernzielen. Problemorientiertes Lernen (POL) ist das zentrale Lehr-/Lernformat und strukturiert das Curriculum: Die Woche beginnt und endet typischerweise mit der Bearbeitung eines auf das Wochenthema abgestimmten POL-Falls. Innerhalb dieses POL-Rahmens werden

#### Spiralcurriculum

Erstmals von Jerome Brunner 1960 formuliert und dadurch gekennzeichnet, dass Studierende Themen über den Studienverlauf hinweg mehrfach bearbeiten, wobei mit jedem Wiederaufgreifen Schwierigkeits-, Detail- bzw. Komplexitätsgrad zunehmen. Das wiederholte Aufgreifen von Themen mit steigendem Kompetenzniveau wird durch eine Spirale verbildlicht. Die Struktur der medizinischen Z-Curricula erlaubt und fördert die Anordnung von Lerninhalten in einem Spiralcurriculum [1], [21].

#### Lernspirale

Begriff wird vielseitig verwendet und ist eng mit dem Begriff Spiralcurriculum verbunden. Die Lernspirale kann die wiederkehrende Anordnung der Lerninhalte innerhalb des Spiralcurriculums bezeichnen und nimmt eher die Lernendenperspektive ein, wohingegen beim Spiralcurriculum die Gesamtheit aller Inhaltsstränge, also die Curriculumperspektive im Vordergrund steht. Hier verwenden wir den Begriff Lernspirale, um verschiedene Inhaltsstränge innerhalb des Spiralcurriculums Biochemie zu definieren und zu beschreiben [1], [5].

#### Didaktische Reduktion

Didaktische Methode, bei der Lerninhalte gezielt reduziert werden, um den Lernprozess zu fördern. Sie ist zentrales Element von Spiralcurricula, in denen in frühen Studienphasen Lerninhalte in Bezug auf Umfang, Detailtiefe und Komplexität reduziert werden, um sie auf Wissensstand und Fähigkeiten der Studierenden zuzuschneiden. Im Kontext des Medizinstudiums auch verwendet für die Beschreibung der Reduktion fachspezifischer Inhalte auf wesentliche Konzepte mit der Zielsetzung, Raum für übergeordnete Themen (kommunikative Kompetenzen, wissenschaftliches Arbeiten) zu schaffen. Kann sich auch auf einzelne Lehrveranstaltungen beziehen, bei denen die inhaltliche Fülle zugunsten der Verständlichkeit reduziert wird [22].

zwei interdisziplinäre Seminare (IDS), ein Praktikum und eine Übung Diagnostik und Therapie (ÜDT) angeboten, welche die Studierenden bei der Erreichung der selbstgesteckten Lernziele unterstützen. Ein IDS wird von zwei Dozierenden aus zwei Fachdisziplinen gemeinsam unterrichtet. Summative Prüfungen finden modulübergreifend jeweils am Semesterende statt und nutzen verschiedene Prüfungsformate, insbesondere Multiple Choice (MC)-Fragen, Objective Structured Clinical/Practical Examination (OSCE/OSPE)-Parcours und mündlich-praktische Prüfungen. In MC-Prüfungen wird der Fragenanteil pro Fach und Lernziel über einen zentral festgelegten Blueprint geregelt [3], [4].

## 1.3. Lerntheoretische Grundlage der vertikalen Integration

Die fachliche Integration grundlagenwissenschaftlicher Lerninhalte, insbesondere die vertikale Integration, wird mit verschiedenen Vorteilen verbunden, die sich aus lerntheoretischen Modellen und Evidenzen ableiten [2], [5]: Durch den klinischen Kontext erkennen die Studie-

renden die Relevanz der Grundlageninhalte und den Sinn des Lernens, was sie gemäß der Theorie des Erwachsenenlernens [6], [7] motiviert, sich mit den Lerninhalten auseinanderzusetzen. Ein weiterer Vorteil bezieht sich auf die Art und Weise, wie Wissen im Gedächtnis gespeichert und abgerufen wird und ist durch Erkenntnisse der Kognitionspsychologie [8], [9] belegt. Diese besagen, dass Wissen dann am effektivsten ist, wenn seine Organisation im Gedächtnis der Art der Nutzung entspricht. Im Kontext der medizinischen Ausbildung bedeutet dies, dass die Integration von Grundlageninhalten mit klinischen Beispielen und die explizite Verbindung der Konzepte beider Bereiche den Wissensabruf, die langfristige Wissensspeicherung und ein tieferes Verständnis fördern [2], [5]. Schließlich unterstützt die vertikale Integration durch die wiederholte Anwendung der Grundlagenwissenschaften zur Erklärung verschiedener klinischer Inhalte die tiefe Durchdringung der Grundlageninhalte sowie die Herleitung von übergreifenden grundlagenwissenschaftlichen Konzepten und somit die Übertragbarkeit des grundlagenwissenschaftlichen Wissens [5].

Eine zwangsläufige Konsequenz der Integration von Grundlageninhalten in klinische Kontexte ist die Verteilung auf viele, relativ kleine Einheiten, deren Anordnung durch die klinischen Lerninhalte mitbestimmt wird. Dies birgt die Gefahr, dass die Lehre nicht ausreichend systematisch bzw. der inneren Logik des Faches entsprechend erfolgt und Studierende größere, fachspezifische Zusammenhänge und das Gesamtbild nicht erkennen [2], [10].

## 1.4 Zielsetzung des hier vorgestellten Projekts

Für den BMM sollte ein interdisziplinäres Spiralcurriculum Biochemie mit vollumfänglicher inhaltlicher Integration in die Module und eigener Fachsystematik entwickelt werden. Die Integration sollte in einer Weise erfolgen, die nicht nur das Verständnis der klinischen Bezüge, sondern auch die Durchdringung der biochemischen Inhalte und Zusammenhänge fördert. In Bezug auf die Fachsystematik sollte berücksichtigt werden, dass bei didaktischer Reduktion das Fach in Breite und Tiefe angemessen abgedeckt ist und durch die entsprechende Wahl und Anordnung der Inhaltseinheiten in einer Lernspirale Studierende erst einfachere, weniger komplexe Inhalte erarbeiten, um auf dieses Vorwissen im Studienverlauf aufzubauen, es zu vertiefen und zu erweitern (siehe Abbildung 1).

## 2. Projektbeschreibung

### 2.1. Rahmenbedingungen und Vorgehensweise

Die Entwicklung des Spiralcurriculums Biochemie begann mit Berufung der Professur für Biochemie im Wintersemester (WiSe) 17/18. Zu diesem Zeitpunkt waren ca. 150 Studierende im BMM immatrikuliert und verteilten

sich auf die Fachsemester 2, 4 und 6. Die modulare Gesamtstruktur des BMM war entwickelt und in der Studienordnung festgeschrieben. Für die Fachsemester 1-6 waren die Modullernziele (einschließlich derjenigen zu biochemischen Inhalten) sowie die Lehrveranstaltungen (LV) mit biochemischer Beteiligung festgelegt.

Die Entwicklung des Spiralcurriculums Biochemie erfolgte in einem interdisziplinären Prozess, an dem Professur und Mitarbeitende des Instituts für Biochemie, das Referat für Curriculumentwicklung (heute ZSAW-BB), Kolleg\*innen der Grundlagen-, der klinischen und klinisch-theoretischen Fächer sowie Studierende des BMM beteiligt waren. Die bestehenden Lernziele mit biochemischem Bezug sowie die Zuordnung der Biochemie zu Lehrveranstaltungen der Fachsemester 1-6 wurden im WiSe 17/18 überarbeitet. Die Entwicklung für die Fachsemester 7-10 folgte sukzessive bis zum Sommersemester (SoSe) 19. Der interdisziplinäre Austausch fand formalisiert im Rahmen von regelmäßigen Modulplanungssitzungen sowie im informellen Austausch statt. Alle Entwicklungsergebnisse wurden durch den Studienausschuss bestätigt.

## 2.2. Spiralcurriculum Biochemie

### 2.2.1. Umfang, Verteilung und Formate der biochemischen Lehr-/Lernveranstaltungen

Das Spiralcurriculum Biochemie erstreckt sich von Fachsemester 1-10 und das Fach Biochemie ist in 16 der 30 Module des BMM vertreten (siehe Abbildung 2). Es umfasst 72 individuelle LV mit insgesamt 148 Lehrveranstaltungsstunden (LVS). Von insgesamt 1513 LVS modulabhängiger, fachspezifischer Lehre (ohne Wissenschafts- und Stationspraktikum) entfallen somit 9.8% auf LV, die durch die Biochemie oder mit ihrer Beteiligung unterrichtet werden. Dem Prinzip des Z-Curriculums folgend liegt die Mehrzahl dieser LV im 1. und 2. Studienjahr (siehe Abbildung 3 A/B). Die Hälfte der LV der Biochemie sind IDS, die andere Hälfte verteilt sich auf Tutorien, Praktika, ÜDT, Vorlesungen und Seminare (siehe Abbildung 3 C). Von den IDS finden 5 (14%) in horizontaler Integration mit den Grundlagenfächern Anatomie und Physiologie statt, die überwiegende Mehrheit (31; 86%) ist vertikal mit klinischen und klinisch-theoretischen Fächern integriert. Insgesamt kooperiert die Biochemie im Rahmen der IDS über den Studienverlauf hinweg mit 16 verschiedenen Fachrichtungen.

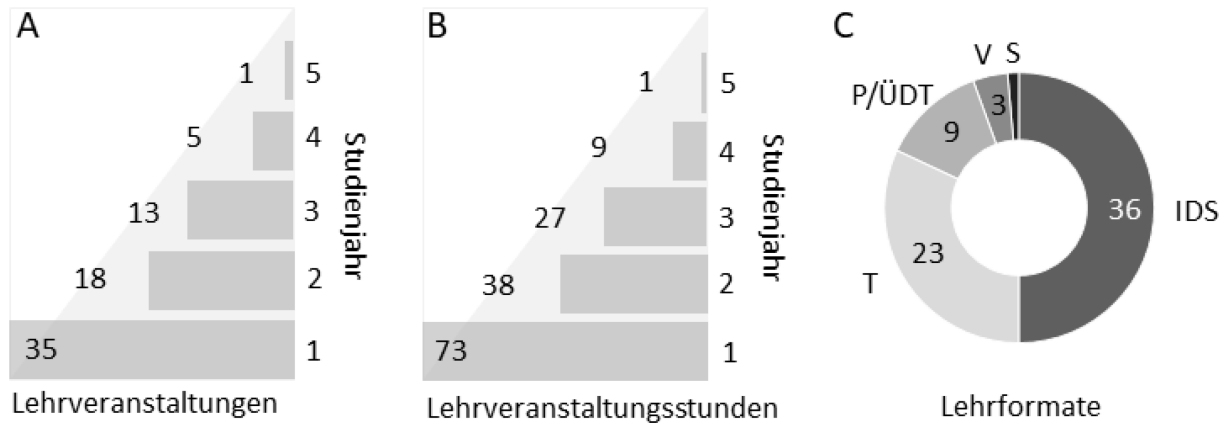
### 2.2.2 Lernspiralen biochemischer Themen

Im Spiralcurriculum Biochemie verteilen sich die biochemischen Themen auf insgesamt 23 Lernspiralen (siehe Anhang 1). Die einzelnen Lernspiralen entsprechen den klassischen biochemischen Themensträngen, die von Mitarbeitenden des Instituts für Biochemie induktiv aus zwei Standardlehrwerken [11], [12] entwickelt wurden. Alle Lernspiralen werden in mindestens drei verschiedenen Modulen adressiert und beziehen sich auf vier oder mehr Modullernziele.

Woche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
<b>Erster Studienabschnitt</b>																		
1. Semester	Einführung*	Bewegung*		Notfall I		Herz-Kreislauf-System*										Prüfung		
2. Semester	Atmung*		Praxis-tag		Blut*		Ernährung/Verdauung/Stoffwechsel*										Prüfung	
3. Semester			Nervensystem*		Praxis-tag		Entzündung/Abwehr*										Prüfung	
4. Semester	Elektrolyte/Niere*		Praxis-tag		Haut		Erleben und Verhalten*										Prüfung	
5. Semester	Notfall II		Sinnessysteme		Praxis-tag		Hormonsystem/Geschlechtsorgane/Sexualität*										Prüfung	
<b>Zweiter Studienabschnitt</b>																		
6. Semester	Gesundheitsversorgung		Bio-metrie		Wissenschaftspraktikum*												Prüfung	
7. Semester	Klinisches Denken und Handeln*		Wahlpflichtfach Spezialgebiete		Klinisches Denken und Handeln		Arbeits-medicin										Prüfung	
8. Semester	Gynäkologie/Geburtshilfe*		Kinderheilkunde*		WFA		Chirurgie										Prüfung	
9. Semester	Psychiatrie		Neurologie		WFA												Prüfung	
10. Semester	Innere Medizin		Geriatric*		Prüfung		Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung											
<b>Dritter Studienabschnitt</b>																		
11. Semester	Praktisches Jahr																	
12. Semester	3 x 16 Wochen: Chirurgie, Innere Medizin, Wahlfach																	

**Abbildung 2: Repräsentation des Faches Biochemie im BMM**

Module, an deren Durchführung das Fach Biochemie beteiligt ist, sind mit einem Stern \* gekennzeichnet. Darstellung gemäß der Studienordnung des BMM in der Fassung vom 21.07.2022. AINS: Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie; WFA: Wahlfach Ambulante Grundversorgung



**Abbildung 3: Z-Curriculum der Biochemie im BMM**

A Verteilung der Lehrveranstaltungen, die durch die Biochemie oder unter ihrer Beteiligung durchgeführt werden, über die ersten fünf Studienjahre des BMM. B Umfang der in A dargestellten Lehrveranstaltungen in Lehrveranstaltungsstunden (45 min). C Verteilung der Lehrveranstaltungen auf die Lehrformate interdisziplinäres Seminar (IDS), Tutorium (T), die praktischen Lehrformate Praktikum (P) sowie Übung Diagnostik und Therapie (ÜDT), Vorlesung (V) und Seminar (S)

### 2.2.3. Detaillierte Darstellung der Lernspirale Nukleinsäuren

Die Lernspirale Nukleinsäuren erstreckt sich über die Fachsemester 1-10 und ist in 9 verschiedene Module integriert (siehe Anhang 2). Sie verteilt sich auf 24 biochemische Inhaltseinheiten, die zu Studienbeginn einfacher und weniger komplex aufgebaut sind und im Studienverlauf zunehmend vertieft und erweitert werden. Alle Inhaltseinheiten adressieren eines oder mehrere der zentral festgelegten Modullernziele. Diese sind entweder explizit als fachspezifisches, auf das Thema Nukleinsäuren ausgerichtetes Lernziel formuliert oder integrieren den Nukleinsäure-Aspekt in ein organ- oder klinisch orientiertes Lernziel. 18 der Inhaltseinheiten stehen in direktem Bezug zum Wochenthema bzw. dem POL-Fall der Woche. Für diese Inhaltseinheiten ist das IDS das am häufigsten gewählte Lehrformat und die interdisziplinäre Integration des Themas Nukleinsäuren in das Wochenthema steht im Vordergrund. Inhaltseinheiten, die nicht in direktem Bezug zum POL-Fall bzw. Wochenthema stehen, werden größtenteils im Flipped Classroom Format umgesetzt. Den asynchronen Anteil können die Studierenden zu einem selbstgewählten Zeitpunkt auf der Lernplattform (LP) bearbeiten. Der synchrone Anteil findet als Tutorium (T) statt und ist nicht fest einer bestimmten Modulwoche zugeordnet. Die im Lehrformat LP/T adressierten Inhalte sind einerseits stärker grundlagenorientiert; andererseits werden explizit konkrete modulübergreifende Längsbezüge im Spiralcurriculum hergestellt.

Alle biochemischen Inhaltseinheiten bzw. Modullernziele stehen in Bezug zu den Inhalten des Nationalen Kompetenzbasierten Lernzielkatalogs Medizin (NKLM) [<https://nkml.de/zen/menu>] und des Gegenstandskatalogs (GK) „Chemie für Mediziner und Biochemie/Molekularbiologie“ [13]. Sie sind fast ausschließlich den Kapiteln 12, 19.1 und 19.2 des GK zuzuordnen, die sich explizit mit Nukleinsäuren bzw. der Speicherung, Übertragung und Expression genetischer Information beschäftigen, sowie Unterkapiteln, bei denen diese Aspekte in

andere Themenbereiche (z. B. Erythropoese) integriert sind. Darüberhinaus werden in geringem Umfang Inhalte, die im GK „Biologie für Mediziner“ aufgeführt sind, von der Biochemie unterrichtet. Im Gegenzug finden sich einige wenige Inhalte, die typischerweise vom Fach Biochemie abgedeckt werden, im BMM in der Zuständigkeit anderer Fächer, z. B. das Thema „antibiotisches Wirkprinzip der Sulfonamide“ (GK 19.1.1) bei der Pharmakologie.

### 2.2.4. Berührungspunkt mehrerer biochemischer Lernspiralen im IDS Gelenkschmerz

Im Spiralcurriculum Biochemie treffen in den einzelnen LV in der Regel mehrere Lernspiralen aufeinander, wie nachfolgend für das IDS Gelenkschmerz aus der Lernspirale Nukleinsäuren exemplarisch gezeigt. Das IDS wird im Modul „Klinisches Denken und Handeln“ im 7. Fachsemester als gemeinsame Veranstaltung mit der Rheumatologie unterrichtet und dient der Erreichung des biochemischen Lernziels „Die Synthese sowie den Abbau von Nukleotiden in Grundzügen beschreiben können sowie Vorgänge, Symptome und Therapiemöglichkeiten der Störungen des Nukleotidstoffwechsels aus den Prinzipien der Synthese und des Abbaus ableiten und am Beispiel der Gicht erläutern können“. Durch die einzelnen Themenblöcke des biochemischen Teils werden sechs verschiedene Lernspiralen aufgegriffen, wobei sich der relative Zeitanteil für die Inhalte der verschiedenen Lernspiralen bzw. Themenblöcke unterscheidet (siehe Abbildung 4).

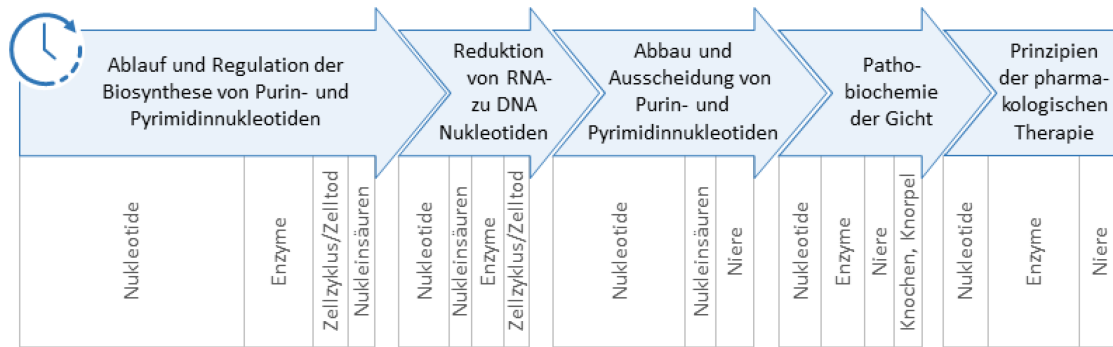


Abbildung 4: Im IDS Gelenkschmerz adressierte biochemische Lernspiralen

Schematische Darstellung der Struktur des IDS mitsamt der zeitlichen Abfolge der Themenblöcke (oben) und der darin aufgegriffenen Lernspiralen (unten). Die Breite der Boxen entspricht dem ungefähren relativen Zeitanteil für die Themenblöcke bzw. Lernspiralen

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Vergleichende Evaluation des Lernerfolgs mittels Progress Test Medizin (PTM)

Wir wollten prüfen, ob die Studierenden im Spiralcurriculum Biochemie des BMM, das in der Anordnung der Inhalte von der klassischen Fachsystematik abweicht, einen mit anderen Curricula vergleichbaren Lernerfolg im Fach Biochemie erzielen. Zu diesem Zweck haben wir den Lernerfolg in einer wissenschaftlichen Begleitstudie mit Hilfe des PTM [14] analysiert und dem der Studierenden der anderen teilnehmenden Universitäten gegenübergestellt.

#### 3.1.1. Analysemethode und Studienpopulation

Der PTM ist eine formative Prüfung auf Absolvent\*innenniveau [14]. Die Studierenden des BMM sind zur Teilnahme zu Beginn jeden Semesters verpflichtet. Analysiert wurden die PTM-Ergebnisse von SoSe 23, WiSe 23/24 und SoSe 24. Die teilnehmenden Universitäten bieten in der Mehrzahl Modellstudiengänge nach deutscher ÄApprO an (siehe Anhang 3 A). Die Zahl der auswertbar teilnehmenden Studierenden pro Fachsemester und Durchführung lag zwischen 452 (SoSe 23, 3. Fachsemester) und 1848 (SoSe 23, 4. Fachsemester) (siehe Anhang 3 B).

#### 3.1.2. Statistische Auswertung

Für Datenmanagement und statistische Analysen wurde die Statistik-Software R genutzt (Version 4.4.3; R Core Team, 2025). Die Normalverteilung der Werte wurde mittels Shapiro-Wilk-Test geprüft. Für die Analyse von Gruppenunterschieden wurde bei normalverteilten Werten in beiden Vergleichsgruppen (BMM und andere) ein t-Test durchgeführt, bei nicht normalverteilten Werten in einer der Vergleichsgruppen ein Mann-Whitney-U-Test. Signifikante Unterschiede werden ab p-Werten  $\leq 0,05$  angenommen. Die Nichtunterlegenheitstests wurden für normalverteilte Werte auf Grundlage des t-Tests, für nicht nor-

malverteilte Werte auf Grundlage des Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt. Es wurden jeweils sieben verschiedene Äquivalenzgrenzen  $\Delta$  ( $\Delta = \text{Cohen's } d * SD_{\text{andere}}$ ) getestet, um Effektstärken von Cohen's  $d=0,2$  (kleine Effekte) bis Cohen's  $d=0,8$  (große Effekte) zu untersuchen.

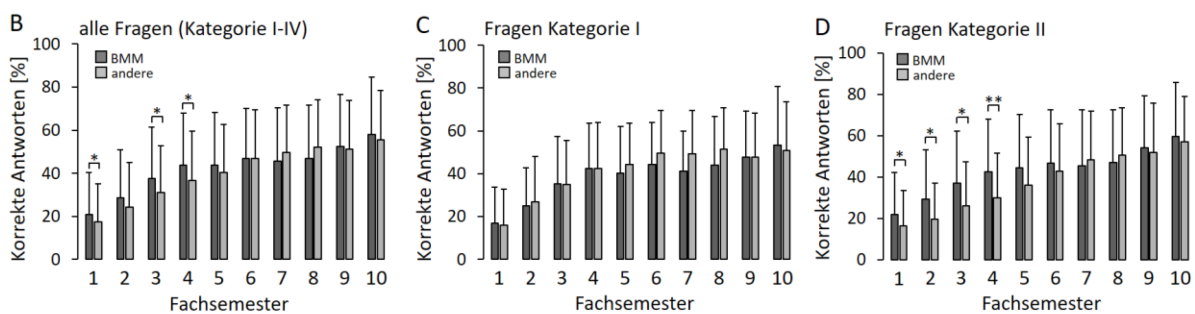
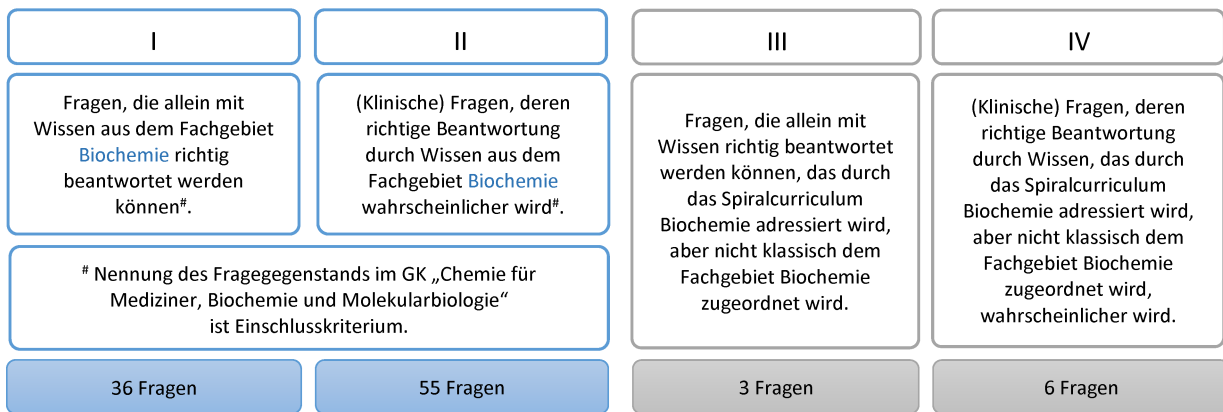
#### 3.1.3. Analytierte Fragen

Zur Auswahl der in die Analyse eingehenden Fragen des PTM haben wir vier Kategorien für Fragen mit biochemischem Bezug festgelegt (siehe Abbildung 5 A). Aus den insgesamt 600 PTM-Fragen haben wir in einem 2-stufigen Prozess 101 Fragen identifiziert und jeweils einer Kategorie zugeordnet: Im ersten Schritt wurden die Fragen durch zwei Mitglieder des Instituts für Biochemie unabhängig voneinander bewertet, ob sie einer der Kategorien entsprechen. Im zweiten Schritt wurden alle Fragen, die durch mindestens ein Mitglied benannt wurden, konsensuell durch mindestens 3 Mitglieder einer der Kategorien zugeordnet oder als keiner der Kategorien zugehörig bewertet. Die Nennung des Fragegegenstands im GK „Chemie für Mediziner, Biochemie und Molekularbiologie“ war Einschlusskriterium für Kategorie I oder II, unabhängig davon, ob der Inhalt im Spiralcurriculum Biochemie adressiert wurde (siehe Abbildung 5 A).

#### 3.1.4. Forschungsfrage 1: Unterscheiden sich die PTM-Ergebnisse der Studierenden des BMM im Bereich Biochemie signifikant von denen anderer Universitäten?

Zum Studienende (Fachsemester 10) und in der Mehrheit der Fachsemester war kein signifikanter Unterschied im Antwortverhalten zwischen den BMM-Studierenden und denen der Vergleichsuniversitäten festzustellen. In Fachsemester 1, 3 und 4 beantworteten die BMM-Studierenden signifikant mehr Fragen richtig, als die Studierenden der Vergleichsuniversitäten (siehe Abbildung 5 B). Eine Einzelauswertung der vier Kategorien ergab, dass es bei Fragen der Kategorie I, in der isoliert biochemische Inhalte geprüft wurden, keine signifikanten Unterschiede im Antwortverhalten gab (siehe Abbildung 5 C). Bei Fragen der Kategorie II, in denen biochemisches Wissen in klini-

A



**Abbildung 5: Vergleichende Analyse des Lernerfolgs aus dem Bereich Biochemie mit Hilfe des Progress Test Medizin (PTM)**  
 A Definitionen der Kategorien I-IV, einschließlich der Zahl der zugeordneten Fragen aus den PTM SoSe 23, WiSe 23/24 und SoSe 24. B-D Mittelwert±Standardabweichung des Anteils der im PTM korrekt beantworteten Fragen der Studierenden der Fachsemester 1-10 des BMM im Vergleich mit Studierenden der anderen am PTM teilnehmenden Universitäten (siehe Anhang 3). Zur statistischen Analyse wurde bei normalverteilten Daten ein t-Test, bei nicht normal-verteilten Daten ein Mann-Whitney-U-Test herangezogen. Signifikante Unterschiede werden ab p-Werten  $\leq 0,05$  angenommen. \* kennzeichnet signifikante Unterschiede mit einem p-Wert von  $\leq 0,05$ ; \*\* einen signifikanten Unterschied mit einem p-Wert von  $\leq 0,01$ .

sche Kontexte eingebettet war, gaben die Studierenden der Fachsemester 1-4 des BMM signifikant mehr korrekte Antworten als die Studierenden der Vergleichsuniversitäten (siehe Abbildung 5 D). Für die Fragen der Kategorie III und IV wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede beobachtet, wobei die statistische Aussagekraft für diese Kategorien durch die geringe Fragenanzahl von 3 bzw. 6 Fragen limitiert ist (Daten nicht gezeigt).

### 3.1.5. Forschungsfrage 2: Kann eine im Vergleich mit anderen Universitäten schlechtere Beantwortung der PTM-Fragen im Bereich Biochemie durch Studierende des BMM ausgeschlossen werden?

Da das Ausbleiben des Nachweises eines signifikanten Unterschieds nicht gleichbedeutend mit dem Nachweis einer Nichtunterlegenheit ist, wurde ein Nichtunterlegenheitstest durchgeführt. Zum Studienende (Fachsemester 10) konnte eine signifikante Unterlegenheit der Studierenden des BMM gegenüber denen der Vergleichsuniversitäten in Bezug auf Fragen der Kategorien I-IV ausgeschlossen werden (kleine Effektstärke von Cohen's  $d=0,2$  mit  $p \leq 0,05$ ; mittlere und starke Effekte von Cohen's

$d=0,5-0,8$  mit  $p \leq 0,001$ ). Über alle Fachsemester hinweg ließen sich mittlere und starke Effekte ausschließen (mittlere Effektstärke von Cohen's  $d=0,6$  mit  $p \leq 0,05$ ; starke Effekte von Cohen's  $d=0,8$  mit  $p \leq 0,001$ ). Insgesamt kann im Spiralcurriculum Biochemie ein mindestens gleichwertiger Lernerfolg nachgewiesen und eine Unterlegenheit ausgeschlossen werden.

## 3.2. Evaluation des Spiralcurriculums Biochemie durch die Studierenden des BMM

Das Spiralcurriculum Biochemie wurde mittels eines 15 Items umfassenden Fragebogens durch die Studierenden der Fachsemester 1-10 des BMM evaluiert. Jedes Item wurde auf einer 5-stufigen Likert-Skala bewertet, wobei zusätzlich die Option „kann ich nicht beantworten“ bestand. Der Fragebogen wurde mit einer Gruppe von 4 Studierenden pilotiert und angepasst. Die Befragung erfolgte im WiSe 24/25 freiwillig und anonym über die Web Applikation SoSci Survey [https://www.sosicisurvey.de/]. Mit der Teilnahme stimmten die Studierenden der Verwendung der Evaluationsergebnisse in einem Forschungsvorhaben zu. Es wurden keine personenbezogenen Daten

erhoben. Es besteht keine berufsrechtliche Beratungspflicht gemäß § 15 Berufsordnung der Landesärztekammer Brandenburg. Von den 574 per Email angeschriebenen Studierenden beantworteten 196 den Fragebogen ganz oder teilweise (Rücklaufquote 34.1%). Die semesterbezogene Rücklaufquote lag zwischen 49.3% (Fachsemester 3) und 21.6% (Fachsemester 8). Die Daten wurden deskriptiv statistisch ausgewertet. Die Anteile für „stimme voll und ganz zu“ und für „stimme zu“ wurden als „Zustimmung“ zusammengefasst.

In Bezug auf die Struktur des Spiralcurriculums Biochemie bewertete die Mehrheit der Studierenden, dass die biochemischen Lerninhalte so angeordnet sind, dass frühere Veranstaltungen die inhaltliche Grundlage für spätere Veranstaltungen legen (74,5% Zustimmung) und in Bezug auf ein Thema Detailgrad und Komplexität mit dem Studienverlauf zunehmen (65,3% Zustimmung). Die Häufigkeit und die Abstände, mit denen Themen wieder aufgegriffen werden, bewerteten die Studierenden mehrheitlich als sinnvoll (72,4% und 67,3% Zustimmung) (siehe Abbildung 6 A).

In Bezug auf ihren Lernprozess bewerteten die Studierenden mehrheitlich, dass sie bei Wiederaufgreifen eines Themas auf vorhandenes Wissen aufbauen können (59,2% Zustimmung), das Wiederaufgreifen bereits vorhandenes Wissen festigt (83,7% Zustimmung) und es ihnen erleichtert, neue Informationen zu verarbeiten (82,7% Zustimmung) (siehe Abbildung 6 B).

Die Studierenden gaben mehrheitlich an, dass die Verbindung von biochemischen mit klinischen und klinisch-theoretischen Lerninhalten die Relevanz der biochemischen Inhalte aufzeigt (84,7% Zustimmung), sie motiviert, die biochemischen Inhalte zu lernen (77,6% Zustimmung), und deren Verständnis sowie das Verständnis inhaltlicher Zusammenhänge innerhalb der Biochemie fördert (82,1% und 73% Zustimmung). Die Integration unterstützte in der Wahrnehmung der Studierenden zudem das Verständnis pathophysiologischer Vorgänge und klinischer Lerninhalte (83,2% Zustimmung) sowie inhaltlicher Zusammenhänge zwischen der Biochemie und den klinischen Fächern (76,5% Zustimmung). Darüber hinaus empfanden die Studierenden mehrheitlich, dass die Integration ihre Fähigkeit, biochemisches Wissen auf neue Kontexte zu übertragen (69,4% Zustimmung) und erarbeitetes Wissen langfristig zu behalten, fördert (56,6% Zustimmung) (siehe Abbildung 6 C).

## 4. Diskussion

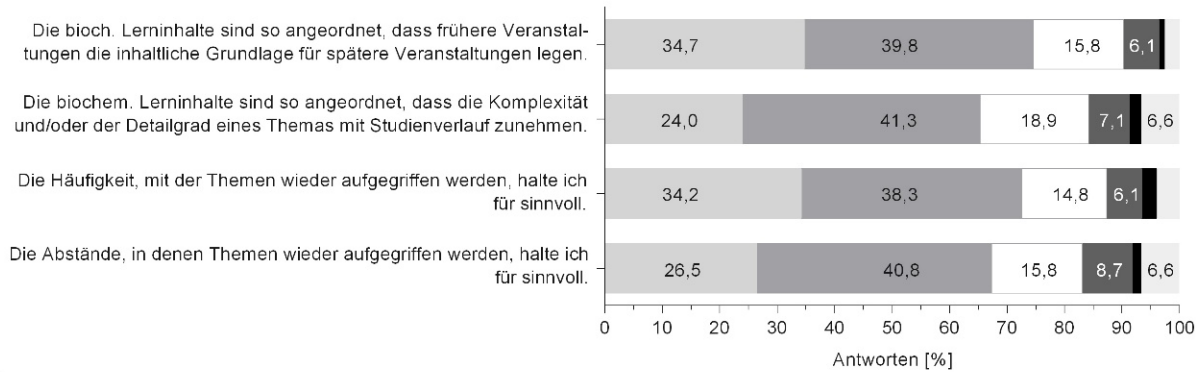
Das Spiralcurriculum Biochemie im BMM erfüllt die formulierte Anforderung in Bezug auf die Fachsystematik mit einer angemessenen Abbildung des Fachs Biochemie in Breite und Tiefe. Einerseits zeigt die Gesamtheit der Lernspiralen, dass die klassischen biochemischen Themen in der Breite weitgehend abdeckt sind (siehe Anhang 1). Andererseits belegt die exemplarisch dargestellte Lernspirale Nukleinsäuren durch die Abdeckung der relevanten Unterkapitel des GK bzw. NKLM die Abdeckung

in der Tiefe (siehe Anhang 2). Darüber hinaus geben die Studierenden mehrheitlich an, dass frühere Veranstaltungen im Curriculum die Grundlage für spätere Veranstaltungen legen (siehe Abbildung 6 A), was nahelegt, dass das Curriculum keine größeren inhaltlichen Lücken aufweist. Darauf weist auch der mindestens gleichwertige Lernerfolg im PTM hin (siehe Abbildung 5).

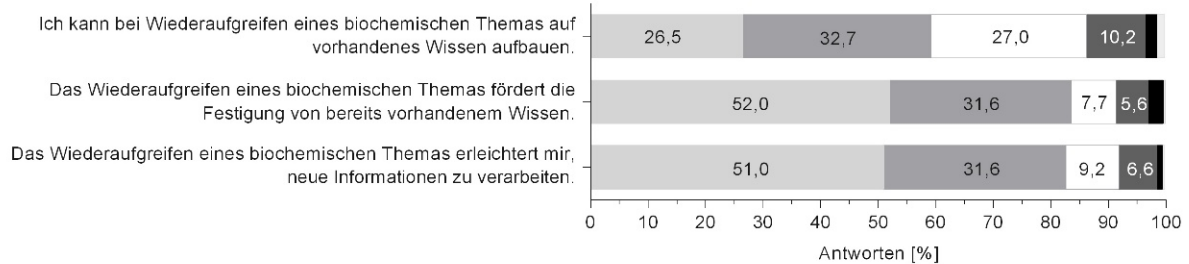
Ein Charakteristikum des Spiralcurriculums Biochemie ist, dass es einen relativ geringen Umfang an LVS aufweist. Mit insgesamt 148 LVS liegt dieser deutlich unter den Umfängen anderer Humanmedizinstudiengänge, die wir aus fünf stichprobenartig ausgewählten, öffentlich zugänglichen Studienordnungen abgeleitet haben (304 bis 397 LVS für die Fächer Chemie, Biochemie und Molekularbiologie) [15], [16], [17], [18], [19]. Dies ist Ausdruck der didaktischen Reduktion [20], die im BMM auf den drei Ebenen „Zuschneiden auf Wissensstand in frühen Studiumsphasen“, „Fokussierung auf wesentliche Konzepte mit exemplarischem Lernen“ und „Umfangsreduktion in einzelnen LV“ stattfindet. Gleichzeitig ist POL das zentrale Lehr-/Lernformat und die Studierenden bearbeiten biochemische Lernziele im POL-geleiteten Selbststudium, ohne dass sich dies in den LVS niederschlägt [4]. Eine weitere Besonderheit des Spiralcurriculums Biochemie ist, dass es zu Verschiebungen der Fächergrenzen kommt, z. B. in der Lernspirale Nukleinsäuren zwischen der Biochemie und der Biologie bzw. der Pharmakologie (siehe Anhang 2). Solche Verschiebungen kommen an mehreren Stellen im Curriculum vor. Sie sind explizite Zuweisungen von Verantwortung für einen bestimmten Ausbildungsinhalt, der im Grenzbereich mehrerer Fächer liegt, und erfolgen im Rahmen der interdisziplinären Modulplanungssitzungen.

Eine von Kritiker\*innen geäußerte Gefahr von Spiralcurricula besteht darin, dass durch die Aufteilung des Faches auf verschiedene, kleine Inhaltseinheiten die innere Logik verloren ginge und Studierende daher Mühe hätten, fachspezifische Zusammenhänge zu erkennen [2], [10]. Aus der exemplarisch dargestellten Lernspirale Nukleinsäuren ist abzulesen, dass das Spiralcurriculum einer Fachlogik folgt und von einfachen zu komplexen und detaillierten Lerninhalten aufgebaut ist (siehe Anhang 2). Aus der Perspektive der Studierenden zeigt sich die Fachlogik u. a. in einer sinnvollen Struktur und der Entwicklung des Lernstoffs von einfachen zu komplexen Inhalten (siehe Abbildung 6 A). Zudem sehen sie das Wiederaufgreifen von biochemischen Inhalten mit den für Lernspiralen gewünschten Elementen, nämlich Aktivierung und Festigung von Vorwissen sowie Anknüpfung von neuen Informationen [21], mehrheitlich positiv (siehe Abbildung 6 B). Durch die Spiralcurriculums-typische Struktur der wiederholten Auseinandersetzung mit Inhalten wird die Grundlage für die Ableitung übergeordneter Prinzipien und Konzepte gelegt [5]. Die Bewertung der Studierenden, dass sowohl das Verständnis der biochemischen Inhalte als auch das Erkennen von biochemischen Fachzusammenhängen gefördert wird (siehe Abbildung 6 C), legt nahe, dass das Fach Biochemie mit einer erfassbaren inneren Logik für die Studierenden zugänglich

## A

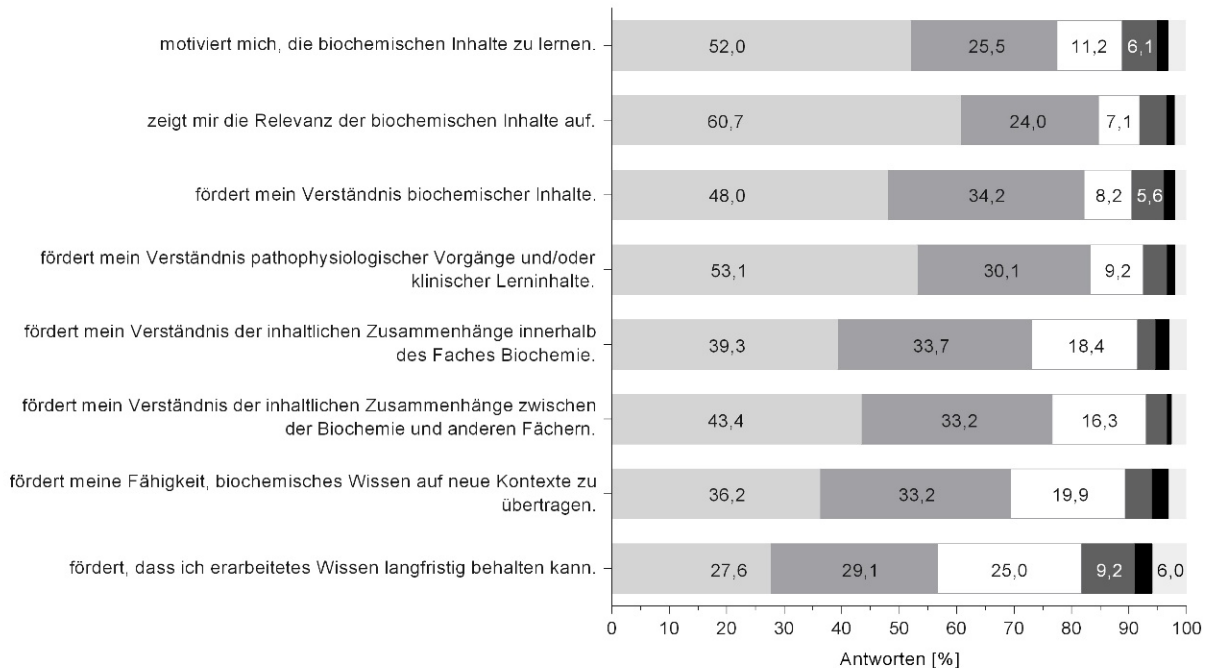


## B



## C

Die Verbindung von biochemischen mit klinischen bzw. klinisch-theoretischen Lerninhalten ...



stimme voll und ganz zu
  stimme zu
  weder noch
  stimme nicht zu
  stimme gar nicht zu
  nicht beantwortet

#### Abbildung 6: Evaluation des Spiralcurriculums Biochemie durch die Studierenden des BMM

Prozentualer Anteil aller Studierenden der Fachsemester 1-10, welche den Fragebogen ganz oder teilweise beantwortet haben (n=196), unterteilt nach A Evaluation der Curriculumsstruktur, B Evaluation des Lernprozesses sowie C Auswirkung der vertikalen Integration. Die Erhebung wurde mittels eines elektronischen Fragebogens durchgeführt, der 15 Items umfasste. Jedes Item wurde auf einer 5-stufigen Likert-Skala bewertet, wobei zusätzlich die Möglichkeit bestand, die Option „kann ich nicht beantworten“ auszuwählen

lich ist. Diese Einschätzung wird durch den Lernerfolg der Studierenden im Bereich Biochemie bestätigt, der mit dem der Studierenden anderer Modell- und Regelstudiengänge mindestens gleichwertig ist (siehe Abbildung 5). Der Grad der curricularen Integration kann mit Hilfe der von Harden entwickelten Integrationsleiter analysiert und bewertet werden [22], [23], [24]. Diese definiert 11 Stufen: von Isolation (fachspezifische Lehre ohne Kenntnis der Lehrinhalte anderer Fächer) bis Transdisziplinarität (vollständige Auflösung der Fächergrenzen und Immersion in die klinische Lernumgebung). Das Spiralcurriculum Biochemie im BMM ist auf Stufe 9 Multidisziplinarität zu verorten [24]. Die Voraussetzung für diesen hohen Grad der Integration wird durch die Struktur des BMM geschaffen, insbesondere durch die organ- und themenbezogenen Module, die zentrale Bedeutung von POL und die sich daraus ergebende Fokussierung des Lernprozesses auf fachübergreifende Probleme. Ausschlaggebend für die Einordnung auf Stufe 9 ist die vollständige Integration des Spiralcurriculums Biochemie über den gesamten Studienverlauf und alle strukturellen Ebenen hinweg. Dabei betrachtet die Biochemie die jeweiligen Themen aus Sicht der eigenen Fachdisziplin und trägt durch die biochemische Fachperspektive zum studentischen Verständnis des Themas bei. Während die Fachidentität erhalten bleibt, wird die Fachautonomie weitgehend aufgegeben [24]. Dies zeigt sich z. B. in den Prüfungen, die als gemeinsame fach- und modulübergreifende Prüfungen am Semesterende stattfinden. In der Einschätzung der Studierenden fördert die vertikale Integration das Verständnis klinischer Lerninhalte und der Zusammenhänge zwischen der Biochemie und anderen Fächern (siehe Abbildung 6 C). Darüber hinaus macht die vertikale Integration die Relevanz der biochemischen Lerninhalte deutlich und wirkt motivierend (siehe Abbildung 6C). Dies belegt die erfolgreiche Umsetzung der Prinzipien der vertikalen Integration und bestätigt die mit ihrem Einsatz verbundenen Chancen.

## 4.1 Limitationen

Eine Limitation der hier dargestellten Begleitstudie ist, dass aufgrund der relativ niedrigen Gesamtzahl an Studierenden im BMM die Befragung mit Studierenden aller Fachsemester durchgeführt wurde. Da Studierende der unteren Fachsemester das Gesamtcurriculum noch nicht vollständig durchlaufen haben, kann eine dadurch bedingte Beeinflussung des Evaluationsergebnisses nicht ausgeschlossen werden. Darüber hinaus kennen die Studierenden in der Regel kein anderes biochemisches Curriculum als das des BMM und können demnach Struktur und Auswirkungen nicht vergleichen, was die Aussagekraft limitiert. Ferner kommen die Studierenden neben der Systematik des Spiralcurriculums Biochemie des BMM über Lehrbücher und andere Lernressourcen selbstverständlich mit der klassischen Fachsystematik der Biochemie in Berührung. Die Begleitstudie hat nicht den Anspruch, die Auswirkung der Systematik des Spiralcurriculums auf Lernverhalten und -erfolg unter kontrollierten

Bedingungen – d.h. frei von den Einflüssen einer anderen Systematik – zu untersuchen. Ihre Aussage beschränkt sich folglich auf die Auswirkungen der Fachsystematik des Spiralcurriculums in der realen Lernumgebung. Als Limitationen des Spiralcurriculums im BMM sind der hohe Zeitaufwand durch den großen Absprache- und Koordinationsbedarf zwischen den einzelnen Fächern und die Schwierigkeit, thematische Weiterentwicklungen und neue Forschungserkenntnisse in das Curriculum einzubringen, zu nennen [25]. Darüber hinaus sind die verschiedenen thematischen Lernspiralen im Spiralcurriculum Biochemie des BMM unterschiedlich im Umfang und es ist nicht auszuschließen, dass sich die Ausweitung einzelner Lernspiralen, wie z. B. der biochemischen Labortechniken, positiv auf das Gesamtverständnis der Studierenden auswirken würde.

## 5. Schlussfolgerung

Mit dem Spiralcurriculum Biochemie im BMM haben wir ein Curriculum entwickelt und erfolgreich implementiert, welches die zentralen Forderungen der Weiterentwicklung des Medizinstudiums, wie sie in der Empfehlung des Wissenschaftsrates [1] und den Entwürfen für die Novellierung der ÄApprO von 2020 und 2023 [26], [27] für ein Grundlagenfach formuliert werden, bereits heute vollumfänglich umsetzt.

Ungeachtet der gegenwärtig herrschenden Unklarheit zu inhaltlichen Anforderungen und Zeitpunkt der Novellierung der ÄApprO, möchten wir mit diesem konkreten Umsetzungsbeispiel die Diskussion zur Weiterentwicklung der Ausbildung insbesondere durch die Stärkung der vertikalen Integration bereichern und curriculare Entwicklungsprozesse sowohl in der humanmedizinischen Ausbildung als auch in anderen Gesundheitsberufen unterstützen.

## Anmerkungen

### Einsatz von KI-gestützten Programmen

Für den ersten Entwurf der englischen Übersetzung des Manuskripts wurde DeepL Pro (DeepL AI GmbH) verwendet. Der Entwurf wurde anschließend von den Autor\*innen überprüft und überarbeitet, die die volle Verantwortung für den Inhalt übernehmen.

### ORCIDs der Autor\*innen

- Jenny Engelmann: [0009-0004-4705-0037]
- Julia Schendzielorz: [0000-0003-2471-094X]
- Fabian Otte: [0009-0008-3068-5967]
- Meike Hoffmeister: [0000-0003-3561-5286]
- Stefanie Oess: [0000-0001-7381-1216]

## Danksagung

Wir bedanken uns bei Andreas Winkelmann (Institut für Anatomie, MHB) für die konzeptionelle Unterstützung bei der Erhebung des Lernerfolgs, bei Maren März und Iván Roselló Atanet (Charité, Berlin) für die Bereitstellung der Originaldaten des PTMs und ihre Unterstützung bei der Auswertung, sowie bei Luca Caramenti (Institut für Biometrie und Registerforschung/Zentrum für klinische Studien, MHB) für die statistische Beratung. Ferner bedanken wir uns bei den studentischen Mitarbeitenden/Doktorand\*innen des Instituts für Biochemie, insbesondere Vivien Latuske und Ronny Gierecki, für die Pilotierung des Fragebogens.

## Interessenkonflikt

Die Autor\*innen erklären, dass sie keinen Interessenkonflikt im Zusammenhang mit diesem Artikel haben.

## Anhänge

Verfügbar unter <https://doi.org/10.3205/zma001857>

1. Anhang\_1.pdf (118 KB)  
Lernspiralen im Spiralcurriculum Biochemie im BMM
2. Anhang\_2.pdf (175 KB)  
Lernspirale Nucleinsäuren
3. Anhang\_3.pdf (115 KB)  
Teilnahme am Progress Test Medizin (PTM)

## Literatur

1. Wissenschaftsrat. Neustrukturierung des Medizinstudiums und Änderung der Approbationsordnung für Ärzte. Empfehlungen der Expertenkommission zum Masterplan Medizinstudium 2020. Köln: Wissenschaftsrat; 2018. Zugänglich unter/available from: <https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/7271-18.html>
2. Wijnen-Meijer M, van den Broek S, Koens F, Ten Cate O. Vertical integration in medical education: the broader perspective. *BMC Med Educ.* 2020;20(1):509. DOI: 10.1186/s12909-020-02433-6
3. Reinsch S, Walther J, Oess S, Tschorr W, Nübel J, Schwanemann J, Leineweber CG. Socialization, Professional Identity Formation and Training for Uncertainty: Comparison of Student- and Clinician-Lead Problem Based Learning Groups in the First Year of Medical Education. *J Problem Based Learn High Educ.* 2023;11(1):60-78. DOI: 10.54337/ojs.jpblhe.v11i1.7372
4. Winkelmann A, Schendzielorz J, Maske D, Arends P, Bohne C, Hölzer H, Harre K, Nübel J, Otto B, Oess S. The Brandenburg reformed medical curriculum: study locally, work locally. *GMS J Med Educ.* 2019;36(5):Doc49. DOI: 10.3205/zma001257
5. Brauer DG, Ferguson KJ. The integrated curriculum in medical education: AMEE Guide No. 96. *Med Teach.* 2015;37(4):312-322. DOI: 10.3109/0142159X.2014.970998
6. Kaufman DM, Mann KV. Teaching and Learning in Medical Education: How Theory can Inform Practice. In: Swanwick T, editors. *Understanding Medical Education: Evidence, Theory and Practice.* Weinheim: Wiley-VCH; 2010. p.16-36. DOI: 10.1002/9781444320282.ch2
7. Knowles MS. *The modern practice of adult education from pedagogy to andragogy.* Cambridge: The Adult Education Company; 1980.
8. Ambrose SA, Bridges MW, DiPietro M, Lovett MC, Norman MK. *How Learning Works: Seven Research-Based Principles for Smart Teaching.* Weinheim: Jossey-Bass/Wiley; 2010.
9. Regehr G, Norman GR. Issues in cognitive psychology: implications for professional education. *Acad Med.* 1996;71(9):988-1001. DOI: 10.1097/00001888-199609000-00015
10. Benbassat J, Baomal R. A proposal for teaching basic clinical skills for mastery: the case against vertical integration. *Acad Med.* 2007;82(1):83-91. DOI: 10.1097/01.ACM.0000249875.80170.92
11. Heinrich PC, Müller M, Graeve L, Koch HG, editors. *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie.* 10. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer; 2022. DOI: 10.1007/978-3-662-60266-9
12. Müller-Esterl W. *Biochemie. Eine Einführung für Mediziner und Naturwissenschaftlicher.* Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum; 2018. DOI: 10.1007/978-3-662-54851-6
13. Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen. *IMPP-Gegenstandskatalog für den schriftlichen Teil des Ersten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung, Teilkatalog „Chemie für Mediziner und Biochemie/Molekularbiologie“.* Mainz: Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen; 2014. Zugänglich unter/available from: <https://www.impp.de/pruefungen/allgemein/gegenstandskataloge.html?file=files/PDF/Gegenstandskataloge/Medizin/GK>
14. Nouns ZM, Georg W. Progress testing in German speaking countries. *Med Teach.* 2010;32(6):467-470. DOI: 10.3109/0142159X.2010.485656
15. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. *Studienordnung (StO) für den Studiengang Medizin an der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster mit dem Abschluss „Ärztliche Prüfung“ (Staatsexamen) vom 25. März 2014.* Münster: Westfälische Wilhelms-Universität Münster; 2014. Zugänglich unter/available from: [https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/wwu/ab\\_uni/ab2014/ausgabe14/beitrag\\_04.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/wwu/ab_uni/ab2014/ausgabe14/beitrag_04.pdf)
16. Universität Düsseldorf. *Studien- und Prüfungsordnung für den Modellstudiengang Medizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf vom 07. Oktober 2013 ergänzt durch die Zweite Ordnung zur Änderung der Studien- und Prüfungsordnung vom 27. September 2019.* Düsseldorf: Universität Düsseldorf; 2019. Zugänglich unter/available from: [https://www.medizinstudium.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Medizinische\\_Fakultaet/Medizinstudium/Dokumente/Ordnungen\\_und\\_Regularien/Modellstudiengang/Studien-\\_und\\_Pruefungsordnung\\_fuer\\_den\\_Modellstudiengang.pdf](https://www.medizinstudium.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Medizinische_Fakultaet/Medizinstudium/Dokumente/Ordnungen_und_Regularien/Modellstudiengang/Studien-_und_Pruefungsordnung_fuer_den_Modellstudiengang.pdf)
17. Universität zu Köln. *Studienordnung (StO) für den Modellstudiengang Humanmedizin an der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln mit dem Abschluss "Ärztliche Prüfung" vom 16. März 2021.* Köln: Universität zu Köln; 2021. Zugänglich unter/available from: [https://medfak.uni-koeln.de/sites/MedFakDekanat/studium\\_lehre/Downloads/AM\\_2021-23\\_StO\\_Humanmedizin\\_ger.pdf](https://medfak.uni-koeln.de/sites/MedFakDekanat/studium_lehre/Downloads/AM_2021-23_StO_Humanmedizin_ger.pdf)

18. Goethe-Universität Frankfurt. Studienordnung für den Studiengang Medizin an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main mit dem Abschluss Ärztliche Prüfung vom 3. Juli 2014 in der Fassung vom 2. Mai 2019. Mit den Änderungen vom 7. Juli 2022. Nichtamtliche Lesefassung. Frankfurt/Main: Goethe-Universität Frankfurt; 2022. Zugänglich unter/available from: [https://www.uni-frankfurt.de/123355454/Medizin\\_\\_StaatsEx\\_\\_nichtamtliche\\_Lesefassung.pdf](https://www.uni-frankfurt.de/123355454/Medizin__StaatsEx__nichtamtliche_Lesefassung.pdf)
19. Universität Duisburg-Essen. Studienordnung für den Studiengang Medizin an der Universität Duisburg-Essen mit dem Abschluss der Ärztlichen Prüfung (Staatsexamen) vom 17. März 2004 zuletzt geändert durch vierundzwanzigste Änderungsordnung vom 05. März 2025. Essen: Universität Duisburg-Essen; 2025. Zugänglich unter/available from: [https://www.uni-due.de/imperia/md/content/zentralverwaltung/bereinigte\\_sammlung/9-26.pdf](https://www.uni-due.de/imperia/md/content/zentralverwaltung/bereinigte_sammlung/9-26.pdf)
20. Lehner M. Didaktische Reduktion. Bern: Haupt Verlag; 2020. DOI: 10.36198/9783838537153
21. Harden RM. What is a spiral curriculum? *Med Teach*. 1999;21(2):141-143. DOI: 10.1080/01421599979752
22. Allouch S, Ali RM, Al-Wattary N, Nomikos M, Abu-Hijleh MF. Tools for measuring curriculum integration in health professions' education: a systematic review. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):635. DOI: 10.1186/s12909-024-05618-5
23. Baig N, Siddiqui F, Baig MA, Khursheed I, Meah KM. Level of integration in current undergraduate curricula of two private-sector medical colleges in Karachi. *Can Med Educ J*. 2022;13(3):84-90. DOI: 10.36834/cmej.73910
24. Harden RM. The integration ladder: a tool for curriculum planning and evaluation. *Med Educ*. 2000;34(7):551-557. DOI: 10.1046/j.1365-2923.2000.00697.x
25. Dahle LO, Brynhildsen J, Behrbohm Fallsberg M, Rundquist I, Hammar M. Pros and cons of vertical integration between clinical medicine and basic science within a problem-based undergraduate medical curriculum: examples and experiences from Linköping, Sweden. *Med Teach*. 2002;24(3):280-285. DOI: 10.1080/01421590220134097
26. Bundesministerium für Gesundheit. Verordnung zur Neuregelung der ärztlichen Ausbildung, Referentenentwurf 17.11.2020. Berlin: Bundesministerium für Gesundheit; 2020. Zugänglich unter/available from: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/gesetze-und-verordnungen/detail/verordnung-zur-neuregelung-der-aerztlichen-ausbildung>
27. Bundesministerium für Gesundheit. Verordnung zur Neuregelung der ärztlichen Ausbildung, Überarbeiteter Referentenentwurf 15.06.2023. Berlin: Bundesministerium für Gesundheit; 2023. Zugänglich unter/available from: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/gesetze-und-verordnungen/detail/verordnung-zur-neuregelung-der-aerztlichen-ausbildung>

**Korrespondenzadresse:**

Stefanie Oess  
 Medizinische Hochschule Brandenburg Theodor Fontane  
 (MHB), Institut für Biochemie, Campus Neuruppin,  
 Fehrbelliner Str. 38, Haus D, 16816 Neuruppin,  
 Deutschland  
[stefanie.oess@mhb-fontane.de](mailto:stefanie.oess@mhb-fontane.de)

**Bitte zitieren als**

Engelmann J, Schendzielorz J, Otte F, Bertram A, Hoffmeister M, Oess S. Vertical integration of biochemistry: The interdisciplinary spiral curriculum in the Brandenburg reformed medical study programme. *GMS J Med Educ*. 2026;43(5):Doc63. DOI: 10.3205/zma001857, URN: urn:nbn:de:0183-zma0018576

**Artikel online frei zugänglich unter**

<https://doi.org/10.3205/zma001857>

**Eingereicht:** 20.06.2025

**Überarbeitet:** 22.12.2025

**Angenommen:** 16.02.2026

**Veröffentlicht:** 15.06.2026

**Copyright**

©2026 Engelmann et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.