Irene Neumann, Aiso Heinze, Christoph Pigge

Welche mathematischen Lernvoraussetzungen erwarten Hochschullehrende für ein MINT-Studium?

Eine Delphi-Studie

IPN
Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

gefördert von:

Inhaltsverzeichnis

Danksagung

Wir danken allen Hochschullehrenden,
die an der Studie teilgenommen haben!

Zentrale Ergebnisse

Weitgehende Einigkeit über notwendige mathematische Lernvoraussetzungen bei MINT-Studienanfängerinnen und -anfängern

Trotz unterschiedlicher Rollen der Mathematik in den einzelnen MINT-Studiengängen sowie für die verschiedenen Ausrichtungen von Universitäten und Fachhochschulen: Es besteht über Fachgrenzen und Hochschultypen hinweg ein weitreichender Konsens über die erwarteten mathematischen Lernvoraussetzungen von MINT-Studienanfängerinnen und -anfängern. Dies ist eine gute Basis dafür, den Übergang von der Schule zur Hochschule im Bereich Mathematik so zu gestalten, dass MINT-Studienanfängerinnen und -anfänger die nötigen Anforderungen erfüllen können.

Kenntnisse auf Schulniveau s ind ausreichend, sollten aber auch sicher verfügbar sein

Die Hochschullehrenden erwarten von den MINT-Studienanfängerinnen und -anfängern, dass sie die Inhalte der Sekundarstufe I wie Bruchrechnen oder das Lösen von Gleichungen verinnerlicht haben. Für die meisten weiterführenden Inhalte der Sekundarstufe II reicht aus Sicht der Befragten ein intuitives Verständnis aus, etwa von Stetigkeit als durchgezogenem Graph. Uneinig sind sich die Hochschullehrenden, inwieweit Kenntnisse zu abstrakt-formalen Darstellungen von Begriffen und Aussagen notwendig sind. Auch bei den mathematischen Arbeitstätigkeiten erwarten die Hochschulen Grundkenntnisse; so sollen MINT-Studienanfängerinnen und -anfänger etwa mathematische Beweise in vertrauten Anforderungssituationen verstehen und prüfen sowie selbständig Plausibilitätsargumente formulieren können. Uneinigkeit besteht dagegen aber zum Beispiel darüber, inwieweit Studienanfängerinnen und -anfänger in der Lage sein sollen, selbständig Beweise zu entwickeln.

Mathematisches Wissen und mathematische Fähigkeiten sind zentral, aber ebenfalls nötig sind adäquate Vorstellungen über die Wissenschaft Mathematik und spezielle persönliche Eigenschaften

Die Hochschullehrenden setzen die Kenntnis vieler Inhalte der Schulmathematik voraus, zum Beispiel von Begriffen, Sätzen oder Verfahren. Darüber hinaus sind aus ihrer Sicht aber noch zahlreiche andere Voraussetzungen für ein MINT-Studium notwendig. So erwarten sie von MINT-Studienanfängerinnen und -anfängern Fähigkeiten in mathematischen Arbeitstätigkeiten, zum Beispiel zum Problemlösen oder im Umgang mit digitalen Werkzeugen. Aber auch ein Verständnis über Mathematik als wissenschaftliche Disziplin sollte vorhanden sein – und damit zum Beispiel ein Bewusstsein dafür, dass die Mathematik an der Hochschule mehr umfasst als Schulmathematik. Schließlich sollten Studienanfängerinnen und -anfänger auch über spezielle persönliche Eigenschaften wie Durchhaltevermögen, Neugier oder Mut zum Nachfragen verfügen, um mit den Anforderungen des akademischen Mathematiklernens zurechtzukommen.

Ausgangslage und Zielsetzung

In MINT-Studiengängen werden seit Jahren hohe Studienabbruch- und Studienfachwechselquoten verzeichnet (Heublein et al., 2014). Als Ursache verweisen die Studierenden selbst vor allem auf Leistungsschwierigkeiten, insbesondere auf fehlende mathematische Vorkenntnisse (Heublein et al., 2010). Auch Hochschullehrende bemängeln nicht selten eine Vorbildung der Studienanfängerinnen und Studienanfänger. Angesichts dieser Übergangsproblematik bieten nahezu alle Hochschulen in Deutschland (mathematische) Vor- bzw. Brückenkurse an (Biehler et al., 2013).

Die inhaltliche Ausrichtung dieser Kurse variiert jedoch zwischen den Hochschulen. Anforderungskataloge zu mathematischen Lernvoraussetzungen für MINT-Studiengänge, die von verschiedenen Arbeitsgruppen vorgelegt wurden (z. B. cosh – cooperation Schule Hochschule in Baden-Württemberg, Konferenz der Fachbereiche Physik KFP, European Society for Engineering Education SEFI), lassen einen gemeinsamen Kern erkennen, unterscheiden sich aber auch in diversen Aspekten.

Darüber hinaus wurden diese Kataloge speziell mit Blick auf einzelne Studiengänge oder Bundesländer entwickelt. Allgemein gesprochen ist von Hochschulseite kein übergreifender Konsens erkennbar, welche mathematischen Lernvoraussetzungen für MINT-Studiengänge als notwendig erachtet werden und welche Kompetenzdefizite ggf. vor Studienbeginn auszugleichen sind. Es ist offen, ob es solch einen Konsens gibt, der über kanonisches Basiswissen hinausgeht.

Ziel des Projekts *MaLeMINT: Mathematische Lernvoraussetzungen für MINT-Studiengänge* war daher die Beantwortung der Frage, welche mathematikbezogenen Lernvoraussetzungen aus Hochschulsicht für einen erfolgreichen Einstieg in MINT-Studiengänge mindestens benötigt werden – insbesondere, ob zu dieser Frage ein Konsens unter Hochschullehrenden vorhanden ist. Im Falle eines Konsenses sollte ein Modell entwickelt werden, das die von Hochschullehrenden erwarteten mathematischen Lernvoraussetzungen empirisch fundiert beschreibt.

Die Studie

Die Delphi-Methode

Um ein Modell mathematischer Lernvoraussetzungen zu entwickeln, das die Meinung einer breiten Basis von Hochschullehrenden widerspiegelt, wurde die Delphi-Methode (vgl. Häder, 2014; Dalkey, & Helmer, 1963) genutzt. Die Delphi-Methode zeichnet sich dadurch aus, dass über mehrere Runden hinweg die Meinung einer Expertengruppe erfasst, strukturiert und zur erneuten Bewertung zurückgespiegelt wird. Dabei wird den teilnehmenden Expertinnen und Experten nicht mitgeteilt, wer welche Meinung geäußert hat, sondern lediglich, welche Aussagen in der gesamten Gruppe gemacht wurden. So kann sukzessive ein Konsens innerhalb der Expertengruppe gebildet werden, ohne Effekten der sozialen Beeinflussung zu unterliegen, wie diese beispielsweise in Befragungen auftreten, bei denen die gesamte Expertengruppe vor Ort zusammenkommt und diskutiert.

Konkret umfasste die MaLeMINT-Studie drei Delphi-Runden. Es wurde der Ansatz verfolgt, den Expertinnen und Experten keinerlei inhaltliche Vorgaben zu machen. Entsprechend wurde in der ersten Runde zunächst eine explorative Befragung mit einer kleineren Teilgruppe durchgeführt. Hierbei sollte differenziert und möglichst umfassend ein erster Vorschlag von als notwendig angesehenen Lernvoraussetzungen erhoben werden (vgl. Häder, 2014). Die so ermittelten Lernvoraussetzungen wurden in der nächsten Runde der gesamten Stichprobe vorgelegt, die sie hinsichtlich der Notwendigkeit bzw. Wichtigkeit bewertete sowie in Kommentaren präzisierte bzw. ergänzte. Nach einer Zusammenfassung der Ergebnisse wurden die identifizierten Lernvoraussetzungen in einer Folgerunde den Expertinnen und Experten erneut zur Bewertung und Präzisierung vorgelegt, um die Stabilität der Expertenmeinung sicherzustellen.

Die Stichprobe

Um die Sichtweise von Hochschullehrenden adäquat abzubilden, wurden als Studienteilnehmende alle Hochschullehrenden in Deutschland einbezogen, die in den Jahren 2010-2015 Mathematikvorlesungen für das erste Semester in MINT-Studiengängen angeboten haben. Auf Basis einer Online-Recherche (Vorlesungsverzeichnisse, Modulhandbücher und Stundenpläne) wurden 2233 Hochschullehrende verschiedener Hochschularten identifiziert. In Einzelfällen waren für Studiengänge keine vollständigen Vorlesungsverzeichnisse im Internet veröffentlicht. Um diese Studiengänge nicht auszuschließen, wurden hier Modulverantwortliche für die Mathematikveranstaltungen im ersten Semester bzw. Studiendekaninnen und Studiendekane angeschrieben, auch wenn diese ggf. bisher keine Lehre für das erste Semester angeboten haben.

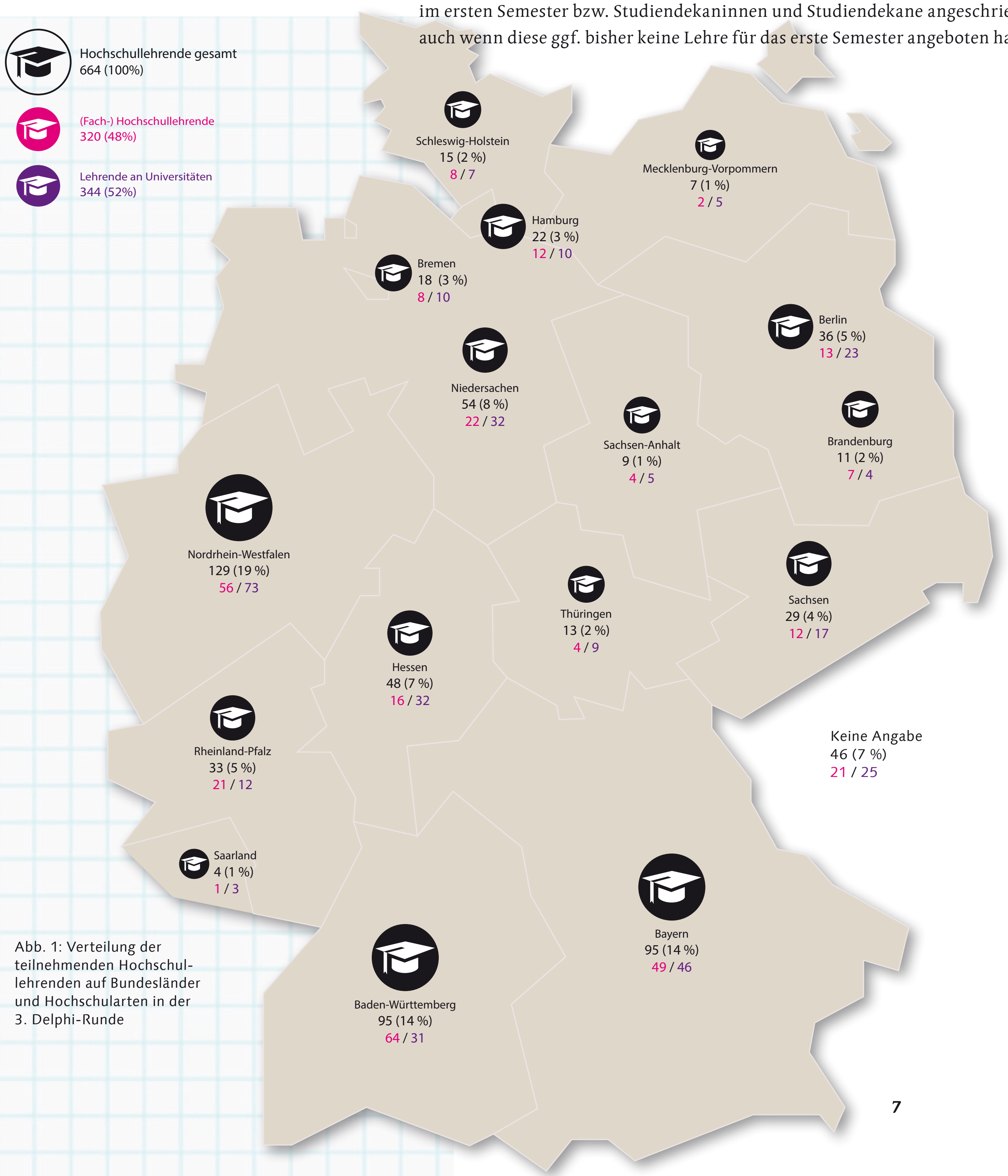


Abb. 1: Verteilung der teilnehmenden Hochschullehrenden auf Bundesländer und Hochschularten in der 3. Delphi-Runde

Für das explorative Vorgehen in der ersten Befragungsrunde wurde eine Teilstichprobe aus dieser Gesamtstichprobe ausgewählt, wobei die folgenden Kriterien berücksichtigt wurden:

- die Person trägt eine besondere Verantwortung für die Lehre in ihrem Bereich (z. B. als Studiendekan/in, Modulverantwortliche/r),
- sie weist eine langjährige Lehrerfahrung auf (i. d. R. 10 Jahre und mehr),
- alle Bundesländer sind in der Teilstichprobe berücksichtigt,
- die Mathematikvorlesungen in verschiedenen MINT-Studienrichtungen und Hochschularten sind abgebildet.

Von 82 eingeladenen Hochschullehrenden, die diese Kriterien erfüllten, beteiligten sich am Ende 36 Hochschullehrende (44 %) an der Befragung. In der Folgerunde wurde die Gesamtstichprobe zur Teilnahme an der Befragung eingeladen, aus der sich 952 Hochschullehrende (43 %) beteiligten. In der dritten Runde wurde erneut die Gesamtstichprobe eingeladen, aus der sich diesmal 664 Hochschullehrende (30 %) beteiligten (vgl. Abb. 1, 2, 3)*. Die Zusammensetzungen der Stichproben in Runde 2 und Runde 3 waren nahezu indentisch (Abb. 4,5,6).Insgesamt entsprechen die realisierten Stichproben den in Delphi-Studien erwarteten Teilnahmequoten.

*Alle Prozentangaben in dieser Broschüre sind gerundete Angaben, sodass die Summe teilweise auch nicht genau 100 % ergeben kann.

Informationen zur Stichprobe in Delphi-Runde 3

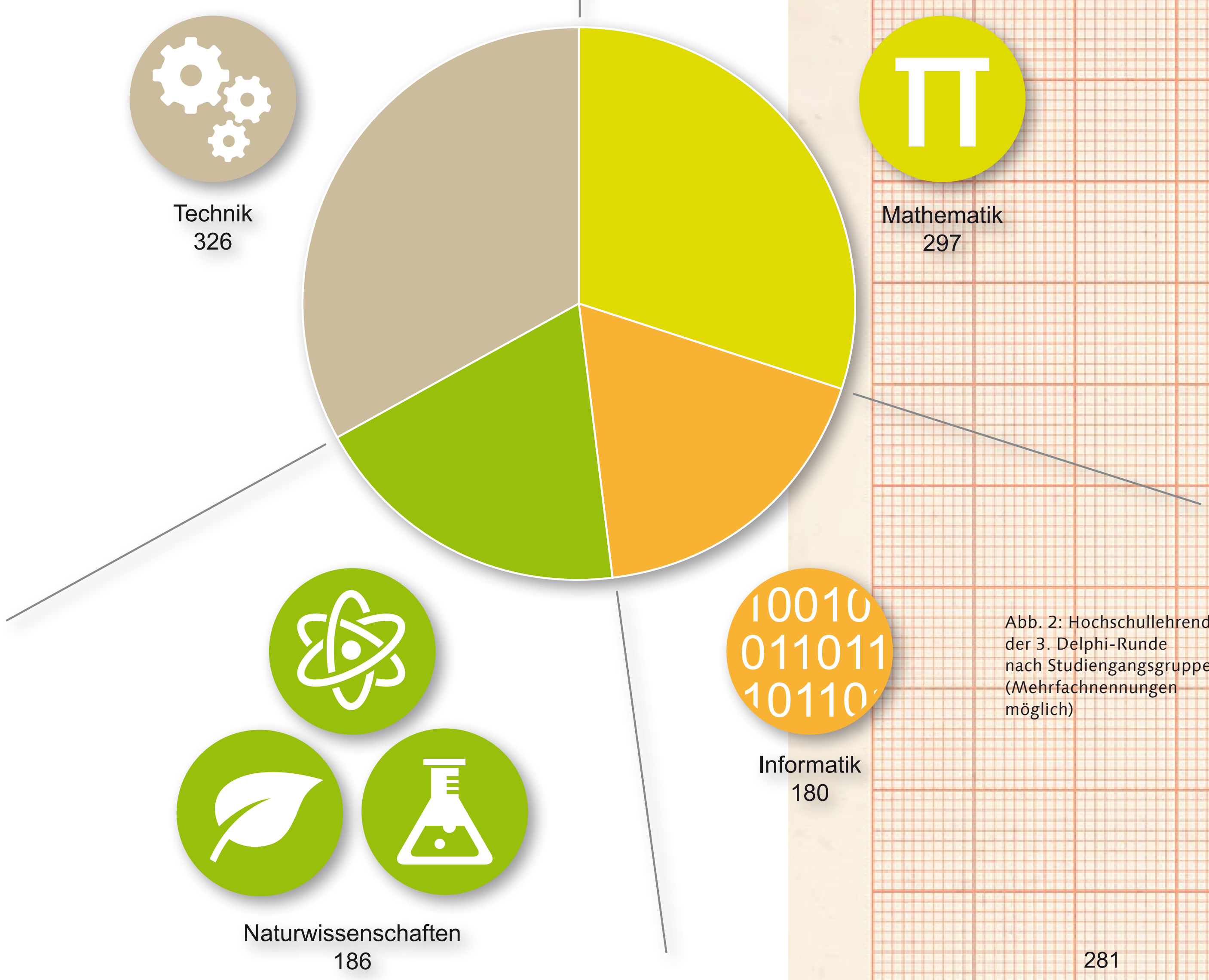
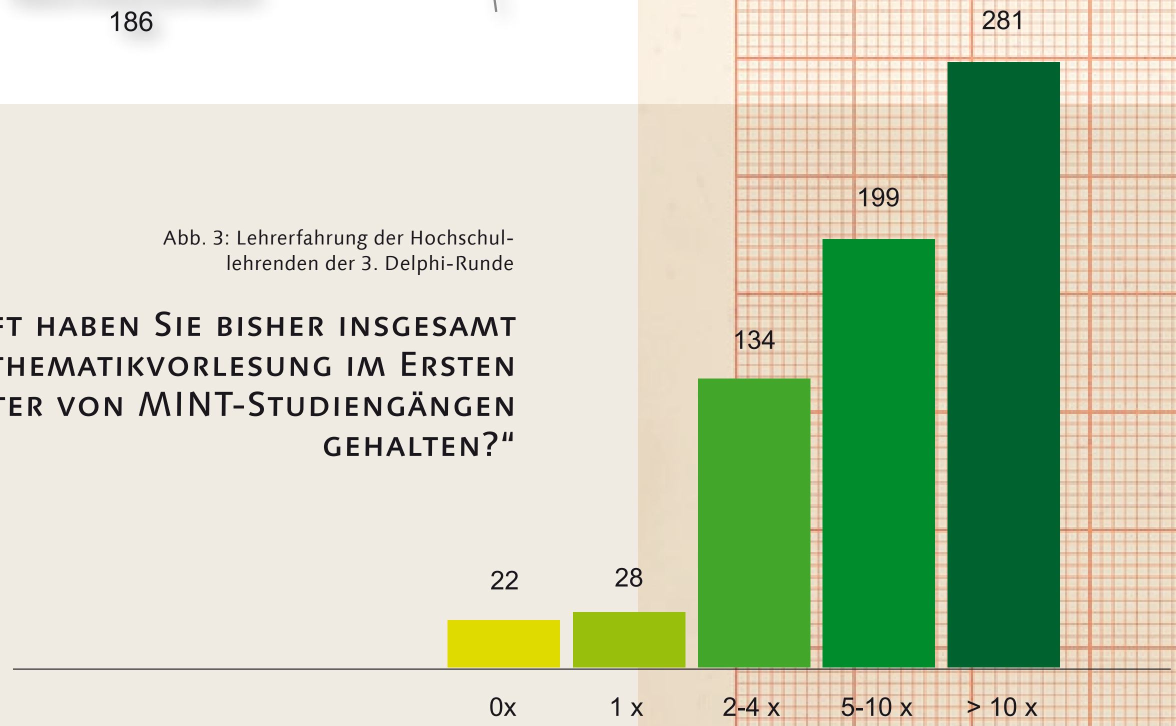


Abb. 2: Hochschullehrende der 3. Delphi-Runde nach Studiengangsgruppen (Mehrfachnennungen möglich)

Abb. 3: Lehrerfahrung der Hochschullehrenden der 3. Delphi-Runde

„Wie oft haben Sie bisher insgesamt eine Mathematikvorlesung im ersten Semester von MINT-Studiengängen gehalten?“



Vergleich der Stichproben in den Delphi-Runden 2 und 3

Abb. 4: Vergleich der Stichproben in den Delphi-Runden 2 und 3: Studiengangsgruppen

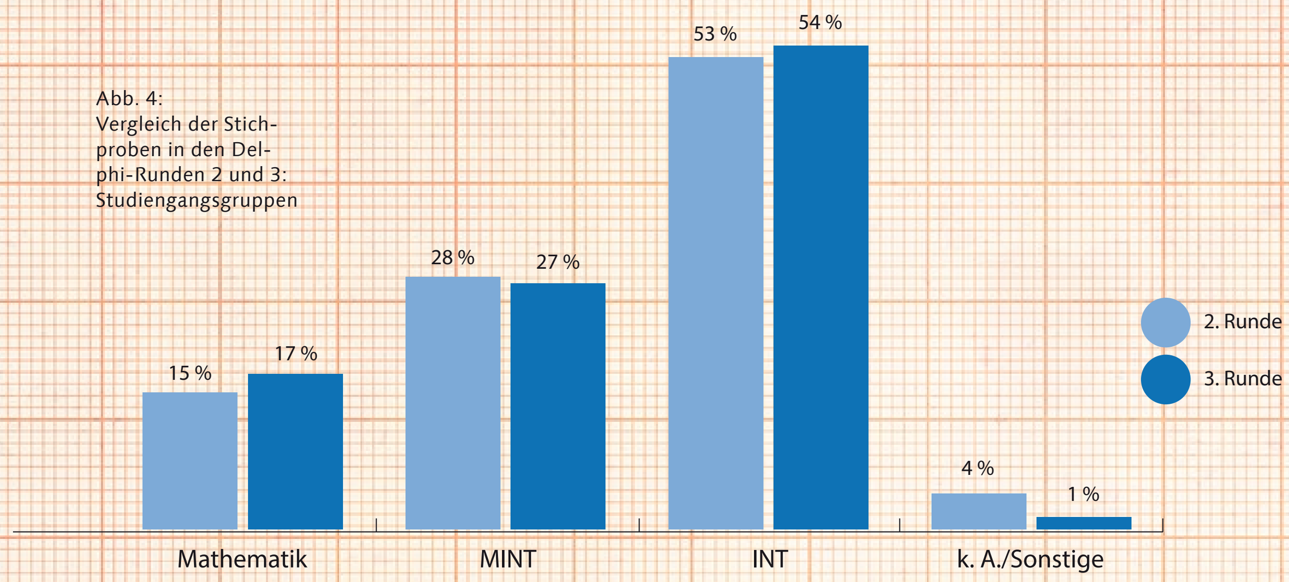


Abb. 5: Vergleich der Stichproben in den Delphi-Runden 2 und 3: Hochschulart

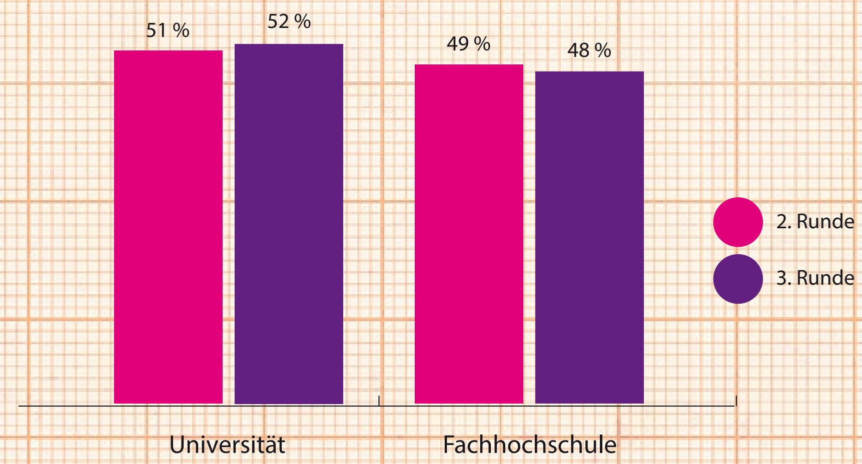
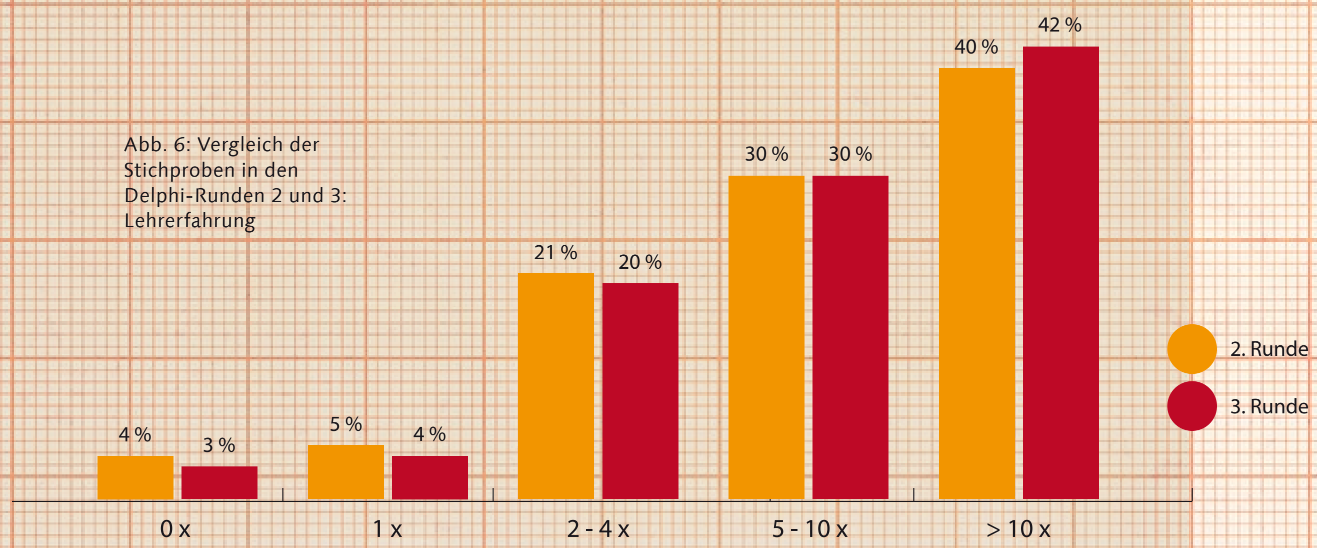


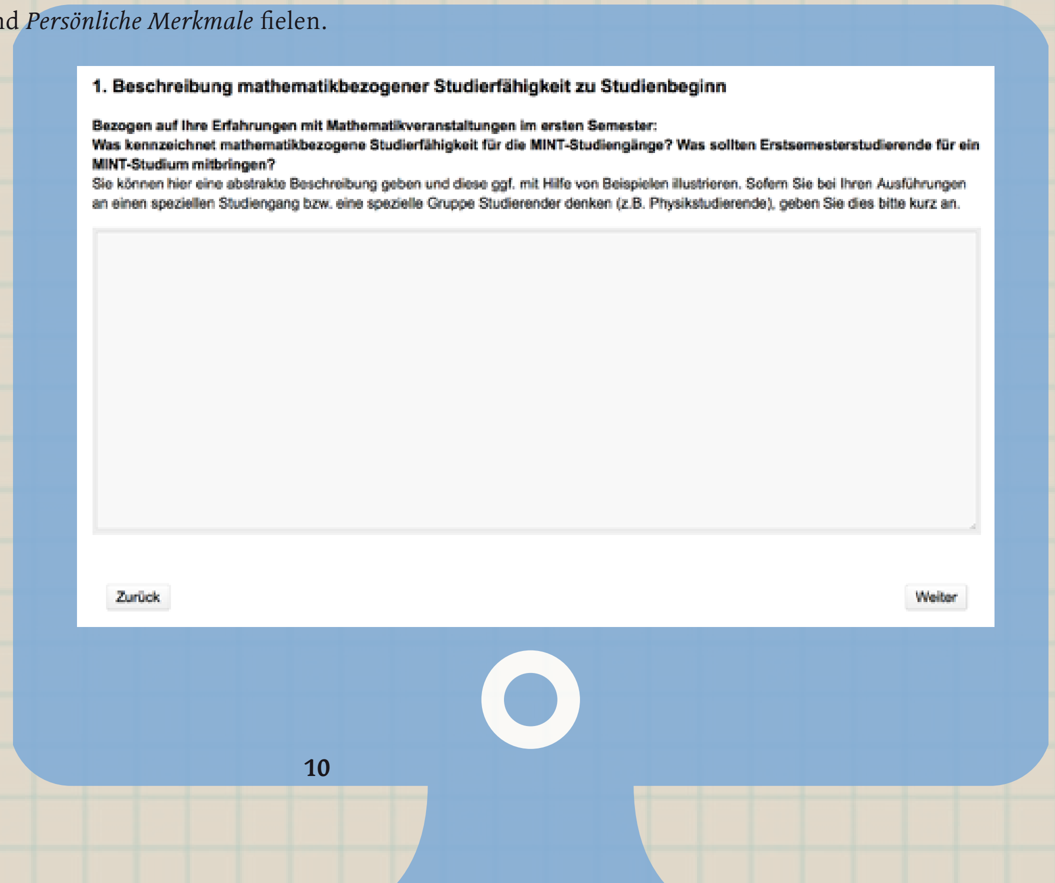
Abb. 6: Vergleich der Stichproben in den Delphi-Runden 2 und 3: Lehrerfahrung



Die Befragung

In allen drei Befragungsrunden wurden die Daten durch eine Online-Plattform erhoben. Auf Wunsch wurde den Teilnehmenden alternativ ein PDF-Dokument des Fragebogens zur Verfügung gestellt, das offline ausgefüllt und dann per E-Mail oder ausgedruckt postalisch zurückgeschickt werden konnte. Die meisten Teilnehmenden nutzten die Online-Plattform. Der Fragebogen bestand jeweils aus einem kurzen Hintergrundfragebogen (u. a. zur Lehrerfahrung, zu den betreuten Studiengängen und zur Hochschulart) sowie aus Fragen, die sich auf die mathematischen Lernvoraussetzungen bezogen.

Für das explorative Vorgehen wurden in *Runde 1* drei erzählgenerierende Fragen als Impulse verwendet, um die Meinung der Hochschullehrenden zu mathematischen Lernvoraussetzungen zu erfassen (Abb. 7). Diese Impulse bezogen sich auf (1) die Studierfähigkeit im Bereich Mathematik, (2) die Konzeptionierung von mathematischen Orientierungstests für das MINT-Studium sowie (3) die Unterschiede von erfolgreichen und nicht erfolgreichen Erstsemesterstudierenden in Mathematikvorlesungen. Aus den Antworten zu diesen drei Fragen wurden – angelehnt an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2003) – Kategorien von mathematischen Lernvoraussetzungen identifiziert (Interrater-Reliabilität: 85 - 97 % im paarweisen Vergleich, Cohen's κ = .60 - .94). Die Lernvoraussetzungen wurden hierarchisiert und zu einem Katalog mathematikbezogener Lernvoraussetzungen für MINT-Studiengänge zusammengesetzt. Da die befragten Hochschullehrenden häufig auf Bildungsdokumente verwiesen (z. B. cosh-Katalog, Bildungsstandards) wurde der Katalog der direkt genannten Lernvoraussetzungen um solche aus diesen Bildungsdokumenten ergänzt. Zur Absicherung der Qualität wurde abschließend der gesamte Katalog der Lernvoraussetzungen mit den Originaläußerungen der Hochschullehrenden erneut abgeglichen, um diesen auf Vollständigkeit und Korrektheit zu überprüfen. Am Ende dieser Runde lag ein erster Katalog von 152 mathematischen Lernvoraussetzungen vor, die in die Kategorien *Mathematischer Inhalt, Mathematische Arbeitstätigkeiten, Wesen der Mathematik* und *Persönliche Merkmale* fielen.


1. Beschreibung mathematikbezogener Studierfähigkeit zu Studienbeginn

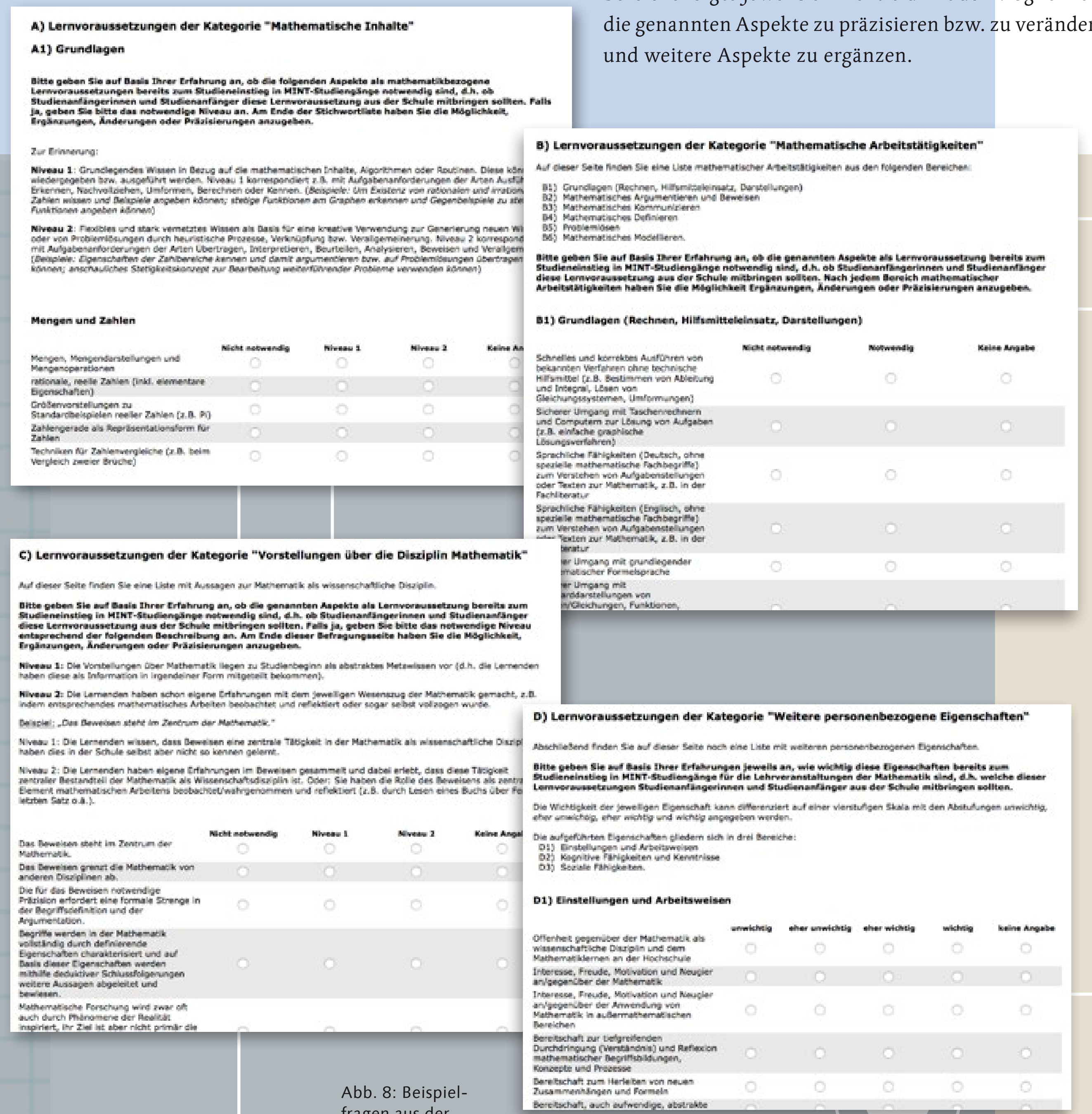
Bezogen auf Ihre Erfahrungen mit Mathematikveranstaltungen im ersten Semester:
Was kennzeichnet mathematikbezogene Studierfähigkeit für die MINT-Studiengänge? Was sollten Erstsemesterstudierende für ein MINT-Studium mitbringen?
Sie können hier eine abstrakte Beschreibung geben und diese ggf. mit Hilfe von Beispielen illustrieren. Sofern Sie bei Ihren Ausführungen an einen speziellen Studiengang bzw. eine spezielle Gruppe Studierender denken (z.B. Physikstudierende), geben Sie dies bitte kurz an.

Zurück

Weiter

Abb. 7: Beispielfrage aus der 1. Delphi-Runde

Die so ermittelten Lernvoraussetzungen wurden in *Runde 2* allen Hochschullehrenden der Gesamtstichprobe in geschlossenen Items vorgelegt. Auf Basis ihrer Erfahrung sollten sie angeben, ob die aufgeführten Aspekte als Lernvoraussetzung für einen MINT-Studiengang notwendig sind, d. h. ob Studienanfängerinnen und Studienanfänger diese Lernvoraussetzung aus der Schule mitbringen sollten (vgl. Abb. 8). Für die Aspekte in den Kategorien *Mathematischer Inhalt* und *Wesen der Mathematik* sollten die Hochschullehrenden außerdem angeben, auf welchem Niveau sie die Lernvoraussetzungen als notwendig erachten (es standen jeweils zwei Niveaus zur Auswahl). Im Bereich der *Mathematischen Arbeitstätigkeiten* wurde in dieser Runde auf eine Differenzierung in mehrere Niveaus verzichtet, da mit der Untergliederung in Teilprozesse bereits die Möglichkeit einer Abstufung der Anforderungen einherging. Die Aspekte der Kategorie *Persönliche Merkmale* sollten auf einer 4-stufigen Likert-Skala differenziert bewertet werden (unwichtig, eher unwichtig, eher wichtig, wichtig). Nach den geschlossenen Items zur Bewertung der Aspekte der vier Bereiche folgte jeweils ein Textfeld mit der Möglichkeit, die genannten Aspekte zu präzisieren bzw. zu verändern und weitere Aspekte zu ergänzen.


A) Lernvoraussetzungen der Kategorie "Mathematische Inhalte"

A1) Grundlagen

Mengen und Zahlen

B) Lernvoraussetzungen der Kategorie "Mathematische Arbeitstätigkeiten"

B1) Grundlagen (Rechnen, Hilfsmitteleinsatz, Darstellungen)

C) Lernvoraussetzungen der Kategorie "Vorstellungen über die Disziplin Mathematik"

D) Lernvoraussetzungen der Kategorie "Weitere personenbezogene Eigenschaften"

D1) Einstellungen und Arbeitsweisen

Abb. 8: Beispielfragen aus der 2. Delphi-Runde

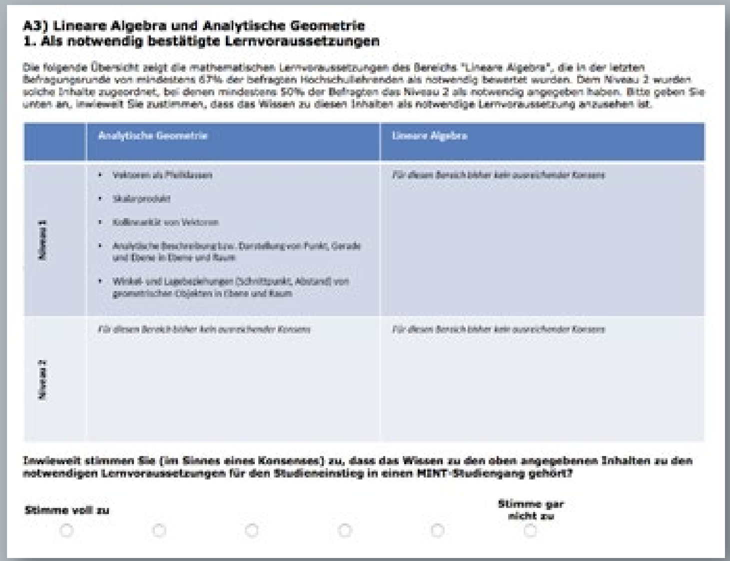


Abb. 9: Beispielfrage aus der 3. Delphi-Runde: Positiv bestätigte Lernvoraussetzung

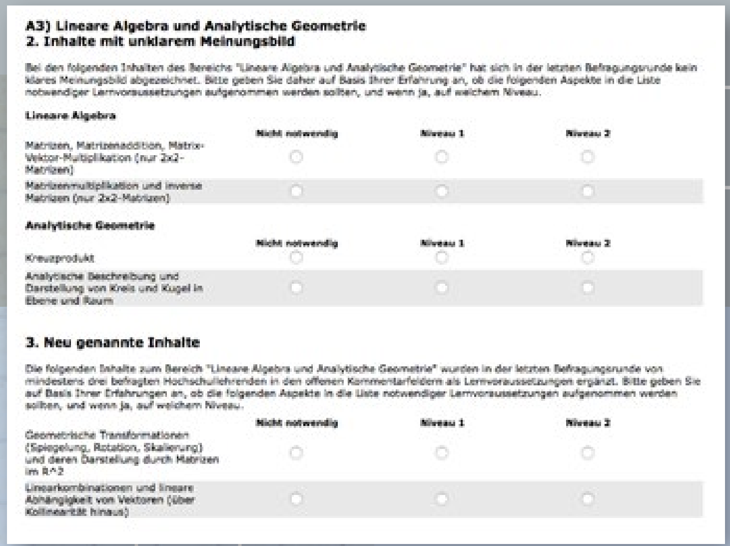


Abb. 10: Beispielfrage aus der 3. Delphi-Runde: Neu genannte Lernvoraussetzungen und solche mit unklarem Meinungsbild

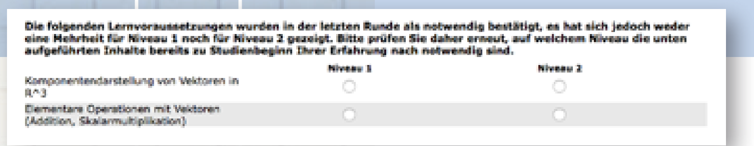


Abb. 11: Beispielfrage aus der 3. Delphi-Runde: Niveauzuordnung unklar

Die positiv bestätigten Lernvoraussetzungen (vgl. Auswertungskriterien Seite 13) wurden in *Runde 3* unter Ausweis des jeweiligen Niveaus in einem Modell aufgelistet. Für jeden Block an Lernvoraussetzungen sollten die Hochschullehrenden auf einer 6-stufigen Likert-Skala („stimme voll zu“ bis „stimme gar nicht zu“) angeben, inwiefern sie zustimmen, dass die im Modell dargestellten Lernvoraussetzungen für den Studieneinstieg in MINT-Studiengänge notwendig sind (vgl. Abb. 9). Für die Kategorie *Mathematische Arbeitstätigkeiten* wurden in Runde 3 entsprechend der Anmerkungen der Hochschullehrenden ebenfalls zwei Niveaus eingeführt, um eine differenziertere Bewertung der Notwendigkeit vornehmen zu können. Die Lernvoraussetzungen, die auf Rückmeldung der Hochschullehrenden neu aufgenommen, umstrukturiert oder uneinheitlich bewertet wurden, wurden den Teilnehmenden einzeln vorgelegt mit der Bitte um eine erneute Bewertung, inwieweit diese als Lernvoraussetzung für einen MINT-Studiengang notwendig sind (vgl. Abb. 10). Lernvoraussetzungen, die zwar positiv bestätigt wurden, die jedoch nicht eindeutig einem der beiden Niveaus zugeordnet werden konnten, wurden den Hochschullehrenden ebenfalls erneut zur Zuordnung eines Niveaus vorgelegt (vgl. Abb. 11). Nach den geschlossenen Items folgte in jedem der vier Bereiche jeweils ein Textfeld mit der Möglichkeit, Anmerkungen zu den Lernvoraussetzungen zu machen.

Auswertungskriterien

Kriterien für Konsens:

Bei der Auswertung der geschlossenen Items in den Runden 2 und 3 stand die Frage im Mittelpunkt, ob die Hochschullehrenden die jeweilige Lernvoraussetzung als notwendig für MINT-Studiengänge erachten, und ob sich dabei ein Konsens abzeichnet. Dementsprechend wurden zunächst die folgenden Kriterien für einen Konsens definiert:

Eine Lernvoraussetzung wird als *notwendig* angesehen, wenn

- 2/3 aller Befragten *und*
- 1/2 der Lehrenden in jeder Studiengangsgruppe (Mathematik, MINT oder INT) *und*
- 1/2 der Lehrenden in jeder Hochschulart (Universität, (Fach-)Hochschule)

die Lernvoraussetzung als notwendig ansehen.

Eine Lernvoraussetzung wird als *nicht notwendig* angesehen, wenn

- 3/4 aller Befragten *und*
- 2/3 der Lehrenden in jeder Studiengangsgruppe (Mathematik, MINT oder INT) *und*
- 2/3 der Lehrenden in jeder Hochschulart (Universität, (Fach-)Hochschule)

die Lernvoraussetzung als nicht notwendig ansehen.

Diese Kriterien sind konservativ angesetzt, um das Meinungsbild der Hochschullehrenden nicht zu verzerren. Darüber hinaus wird mit diesen Kriterien sichergestellt, dass einerseits über alle Befragten hinweg ein Konsens anzunehmen ist und andererseits der Konsens auch in den einzelnen Studiengangsgruppen und Hochschularten gilt.

Kriterien für Ergänzungen und Änderungen:

Die Äußerungen mit Präzisierungen, Verbesserungen und Ergänzungen der Darstellung wurden zunächst strukturiert und zusammengefasst. Um eine Beeinflussung durch Einzelmeinungen zu vermeiden und dennoch neue Aspekte angemessen zu berücksichtigen, wurde als Auswahlkriterium eine Nennung von mindestens drei Hochschullehrenden festgelegt. Neu genannte Lernvoraussetzungen oder Änderungsvorschläge, die dieses Kriterium erfüllten, wurden in der Folgerunde für eine Bewertung aufgenommen.

Die Ergebnisse im Überblick

In den drei Befragungsrunden wurden von den Hochschullehrenden insgesamt 179 mathematische Lernvoraussetzungen genannt, die sich den vier Kategorien

- Mathematische Inhalte
- Mathematische Arbeitstätigkeiten
- Wesen der Mathematik sowie
- Persönliche Merkmale

zuordnen ließen (Tabelle 1). Bei 144 dieser Lernvoraussetzungen (80 %) konnte ein Konsens gemäß den obigen Kriterien festgestellt werden (Abb. 12). Von diesen wurden insgesamt 140 Lernvoraussetzungen als notwendig und vier Lernvoraussetzungen als nicht notwendig eingeschätzt. Diese Ergebnisse deuten auf eine breite Übereinstimmung in der Bewertung der Lernvoraussetzungen seitens der Lehrenden hin. Es zeigen sich hinsichtlich der Notwendigkeit von Lernvoraussetzungen keine essenziellen Unterschiede zwischen Lehrenden von Universitäten und (Fach-)Hochschulen bzw. Lehrenden in Mathematikstudiengängen und INT-Studiengängen. Tendenzielle Unterschiede treten insbesondere im Zusammenhang mit dem notwendigen Grad der Formalisierung mathematischer Konzepte, der Notwendigkeit des Anwendungsbezugs sowie bei einzelnen Zielen mathematischen Arbeitens bzw. Vorstellungen von der Mathematik auf. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse bezüglich der einzelnen Kategorien *Mathematischer Inhalt*, *Mathematische Arbeitstätigkeiten*, *Wesen der Mathematik* und *Persönliche Merkmale* detailliert dargestellt. Dabei wird auch auf Ergebnisse in den einzelnen Studiengangsgruppen (d. h. Lehrende im Bereich Mathematik vs. MINT vs. INT) bzw. den beiden verschiedenen Hochschularten (Universität vs. (Fach-) Hochschule) eingegangen.

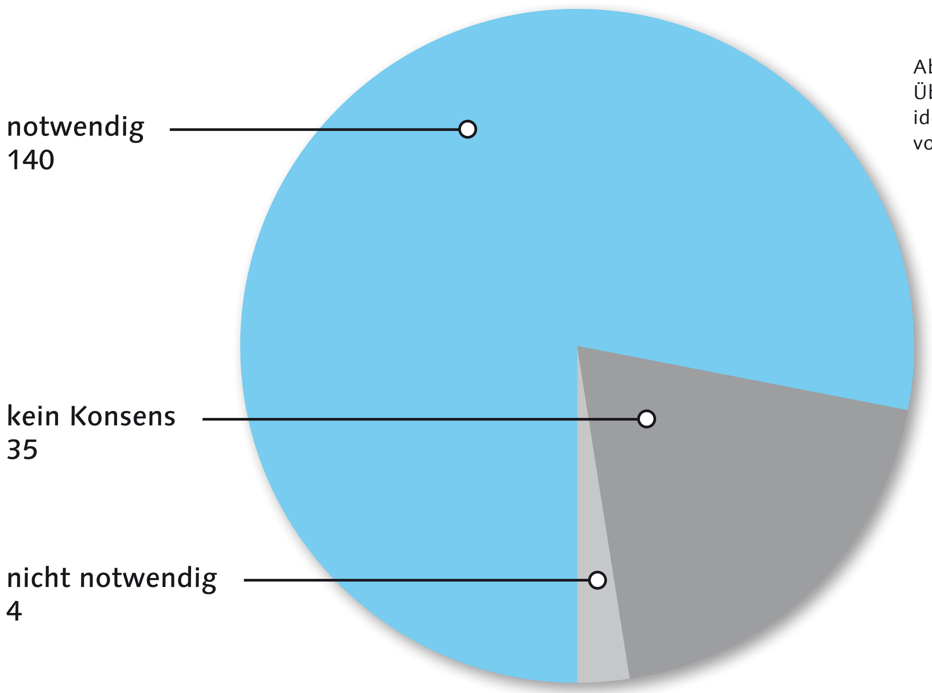


Abb. 12: Überblick über die identifizierten Lernvoraussetzungen

Kategorie	Notwendig	Nicht notwendig	Kein Konsens	Gesamt
A) Mathematische Inhalte	77	4	25	106
A1) Grundlagen	46	0	4	50
A2) Analysis	20	0	10	30
A3) Lineare Algebra und Analytische Geometrie	7	3	6	16
A4) Stochastik und bereichsübergreifende Inhalte	4	1	5	10
B) Mathematische Arbeitstätigkeiten	37	0	5	42
B1) Grundlagen (Rechnen, Hilfsmitteleinsatz, Darstellungen)	9	0	0	9
B2) Mathematisches Argumentieren und Beweisen	8	0	1	9
B3) Mathematisches Kommunizieren	5	0	0	5
B4) Mathematisches Definieren	3	0	1	4
B5) Problemlösen	7	0	1	8
B6) Mathematisches Modellieren	4	0	2	6
B7) Recherche	1	0	0	1
C) Wesen der Mathematik	7	0	2	9
D) Persönliche Merkmale	19	0	3	22
D1) Einstellungen und Arbeitsweisen	11	0	0	11
D2) Kognitive Fähigkeiten und Kenntnisse	5	0	2	7
D3) Soziale Fähigkeiten	3	0	1	4
Gesamt	140	4	35	179

Tabelle 1: Anzahl der identifizierten Lernvoraussetzungen nach Kategorie

Lernvoraussetzungen im Bereich „Mathematische Inhalte“

In der Kategorie *Mathematische Inhalte* bewerteten die Hochschullehrenden verschiedene Aspekte mathematischer Konzepte hinsichtlich ihrer Notwendigkeit als Lernvoraussetzung für MINT-Studierende. Sofern sie einen Aspekt als notwendig erachteten, sollten sie auch das Niveau (Kasten 1) angeben, auf dem der genannte Aspekt ihrer Meinung nach vorausgesetzt werden sollte. Die als notwendig identifizierten Lernvoraussetzungen im Bereich mathematischer Inhalte erstrecken sich von Grundlagen (z. B. Teilbarkeit, Potenzregeln) über Inhalte der Analysis (z. B. Grenzwertkonzept, Differenzieren und Integrieren), der Linearen Algebra und Analytischen Geometrie (z. B. Vektoren als Pfeilklassen, Lagebeziehungen im Raum) sowie der Stochastik (z. B. abzählende Kombinatorik) bis hin zu bereichsübergreifenden Inhalten (z. B. Aussagenlogik).

Niveaubeschreibung

Die folgenden beiden Niveaus wurden bei der Einschätzung der Notwendigkeit einer Lernvoraussetzung unterschieden:

Niveau 1:
Grundlegendes Wissen in Bezug auf die mathematischen Inhalte, Algorithmen oder Routinen. Diese können wiedergegeben bzw. ausgeführt werden. Niveau 1 korrespondiert z. B. mit Aufgabenanforderungen der Arten Ausführen, Erkennen, Nachvollziehen, Umformen, Berechnen oder Kennen.

Niveau 2:
Flexibles und stark vernetztes Wissen als Basis für eine kreative Verwendung zur Generierung neuen Wissens oder von Problemlösungen durch heuristische Prozesse, Verknüpfung bzw. Verallgemeinerung. Niveau 2 korrespondiert z. B. mit Aufgabenanforderungen der Arten Übertragen, Interpretieren, Beurteilen, Analysieren, Beweisen und Verallgemeinern.

Für den mathematischen Inhalt „Rationale, reelle Zahlen (inkl. elementarer Eigenschaften)“ bedeutet Niveau 1 beispielsweise: Die Lernenden wissen um die Existenz von rationalen und irrationalen Zahlen und können Standardbeispiele angeben. Niveau 2 bedeutet: Die Lernenden kennen spezifische Eigenschaften der Zahlbereiche (z. B. Dichtheit, Abzählbarkeit) und können damit argumentieren und dies auf Problemlösungen übertragen (z. B. Gibt es eine kleinste positive Zahl?).

Eine als notwendig identifizierte Lernvoraussetzung wurde auf Niveau 2 eingestuft, wenn mehr als 50 % aller Teilnehmenden die Lernvoraussetzung auf Niveau 2 als notwendig erachteten.

Kasten 1:
Niveaus im Bereich
„Mathematische Inhalte“

$$\forall \epsilon > 0 \, \exists \delta > 0 \, \forall x \in D : |x - x_0| < \delta \implies |f(x) - f(x_0)| < \epsilon$$

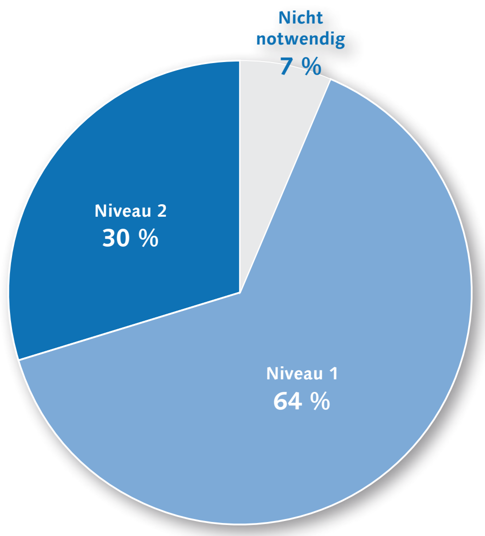
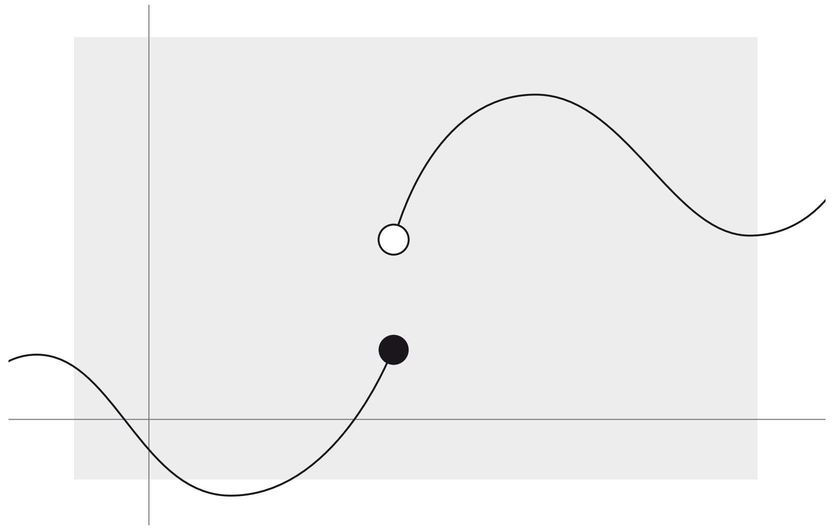


Abb. 13: Beispiel „Anschauliches Stetigkeitskonzept (z. B. als „durchgezogener Graph“)“



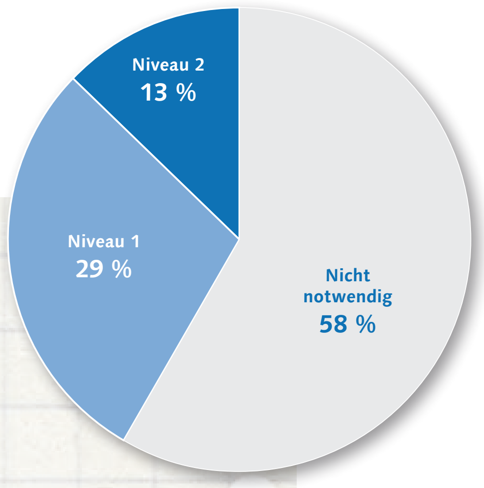


Abb. 14 : Beispiel „Formales Stetigkeitskonzept (als ε-δ-Definition oder mittels Idee der Folgenstetigkeit)“

Highlights

Die Mehrzahl der identifizierten Lernvoraussetzungen ist dem Bereich „Mathematische Inhalte“ zuzuordnen. Dabei fallen insbesondere Aspekte mathematischer Grundlagen, d. h. Inhalte der Sekundarstufe I, auf, zu denen nicht nur die meisten Lernvoraussetzungen genannt wurden, sondern auch mit einer sehr breiten Übereinstimmung. Auffällig ist hier auch, dass die Lernvoraussetzungen vor allem auf Niveau 1 erwartet werden.

Bei mathematischen Inhalten der Sekundarstufe II besteht Konsens darüber, dass zu zentralen Konzepten (wie Grenzwert oder Stetigkeit) ein intuitives Verständnis nötig ist (Abb. 13). Zur Notwendigkeit eines formalen Verständnisses gibt es keinen Konsens (Abb. 14).

Knapp ein Drittel der notwendigen Lernvoraussetzungen bezieht sich auf die Kenntnis mathematischer Inhalte aus der Sekundarstufe I.

Im Vergleich zur Analysis werden weniger Aspekte der linearen Algebra, analytischen Geometrie und der Stochastik als notwendige Lernvoraussetzungen angesehen. Einigkeit besteht beispielsweise über die Notwendigkeit eines Verständnisses des Skalarprodukts, das Kreuzprodukt wird hingegen eher von Lehrenden als notwendig angesehen, die die Anwendung von Mathematik in den INT-Fächern unterrichten.

Niveau 1 - Niveau 1 · Niveau 2 - Niveau 2 · ? - Kein Konsens · Nicht notwendig - Nicht notwendig

Lernvoraussetzungen „Mathematischer Inhalt“

		Betreute Studiengänge			Hochschulart	
	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
1 Grundlagen						
Mengen und Zahlen						
Mengen, Mengendarstellungen und Mengenoperationen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
rationale, reelle Zahlen (inkl. elementare Eigenschaften)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Größenvorstellungen zu Standardbeispielen reeller Zahlen (z.B. Pi)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Zahlengerade als Repräsentationsform für Zahlen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Techniken für Zahlenvergleiche (z.B. beim Vergleich zweier Brüche)	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
Teilbarkeit einschließlich ggT, kgV und Primfaktorzerlegung	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Rechnen mit Maßeinheiten (z.B. SI-Einheiten und abgeleitete Einheiten)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Komplexe Zahlen (inkl. elementare Eigenschaften)	?	?	?	?	?	?
Variablen und Terme						
Elementare algebraische Regeln wie z.B. Kommutativ-, Assoziativ- und Distributivgesetz, Klammerrechnung, Vorzeichenregeln, Binomische Formeln, Faktorisieren	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
Bruchrechnung und Umgang mit Bruchtermen	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
Prozentrechnung, Proportionalität und Dreisatz	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
Umgang mit (Un-)Gleichungen in einer Variablen und lineare Gleichungssysteme						
Äquivalenzumformung und Implikation	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1
Existenz und Eindeutigkeit von Lösungen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Lineare und quadratische Gleichungen	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
Potenz- und Wurzelgleichungen (inkl. Rechenregeln für Potenz- und Wurzelrechnung)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Betragsgleichungen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Exponential- und Logarithmusgleichungen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Gleichungen mit trigonometrischen Funktionen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Lineare und quadratische Ungleichungen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Ungleichungen mit Beträgen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Lineare Gleichungssysteme mit bis zu drei Unbekannten (ohne Matrixdarstellung)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Lineare Gleichungssysteme: Existenz und Eindeutigkeit von Lösungen (ohne Matrixdarstellung)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Elementare Geometrie						
Geometrische Konstruktionen von Dreiecken bzw. im Dreieck	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Satz des Pythagoras und Sätze am Kreis (z.B. Satz des Thales)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Trigonometrie (inkl. Sinus- und Kosinussatz)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Berechnung von Winkelgrößen, Längen und Flächeninhalten bzw. Volumina bei einfachen Flächen- bzw. Körperformen (z.B. Dreieck, Viereckstypen, Kreis, Pyramiden, Zylinder, Kugel)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Kongruenz und Ähnlichkeit (und zugehörige Abbildungen)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Strahlensätze	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Kreisgleichung $(x-a)^2+(y-b)^2=r^2$	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Funktionen						
Begriff/Definition einer Funktion	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Definitionsmenge und Wertemenge	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Repräsentationen von Funktionen (Tabelle, Graph, Gleichung)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Transformation von Funktionen (Spiegelung, Verschiebung, Streckung/Stauchung) an Funktionsgraph und -gleichung	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Lineare und quadratische Funktionen	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
Potenz- und Wurzelfunktionen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Exponential- und Logarithmusfunktionen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Trigonometrische Funktionen (inkl. Bogenmaß, Kenntnisse spezieller Funktionswerte, Polarkoordinaten)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Verknüpfung oder Verkettung von Funktionen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Symmetrie	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Monotonie	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Nullstellen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Asymptotisches Verhalten von Funktionen	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Polynome (Grad n), elementares Rechnen mit Polynomen	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Polynomdivision	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Gebrochen-rationale Funktionen	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Begriff der Umkehrfunktionen inkl. zentraler Beispiele (Potenz-, Wurzel-, Exponential-, Logarithmus- und trigonometrische Funktionen)	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Funktionen mit Fallunterscheidung	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Funktionsscharen (Funktionen mit Parametern)	?	?	?	?	?	?
Funktionen mit mehreren Variablen	?	?	?	?	?	?
Bijektivität, Surjektivität und Injektivität (von Funktionen)	?	?	?	?	?	?

2 Analysis

Folgen und Reihen

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Begriff der Folge (als Abbildung von $\mathbb{N}$ nach $\mathbb{R}$)	▣	▣	▣	?	▣	?
Intuitives Grenzwertkonzept (z.B. $x \to a$, ohne expliziten Folgenbegriff) und Grenzwertbestimmung	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Arithmetische und geometrische Folgen	▣	▣	▣	?	▣	?
Bildungsvorschriften von Folgen (rekursiv, explizit)	▣	▣	▣	?	▣	?
Formales Grenzwertkonzept (auf Basis von Folgen) und Grenzwertbestimmung	?	?	?	?	?	?
Begriff der Reihe (als Folge von Partialsummen)	?	?	?	?	?	?
Arithmetische und geometrische Reihe	?	▣	?	?	?	?

Stetigkeit, Differential- und Integralrechnung (Riemann-Integral)

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Anschauliches Stetigkeitskonzept (z.B. als „durchgezogener Graph")	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Formales Stetigkeitskonzept (als ε-δ-Definition oder mittels Idee der Folgenstetigkeit)	?	?	?	?	?	?
Definition der Differenzierbarkeit und Integrierbarkeit auf Basis eines intuitiven Grenzwertkonzepts ($x \to a$)	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Definition der Differenzierbarkeit und Integrierbarkeit mit formalem Grenzwertkonzept auf Basis von Folgen	?	?	?	?	?	?
Graphische Interpretation von Differenzierbarkeit (z.B. „kein Knick im Graph")	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Rechnerisches Differenzieren und Integrieren reeller Funktionen (von Hand)	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Anschauliche/graphische Beziehung zwischen Funktions- und Ableitungsgraph	▣	▣	▣	▣	▣	▣

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Definition und Bestimmung von Extrem- und Wendestellen	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Extremwertprobleme	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Rotationsvolumen	?	?	?	?	?	?
Begriff des Algorithmus	?	?	?	?	?	?
Einfache Numerische Methoden (wie z.B. Trapezregel oder Newtonverfahren)	?	?	?	?	?	?

Differentiations- und Integrationsregeln

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Faktor- und Summenregel (Differential- und Integralrechnung)	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Produktregel und Quotientenregel (Differentialrechnung)	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Kettenregel (Differentialrechnung)	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Substitutionsregel (Integralrechnung)	▣	▣	▣	?	▣	?
Partielle Integration (Integralrechnung)	?	?	▣	?	▣	?

Vorstellungen von Ableitung und Integral

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Ableitung als Tangentensteigung	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Ableitung als lokale Änderungsrate	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Ableitung als lokale lineare Approximation	▣	▣	▣	▣	▣	?
Bestimmtes Integral als orientierter Flächeninhalt	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Bestimmtes Integral als rekonstruierter Bestand aus momentaner Änderungsrate	?	?	?	?	?	?

3 Lineare Algebra und Analytische Geometrie

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Vektoren als Pfeilklassen	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Komponentendarstellung von Vektoren in $\mathbb{R}^3$	▣	▣	▣	▣	▣▣	▣
Elementare Operationen mit Vektoren (Addition, Skalarmultiplikation)	▣	▣	▣▣	▣	▣▣	▣
Skalarprodukt	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Kreuzprodukt	?	?	?	?	?	?
Kollinearität von Vektoren	▣	▣	▣	▣	▣	▣
Linearkombinationen und lineare Abhängigkeit von Vektoren (über Kollinearität hinaus)	?	?	?	?	?	?

▣ - Niveau 1 ▣▣ - Niveau 2 ? - Kein Konsens ⊘ - Nicht notwendig

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Matrizen, Matrizenaddition, Matrix-Vektor-Multiplikation (nur 2x2-Matrizen)	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens
Fixvektoren von (linearen) Abbildungen	Nicht notwendig	Kein Konsens	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Kein Konsens	Nicht notwendig
Matrizenmultiplikation und inverse Matrizen (nur 2x2-Matrizen)	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens
Potenzen von Matrizen und Grenzmatrizen	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig
Geometrische Transformationen (Spiegelung, Rotation, Skalierung) und deren Darstellung durch Matrizen im $\mathbb{R}^2$	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Nicht notwendig	Kein Konsens	Nicht notwendig
Abstrakte algebraische Strukturen wie Gruppe und Vektorraum	Nicht notwendig	Kein Konsens	Kein Konsens	Nicht notwendig	Kein Konsens	Nicht notwendig
Analytische Beschreibung bzw. Darstellung von Punkt, Gerade und Ebene in Ebene und Raum	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Analytische Beschreibung und Darstellung von Kreis und Kugel in Ebene und Raum	Kein Konsens	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Winkel- und Lagebeziehungen (Schnittpunkt, Abstand) von geometrischen Objekten in Ebene und Raum	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens

4 Stochastik und bereichsübergreifende Inhalte

Stochastik

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Abzählende Kombinatorik (Permutationen, Variationen, Kombinationen, Zählprinzipien)	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Kombinatorik (Erweiterung): Graphen	Nicht notwendig	Kein Konsens	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig
Wahrscheinlichkeit sowie diskrete Zufallsgrößen (Binomialverteilung) und Normalverteilung	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Grundlegende Begriffe der deskriptiven Statistik: Modus, Mittelwert, Häufigkeit, Spannweite und Standardabweichung	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens

Bereichsübergreifende Inhalte

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Aussagenlogik (Aussagen und ihre Verknüpfung, Aussageformen, Umkehrung von Aussagen, Umformungen (Rechnen mit Aussagevariablen sowie Existenz- und All-Aussagen))	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Quantoren und Prädikatenlogik (Ergänzung zu Aussagenlogik)	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Nicht notwendig	Kein Konsens	Nicht notwendig
Beweisverfahren (direkter und indirekter Beweis, vollständige Induktion)	Kein Konsens	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Übergeordnete Begriffe wie Definition, Beispiel, Vermutung, Heuristik, Aussage, Satz, Beweis	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Kenntnisse zu Zielen mathematischen Arbeitens (z.B. Begriffsbildung, Untersuchung von Strukturen)	Kein Konsens	Niveau 1	Niveau 1	Kein Konsens	Niveau 1	Kein Konsens
Fehlerfortpflanzung und Fehler- und Ausgleichsrechnung	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens	Kein Konsens

- Niveau 1 - Niveau 2 - Niveau unklar - Nicht notwendig ? - Kein Konsens

Lernvoraussetzungen im Bereich „Mathematische Arbeitstätigkeiten“

In der Kategorie *Mathematische Arbeitstätigkeiten* bewerteten die Hochschullehrenden verschiedene Prozesse, die typisch für das mathematische Arbeiten sind, hinsichtlich ihrer Notwendigkeit als Lernvoraussetzung für MINT-Studierende. Sofern sie einen Aspekt als notwendig erachteten, sollten sie auch das Niveau (Kasten 2) angeben, auf dem der genannte Aspekt ihrer Meinung nach vorausgesetzt werden sollte.

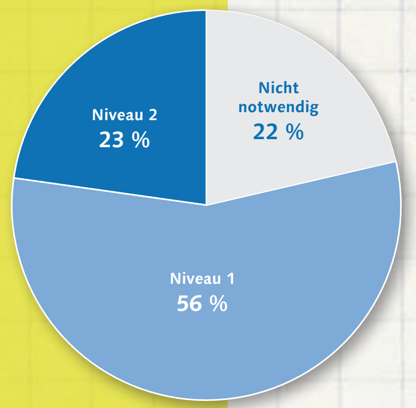


Abb. 15: „Sicherer Umgang mit Taschenrechnern und Computern zur Lösung von Aufgaben (z. B. einfache graphische Lösungsverfahren aber auch kritische Betrachtung von Ergebnissen)“

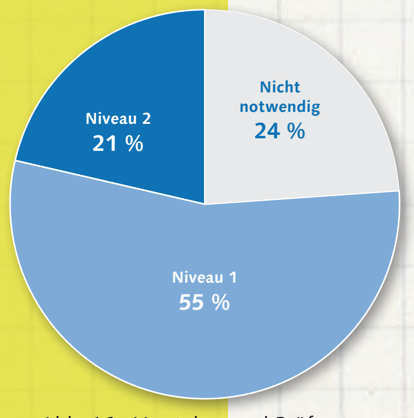


Abb. 16: „Verstehen und Prüfen von mathematischen Beweisen“

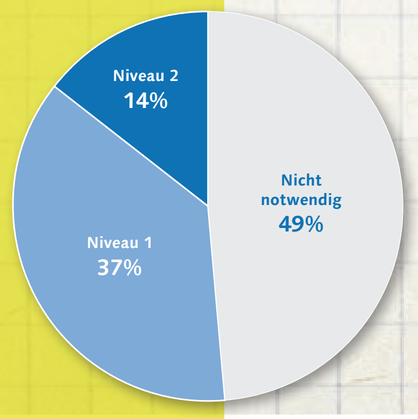


Abb. 17: „Entwickeln und Formulieren mathematischer Beweise zu einer gegebenen Behauptung“

Highlights

Typische mathematische Arbeitstätigkeiten, die als notwendige Lernvoraussetzungen genannt wurden, bezogen sich neben grundlegenden Tätigkeiten auf das Argumentieren und Beweisen, Kommunizieren, Definieren, Problemlösen, Modellieren sowie auf Recherche. Wie bei den Lernvoraussetzungen aus dem Bereich mathematischer Inhalte umfassen die Lernvoraussetzungen zu mathematischen Arbeitstätigkeiten wesentliche Aspekte der nationalen Bildungsstandards für Mathematik.

Große Einigkeit besteht unter den Hochschullehrenden darüber, dass Studienanfängerinnen und Studienanfänger bekannte Verfahren ohne elektronische Hilfsmittel schnell und korrekt ausführen können sollten. Aber auch der sichere und reflektierte Einsatz von Taschenrechnern und Computern sollte beherrscht werden (Abb. 15). Darüber hinaus sollten Erstsemesterstudierende für das Lösen von Problemen allgemeine heuristische Herangehensweisen sicher anwenden können.

Der sichere und reflektierte Einsatz von Taschenrechnern sollte beherrscht werden.

Zu mathematischen Beweisen – ein Aspekt, der in der Schulmathematik eher am Rande behandelt wird – besteht Einigkeit darüber, dass Studienanfängerinnen und Studienanfänger diese verstehen und prüfen können sollten (Abb. 16), das eigenständige Entwickeln und Formulieren von Beweisen wird jedoch uneinheitlich bewertet (Abb. 17).

Auch das Modellieren, d. h. die typische Anwendung von Mathematik in außermathematischen (Problem-)Situationen, wird als notwendig erachtet. Über die Notwendigkeit, verschiedene Modelle bewerten und vergleichen zu können, besteht dagegen kein einheitliches Bild (Abb. 18, 19, 20).

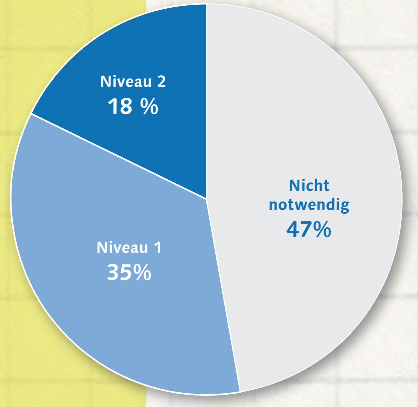


Abb. 18: „Bewerten verschiedener mathematischer Modelle derselben Realsituation“: Studiengangsgruppe Mathematik

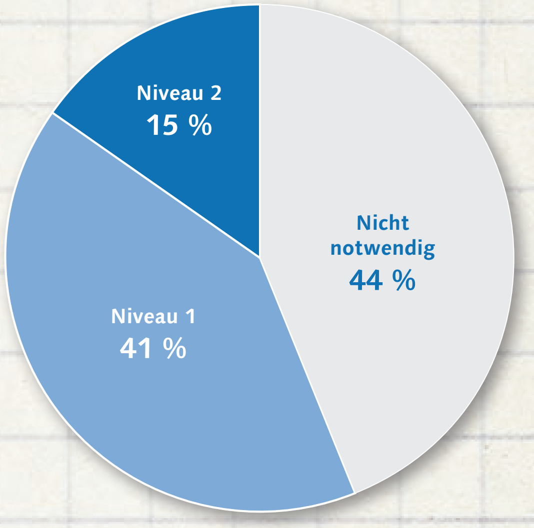


Abb. 19: „Bewerten verschiedener mathematischer Modelle derselben Realsituation“: Studiengangsgruppe MINT

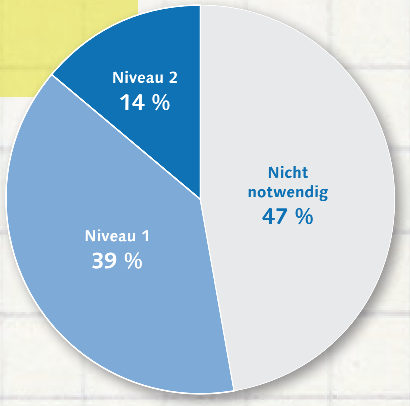


Abb. 20: „Bewerten verschiedener mathematischer Modelle derselben Realsituation“: Studiengangsgruppe INT

Kasten 2: Niveaus im Bereich „Mathematische Arbeitstätigkeit“

Niveaubeschreibung

Die folgenden beiden Niveaus wurden bei der Einschätzung der Notwendigkeit einer Lernvoraussetzung unterschieden:

Niveau 1:
Die jeweilige mathematische Arbeitstätigkeit kann in vertrauten Anforderungssituationen reproduziert werden (z. B. Beweisprobleme analog zu einem bekannten Aufgabentyp lösen) und sie kann in unvertrauten Situationen bei einfachen Inhalten der Sekundarstufe I ausgeführt werden.

Niveau 2:
Die jeweilige mathematische Arbeitstätigkeit kann zusätzlich in unvertrauten Anforderungssituationen bei Inhalten der Sekundarstufe II durchgeführt werden.

Eine als notwendig identifizierte Lernvoraussetzung wurde auf Niveau 2 eingestuft, wenn mehr als 50 % aller Teilnehmenden die Lernvoraussetzung auf Niveau 2 als notwendig erachteten.

● - Niveau 1 ●● - Niveau 2 ? - Kein Konsens

Lernvoraussetzungen „Mathematische Arbeitstätigkeit“	Insg.	Betreute Studiengänge: M	MINT	INT	Hochschulart: Univ.	(F)H
1 Grundlagen (Rechnen, Hilfsmitteleinsatz, Darstellungen)						
Schnelles und korrektes Ausführen von bekannten Verfahren ohne elektronische Hilfsmittel (z. B. Bestimmen von Ableitung und Integral; Lösen von Gleichungssystemen; Umformungen, wobei einfache Rechenschritte im Kopf gelöst werden können)	●●	●●	●●	●●	●●	●●
Sicherer Umgang mit Taschenrechnern und Computern zur Lösung von Aufgaben (z. B. einfache graphische Lösungsverfahren, aber auch kritische Betrachtung von Ergebnissen)	●	●	●	●	●	●
Sprachliche Fähigkeiten (Deutsch, ohne spezielle mathematische Fachbegriffe) zum Verstehen von Aufgabenstellungen oder Texten zur Mathematik, z. B. in der Fachliteratur	●●	●●	●●	●●	●●	●●
Sprachliche Fähigkeiten (Englisch, ohne spezielle mathematische Fachbegriffe) zum Verstehen von Aufgabenstellungen oder Texten zur Mathematik, z. B. in der Fachliteratur	●	●	?	?	●	?
Sicherer Umgang mit grundlegender mathematischer Formelsprache (ohne elektronische Hilfsmittel)	●●	●●	●●	●●	●●	●●
Sicherer Umgang mit Standarddarstellungen von Termen/ Gleichungen, Funktionen, Diagrammen, Tabellen, Vektoren und geometrischen Objekten (ohne elektronische Hilfsmittel)	●●	●●	●●	●●	●●	●●
Sicherer Umgang mit dem Summen- und dem Produktzeichen	●	●	●	●	●	●
Schnelles und sicheres Wechseln zwischen unterschiedlichen Standarddarstellungen (z. B. bei Termen/Gleichungen, Funktionen, Diagrammen, Tabellen, Vektoren und geometrischen Objekten) ohne elektronische Hilfsmittel	●●	●●	●●	●●	●●	●●
Entwickeln von Visualisierungen zu mathematischen Zusammenhängen (d. h. geeignete Auswahl einer Darstellungsart und Anfertigen der Darstellung ohne elektronische Hilfsmittel)	●	●	●	●	●	●
2 Mathematisches Argumentieren und Beweisen						
Verstehen und Explorieren von mathematischen Behauptungen und Sätzen (was wird ausgesagt, für welche Klasse von mathematischen Objekten gilt dies bzw. gilt dies nicht aufgrund der Voraussetzungen)	●●	●●	●●	?	●●	?
Verstehen und Prüfen von mathematischen Beweisen	●	●	●	●	●	?
Erkennen von Zusammenhängen und Strukturen in gegebenen mathematischen Situationen (z. B. einfache Schlussfolgerungen oder Äquivalenzen)	●●	●●	●●	●●	●●	●●

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Entwickeln und Formulieren mathematischer Vermutungen und unterstützender Plausibilitätsargumente	■	■	■	■	■	■
Entwickeln und Formulieren mathematischer Beweise zu einer gegebenen Behauptung	?	?	?	?	?	?
Kontrollstrategien						
Überschlagsrechnungen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Größenordnungen abschätzen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Plausibilitätsüberlegungen bei Argumentationen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Fehler systematisch eingrenzen, identifizieren bzw. grob abschätzen	■■	■■	■■	■■	■■	■■

3 Mathematisches Kommunizieren

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Schriftliche mathematische Formulierungen (mit Fachsprache und Fachsymbolik) sprachlich verstehen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Mathematik in präziser mathematischer Notation unter Einsatz der Fachsprache und Fachsymbolik schriftlich darstellen	■	■	■	■	■	■
Lernförderliche und präzise Fragen stellen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Mathematische Sachverhalte mündlich erklären	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Zielgerichtet mit Lehrenden oder Studierenden über Mathematik diskutieren	■■	■■	■■	?	■■	■■

4 Mathematisches Definieren

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Mathematische Definitionen nachvollziehen (u. a. Beispiele und Gegenbeispiele angeben; prüfen, ob ein Beispiel unter die Definition fällt oder nicht)	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Mathematische Begriffe anhand ihrer Definition erklären	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Mathematische Definitionen bekannter Begriffe angemessen formulieren	■	■	■	■	■	■
Eigene Definitionen zu (einfachen) selbst abgeleiteten mathematischen Begriffen entwickeln	?	?	?	?	?	?

5 Problemlösen

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Gegebene mathematische Probleme verstehen und präzise wiedergeben	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Gegebene Lösungen zu mathematischen Problemen verstehen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Aus gegebenen Lösungen zu mathematischen Problemen Lösungsstrategien ableiten	■	■	■	■	■	■

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Allgemeine heuristische Prinzipien sicher und flüssig verwenden (Skizze anfertigen, systematisch probieren, in Teilprobleme zerlegen, Symmetrien verwenden, Invarianten finden)	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Rolle allgemeiner heuristischer Prinzipien bei ihrer Verwendung explizit erläutern	?	?	?	?	?	?
Notwendigkeit von Fallunterscheidungen erkennen und Fallunterscheidungen vornehmen	■■	■■	■■	■■	■■	■■
Probleme mit mindestens drei Lösungsschritten lösen (d. h. Probleme, bei denen eine Kette von mindestens drei Argumenten nötig ist, sodass eine einfache Folgerung aus den Voraussetzungen in Kombination mit einer einfachen Rückwärtsfolgerung aus der Behauptung nicht schon die Lösung darstellt)	■	■	■	■	■	■
Komplexe Probleme in einfachere äquivalente Probleme umformulieren	■	■	■	■	■	■

6 Mathematisches Modellieren

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Beschreibung außermathematischer Situationen mithilfe mathematischer Werkzeuge	■	■	■	■	■	■
Lösung außermathematischer Problemsituationen mithilfe mathematischer Werkzeuge	■	■	■	■	■	■
Kontrolle von Ergebnissen einer mathematischen Modellierung im Hinblick auf Stimmigkeit in Realsituationen	■	■	■	■	■	■
Bewerten verschiedener mathematischer Modelle derselben Realsituation	?	?	?	?	?	?
Erkennen des genuin mathematischen Beitrags beim Lösen außermathematischer Probleme mithilfe mathematischer Werkzeuge	?	?	?	?	?	?
Reflektieren des Nutzens und der Grenzen mathematischer Modellierungen für reale Problemsituationen	■	?	■	■	?	■

7 Recherche

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	(F)H
Mathematische Informationen in Nachschlagewerken, dem Internet oder anderen Ressourcen recherchieren (inkl. kritischer Einschätzung der Quellen)	■	■	■	■	■	■

■ - Niveau 1 ■■ - Niveau 2 ? - Kein Konsens

Lernvoraussetzungen im Bereich „Wesen der Mathematik“

In der Kategorie *Wesen der Mathematik* bewerteten die Hochschullehrenden Vorstellungen über Mathematik als wissenschaftliche Disziplin hinsichtlich ihrer Notwendigkeit als Lernvoraussetzung für MINT-Studierende. Sofern sie einen Aspekt als notwendig erachteten, sollten sie auch das Niveau (Kasten 3) angeben, auf dem der genannte Aspekt ihrer Meinung nach vorausgesetzt werden sollte.

Highlights

Die als notwendig genannten Lernvoraussetzungen aus diesem Bereich befinden sich auf einer wissenschaftsphilosophischen Metaebene. Diese Aspekte sind zwar vor dem Hintergrund des wissenschaftspropädeutischen Auftrags der Sekundarstufe II relevant, bislang finden sie in Standards und (Kern-) Lehrplänen jedoch kaum Berücksichtigung.

Auch ein Metawissen über Mathematik als wissenschaftliche Disziplin ist als Lernvoraussetzung für ein MINT-Studium notwendig.

So sollte zum Beispiel Mathematik als ein offenes System angesehen werden, das viel mehr und qualitativ Anderes enthält, als in der Schulmathematik thematisiert wird (Abb. 21). Auch sollten sich Studienanfängerinnen und Studienanfänger der Rolle des Beweisens in der Mathematik bewusst sein (Abb. 22). Es reicht jedoch aus Hochschulsicht aus, wenn derartige Vorstellungen über Mathematik als abstraktes Metawissen vorliegen, eigene Erfahrungen mit diesen Wesenszügen der Mathematik werden nicht als notwendig angesehen.

Niveaubeschreibung

Die folgenden beiden Niveaus wurden bei der Einschätzung der Notwendigkeit einer Lernvoraussetzung unterschieden:

Niveau 1:
Die Vorstellungen über Mathematik liegen zu Studienbeginn als abstraktes Metawissen vor (d. h. die Lernenden haben diese als Information in irgendeiner Form mitgeteilt bekommen).

Niveau 2:
Die Lernenden haben schon eigene Erfahrungen mit dem jeweiligen Wesenszug der Mathematik gemacht, z. B. indem entsprechendes mathematisches Arbeiten beobachtet und reflektiert oder sogar selbst vollzogen wurde.

Für die Vorstellung, dass das Beweisen im Zentrum der Mathematik steht, bedeutet Niveau 1 beispielsweise: Die Lernenden wissen, dass Beweisen eine zentrale Tätigkeit in der Mathematik als wissenschaftliche Disziplin ist, haben dies in der Schule selbst aber nicht so kennengelernt. Niveau 2 bedeutet: Die Lernenden haben eigene Erfahrungen im Beweisen gesammelt und dabei erlebt, dass diese Tätigkeit zentraler Bestandteil der Mathematik als Wissenschaftsdisziplin ist. Oder: Sie haben die Rolle des Beweisens als zentrales Element mathematischen Arbeitens beobachtet/wahrgenommen und reflektiert (z. B. durch Lesen eines Buchs über Fermats letzten Satz o. ä.).

Eine als notwendig identifizierte Lernvoraussetzung wurde auf Niveau 2 eingestuft, wenn mehr als 50 % aller Teilnehmenden die Lernvoraussetzung auf Niveau 2 als notwendig erachteten.

Kasten 3: Niveaus im Bereich „Wesen der Mathematik“

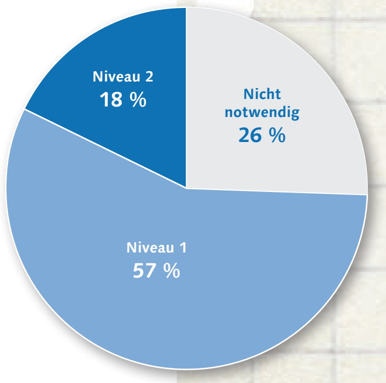


Abb. 21: „Mathematik sollte als ein offenes System angesehen werden, das viel mehr und qualitativ Anderes enthält, als in der Schulmathematik thematisiert wird.“

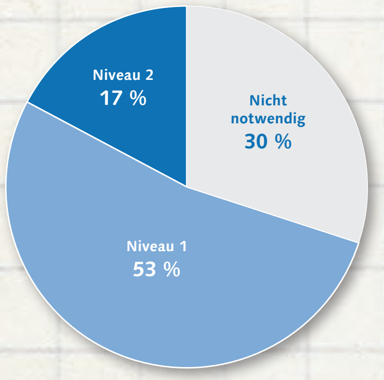


Abb. 22: „Das Beweisen ist eine zentrale Tätigkeit in der Mathematik.“

Lernvoraussetzungen „Wesen der Mathematik“	Insg.	Betreute Studiengänge: M	MINT	INT	Hochschulart: Univ.	(F)H
Vorstellungen über das Wesen der Mathematik						
Das Beweisen ist eine zentrale Tätigkeit der Mathematik.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	?	Niveau 1	?
Die spezielle Art des Beweisens grenzt die Mathematik von vielen anderen Disziplinen ab.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	?	Niveau 1	?
Die für das Beweisen notwendige Präzision erfordert eine Strenge in der Begriffsdefinition und der Argumentation.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	?
Begriffe werden in der Mathematik vollständig durch definierende Eigenschaften charakterisiert und auf Basis dieser Eigenschaften werden mithilfe deduktiver Schlussfolgerungen weitere Aussagen abgeleitet und bewiesen.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	?	Niveau 1	?
Mathematische Forschung wird zwar oft auch durch Phänomene der Realität inspiriert, ihr Ziel ist aber oft nicht bzw. nicht allein die Beschreibung realer Phänomene, sondern die möglichst kohärente und konsistente Untersuchung und Beschreibung abstrakter und damit universell einsetzbarer Strukturen.	?	?	?	?	?	?
Mathematik sollte auch als Schulung des präzisen und abstrakten Denkens verstanden werden, die weit über das schablonenartige Anwenden mathematischer Methoden auf Standardprobleme hinausgeht.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Mathematik sollte als ein offenes System angesehen werden, das viel mehr und qualitativ Anderes enthält, als in der Schulmathematik thematisiert wird.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Mathematische Ergebnisse werden in Form definierter Begriffe und bewiesener Aussagen in anderen Disziplinen verwendet, um außermathematische Phänomene und Probleme zu modellieren und damit einer Handhabung zugänglich zu machen.	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1	Niveau 1
Bei der Anwendung von Mathematik in anderen Disziplinen werden teilweise weniger strenge Standards in Bezug auf die Präzision und Absicherung der verwendeten Aussagen angesetzt als in der Mathematik als eigenständige Wissenschaft.	?	?	?	?	?	?

- Niveau 1 - Niveau 2 ? - Kein Konsens

Lernvoraussetzungen im Bereich „Persönliche Merkmale“

In der Kategorie *Persönliche Merkmale* nannten und bewerteten die Hochschullehrenden verschiedene kognitive und affektive Eigenschaften hinsichtlich ihrer Notwendigkeit als Lernvoraussetzung für MINT-Studierende. Die als notwendig erachteten Aspekte bezogen sich auf Einstellungen und Arbeitsweisen, kognitive Fähigkeiten und Kenntnisse sowie soziale Fähigkeiten. Dabei wurden vier Niveaus der Zustimmung unterschieden (Kasten 4).

Highlights

Einige Personenmerkmale wurden von nahezu allen Teilnehmenden als wichtig eingeschätzt. Dazu gehört beispielsweise Durchhaltevermögen und Frustrationstoleranz, Neugier und Offenheit.

MINT-Studienanfängerinnen und -anfänger sollten über spezielle persönliche Merkmale wie Durchhaltevermögen, Neugier und Offenheit verfügen.

Schulwissen aus naturwissenschaftlichen Fächern wird zwar tendenziell auch als Lernvoraussetzung angesehen. Ein Konsens konnte dazu jedoch nicht festgestellt werden. Hier zeigen sich auch leichte Unterschiede über die Studiengangsgruppen hinweg (Abb. 23, 24, 25).

Niveaubeschreibung

Es wurden 4 Zustimmungsniveaus unterschieden:

- WICHTIG
- EHER WICHTIG
- EHER UNWICHTIG
- UNWICHTIG

Wenn mehr als 2/3 aller Teilnehmenden in der Gesamtstichprobe sowie in den verschiedenen Hochschultypen und Studiengangsgruppen einen Aspekt als „eher wichtig“ oder „wichtig“ einstuften, wurde er als „erwünscht“ bewertet.

Wenn mehr als 3/4 aller Teilnehmenden in der Gesamtstichprobe sowie in den verschiedenen Hochschultypen und Studiengangsgruppen einen Aspekt als „eher unwichtig“ oder „unwichtig“ einstuften, wurde er als „nicht notwendig“ bewertet.

Kasten 4: Zustimmungsniveaus im Bereich „Persönliche Merkmale“

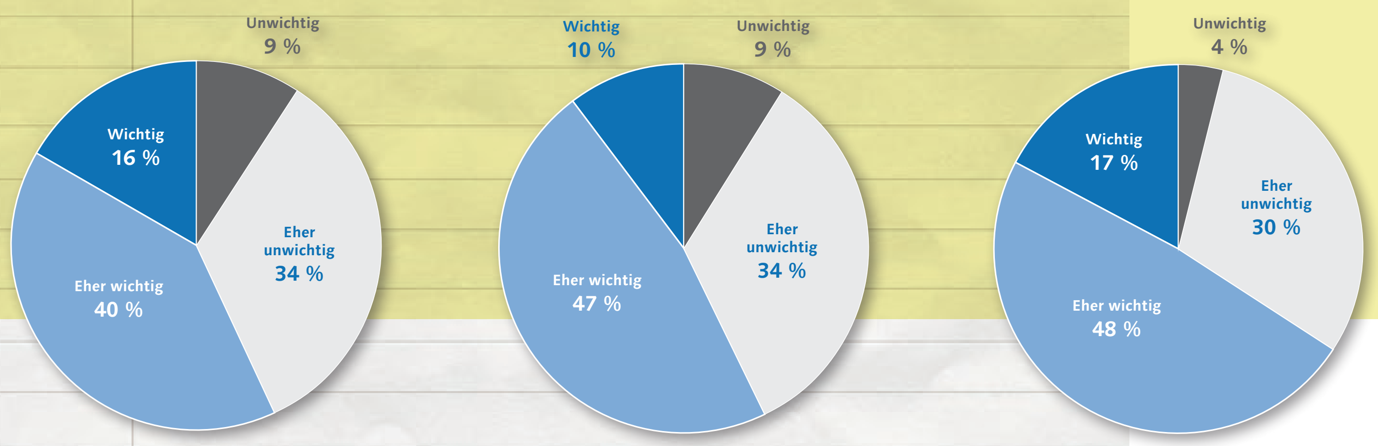


Abb. 23-25: Schulfachwissen aus allen naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern (als Grundlage für mathematische Anwendungsbeispiele im ersten Semester): Studiengangsgruppen Mathematik (links), MINT (Mitte), INT (rechts)

Lernvoraussetzung „Persönliche Merkmale“		Betreute Studiengänge			Hochschulart	
	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	FH
1 Einstellungen und Arbeitsweisen						
Offenheit gegenüber der Mathematik als wissenschaftliche Disziplin und dem Mathematiklernen an der Hochschule	!	!	!	!	!	!
Interesse, Freude, Motivation und Neugier an/gegenüber der Mathematik	!	!	!	!	!	!
Interesse, Freude, Motivation und Neugier an/gegenüber der Anwendung von Mathematik in außermathematischen Bereichen	!	?	!	!	!	!
Bereitschaft zur tiefgreifenden Durchdringung (Verständnis) und Reflexion mathematischer Begriffsbildungen, Konzepte und Prozesse	!	!	!	?	!	?
Bereitschaft zum Herleiten von neuen Zusammenhängen und Formeln	!	!	!	!	!	!
Bereitschaft, auch aufwendige, abstrakte mathematische Probleme zu lösen	!	!	!	?	!	?
Organisations- und Zeitmanagement: Bereitschaft und Fähigkeit zur selbständigen Arbeit (insb. in Bezug auf das Lösen von Übungsaufgaben oder das Lesen mathematischer Fachbücher) sowie ordentliche, strukturierte und gewissenhafte Arbeitsweise bezogen auf mathematische Tätigkeiten	!	!	!	!	!	!
Fleiß und Bereitschaft zur häufigen Beschäftigung mit Mathematik	!	!	!	!	!	!
Durchhaltevermögen, Ausdauer, Zähigkeit, Frustrationstoleranz und Selbstdisziplin gegenüber mathematikbezogenen Anforderungen	!	!	!	!	!	!
Übereinstimmung zwischen Selbsteinschätzung und tatsächlichen Fähigkeiten, kritischer Umgang mit den eigenen Fähigkeiten	!	!	!	!	!	!
Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit bzw. in das eigene Denken	!	!	!	!	!	!
2 Kognitive Fähigkeiten und Kenntnisse						
Schnelles Auffassungsvermögen	!	!	!	!	!	!
Intelligenz (insb. präzises abstraktes und logisches Denken)	!	!	!	!	!	!
Konzentrationsfähigkeit (Bereitschaft und Fähigkeit zu konzentriertem Arbeiten über einen längeren Zeitraum)	!	!	!	!	!	!

! - Erwünscht ? - Kein Konsens

	Insg.	M	MINT	INT	Univ.	FH
Kreativität und Vorstellungsvermögen (insb. zur Übertragung und Weiterentwicklung von Methoden sowie zur Generierung von Problemlöseideen)	!	!	!	!	!	!
Metakognition, d.h. das Überwachen des eigenen Denkens in mathematischen Anforderungssituationen	?	?	!	?	?	?
Schulfachwissen aus allen naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern (als Grundlage für mathematische Anwendungsbeispiele im ersten Semester)	?	?	?	?	?	?
Kenntnisse über den Aufbau und die Ziele des zu wählenden Studiengangs	!	?	?	!	?	!
Soziale Fähigkeiten						
Kommunikationsfreudigkeit: Bereitschaft zum Austausch mit Lehrenden und Studierenden über Mathematik	!	!	!	!	!	!
Bereitschaft und Mut, bei Unklarheiten oder Fehlern nachzufragen und bei Schwierigkeiten Hilfe zu suchen.	!	!	!	!	!	!
Teamfähigkeit (insb. zum Bilden von und gemeinsamen Arbeiten in Übungsgruppen)	!	!	!	!	!	!
Kontakte und Orientierung zu Personenkreisen und Bereichen außerhalb des eigenen Studiengangs	?	?	?	?	?	?

! - Erwünscht ? - Kein Konsens

Empfehlungen

Wie können die nun vorliegenden Ergebnisse dazu beitragen, die Reibungsverluste am Übergang von der Schule in ein MINT-Studium zu reduzieren? Im Folgenden bieten wir einige Vorschläge, wie Mathematiklehrkräfte, Hochschullehrende sowie Entscheidungsträger in Bildungspolitik, Bildungsverwaltungen sowie Schulen und Hochschulen mit den Ergebnissen weiterarbeiten können.

Empfehlungen für Schulen und Mathematiklehrkräfte

- Die Zusammenstellung der mathematischen Lernvoraussetzungen kann als Orientierung für den Mathematikunterricht der Sekundarstufe II genutzt werden.
- Sie erlaubt zum Beispiel, Inhalte für differenzierende Lerngelegenheiten abzuleiten und spezielle Fördermaßnahmen für Schülerinnen und Schüler zu entwickeln, die sich für ein MINT-Studium interessieren.
- Ebenso können die identifizierten mathematischen Lernvoraussetzungen bei der Beratung von potenziellen MINT-Studierenden zum Einsatz kommen.

Empfehlungen für Hochschulen und Hochschullehrende

- Mit der Übersicht über die mathematischen Lernvoraussetzungen lassen sich die Anforderungen einer Hochschule für Schulen und MINT-interessierte Schülerinnen und Schüler transparent machen.
- Im Idealfall können sich die Hochschulen bundesweit auf einen Grundkanon der mathematischen Lernvoraussetzungen einigen, die Schule vermitteln soll. Für alle weitergehenden Anforderungen, die bestimmte Hochschulen oder bestimmte Studiengänge stellen, übernehmen diese dann selbst die Verantwortung etwa in Form spezifischer Brückenkurse.
- Die Zusammenstellung ist eine gute Grundlage für die (Weiter-)Entwicklung mathematischer Vor- und Brückenkurse. Auch bei Selbsteinschätzungstests kann die Liste der mathematischen Lernvoraussetzungen potenziellen MINT-Studierenden als Orientierung für die gezielte Nutzung dienen.

Empfehlungen für Bildungspolitik und Bildungsverwaltung

- Die als notwendig angesehenen mathematischen Lernvoraussetzungen sollten in Standards, Lehrpläne und Curricula für das Schulfach Mathematik einfließen.
- Im Rahmen eines Bildungsmonitorings können die Lernvoraussetzungen zur Beurteilung der Schulleistungen im Fach Mathematik herangezogen werden und so dabei helfen, möglichen Handlungsbedarf für die Steuerung des Bildungssystems zu identifizieren.
- Die Zusammenstellung mathematischer Lernvoraussetzungen erleichtert die Abstimmung zwischen Schulen und Hochschulen in den Bundesländern. Die Bildungsverwaltung sollte dies mit entsprechenden Maßnahmen unterstützen.

Literaturverzeichnis

- Biehler, R., Bruder, R., Hochmuth, R., & Koepf, W. (2013). Einleitung. In I. Bausch, R. Biehler, R. Bruder, P. R. Fischer, R. Hochmuth, W. Koepf, S. Schreiber, T. Wassong (Hrsg.), Konzepte und Studien zur Hochschuldidaktik und Brückenkurse. Konzepte, Probleme und Perspektiven (S. 1–6). Dordrecht: Springer.

- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. Management Science, 9(3), 458-467.

- Häder, M. (2014). Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch (3. Aufl.). Wiesbaden: Springer.

- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D., & Besuch, G. (2010). Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen: Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08. Hannover: HIS.

- Heublein, U., Richter, J., Schmelzer, R., & Sommer, D. (2014). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen: Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2012. Forum Hochschule 4. Hannover: DZHW.

- Mayring, P. (2003). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (8. Aufl.). UTB für Wissenschaft Pädagogik, Vol. 8229. Weinheim: Beltz.

Impressum

herausgeber

IPN

IPN · Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Olshausenstraße 62
24118 Kiel

Postanschrift:
IPN · 24098 Kiel

E-Mail: info@leibniz-ipn.de
www.ipn.uni-kiel.de

Vertreten durch das Direktorium:

Professor Olaf Köller, *Geschäftsführender Wissenschaftlicher Direktor;*
Bent Hinrichsen, *Geschäftsführender Administrativer Direktor*

Prof. Dr. Ute Harms, *Direktorin*
Prof. Dr. Aiso Heinze, *Direktor*
Prof. Dr. Oliver Lüdtke, *Direktor*
Prof. Dr. Knut Neumann, *Direktor*
Prof. Dr. Ilka Parchmann, *Direktorin*

Autorinnen und Autoren

Dr. Irene Neumann

Prof. Dr. Aiso Heinze

Christoph Pigge

ineumann@ipn.uni-kiel.de

T 0431 880 - 5284

design / gestalterisches konzept / satz

Jan Uhing / IPN

lektorat

Birgit Hellmann,

Beate von der Heydt

druck

hansadruck und verlag gmbh + co. kg, Kiel

bildnachweise

Titelbild: Kröger/Dorfmüller © Uni Kiel«

ISBN:

978-3-89088-292-5

(Korrigierte Fassung)

IPN
Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

Leibniz
Gemeinschaft