

ALINA SERSCH (Bergische Universität Wuppertal)

CHRISTIAN SAUDER (Bergische Universität Wuppertal)

TOBIAS STEGER (Bergische Universität Wuppertal)

PETER GUST (Bergische Universität Wuppertal)

**Praxisbericht: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Eine
Analyse der Vermittlung im Maschinenbaustudium an Hochschulen
in Deutschland**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

ALINA SERSCH / CHRISTIAN SAUDER / TOBIAS STEGER / PETER GUST

Praxisbericht: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Eine Analyse der Ver-mittlung im Maschinenbaustudium an Hochschulen in Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG: Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Vermittlung des GPS-Systems in der Hochschullehre untersucht. Der Fokus liegt dabei auf der Erfassung von Umfang, Vermittlungsmethoden sowie Erfahrungen und Potenzialen im Bachelorstudium des Maschinenbaus in Deutschland. Insgesamt haben auf die Befragung Dozierende von 85 der 115 ausgewählten Hochschulen geantwortet. Über 50 % gaben an, sich in der Lehre nicht auf den aktuellen Stand der Normung zu beziehen. Die Vermittlung der Konzepte, Prinzipien und Regeln der GPS wird in allen Themenfeldern außer dem Qualitätsmanagement vernachlässigt. Es zeigen sich Verbesserungsmöglichkeiten bei der zeitlichen Ausgestaltung der Lehre und die Notwendigkeit praxisnaher Beispiele. Zudem werden Potenziale bezüglich digitaler Medien und aktivierendem Lernen aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Geometrische Produktspezifikation (GPS), Hochschullehre, Anwendungssituation, Ingenieurausbildung, Vermittlungsansätze

Practice report: Geometrical Product Specifications (GPS) – Analysis of teaching in mechanical engineering studies at universities in Germany

ABSTRACT: This study examines the teaching of the GPS system in higher education. The focus is on determining the scope, teaching methods, experiences and potential in bachelor's degree courses in mechanical engineering in Germany. In total, lecturers from 85 of the 115 selected universities took part in the survey. Over 50 % stated that they do not refer to the current state of standardization in their teaching. The teaching of concepts, principles and rules of GPS is neglected in all subject areas except quality management. There is room for improvement in the timing of teaching and the need for practical examples. In addition, potentials regarding digital media and activating learning are highlighted.

Keywords: Geometrical Product Specifications (GPS), higher education, application situation, engineering education, teaching approaches

1 Einleitung

Zur Beschreibung von technischen Bauteilen und ihrer Verifikation innerhalb der Technischen Produktspezifikation (TPS) wurde die Geometrische Produktspezifikation (ISO-GPS-System) entwickelt (ISO 2023). Als Grundlage für die nonverbale Sprache der GPS sollte die technische Zeichnung eindeutig und vollständig sein (Jorden & Schütte 2020). Obwohl das Normensystem seit mehr als 25 Jahren besteht, sind die Anwendung und die Vermittlung der Inhalte ein aktuelles Thema. Das gilt nicht nur für Fachkräfte im Bereich der Konstruktion, sondern für alle Mitarbeitenden eines Unternehmens, die mit dem Kommunikationsmittel der technischen Zeichnung in Berührung kommen. Entlang des Produktentstehungsprozesses sind dies beispielsweise Mitarbeitende in den Bereichen Fertigung, Messtechnik, Qualitätssicherung/-management und Einkauf. Doch es bestehen Herausforderungen in der Anwendung der funktionsorientierten Spezifikation, besonders mit Blick auf die fortschreitende Digitalisierung in der Industrie (MBD = Model based definition; digitaler Zwilling) sowie der Aus- und Weiterbildung.

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Abschnitt wird das GPS-Normensystem beschrieben. Auch aktuelle Herausforderungen und Chancen in der Hochschullehre werden aufgearbeitet. Ein Blick auf bestehende Best-Practice-Beispiele im Bereich der Ingenieurwissenschaften dient der Aufdeckung von Herausforderungen bei der Vermittlung von GPS.

2.1 Normensystem der Geometrischen Produktspezifikation (GPS)

Die grundsätzlichen Regeln für die Anwendung von Normen gelten auch für das Normensystem der GPS. Das bedeutet, die Anwendung ist freiwillig, außer die Nutzung bestimmter Normen wird in Verträgen explizit vereinbart (Klein 2001). Doch in Haftungsfällen oder Streitigkeiten zwischen Unternehmen gibt die Anwendung der Normen den Nachweis, nach anerkannten Regeln der Technik gehandelt zu haben (DIN 2021). Die GPS kann als Weiterentwicklung der traditionellen Form- und Lagetolerierung angesehen werden. Kontinuierliche Ergänzungen geben den Anwendenden heutzutage die Möglichkeit, Symbole und Modifikatoren passend zur individuellen Spezifikations- bzw. Verifikationsaufgabe aus dem GPS-Werkzeugkasten auszuwählen und zu nutzen (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: GPS-Werkzeugkasten (Sersch 2022)

Der Wunsch nach Eindeutigkeit, Vollständigkeit und auf Regeln basierenden Normen hat jedoch in den letzten Jahren dazu geführt, dass das Normensystem immer umfangreicher und komplexer geworden ist (Gust & Sersch 2020). Daraus ergeben sich Herausforderungen in der Anwendung, die im Weiteren beschrieben werden.

2.2 Forschungsstand und Herausforderungen

Was sind aktuelle Herausforderungen und Chancen in der Hochschullehre? Wie sehen diese Herausforderungen mit Fokus auf die Thematik der GPS aus?

Hochschullehre

Die Herausforderungen der Digitalisierung für Lehre und Studium sind aufgrund vielfältiger Veränderungen während der Coronapandemie ins Blickfeld gerückt (Hafer et al. 2023). Es wurde von einer erhöhten Arbeitsbelastung der Lehrenden und Studierenden während des „ersten Corona-Semesters“, aber auch von einem höheren Vertrauen der Lehrenden in Formate der Online-Lehre oder einer verstärkten Nutzung von Lernplattformen berichtet. Wird über dauerhafte Veränderungen der Hochschullehre in der Zukunft nachgedacht, müssen nach Hafer et al. (2023) sowohl die aufgedeckten Defizite als auch die Potenziale beachtet werden.

Die Notwendigkeit einer Entwicklung der Ingenieurdidaktik über die tradierten Lehrformate hinaus wurde bereits von Pittich (2018) hervorgehoben. Speziell in der Konstruktionsausbildung verdeutlicht dies auch die Untersuchung von acatech (2012). Für die Lehre in den Ingenieurwissenschaften existiert eine Vorstellung von Best-Practice-Beispielen führender Universitäten mit einem Fokus auf aktivierenden Lernmethoden (Hernández-de-Menéndez et al. 2019). Eine Übersicht von Vermittlungsansätzen im Bereich der GPS, die auf Lücken in den momentan bestehenden Ansätzen der GPS-Vermittlung hinweist, ist in Gust & Sersch (2020) zu finden.

Herausforderungen in der Industrie und an Berufskollegs

In vergangenen Befragungen zum Umgang mit der GPS in der Industrie und an Berufskollegs konnten fehlendes Know-how und fehlende Fähigkeiten als maßgebliche Probleme ausgemacht werden (Gust et al. 2022; Sersch & Gust 2018). Auch ist der Aspekt richtungweisend, dass sich Lehrkräfte an technischen Berufskollegs in Nordrhein-Westfalen vielfach nicht der Relevanz der GPS-Thematik für ihren Ausbildungsberuf bewusst sind (Gust et al. 2022). In Verbindung zum vorherigen Absatz über Vermittlungsansätze wurde in derselben Studie der Wunsch der Lehrkräfte nach Unterstützung bei der Vermittlung bestätigt. Die Beherrschung der Komplexität und der Dynamik des GPS-Normensystems in der Zusammenarbeit mit Lernenden ist ein hochpriorisiertes Anliegen – ob in Form von Lehrgängen oder mittels Bereitstellung von anschaulichen und inhaltlich reduzierten Beispielen in unterschiedlichen Medien.

3 Studie und Untersuchungsdesign

Die Studie und das Untersuchungsdesign werden im Rahmen der Erläuterung der Zielsetzung und der zugrundeliegenden Evaluationsfragen vorgestellt. Ebenso werden die Stichprobe sowie die Methode und Umsetzung beschrieben.

3.1 Zielsetzung der Studie

Wie im Forschungsstand der GPS erläutert, ist die Anwendung dieses Normensystems mit Herausforderungen verknüpft. Die Vermittlung des GPS-Systems in der Hochschullehre soll im Rahmen der vorliegenden Studie untersucht werden. Der Fokus liegt dabei auf der Erfassung von Umfang, Vermittlungsmethoden sowie Erfahrungen und Potenzialen im Bachelorstudium des Maschinenbaus in Deutschland. Die konkreten Evaluationsfragen lauten:

1. Wie ist die Lehre der GPS in das Bachelorstudium des Maschinenbaus eingebunden?
2. Welche Inhalte zur GPS werden vermittelt?
3. Welche Sozial- und Prüfungsformen werden genutzt?
4. Welche Medien und Methoden werden genutzt?
5. Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der GPS-Vermittlung/Lehre?

Mit diesen Fragen soll auch das Konzept des Constructive Alignments mit seinen drei Elementen – Lernziele, Lehr-/Lernaktivitäten und Prüfungsformen – untersucht werden (vgl. Biggs & Tang 2011).

3.2 Stichprobenbeschreibung

Zur Festlegung der Stichprobe wurden mithilfe des Informationsportals Hochschulkompass (Gaul 2023) alle Universitäten, Fachhochschulen sowie Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Deutschland zusammengetragen. Es wurden sowohl öffentlich-rechtliche Hochschulen als auch staatlich anerkannte Hochschulen in privater und kirchlicher Trägerschaft berücksichtigt. Im Anschluss wurden die insgesamt 324 Hochschulen in ihrem jeweiligen Studienangebot analysiert. Nur Hochschulen mit einem angebotenen Bachelor- bzw. Diplomstudiengang Maschinenbau, Maschinenwesen oder Mechanical Engineering kamen in die weitere Auswahl. Um eine möglichst vollständige Erhebung für diese 115 relevanten Hochschulen zu ermöglichen, wurden Module in den Themenfeldern der Konstruktion (Technisches Zeichnen, Computer Aided Engineering, Maschinenelemente, GPS) bzw. der Konstruktionslehre, der Fertigung, der Messtechnik und der/des Qualitätssicherung/-managements aus den Modulhandbüchern herausgefiltert. In Kombination mit Angaben auf den Internetseiten der Hochschulen wurden die dazugehörigen Dozierenden gesammelt. Somit ergab sich eine Stichprobe der Studie von insgesamt 743 Einzelveranstaltungen.

3.3 Methode und Umsetzung

Die Dozierenden wurden mithilfe einer Online-Umfrage in LimeSurvey (LimeSurvey GmbH 2023) im Zeitraum von Mai bis September 2023 befragt. Der Fragebogen enthielt allgemeine Fragen zur Hochschule, zur Veranstaltung, den GPS-Inhalten und Details zur Vermittlung. Es wurden

neben geschlossenen auch halboffene und offene Fragen verwendet. Um die in den Veranstaltungen behandelten GPS-Inhalte erfragen zu können, wurde das ISO-GPS-System in acht Kategorien unterteilt, siehe Abbildung 2.

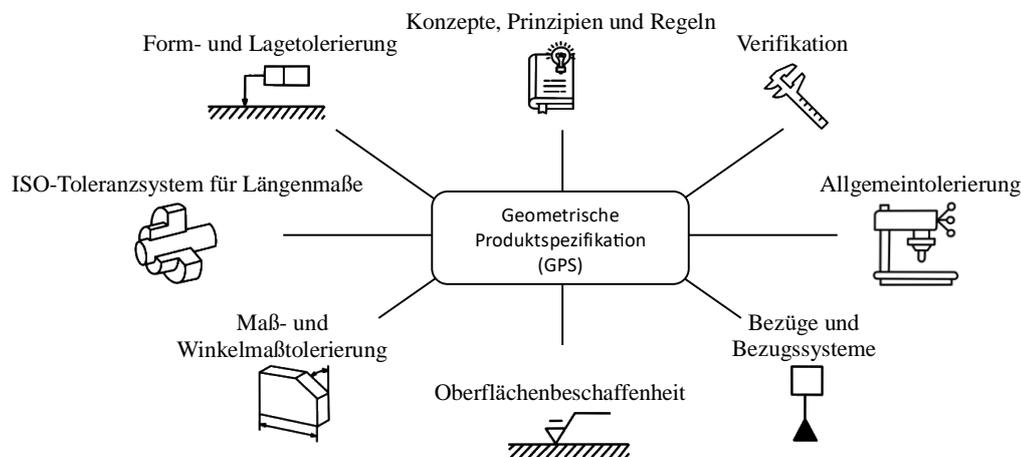


Abbildung 2: Kategorien des GPS-Systems

Die Basis des GPS-Systems ist in den zugrundeliegenden Konzepten, Prinzipien und Regeln der DIN EN ISO 8015:2011-09 wiederzufinden. Dort werden beispielsweise die 13 elementaren Grundsätze der GPS erläutert, die unter anderem auch den Grundsatz der Unabhängigkeit einschließen. Die Form- und Lagetolerierung umfasst nach DIN EN ISO 1101:2017-09 die Grundlagen der geometrischen Tolerierung, wie den Toleranzindikator oder die Symbolik der unterschiedlichen Toleranzarten. Ebenso bildet das ISO-Toleranzsystem für Längenmaße eine Kategorie der GPS-Definition, in der die Thematik von Passungen und dem System der „Einheitswelle und -bohrung“ behandelt werden (DIN EN ISO 286:2019-09). Plus-Minus-Maße in Abgrenzung zum Begriff der Abstände sind Bestandteile der Maß- und Winkelmaßtolerierung (DIN EN ISO 14405:2017-07). Möglichkeiten zur Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit von Bauteilen legt zum Beispiel die DIN EN ISO 21920:2022-12 mit den Kenngrößen der profilhaften Oberflächenbeschaffenheit fest. Die im Rahmen der Lagetolerierung und der eindeutigen Positionierung eines Bauteils im Raum notwendige Festlegung eines Einzelbezugs bzw. eines Bezugssystems betrifft die GPS-Norm DIN EN ISO 5459:2013-05. Mit dem Ziel, die Übersichtlichkeit von technischen Zeichnungen zu erhalten und die Geometrie vollständig zu spezifizieren, werden Allgemeintoleranzen vergeben. Der Fokus wird auf die im Jahr 2022 erschienene Norm DIN EN ISO 22081:2022-10 und die Ergänzungsnorm DIN 2769:2023-04 gelegt. Das ISO-GPS-Normensystem soll neben der Beschreibung der geometrischen Anforderungen auch der Beschreibung der Verifikationsanforderungen dienen. So darf die Verifikationsseite der GPS nicht vernachlässigt werden. Inhalte sind Prüfgrundsätze, Messmittel, Kalibrierungsanforderungen, Unsicherheiten und weitere.

4 Ergebnisse

Von der Gesamtheit der ausgewählten Einzelveranstaltungen antworteten die Dozierenden von 211 Veranstaltungen. In 196 Veranstaltungen wird nach Angabe der Dozierenden mindestens eine Kategorie des GPS-Systems (siehe Kapitel 3.3) gelehrt. Diese stellen die Grundgesamtheit für die

nachfolgende Auswertung dar. Alle Ergebnisse werden aus Gründen der Übersichtlichkeit den fünf Evaluationsfragen in Unterkapiteln zugeordnet.

4.1 Ergebnisse zur 1. Evaluationsfrage: Wie ist die Lehre der GPS in das Bachelorstudium des Maschinenbaus eingebunden?

Mit der Beantwortung der ersten Evaluationsfrage werden Erkenntnisse zu den zugrundeliegenden Curricula sowie Modulhandbüchern, den Themenfeldern und digitalen Veranstaltungsformaten angestrebt.

In welchem/welchen Semester/-n findet die Vermittlung von GPS überwiegend statt? Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abbildung 3 dargestellt. Es fällt auf, dass die Häufigkeit der Veranstaltungen abnimmt, je weiter das Studium fortgeschritten ist. In den ersten drei Semestern sind es mit Berücksichtigung einer möglichen Mehrfachnennung insgesamt 150 Veranstaltungen, in denen die GPS vermittelt wird. Den restlichen vier Semestern sind dagegen lediglich 59 Veranstaltungen zuzuordnen. Gleichzeitig können ab dem vierten Semester bei Aufteilung der Veranstaltungen in Pflicht- und Wahlfach auch Wahlfächer mit GPS-Bezug ausgemacht werden. Die Vermittlung von GPS findet folglich überwiegend im Rahmen der Grundlagenvermittlung als Pflichtfach in den ersten drei Semestern des Studiums statt.

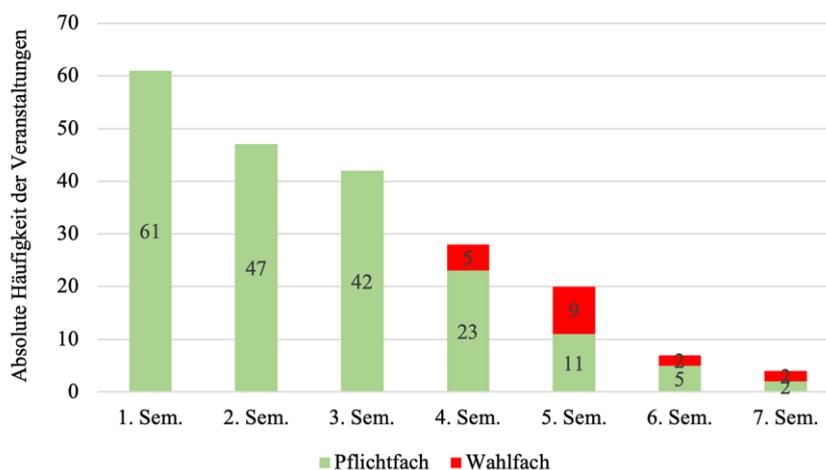


Abbildung 3: Zuordnung der GPS-Vermittlung zu Semestern (n = 209)

In welchem Themenfeld die Vermittlung von GPS vorwiegend erfolgt, wird mithilfe der Ergebnisse aus Abbildung 4 erläutert. Die Dozierenden konnten bei der Beschreibung der jeweiligen Veranstaltung eine Zuordnung zu mehreren der nachfolgenden sechs Themenfelder vornehmen: Konstruktion, CAD, Fertigung, Messtechnik, Qualitätssicherung/-management und Materialwissenschaft.

Unter Berücksichtigung von maximal 196 Zuordnungen zu einem Themenfeld wurden die Veranstaltungen in der Mehrheit (145 Nennungen) der Konstruktion zugeordnet. Mit einer absoluten Häufigkeit von 92 Nennungen wurde das Themenfeld CAD genannt. Die Bereiche der Fertigung und der Messtechnik wurden mit 45 bzw. 40 Nennungen etwa gleich oft ausgewählt.

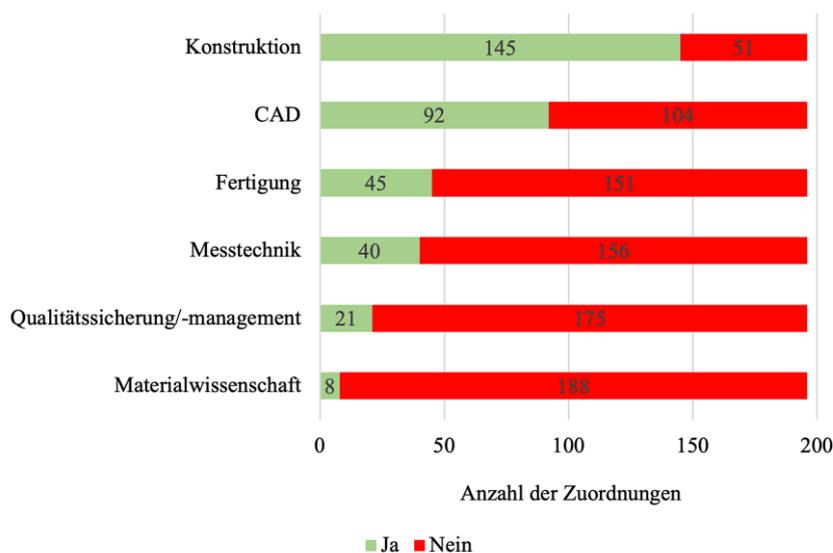


Abbildung 4: Zuordnung der GPS-Vermittlung zu Themenfeldern (n = 196)

Neben der Zuordnung zu den Semestern und den Themenfeldern ist auch die Frage nach der Eigenständigkeit der Veranstaltungen Bestandteil der Studie. Hier wird untersucht, inwieweit die GPS als Teilaspekt einer Veranstaltung oder als eigenständige Lehrveranstaltung behandelt wird. In der Umfrage wurden die Dozierenden gebeten, eine prozentuale Einschätzung bezüglich der Zeit zu geben, die sie der GPS nach der Definition in Tabelle 1 von ihrer Lehrveranstaltung widmen.

Tabelle 1: Zeiteinschätzung der Dozierenden (n = 196)

Zeit für GPS [% der Veranstaltung]	Anzahl der Veranstaltungen
≤10	89
>10 und ≤20	45
>20 und ≤30	26
>30 und ≤40	14
>40 und ≤50	4
>50 und ≤60	5
>60 und ≤70	2
>70 und ≤80	3
>80 und ≤90	2
>90 und ≤100	6

Für die Auswertung wird der Bereich, in dem die GPS als Teilaspekt einer Veranstaltung gilt, bis unter 80 % festgelegt. Ab 80 % wird die GPS als eigenständige Veranstaltung behandelt. Um diese Bereiche festzulegen, wurden die Bezeichnungen der Veranstaltungen in den Modulhandbüchern ebenfalls recherchiert. Beispiele für Veranstaltungsnamen ab einer zeitlichen Einschätzung von mindestens 80 %, die direkt auf die Vermittlung von GPS-Thematiken hinweisen, sind: „Geometrische Produktspezifikation“, „Geometrische Produktspezifizierung (GPS)“, „Einführung in die geometrische Produktionsmesstechnik“ und „Geometrische Messtechnik“. Somit ergibt sich ein Verhältnis von 188 Veranstaltungen mit GPS-Teilaspekt zu 8 eigenständigen GPS-Veranstaltungen.

38 und zwischen 150 und 225 Teilnehmenden nur noch sieben Präsenzveranstaltungen. Da die Angaben für Onlineveranstaltungen jedoch insgesamt sehr selten sind und in den Bereichen ab 150 fast gar nicht mehr existieren (z. B. zwei Angaben bei Veranstaltungen mit Teilnehmendenzahl ab 450 bis 525), kann eine abschließende Aussage zum Zusammenhang zwischen der Anzahl der Studierenden und der Nutzung digitaler Veranstaltungsformate nicht getätigt werden.

4.2 Ergebnisse zur 2. Evaluationsfrage: Welche Inhalte zur GPS werden vermittelt?

Die zweite Evaluationsfrage umfasste die vermittelten Inhalte und ihre Aktualität.

Zuerst wurden die GPS-Inhalte in Bezug auf die relative Häufigkeit ihrer Nennung überprüft. Die Struktur der Umfrage richtet sich von Fragen zu allgemeineren Inhalten nach Fragen zu Inhalten mit höherem Detaillierungsgrad. Beispielsweise wurde die Frage nach der Anwendung der 3D-Tolerierung nur gestellt, wenn die Dozierenden angaben, auch den übergeordneten Themenbereich der Form- und Lagetolerierung zu behandeln.

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Frage nach den behandelten allgemeineren Inhalten, wobei Mehrfachnennungen bei den Inhalten möglich waren. Dabei bedeutete „wird thematisiert“, dass der Themenbereich in der Veranstaltung genannt und erklärende Anmerkungen gegeben werden. Die Antwortmöglichkeit „wird erwähnt“ hieß hingegen, dass der Themenbereich vom Dozierenden erwähnt, jedoch nicht näher darauf eingegangen wird.

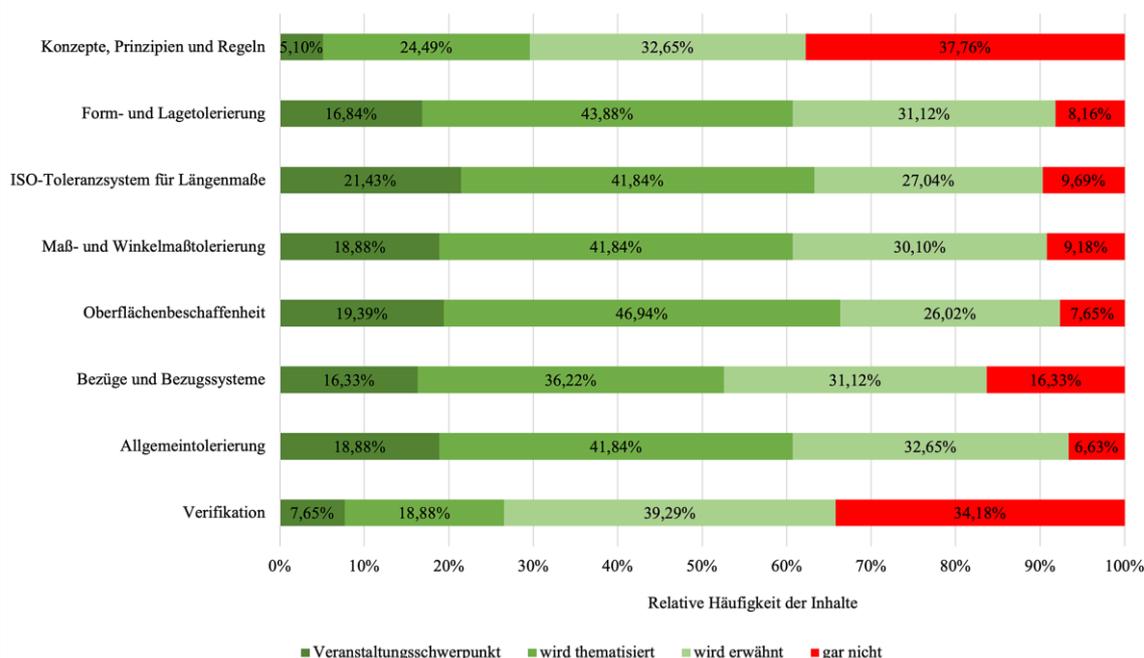


Abbildung 6: Relative Häufigkeit der allgemeineren GPS-Inhalte (n = 196)

Wird das Vorkommen aller Inhalte in den Veranstaltungen miteinander verglichen, fallen die GPS-Inhalte „Konzepte, Prinzipien und Regeln“ sowie „Verifikation“ auf, denn für diese antworteten die Dozierenden häufiger, dass sie in ihrer Lehre gar nicht (37,76 % und 34,18 %) behandelt werden. Werden je Inhalt die jeweiligen relativen Häufigkeiten für die Wahlmöglichkeiten „Veranstaltungsschwerpunkt“, „wird thematisiert“ und „wird erwähnt“ addiert, ergibt sich die höchste Summe mit 93,37 % bei der Allgemeintolerierung. Unter Berücksichtigung, dass in den genannten

Wahlmöglichkeiten bereits eine unterschiedliche Häufigkeit impliziert ist, wird bei der Verrechnung einer Gewichtung („Veranstaltungsschwerpunkt“ = 3, „wird thematisiert“ = 2 und „wird erwähnt“ = 1) angewandt. Das häufigste Thema ist dann die Oberflächenbeschaffenheit, gefolgt von dem ISO-Passungssystem für Längenmaße.

In Abbildung 7 werden die Ergebnisse zu den GPS-Inhalten mit höherem Detaillierungsgrad präsentiert. Sowohl die Symbolik der geometrischen Merkmale als auch die beiden Tolerierungsgrundsätze, das Unabhängigkeits- und das Hüllprinzip, sind zu 76,02 % und circa 50 % Inhalte der Veranstaltungen. Die Unsicherheit der Dozierenden ist bei der Frage, ob die Definition von Abständen erörtert wird, mit 16,33 % am höchsten. Mit abnehmender relativer Häufigkeit werden Zusatzangaben von Geometrieelementen (z. B. Schnittebenen-Indikatoren), Modifikatoren für die Materialbedingung (z. B. ^M) und die modellbasierte Definition (MBD) behandelt. Damit ist das Thema, Produktinformationen direkt mit der Geometrie des 3D-CAD-Modells zu verknüpfen und für alle Prozesse in der Produktentstehung (beispielweise in der Fertigung und Prüfung) nutzbar zu machen, in dieser Themenauswahl ein Randthema.

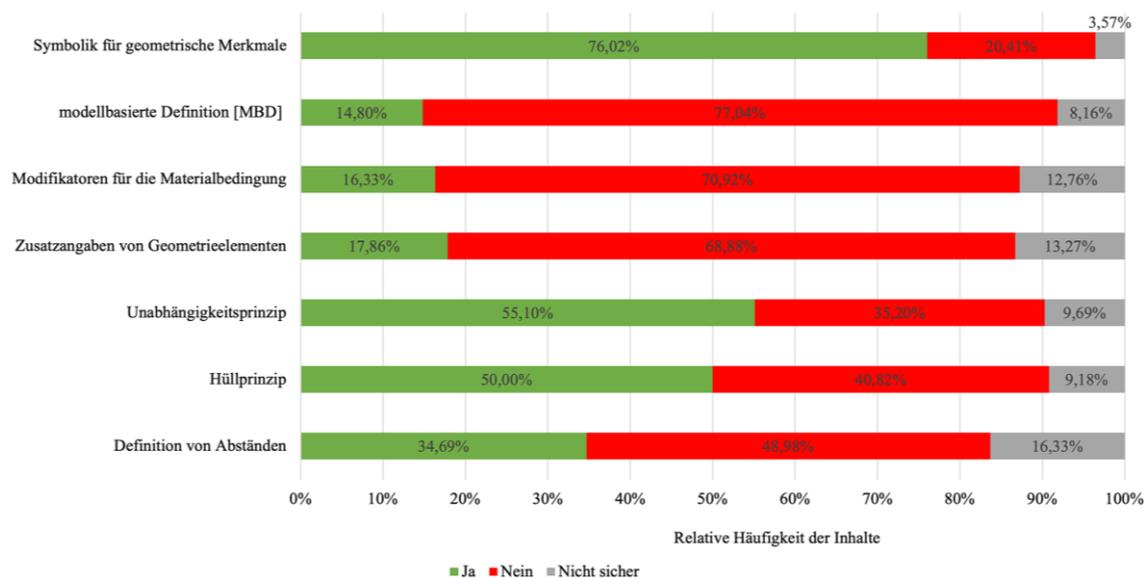


Abbildung 7: Relative Häufigkeit der GPS-Inhalte mit höherem Detaillierungsgrad (n = 196)

Analysiert wurde weiterhin die Anwendung von Normen in den Themenbereichen der (profilhaften) Oberflächenbeschaffenheit und der Allgemeintolerierung nach den Normenänderungen in den Jahren 2021 und 2022. Dozierende, die erklärten, das Thema der Oberflächenbeschaffenheit zu behandeln (n = 181), gaben in 56,90 % der Fälle an, nicht nach der aktuellen Norm DIN EN ISO 21920 für die profilhafte Oberflächenbeschaffenheit zu lehren. Zusätzlich waren sich die Lehrpersonen von 11,60 % der Veranstaltungen bei der Beantwortung nicht sicher. In 54,64 % der Veranstaltungen mit dem Inhalt der Allgemeintolerierung (n = 183) wird die aktuelle Norm DIN EN ISO 22081 nicht berücksichtigt (Angabe „nicht sicher“ für 18,57 %). Die Ergänzungsnorm DIN 2769 wird in 56,83 % der Fälle von den Dozierenden nicht beachtet (Angabe „nicht sicher“ für 19,12 %). Insgesamt kann mit diesen Ergebnissen herausgestellt werden, dass die Inhalte bei der Vermittlung von GPS (für die drei untersuchten Normen) nicht dem aktuellen Stand der Normung entsprechen.

In Abbildung 8 sind die vermittelten GPS-Inhalte mit ihrer Vermittlungstiefe für die einzelnen Themenfelder (Konstruktion, CAD, Fertigung, Messtechnik, Qualitätssicherung/-management und Materialwissenschaft) in Netzdiagrammen dargestellt.

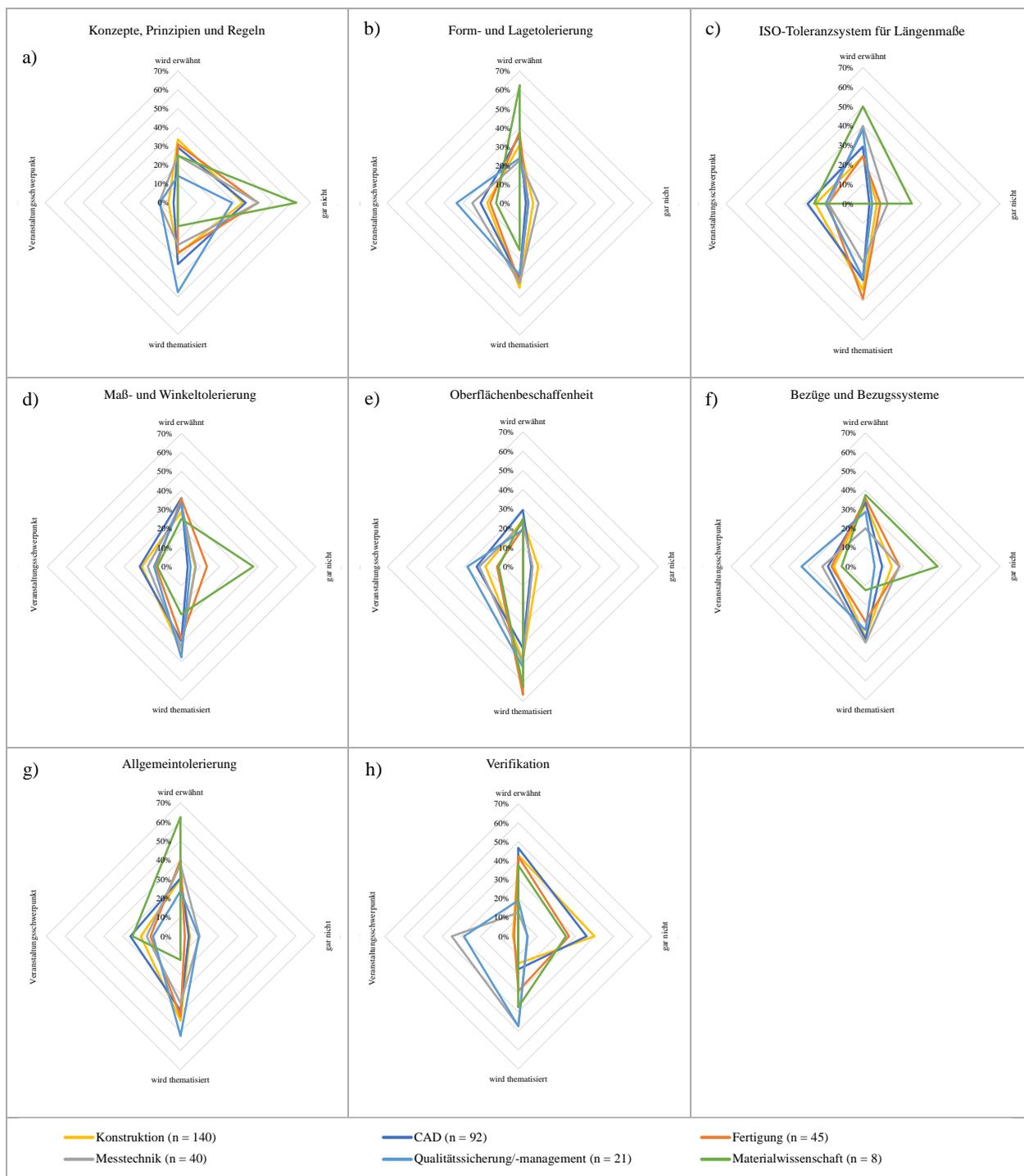


Abbildung 8: Übersicht der Inhalte nach Themenfeldern

Die Darstellung der Antworten ist derart gewählt, dass sich die Antworten „Veranstaltungsschwerpunkt“ und „gar nicht“ auf der horizontalen sowie die Antwortmöglichkeiten „wird erwähnt“ und „wird thematisiert“ auf der vertikalen Achse gegenüberstehen. So soll eine einfache Übersicht über die Tiefe der Vermittlung ermöglicht werden. Ein Ausschlag nach rechts oder links zeigt an, welche Relevanz die Themen haben. Ein Trend nach oben oder unten verdeutlicht die Vermittlungstiefe. Es folgt eine Beschreibung der Besonderheiten mit Fokus auf die einzelnen Themenfelder.

Wider Erwarten wird in der Konstruktion das Thema Konzepte, Prinzipien und Regeln selten vermittelt. Zudem besteht ein Defizit bei der Vermittlung der Verifikation (Abbildung 8 a und h). Im Themenfeld CAD liegen die Themen ISO-Toleranzsystem und Allgemeintolerierung im Bereich „Veranstaltungsschwerpunkt“ (Abbildung 8 c und g). Im Bereich der Fertigungstechnik werden die Oberflächenbeschaffenheit und das ISO-Toleranzsystem am häufigsten thematisiert, wohingegen die Maß- und Winkeltolerierung mit etwa 15 % relativ häufig „gar nicht“ behandelt wird (Abbildung 8 c, d und e).

In der Messtechnik ist die Verifikation häufig Veranstaltungsschwerpunkt. Das Thema Bezüge und Bezugssysteme wird zudem häufig thematisiert. Dem gegenüber steht eine häufige Nennung von „gar nicht“ beim Thema ISO-Toleranzsystem (Abbildung 8 c, f und h). In der/dem Qualitätssicherung/-management zeigt sich eine vermehrte Antwort „Veranstaltungsschwerpunkt“ bei den Themen Form- und Lagetolerierung, Bezüge- und Bezugssysteme sowie Oberflächenbeschaffenheit (Abbildung 8 b, e und f). Maß- und Winkeltolerierung, Bezüge und Bezugssysteme und ebenso Konzepte, Prinzipien und Regeln werden in der Materialwissenschaft am häufigsten „gar nicht“ behandelt. Die Oberflächenbeschaffenheit hingegen wird durchaus thematisiert (Abbildung 8 a, d, e und f). Insgesamt zeigt die Abbildung 8, dass die Themenfelder in Bezug auf die Relevanz der Inhalte zwar oft beieinander liegen, sich jedoch im Detail Unterschiede in der Vermittlungstiefe finden lassen. Bei Abbildung 8 h z. B. existieren zwei Extrema bei der Ausprägung. Da in den Bereichen Qualitätssicherung/-management und Messtechnik die Verifikation besonders relevant ist, kann vor diesem Hintergrund eine themenfeldbezogene Ausgestaltung aufgezeigt werden.

4.3 Ergebnisse zur 3. Evaluationsfrage: Welche Sozial- und Prüfungsformen werden genutzt?

Bei dieser Evaluationsfrage, die sich auf die Sozial- und Prüfungsformen fokussiert, wurde untersucht, inwieweit die Veranstaltungen in ihrer Umsetzung von tradierten Lehrformaten abweichen.

Abbildung 9 veranschaulicht die Ergebnisse zu der Frage, ob die Vermittlung der GPS überwiegend mittels Frontalunterrichts erfolgt. Für die Veranstaltungen, in denen mindestens eine Kategorie des GPS-Systems gelehrt wird ($n = 196$), ist zu 61,73 % die Sozialform des Frontalunterrichts vorherrschend. Dieser Prozentsatz teilt sich zu annähernd gleichen Anteilen auf den Frontalunterricht mit vorwiegend Vortrag (31,63 %) sowie den Frontalunterricht mit vorwiegend Plenum bzw. Interaktion (30,10 %) auf. Die Sozialformen der Einzelarbeit und der Gruppenarbeit finden in 19,38 % bzw. 11,22 % der Veranstaltungen Anwendung.

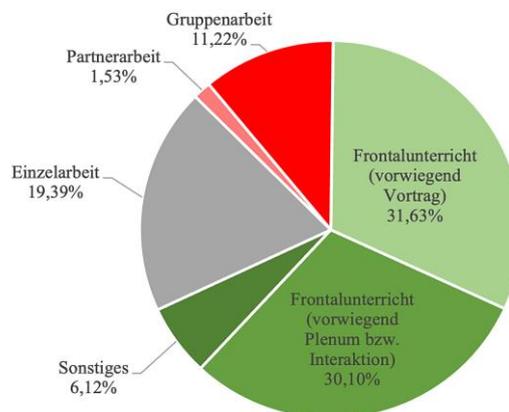


Abbildung 9: Relative Häufigkeit der Sozialformen ($n = 196$)

Nachfolgend wurde die Frage nach der Prüfungsform der Veranstaltung in Bezug auf die absolute Häufigkeit (Mehrfachnennung möglich) der Antworten untersucht. Im Ergebnis gaben die Lehrenden als Prüfungsform Gruppenprojekte (44), Einzelprojekte (49), mündliche Prüfung/Fachgespräch (14), vorwiegend Multiple Select, Multiple Choice, Zuordnungsaufgaben (22), vorwiegend halboffene schriftliche Aufgaben (43) und vorwiegend offene schriftliche Aufgaben (97) an. Mit der Annahme, dass halboffene und offene schriftliche Aufgaben auch die Aufgabenstellung von Projektarbeiten umfassen können, bestehen bei weiterer Betrachtung solcher Mehrfachnennungen noch in 94 Fällen halboffene bzw. offene Aufgaben ohne einen erkennbaren Projektbezug. Werden die Nennungen für Multiple Select, Multiple Choice und Zuordnungsaufgaben sowie die der halboffenen und offenen Aufgaben summiert, ist der Prüfungsform Klausur eine absolute Häufigkeit von 116 Fällen zuzuordnen. Somit sind Klausuren als Prüfungsform häufiger vertreten als Projektarbeiten.

4.4 Ergebnisse zur 4. Evaluationsfrage: Welche Medien und Methoden werden genutzt?

Für die vierte Evaluationsfrage wurden die in der Lehre eingesetzten Medien und Methoden analysiert.

Die Frage zur Nutzung von manuellen oder elektronischen Messmitteln wurde für 72,44 % der 196 Veranstaltungen verneint. Werden Messmittel eingesetzt, überwiegen die manuellen Messmittel mit einer relativen Häufigkeit von 70,37 %. Der Einsatz von Messmitteln ist bei etwa jeder zweiten Veranstaltung mit Bezug zum Themenfeld der Messtechnik (55,00 %) bzw. der Qualitätssicherung/des Qualitätsmanagements (57,50 %) gegeben. Bei etwa jeder dritten Veranstaltungen der Fertigungstechnik werden Messmittel (37,78 % und 22,22 %) gebraucht. Im Bereich der Konstruktion und des CAD werden manuelle und elektronische Messmittel bei etwa jeder siebten bzw. dreiunddreißigsten Veranstaltung in die Lehre integriert.

Wird die Anwendung von praxisnahen Beispielen in Abhängigkeit von der Hochschulart analysiert, zeigt sich bei den FHs und HAWs in 55,32 % und bei den Universitäten in 59,06 % der Fälle eine zustimmende Antwort.

Wird der Einsatz haptischer Modelle ungeachtet der fortschreitenden Digitalisierung thematisiert, bejahten 35,20 % der Lehrenden den Einsatz solcher Modelle im Rahmen ihrer Veranstaltung (n = 196).

4.5 Ergebnisse zur 5. Evaluationsfrage: Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der GPS-Vermittlung/Lehre?

Zur Beantwortung der fünften Evaluationsfrage wurden die Lehrenden am Ende der Umfrage mit zwei Pflichtfragen jeweils zu einer freitextlichen Äußerung aufgefordert. Die Fragen lauteten „Welche Wünsche haben Sie bezüglich der Entwicklung der Lehrgestaltung für die Lehrveranstaltung?“ sowie „Welche Wünsche bezüglich der Lehrgestaltung äußern die Studierenden der Lehrveranstaltung?“.

Innerhalb der Auswertung von 112 inhaltlichen Rückmeldungen zur ersten Frage sowie 97 Antworten zur zweiten Frage haben sich 12 Dozierende für die Entwicklung ihrer Lehre den Einsatz praxisnaher Beispiele gewünscht. 13 Dozierende gaben an, dass Studierende ihnen gegenüber den Wunsch hiernach geäußert haben.

Da das GPS-Normensystem, wie in Kapitel 2 beschrieben, als komplex und dynamisch angesehen werden kann, ist auch die Entwicklung von Anwendungsbeispielen für die GPS-Vermittlung/Lehre mit Herausforderungen verbunden. In den Antworten fanden sich die Wünsche beispielsweise nach einem zentralen Informationsfluss, der auf Neuerungen der Normung hinweist, mehr Austausch mit Experten und einem offeneren Umgang mit bereits entwickelten Beispielaufgaben.

Dass für die Vermittlung von GPS im Curriculum nicht genug Platz eingeräumt wird, ist nach dem vielfachen Wunsch der Dozierenden (18) und Studierenden (16) nach mehr Zeit als zutreffend anzusehen. Jedoch wurde der Wunsch aus beiden Perspektiven nicht in allen Fällen mit fehlendem Platz im Curriculum begründet. Neben mehr Zeit zur Vermittlung der Inhalte wurden von den Dozierenden auch Wünsche nach mehr Zeit für Übungen, für eine praktische Anwendung und komplexe Beispiele genannt. Laut den Dozierenden sind Schwierigkeiten der Studierenden mit Veranstaltungen der Konstruktion im Vergleich zu anderen Fächern wie Mathematik häufiger. Daher wurde eine höhere Anzahl an ECTS-Leistungspunkten (Europäische Kommission 2023) angesprochen. Genauso ist das Interesse der Studierenden an zusätzlichen Übungen gegeben.

4.6 Weitere Ergebnisse zu Wünschen der Dozierenden

Die Wortwolke in Abbildung 10 zeigt weitere Wünsche der Dozierenden.

Vorkenntnisse: Bessere Vorkenntnisse der Studierenden (7) wurden als Wunsch geäußert. Die Dozierenden bemängelten das technische Verständnis besonders am Anfang des Studiums. Insgesamt wurde fehlendes Vorwissen in den Bereichen CAD, Technisches Zeichnen, Maschinenelemente sowie Fertigungs- und Messtechnik hervorgehoben.

Pflichtfach und späteres Semester: Um das Problem der fehlenden Vorkenntnisse abzuschwächen, wurden mehrfach Veränderungen im Verlauf des Studiums angemerkt. Neben der Vermittlung in einem Pflichtfach wurde auch die Verschiebung der Veranstaltung in ein späteres Semester vorgeschlagen.

Verknüpfung: Mit dem Wort „Verknüpfung“ (7) ist eine optimierte Verzahnung der jeweiligen Veranstaltung mit anderen inhaltlich zusammenhängenden Veranstaltungen gemeint. Eine bessere Verzahnung der Vorlesungsinhalte mit den Übungen und eine verbesserte Abstimmung mit Kollegen waren ergänzende Aspekte.

Interaktiver: Eine interaktivere (6) Gestaltung der Lehre war ein weiterer Wunsch. Adjektive wie spielerischer, attraktiver, abwechslungsreicher, anschaulicher oder motivierender wurden genannt. Hinsichtlich des Lehr- und Lernkonzepts wurde auf die Methoden des projekt- und problembasierten Lernens, des Flipped-Classrooms, der Lehrvideos und der Lernkontrollen hingewiesen.

Bewertung und Notenvergabe: Die Bewertung konstruktiver Aufgabenstellungen wurde aufgrund der Offenheit des Arbeitsauftrags als schwierig eingestuft. Um hier eine konsistente Vorgehensweise sicherzustellen, streben Dozierende die Erstellung eines Kriterienkatalogs zur Standardisierung der Notenvergabe an.



Abbildung 10: Wünsche der Dozierenden

5 Beantwortung der Evaluationsfragen und Limitationen

Durch Zusammenführung der Ergebnisse aus dem vorigen Kapitel können nun die fünf Evaluationsfragen beantwortet werden.

Die erste Evaluationsfrage beleuchtet die aktuelle Anwendungssituation der GPS im Maschinenbaustudium: „Wie ist die Lehre der GPS in das Bachelorstudium des Maschinenbaus eingebunden?“ Es kann festgehalten werden, dass die Vermittlung von GPS überwiegend als Pflichtfach in den ersten drei Semestern im Themenbereich der Konstruktion stattfindet. Dabei stellt die GPS meist einen Teilaspekt und keine eigenständige Veranstaltung dar. Bei der Analyse der insgesamt 196 Modulhandbücher wurde in den Inhaltsbeschreibungen der jeweiligen Veranstaltungen selten eine explizite Nennung des GPS-Normensystems gefunden. Vielmehr wurde das Thema mit den Begriffen „Form- und Lagetoleranzen“, „Passungen“ und „technische Zeichnungen“ umschrieben. Als GPS-Inhalte der Veranstaltungen werden neben der Oberflächenbeschaffenheit und der Allgemeintolerierung auch die Symbolik und die Tolerierungsgrundsätze häufiger genannt. Sowohl die Konzepte, Prinzipien und Regeln als auch die 3D-Tolerierung sind dagegen eher als Randthemen anzusehen. Die größte Unsicherheit der Dozierenden besteht bei der Frage, ob die Definition von Abständen erörtert wird. Ebenso entsprechen die Inhalte für die untersuchten Normen im Bereich der Oberflächenbeschaffenheit und der Allgemeintolerierung nicht dem aktuellen Stand der Normung. Die behandelten Themen liegen für die einzelnen Themenfelder in Bezug auf die Relevanz der Inhalte oft beieinander. Die Verifikation in der/dem Qualitätssicherung/-management bildet hier eine Ausnahme. Die Vermittlungstiefe der Inhalte hängt dagegen vom Themenfeld ab.

Welche Sozial- und Prüfungsformen in den Veranstaltungen, in denen mindestens eine Kategorie des GPS-Systems (siehe Kapitel 3.3) behandelt wird, vorherrschend sind, ist Fokus der drit-

ten Evaluationsfrage: „Welche Sozial- und Prüfungsformen werden genutzt?“. Momentan überwiegt in diesen Veranstaltungen eine Vermittlung via Frontalunterricht. Als Prüfungsform sind Klausuren häufiger vertreten als Projekte.

Die Untersuchungen zur vierten Evaluationsfrage „Welche Medien und Methoden werden eingesetzt?“ haben ergeben, dass Studierende insgesamt selten Kontakt mit manuellen oder elektronischen Messmitteln während der Veranstaltungen haben. Falls doch, sind es in der Mehrheit manuelle Messmittel. Zwischen der Hochschulart (FHs/HAWs einerseits und Universitäten andererseits) zeigt sich bei der Anwendung praxisnaher Beispiele kein nennenswerter Zusammenhang. Für etwa 1/3 der Veranstaltungen wird der Einsatz haptischer Modelle bestätigt.

Welche Wünsche Dozierende und Studierende bezüglich der GPS-Vermittlung haben, ergründet die fünfte Evaluationsfrage: „Welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es im Bereich der GPS-Vermittlung/Lehre?“. Dozierende und Studierende wünschen sich die Verwendung praxisnaher Beispiele. Ein mehrfach geäußelter Wunsch der Dozierenden ist die Unterstützung bei der Entwicklung von Anwendungsbeispielen für die GPS-Vermittlung/Lehre. Weitere Ideen, um mit den für sie bestehenden Herausforderungen besser umgehen zu können, sind ein zentraler Informationsfluss, der auf Neuerungen der Normung hinweist, ein vermehrter Austausch mit Experten sowie ein offenerer Umgang mit bereits entwickelten Beispielaufgaben. Der Wunsch nach mehr Zeit wird aus beiden Perspektiven priorisierend aufgelistet, wenngleich aus unterschiedlichen Gründen. Dozierende schlagen ein größeres Zeitkontingent zur Vermittlung und Übung der gelernten Inhalte vor. Studierende äußern den Wunsch, mehr ECTS-Leistungspunkte für den Abschluss konstruktionsthematischer Fächer zu bekommen, um mehr üben zu können.

Im Bereich der offenen Wünschäußerung haben Lehrende noch weitere Themen angesprochen. Die Eingangskompetenzen und Vorkenntnisse der Studierenden sind ihrer Meinung nach verbesserungswürdig. Auch könnte das Verständnis der Studierenden für den Zusammenhang der Disziplinen erhöht werden, indem Veranstaltungen, auch die Vorlesungen mit den Übungen, besser miteinander verknüpft werden. Dozierende haben Interesse daran, ihre Veranstaltung interaktiver zu gestalten. Sie möchten das als trocken wahrgenommene Thema der GPS spielerischer, attraktiver, abwechslungsreicher, anschaulicher, motivierender und aktiver lehren.

Limitationen dieser Studie werden darin gesehen, dass es Schwierigkeiten bei der Beschaffung von Kontakten und Modulhandbüchern staatlich anerkannter Hochschulen in privater Trägerschaft gibt. In 9 von 11 Fällen führten fehlende Kontakte der Dozierenden oder Modulhandbücher dazu, dass die realisierbare Stichprobe der Studie um neun Hochschulen geschmälert wurde. Dadurch, dass lediglich 8 Veranstaltungen dem Themenfeld der Materialwissenschaft zugeordnet wurden (insgesamt 346 Nennungen), muss die Aussagekraft dieser Teilstichprobe in Frage gestellt werden. Darüber hinaus fand bei der Erstellung der Wortwolken in den Abbildungen 5 und 10 eine Lemmatisierung zur übersichtlicheren Visualisierung statt. Das heißt, die einzelnen Wörter wurden auf ihre jeweilige Grundform zurückgeführt und zusammengefasst. Dies bedeutet eine Veränderung des Datensatzes.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Ziel, den aktuellen Stand der GPS-Vermittlung in der Hochschullehre aufzuzeigen, wurden Dozierende an Hochschulen mit einem Bachelorstudium des Maschinenbaus in Deutschland befragt. Dafür wurden Dozierende der Themenfelder der Konstruktion, des CAD, der Fertigung, der Messtechnik und der/des Qualitätssicherung/-managements von insgesamt 115 Hochschulen zur Teilnahme an einer Online-Umfrage gebeten. Diese hat die Einbindung der Lehre der GPS und

die vermittelten Inhalte erfragt. Auch die genutzten Sozial- und Prüfungsformen sowie die Medien und Methoden waren Bestandteil der Studie. Ebenso wurde analysiert, welche Erfahrungen bei der Vermittlung bestehen und welche Verbesserungsmöglichkeiten von Dozierenden gesehen werden.

Werden alle Ergebnisse für die 85 teilnehmenden Hochschulen bzw. die 196 Veranstaltungen mit GPS-Bezug analysiert, fassen die drei Stichworte „Motivation“, „Aktualität“ und „Zeit“ die potenzielle Richtung bei einer Gestaltung der GPS-Hochschullehre in der Zukunft zusammen.

In der Vermittlung der GPS gibt es Defizite in der Abdeckung relevanter Themen und Kompetenzen. Dass beispielsweise durch das Randthema „Konzepte, Prinzipien und Regeln“ die grundlegende Motivation für eine Anwendung des GPS-Normensystems geschaffen werden könnte, wird so außer Acht gelassen. Dozierende bemängeln ebenso ein fehlendes Verständnis der Studierenden für den Zusammenhang der Disziplinen (wie Fertigung, Konstruktion, Messtechnik) und fordern eine bessere Verknüpfung der relevanten Veranstaltungen untereinander. Trotzdem haben Studierende selten Kontakt mit Messmitteln (72,44 %). Für eine erhöhte Motivation auf beiden Seiten, sowohl der Dozierenden als auch der Studierenden, zeigen anschauliche Anwendungsbeispiele hohes Potenzial.

Die Lehre der GPS erfolgt den Ergebnissen zufolge vorwiegend konventionell als Frontalunterricht (61,73 %) in den ersten drei Semestern im Rahmen der Grundlagenvermittlung unter oft mangelhaften Vorkenntnissen der Studierenden. Klausuren sind als Prüfungsform häufiger vertreten als Projektarbeiten. Um die Veranstaltungen interaktiver zu gestalten, wurde von den Dozierenden auf Methoden des projekt- und problembasierten Lernens, des Flipped-Classrooms, der Lehrvideos und der Lernkontrollen hingewiesen. Defizite sind auch bei der Aktualität der vermittelten Inhalte für die untersuchten Normen im Bereich der Oberflächenbeschaffenheit und der Allgemeintolerierung in etwa 55 % der Fälle zu finden.

Zeit zur Erarbeitung und Anpassung der Inhalte wird im Hochschulalltag sowie zur Vermittlung der Inhalte in der Veranstaltung als zu knapp wahrgenommen. Dozierende wünschen sich in der GPS-Lehre ein größeres Zeitkontingent, um die Vermittlung und Übung der gelernten Inhalte zeitlich ausdehnen zu können. Studierende legen hingegen den Fokus auf zusätzliche Übungseinheiten.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden einzelne Säulen des Constructive Alignments betrachtet (Lehr-/Lernaktivitäten und Prüfungsformen). In weiteren Untersuchungen sollte auch der Baustein der Lernziele im Bereich der GPS analysiert werden. Für die Entwicklung anschaulicher und praxisnaher Anwendungsbeispiele, potenziell erfolgsversprechender Lehransätze oder die Zuordnung der erforderlichen Kompetenzen zum Curriculum des Bachelorstudiums des Maschinenbaus ist die gesamtheitliche und konsistente Betrachtung des Modells notwendig.

Im Hinblick auf sich stetig weiterentwickelnde Technologien, wie die 3D-Tolerierung und die fortschreitende Digitalisierung in der Hochschullehre, ist ein offenerer Umgang mit Anwendungsbeispielen, Vermittlungsmethoden sowie ein Austausch der Dozierenden untereinander (und mit Experten) unumgänglich. Nur ein gestärktes Bewusstsein aller an der Hochschullehre Beteiligten für die Relevanz des Themas kann eine Vermittlung der GPS, welche sich am Stand der Technik orientiert, in der Zukunft ermöglichen.

Forschungsdaten

Die anonymisierten Rohdaten der Umfrage sind im Forschungsdaten-Repository der Bergischen Universität Wuppertal zu finden: <https://doi.org/10.57899/q2ny-2k08>

Literatur

- acatech (2012). Faszination Konstruktion – Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel. Empfehlungen zur Ausbildung qualifizierter Fachkräfte in Deutschland (acatech POSITION). Springer Verlag Heidelberg.
- Biggs, J. & Tang, C. (2011). Teaching for Quality at University – What the Student Does. (4. Aufl.) Open University Press.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). (2021). DIN – kurz erklärt. <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/basiswissen>, Stand vom 05.12.2023.
- DIN 2769:2023-04. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Allgmeintoleranzen – Tabellenwerte für geometrische Toleranzen und Toleranzen für Längen- und Winkelgrößenmaße ohne individuelle Toleranzangabe. Berlin: Beuth Verlag
- DIN EN ISO 286:2019-09. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – ISO-Toleranzsystem für Längenmaße. Berlin: Beuth Verlag
- DIN EN ISO 1101:2017-09. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Geometrische Tolerierung – Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 5459:2013-05. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Geometrische Tolerierung – Bezüge und Bezugssysteme. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 8015:2011-09. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Grundlagen Konzepte, Prinzipien und Regeln. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14405:2017-07. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Dimensionelle Tolerierung. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 21920:2022-12. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Profile. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 22081:2022-10. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Geometrische Tolerierung – Allgemeine geometrische und Größenmaßspezifikationen. Berlin: Beuth Verlag.
- Europäische Kommission (2023). Europäisches System zur Übertragung und Akkumulierung von Studienleistungen (ECTS). online. <https://education.ec.europa.eu/de/education-levels/higher-education/inclusive-and-connected-higher-education/european-credit-transfer-and-accumulation-system>, Stand vom 13.12.2023
- Flick, U. (2016). Qualitative Sozialforschung – Eine Einführung. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Gaul, J.-P. (2023). Hochschulkompass. online. <https://www.hochschulkompass.de/home.html>, Stand vom 01.06.2023.
- Gust, P., Sersch, A. & Grafen, N. (2022). Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Analyse der Anwendungssituation an technischen Berufskollegs in NRW. Journal of Technical Education (JOTED), 10(1), 72–87.
- Gust, P. & Sersch, A. (2020). Geometrical Product Specifications (GPS): A Review of Teaching Approaches. Procedia CIRP 92, 123-128.
- Hafer, J., Niedermeier, F., Kostädt, P. & Lucke, U. (2023). Das Corona-Virus als Treiber der Digitalisierung? Eine kritische Analyse am Beispiel der Universität Potsdam, in Dittler, U. & Kreidl, C. (Hrsg.): Wie Corona die Hochschullehre verändert – Erfahrungen und Gedanken aus der Krise zum zukünftigen Einsatz von eLearning. Springer Gabler, 241-268.
- ISO International Organization for Standardization (2023). ISO/ TC 213 – Dimensional and geometrical product specifications and verification - online. <https://www.iso.org/committee/54924.html>, Stand vom 11.12.2023.
- Jorden, W. & Schütte, W. (2020). Form- und Lagetoleranzen - Geometrische Produktspezifikationen (ISO GPS) in Studium und Praxis. München: Carl Hanser Verlag.
- Klein, M. (2001). Einführung in die DIN-Normen. In Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (Hrsg.). B.G. Teuber Verlag und Beuth Verlag.
- LimeSurvey GmbH (2023). Willkommen bei LimeSurvey – The LifeSurvey. online. <https://www.limesurvey.org/de>, Stand vom 23.10.2023.
- Pittich, D. (2018). Technisches Lernen an Fachhochschulen und Universitäten. In Zinn, B., Tenberg, R., Pittich, D. (Hrsg.): Technikdidaktik – Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme. Franz Steiner Verlag, 279-299.
- Sersch, A. (2022). Analyse und Bewertung von Auswirkungen der Anwendung der Geometrischen Produktspezifikation (GPS) in Unternehmen. Fortschritt-Berichte VDI, 01(454)
- Sersch, A. & Gust, P. (2018). Empirische Untersuchung zur Überprüfung des Anwendungsgrades der Geometrischen Produktspezifikation (GPS). 8. Workshop Arbeitsgemeinschaft Toleranzmanagement (ATOL).

DR.-ING. ALINA SERSCH

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Lehrstuhl Konstruktion
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
alina.sersch@uni-wuppertal.de

CHRISTIAN SAUDER

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Lehrstuhl Konstruktion
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
csauder@uni-wuppertal.de

TOBIAS STEGER

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Lehrstuhl Konstruktion
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
tobias.steger@uni-wuppertal.de

PROF. DR.-ING. PETER GUST

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Lehrstuhl Konstruktion
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
peter.gust@uni-wuppertal.de

Zitieren dieses Beitrags:

Sersch, A., Sauder, C., Steger, T und Gust, P. (2024). Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Eine Analyse der Vermittlung im Maschinenbaustudium an Hochschulen in Deutschland. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 12(2), 81-99.