



Einsatz von Concept Maps in der universitären Ausbildung im Bereich Steuerungstechnik

B. Ullrich¹, A. Hellmich², N. Link¹

¹ Juniorprofessur für Mechatronik/berufliche Didaktik (Tenure Track), Institut für Berufspädagogik und berufliche Didaktiken, Fakultät für Erziehungswissenschaften, TU Dresden

² Professur für Werkzeugmaschinenentwicklung und adaptive Steuerungen, Institut für mechatronischen Maschinenbau, Fakultät Maschinenbau, TU Dresden

Abstract

Im Rahmen dieser Studie erstellten $n = 16$ Studierende, im Diplomstudiengang Maschinenbau, Concept Maps (Cmaps) zum Inhalt der zuvor gehaltenen Vorlesung im Modul "Steuerung von Produktionsmaschinen und Anlagen". Die Cmaps wurden anschließend nach drei hier näher beschriebenen Kriterien bewertet. Als Grundlage für die Bewertung der einzelnen Cmaps, wurden diese mit einer Referenzmap verglichen, die von drei Experten auf dem Gebiet der Mechatronik im Rahmen dieser Studie angefertigt wurde. Unmittelbar nach der Erstellung der Cmaps beantworteten die Studierenden einen Fragenkatalog, der neben demografischen Daten auch einen Selbsteinschätzungsbogen zum Concept Mapping umfasst. Die 10 Items dieses Bogens werden den Probandenmerkmalen Interessantheit, Nützlichkeit und Handhabbarkeit zugeordnet. Die Probandenmerkmale und Bewertungskriterien wurden auf erste Abhängigkeiten untersucht. In der Tendenz zeigte sich, dass die Studierenden die Methode des Concept Mapping, trotz erstmaliger Anwendung und verkürzter Einführung, generell als positiv bewerten.

In the context of this study $n = 16$ students in the diploma program in mechanical engineering created concept maps (cmaps) on the content of the lecture previously given in the module "Control of Production Machines and Systems". The cmaps were then evaluated according to three criteria described in more detail here. As a basis for the evaluation of the individual cmaps, they were compared with a reference map prepared by three experts in the field of mechatronics within the scope of this study. Immediately after the creation of the maps, the students answered a questionnaire that included demographic data as well as a self-assessment survey on concept mapping. The 10 items of this sheet are assigned to the subject characteristics interest- ingness, usefulness and manageability. The subject characteristics and evaluation criteria were examined for initial dependencies. The tendency showed that the students generally evaluate the method of concept mapping as positive, despite first-time application and shortened introduction.

*Corresponding author: benjamin.ullrich@tu-dresden.de

1. Einleitung und Problemstellung

Im Zuge der fortschreitenden digitalen Transformation in Fertigungsbetrieben hin zu „Industrie 4.0“, stehen Ingenieur:innen im Bereich der Mechatronik vor der Herausforderung, sich innerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit mit zunehmend komplexeren technischen Maschinen und Anlagen auseinanderzusetzen [1]. Neben der Arbeit an den Geräten selbst, steht die physische und virtuelle Vernetzung der einzelnen technischen Komponenten und Stationen im Vordergrund. Somit ergibt sich die Notwendigkeit, die Anlagen nicht isoliert zu betrachten, sondern vielmehr als ein verbundenes Gesamtsystem zu verstehen [2]. Die Autoren Spöttl et al. befragen Personal in Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie und stellen fest, dass „Fachkräfte [...] Anlagen und deren Funktion von den Prozessen und der Software her denken und optimieren. Das erfordert ein vollkommen anderes Verständnis als es bei mechanisch-elektrisch betriebenen Anlagen erforderlich war“ [3].

Der fachliche Schwerpunkt liegt in dieser Studie auf dem *Digitalen Zwilling*, der als Befähiger im Konstruktions- und Gestaltungsprozess, in der Inbetriebnahme cyber-physischer Produktionssysteme aber auch in ihrem Betrieb eine immer größere Bedeutung gewinnt [4]. Er dient als digitales Abbild der Realität, meist mit bidirektionalem Datenaustausch zwischen realem und digitalem System und kann für Prozesse, Produkte, Anlagenkomponenten oder ganze Fabriken erstellt und genutzt werden [5]. Der Begriff selbst ist jedoch nicht klar definiert, weswegen es hier in der interdisziplinären Zusammenarbeit immer auch Missverständnisse im Umgang mit dem Begriff, aber auch dazugehörigen Begriffen wie „Modell“, „Simulation“ und dergleichen gibt.

Innerhalb der universitären Ausbildung angehender Ingenieur:innen im Bereich der Steuerungstechnik an der Technischen Universität Dresden, erfolgt die Vermittlung erforderlicher Fachinhalte und Kompetenzen in Vorlesungen, die anschließende Vertiefung in Seminaren und die Überprüfung am Ende des Semesters mittels schriftlicher Klausuren. Daraus ergibt sich, dass sowohl die Dozierenden, als auch die Studierenden selbst während des Semesters nur wenig Informationen zum derzeitigen

Wissensstand erhalten, um beispielsweise für die Lehrenden die Abläufe/Inhalte der Lehrveranstaltungen und für die Studierenden den individuellen Lernfokus anpassen zu können.

In dieser Studie wird das Potential des Concept Mappings zur Vertiefung und Reflexion der vermittelten Vorlesungsinhalte am Beispiel "Digitaler Zwilling" untersucht. Der Einsatz von Concept Maps bietet im Gegensatz zu vielen anderen Methoden zur Erfassung von Wissen den Vorteil, dass sich nicht nur isoliertes Faktenwissen, sondern konzeptionelles Überblickswissen erfassen lässt [6].

2. Fachlicher Hintergrund zum digitalen Zwilling

Der Digitale Zwilling (DZ) ist eine der Technologien die mit der Digitalisierung Einzug in die produzierende Industrie gefunden haben und wird zu den Industrie 4.0-Technologien gezählt. Er ordnet sich in den Fachbereich der Modellierung technischer Systeme ein und beschreibt ein digitales Modell eines Systems, welches in einem bidirektionalen, automatischen Datenaustausch mit seinem physischen Gegenstück (Produktionssystem, Anlage, Produkt, Prozess) steht. Im Unterschied dazu, weist der Digitale Schatten (DS) lediglich einen automatischen Datenfluss vom physischen zum digitalen Objekt auf, womit der DZ eine Erweiterung des DS darstellt. Je nach Anwendungsfall und Notwendigkeit der Informationsverarbeitung die der DZ leisten soll, kann er ein Funktions-, Verhaltens- oder Strukturmodell bzw. eine Kombination aus den genannten Modellarten enthalten.

Ganz allgemein nutzt man den DZ zur Problemlösung oder um die Auswirkung von Operationen zu untersuchen, die am Original nicht zweckmäßig, nicht möglich oder zu gefährlich sind. Man spricht in diesen Fällen von einer Simulation.

Durch die Möglichkeit am DZ ohne die Notwendigkeit von Hardware und sehr schnell Untersuchungen (Simulationen) durchzuführen, eignet er sich sehr gut für Machbarkeitsanalysen, Variantenuntersuchungen und -studien, die Analyse von Wechselwirkungen zwischen Maschine und Prozess sowie die Vorab-Inbetriebnahme der Produktionssysteme,

welche auch als Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) bezeichnet wird. In der Betriebsphase kann der DZ zur "virtuellen Messung" nicht messbarer physikalischer Größen oder fertigungsparallelen Optimierungen des Prozesses herangezogen werden.

3. Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung zum Concept Mapping

Concept Maps sind zweidimensionale Begriffsnetze, die in der Regel der Beantwortung einer Fokusfrage oder Problemstellung dienen. Die Aufgabe bei der Erstellung der Cmaps besteht darin, verschiedene Begriffe, im Folgenden als „Konzepte“ bezeichnet, miteinander so in Verbindung zu setzen, sodass möglichst viele und aus fachlicher Sicht richtige Aussagen entstehen [7]. Dazu können die Konzepte beliebig auf der Map angeordnet und mit Pfeilen untereinander verbunden werden, wenn die beiden Begriffe nach der Vorstellung des Erstellers zueinander in Verbindung stehen. Diese gerichteten Pfeile werden anschließend mit "Relationen" beschriftet, um den inhaltlichen Zusammenhang zwischen den Konzepten zu spezifizieren. Aus jedem gerichteten Pfeil und der Beschriftung ergibt sich dann eine als "Präposition" bezeichnete Aussagelogik in Form einer Wortgruppe oder eines Satzes. Für das Beispiel in Abbildung 1 ergeben sich die folgenden drei Präpositionen:

- "Simulation ermöglicht virtuelle Inbetriebnahme",
- "Simulation arbeitet mit Funktionsmodell" und
- "Simulation arbeitet mit Verhaltensmodell".

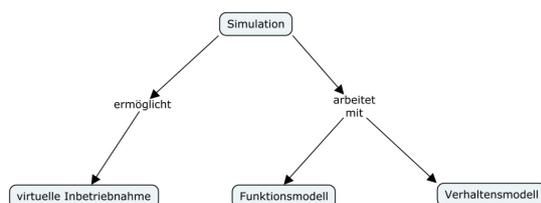


Abb. 1: Dargestellt ist ein Ausschnitt der im Rahmen dieser Studie erstellten Referenz Map.

Die Ursprünge dieser Methode wurden erstmals von Stewart, Van Kirk und Rowell publiziert [8], die für den Artikel im Journal *The American Biology Teacher* ein Begriffsnetz erstellten und dieses der Wissenschaftsgemeinde als „Concept Map“ vorstellten. Zunächst bestanden diese Netzwerke nur aus mit Strichen verbundenen Begriffen ohne Pfeilverbindungen. Eine Präpositionsbildung war dadurch unmöglich und nähere Analysen einzelner Cmaps nur eingeschränkt realisierbar. Ein Artikel, der das Concept Mapping in Bezug zur heutigen Zeit deutlich voranbrachte, war von Joseph D. Novak [9], dem damaligen Professor für Education and Biological Sciences an der Cornell University, der sich seit jeher als einer der bedeutendsten Forscher auf diesem Gebiet etablieren konnte. Im angesprochenen Beitrag enthielten die Concept Maps erstmalig gerichtete und beschriftete Pfeile und ermöglichten somit das Herauslesen sinnvoller Wortgruppen oder Sätze. Laut eigener Aussage entwickelte Novak das Concept Mapping bereits 1972 gemeinsam mit Studierenden, als sie zu Ausubels [10, 11] "assimilation theory" nach einer Möglichkeit suchten, um "what the learner already knows" besser darstellen zu können [12]. Die *Novakian concept maps* verbreiteten sich von diesem Zeitpunkt an über den gesamten Planeten, wobei *Learning how to learn* [13] als einer der wichtigsten frühen Beiträge auf dem Gebiet gilt. Seither erlangt die Methode immer größer werdende Popularität und wurde in vielen Studien eingesetzt, näher untersucht und stetig erweitert. Als vertiefende Literatur zur zeitlichen Veränderung bezüglich der Erstellung von Concept Maps wird auf den Beitrag *Varieties of concept mapping* von Mauri Åhlberg [14] verwiesen, der in seiner Literaturrecherche zehn Elemente zur Verbesserung der Methode gegenüber des originalen Artikels von Novak und Gowin [13] ermitteln konnte.

Seit den späten 1970er bzw. den frühen 1980er Jahren wurde die Methode Concept Mapping sehr vielfältig in der Forschung und Lehre eingesetzt. Vorrangige Einsatzgebiete sind:

- als Mittel zur Wissensdiagnostik in wissenschaftlichen Studien,

- als Unterrichtsmethode im Lehr-Lern-Prozess,
- als Feedback-Methode für Lehrende und Lernende sowie
- als Bewertungsinstrument.

Die durchgeführte Meta-Analyse von Schröder, Nesbit, Anguiano und Adesope [15], in der experimentelle Studien zum Concept Mapping von 1972 bis 2014 bezüglich des Lernerfolges näher untersucht wurden, ergab für die mittlere Effektstärke beim Concept-Mapping einen mittleren positiven Effekt ($g = 0,58$) zugunsten von Lernaktivitäten mit Concept Maps. Zusätzlich und speziell für den Einsatz in der universitären Ausbildung relevante Ergebnisse sind, dass der Effekt größer ist, wenn die Studierenden die Concept Maps selbst erstellen ($g = 0,72$), anstatt bereits mit fertigen Maps zu arbeiten ($g = 0,43$ für Studierende sowie Schüler:innen der Klassenstufen 4 bis 12 und $g = 0,32$ speziell für Studierende), wenn die Methode regelmäßig eingesetzt wird ($g = 0,36$ vor und $g = 0,68$ nach einer Woche) und dass der Effekt unabhängig davon ist, ob das Thema der Concept Map dem MINT- oder dem Nicht-MINT-Bereich zuzuordnen ist [16].

Auch der Einsatz von Concept Mapping als Feedback-Methode in der universitären Ausbildung wurde bereits in diversen Studien als positiv bewertet. Beispielhaft sei hier fachübergreifend zur Vertiefung auf die Studien von Daley und Torre [17] im Bereich der Medizin, Becker et al. [18] in der Biologie, Joseph et al. [19] in Physiotherapie, Lachner et al. [20] im Bereich der Bildungswissenschaften sowie Vodovozov und Raud [21] im Bereich der Leistungselektronik verwiesen.

Für den Einsatz als Diagnosemittel, Feedback-Methode und Bewertungsinstrument müssen die Concept Maps nach zuvor festgelegten Kriterien ausgewertet werden können. Graf unterscheidet in seinem Artikel die folgenden Auswertungsverfahren [22]:

- globale Auswertungsstrategie nach Novak,
- Differentialdiagnose einzelner Begriffe,
- Graphentheoretische Aspekte und
- Vergleich mit einer Referenz Map.

In der nachfolgenden Tabelle ist dargestellt, welche Kenngrößen einer Concept Map bei dem jeweilig eingesetzten Auswertungsverfahren berücksichtigt werden.

Diese sind: *hierarchische Organisation* (1); *Vernetztheit* (2); *Strukturiertheit* (3); *Vernetzungsgrad* (4); *Umfang/Reichhaltigkeit* (5); *Verknüpfungsdichte* (6); *Zerklüftetheit* (7) und *Korrespondenzkoeffizienten* (8).

Tab. 1: Vergleich der unterschiedlichen Concept-Mapping-Verfahren nach Graf

	1	2	3	4	5	6	7	8
Novak	X	X	X					
Differenzialdiagnose				X	X			
Graphentheor. Aspekte					X	X	X	
Experten-Map								X

Graf leitet daraus ab, dass die Auswertung nach Novak, die Untersuchung nach graphentheoretischen Aspekten und der Vergleich mit einer von Experten erstellten Referenz Map zwar unterschiedliche Kenngrößen im Detail untersuchen, den Fokus jedoch auf die Gesamtbeurteilung der Cmap legen, wobei der Inhalt getätigter Aussagen nicht beachtet wird. Bei der Differenzialdiagnose einzelner Begriffe dagegen liegt der Fokus ausschließlich auf der Analyse der getätigten Aussagen, die sich aus den Konzepten, der Pfeilrichtung sowie der Präposition ergeben und fachlich richtig bzw. falsch sein können. Es wird deutlich, dass die Verfahren kombiniert werden müssen, um eine ganzheitliche Auswertung der Concept Maps unter Berücksichtigung möglichst vieler der Kenngrößen gewährleisten zu können.

Wichtige Faktoren, die bei der Erstellung einer Concept Map zu beachten sind, stellen generelle Vorgaben zum Aufbau dar. Dazu sollte zum einen die maximale Anzahl der Konzepte und zum anderen die individuelle Gestaltung der Struktur des Begriffsnetzes festgelegt werden. Forschungsergebnisse belegen, dass eine maximale Anzahl von 15 bis 25 Konzepten pro Begriffsnetz nicht überschritten werden sollte, um eine Übersichtlichkeit in der Concept Map gewährleisten zu können [23].

Im Bereich Industrie 4.0 und Cyber-physischer Produktionssysteme gab es bislang keine experimentellen Studien zum Einsatz von Concept Mapping in der Ingenieurspädagogik.

Dies rechtfertigt das Erfordernis, dass Studien auf diesem Gebiet zwingend durchzuführen sind.

4. Forschungsfragen

Abgeleitet aus den vorangegangenen Kapiteln ergeben sich die folgenden Forschungsfragen, die im Rahmen des Beitrags beantwortet werden sollen:

- (1) Wie schätzen Studierende die Methode Concept Mapping bezüglich der Probandenmerkmale *Interessantheit*, *Nützlichkeit* und *Handhabbarkeit* ein?
- (2) In welchen Lehrveranstaltungen schätzen die Studierenden die Methode des Concept Mappings als sinnvoll ein?
- (3) Welche Unterschiede zeigen sich zwischen der im Rahmen der Studie von Experten erstellten Referenz Map und den von den Studierenden angefertigten Novizen Concept Maps?

5. Forschungsdesign

Die Daten wurden im Rahmen der zweiten Vorlesung im Modul „Steuerung von Produktionsmaschinen und Anlagen“ zum Thema „Informationsverarbeitung und Digitaler Zwilling“ erhoben.

An der Studie nahmen $n = 16$ Studierende im Diplomstudiengang Maschinenbau teil. Innerhalb der ersten 65 Minuten, der doppelstündigen Lehrveranstaltung, wurden fachliche Inhalte in einem eher klassischen Lehr-Lern-Format vermittelt. Anschließend fand eine fünfminütige Kurzeinführung in Anlehnung an das *Concept Mapping Trainingsprogramm* nach Sumfleth et al. [24] statt, um die Studierenden mit der Methode vertraut zu machen. In den verbleibenden 20 Minuten erstellten die Studierenden die Concept Map mit Stift auf Papier und beantworteten den Selbsteinschätzungsfragebogen.

Das Trainingsprogramm musste aufgrund der begrenzten Zeitspanne von 90 Minuten verkürzt durchgeführt werden, damit alle zur Erstellung der Concept Map relevanten Fachinhalte vermittelt werden konnten und die Studierenden trotzdem noch ausreichend Zeit

für die Erstellung der Concept Map und das Ausfüllen des Fragebogens hatten. Als Vorgabe für die Concept Map wurden zehn Konzepte zur Fokusfrage „Wie stehen die folgenden Begriffe zum Thema digitaler Zwilling miteinander in Verbindung?“ vorgegeben. Die Anzahl der Konzepte wurde zur Reduktion der Komplexität auf zehn festgelegt. Damit sollte eine mögliche Überforderung der Studierenden, bedingt durch eine zu hohe Anzahl an vorgegebenen Begriffen, minimiert werden. Um die Probanden nicht in ihrer Kreativität zu hemmen und da im Concept Mapping Trainingsprogramm keine gesonderten Strukturierungsmöglichkeiten vorgestellt werden, wurde festgelegt, dass die Konzepte beliebig angeordnet und mit willkürlichen Relationen zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

Die folgenden zehn Begriffe wurden angepasst an die Vorlesungsinhalte gemeinsam von den drei Experten ausgewählt:

Modell, System, Digitales Modell, Strukturmodell, Verhaltensmodell, Funktionsmodell, Digitaler Zwilling, Digitaler Schatten, Virtuelle Inbetriebnahme, Simulation.

Im Rahmen der Studie wurden ein Auswertungsverfahren eingesetzt, bei dem jede Concept Map nach drei Kriterien analysiert bzw. bewertet wird. Jedes Bewertungskriterium kann einen Wert von 0 bis 1 annehmen, wobei das Ergebnis umso besser ist, je höher die jeweiligen Werte sind. Aufgrund der Erkenntnisse von McClure et al. [25] bezüglich der Reliabilität bei der Bewertung der Concept Maps, wurde eine Referenz Map erstellt und zur Auswertung verwendet. Dazu fertigten drei Experten auf dem Gebiet der Mechatronik, zwei Hochschullehrende und ein Berufsschullehrer, zunächst unabhängig voneinander je eine Concept Map an. Die Vorgaben waren identisch zu denen, an die sich auch die Studierenden halten mussten. Die Concept Maps wurden dann den anderen Experten nacheinander vorgestellt und im Anschluss erstellten diese gemeinsam die in Abbildung 2 dargestellte Concept Map mit dem frei verfügbaren Programm *CmapTools*. Die Vorzüge dieses Software-Tools werden unter anderem ausführlicher in der Arbeit von Cañas et al. [26] erläutert.

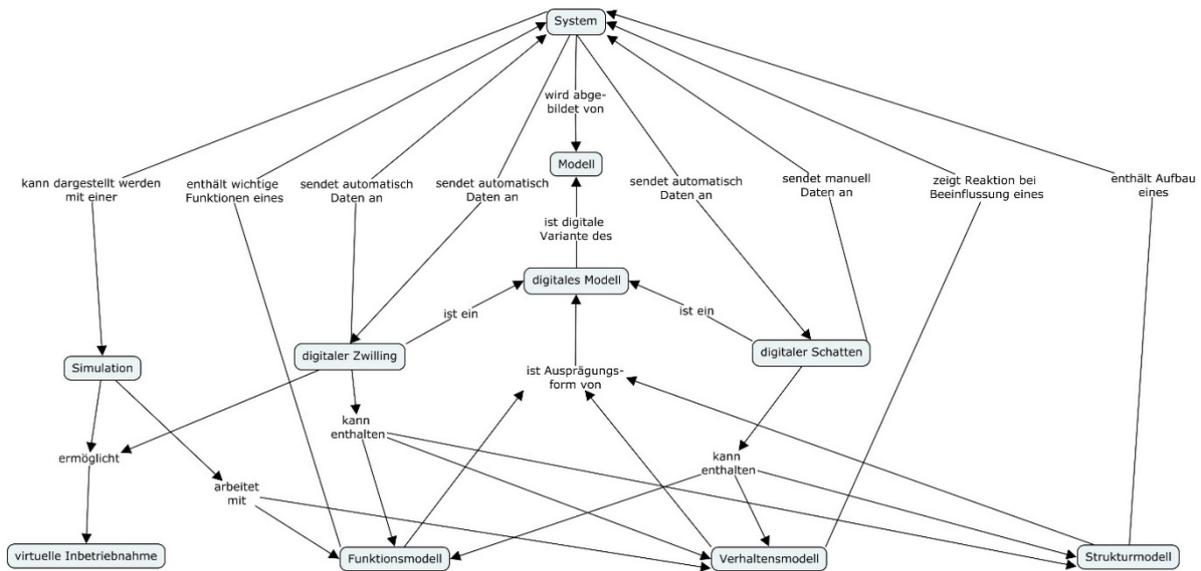


Abb. 2: Dargestellt ist die Concept Map zum Thema „Digitaler Zwilling“, die von drei Experten erstellt wurde und im Rahmen der Studie als Referenz Map dient. Zur Erstellung wurde das Programm CmapTools eingesetzt.

Im Folgenden werden die einzelnen Bewertungskriterien näher aufgeführt:

(1) *Umfang/Vernetztheit* x_{UV} :

Dieser Wert gibt an, wie groß der Vernetzungsgrad der Concept Map im Bezug zur Referenz Map ist. Dazu wird die Gesamtanzahl der Pfeilverbindungen $n_{\bar{U}}$, die mit denen der Referenz Map übereinstimmen, ins Verhältnis

$$x_{UV} = \frac{n_{\bar{U}}}{n_{Ref}} \quad (1)$$

zur Gesamtanzahl der Verbindungen der Referenz Map n_{Ref} gesetzt.

(2) *Übereinstimmungsgrad* $x_{\bar{U}G}$:

Anschließend wird untersucht, wie viele der insgesamt getätigten Pfeilverbindungen, der von den Probanden erstellen Concept Map, mit denen aus der Referenz Map übereinstimmen. Dazu werden die übereinstimmenden Verbindungen ins Verhältnis

$$x_{\bar{U}G} = \frac{n_{\bar{U}}}{n_V} \quad (2)$$

zur Gesamtzahl n_V der getätigten Verbindungen gesetzt.

Die Kriterien Umfang/Vernetztheit und Übereinstimmungsgrad sind unabhängig von den ausgewählten Relationen und berücksichtigen somit nicht die inhaltlichen Zusammenhänge zwischen den Konzepten. Da die beiden Werte in direktem Zusammenhang stehen, werden

diese zusätzlich miteinander multipliziert, woraus sich mit x_{Str} ein Maß für die generelle *Strukturiertheit* der Concept Map ergibt:

$$x_{Str} = x_{UV} \cdot x_{\bar{U}G} \quad (3)$$

(3) *Inhaltliche Übereinstimmung* $x_{I\bar{U}}$:

Die Relationen der übereinstimmenden Pfeilverbindungen werden anschließend auf fachliche Richtigkeit, durch die Übereinstimmung mit der Referenz Map, untersucht. Der Wert für $x_{I\bar{U}}$ ergibt sich aus dem Verhältnis

$$x_{I\bar{U}} = \frac{n_{I\bar{U}}}{n_{\bar{U}}} \quad (4)$$

von Gesamtzahl der fachlich richtigen Querverbindungen $n_{I\bar{U}}$ zu $n_{\bar{U}}$.

Durch die Verwendung dieser drei Bewertungskriterien soll erreicht werden, dass möglichst viele der Kenngrößen nach Graf bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Für den Selbsteinschätzungsfragebogen wurde im Rückgriff auf die Studie von Ryssel [27] der *Teil-Fragebogen zum Einschätzen des Concept Mappings* verwendet. Die Antwortmöglichkeiten der 10 Items werden mit Zahlen kodiert ("trifft nicht zu" = 1, "trifft eher nicht zu" = 2, "trifft eher zu" = 3 und "trifft voll zu" = 4), den Probandenmerkmalen *Interessantheit*, *Handhabbarkeit* sowie *Nützlichkeit* zugeordnet und anschließend in das Programm SPSS übertragen. Die negativen gepolten Antworten werden zuvor umgewandelt.

Aus dem Datensatz lassen sich unter der Annahme einer Ordinalskala jeweils der Modus und der Median für die einzelnen Probandenmerkmale berechnen.

Zusätzlich wurden in dem Fragebogen die soziodemographischen Angaben Alter, Geschlecht und Vorkenntnisse zum Concept Mapping erfasst sowie mögliche Einsatzgebiete der Methode Concept Mapping in der universitären Ingenieursausbildung erfragt.

6. Auswertung

Die im Fragebogen erfassten soziodemographischen Attribute Alter und Geschlecht sowie der Anteil an Studierenden, die bereits mit der Methode Concept Mapping gearbeitet haben, sind in Tabelle 2 dargestellt. Hervorzuheben sei, dass der Anteil der Studentinnen mit 18,8 % sehr gering ist und nur 12,5 % der Studierenden bereits Vorerfahrungen im Concept Mapping hatten.

Tab. 2: Deskriptive Beschreibung der Teilnehmenden

Attribut	Studierende
Anzahl	16
Alter	24,4 a
Teilnehmerinnen	18,8 %
Vorerfahren im Concept Mapping	12,5 %

Die erste Forschungsfrage wurde mittels Selbsteinschätzungsfragebogen untersucht, der unmittelbar nach der Erstellung der Concept Map auszufüllen war. Aus den vorliegenden Daten wurden für die Probandenmerkmale der Modus und der Median bestimmt (Tabelle 3). Es zeigt sich, dass die Studierenden die Merkmale *Nützlichkeit* und *Interessantheit*, mit Werten $> 2,5$, als positiv ("trifft eher zu") und *Handhabbarkeit* mit Werten $< 2,5$ als negativ ("trifft eher nicht zu") bewerteten.

Tab. 3: Modus und Median für die im Rahmen der Studien ermittelten Probandenmerkmale.

Merkmal	Modus	Median
Nützlichkeit	3	3
Interessantheit	3	3
Handhabbarkeit	2	2

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage erfolgt anhand einer zusätzlichen, offen formulierten Frage. Hier sollten die Studierenden angeben, in welchen universitären Lehrveranstaltungen sie den Einsatz der Methode Concept Mapping als sinnvoll erachten. Nur elf der sechzehn Teilnehmenden beantworteten die Frage. Dabei wurde von den Studierenden die folgenden Antworten, mit Anzahl der Antworten in Klammern, gegeben, wobei inhaltlich sehr ähnliche Antworten zusammengefasst wurden:

- Vorlesungen, in denen theoretische Inhalte vermittelt werden (und nicht gerechnet wird) (4),
- Vorlesungen, in denen Grundlagen vermittelt werden (2),
- in jeder Vorlesung bzw. in den meisten Vorlesungen (2),
- Steuerung von Produktionsmaschinen und -anlagen (1) sowie
- Keine bzw. Ich denke nicht, dass dabei tieferes Wissen entsteht, Modellbildung erreiche ich anders (2).

Es zeigt sich, dass $n = 9$ der Studierenden konkrete Anwendungsbeispiele nennen konnten, in denen sie den Einsatz der Methode Concept Mapping im Rahmen der universitären Ausbildung von Ingenieur:innen als sinnvoll erachten.

Die Beantwortung der dritten Forschungsfrage erfolgte mit der Bewertung der einzelnen Concept Maps der Studierenden nach den drei Bewertungskriterien *Umfang/Vernetztheit*, *Übereinstimmungsgrad* und *inhaltliche Übereinstimmung* sowie dem kombinierten Kriterium *Strukturiertheit*. Die Berechnung der Bewertungskriterien wird im Folgenden beispielhaft für die Concept Maps zweier Studierender (Abbildung 3 und 4) näher erläutert. Dazu wurden speziell zwei Concept Maps ausgewählt, die sich bezüglich Umfang (Anzahl der Pfeilverbindungen) und Qualität (Anzahl der getätigten Pfeilbeschriftung) bereits auf dem ersten Blick deutlich unterscheiden:

Umfang/Vernetztheit:

- für "GS01A" ergibt sich mit $n_{\bar{0}} = 6$ und $n_{\text{Ref}} = 24$ der Wert $x_{\text{UV}} = \mathbf{0,25}$ und
- für "HE01B" mit $n_{\bar{0}} = 13$ der Wert $x_{\text{UV}} = \mathbf{0,54}$.

Übereinstimmungsgrad:

- für "GS01A" ergibt sich mit $n_V = 10$ der Wert $x_{ÜG} = 0,60$ und
- für "HE01B" mit $n_V = 17$ der Wert $x_{ÜG} = 0,76$.

Strukturiertheit:

- für "GS01A" ergibt sich der Wert $x_{Str} = 0,15$ und
- für "HE01B" der Wert $x_{Str} = 0,41$.

Inhaltliche Übereinstimmung:

- für "GS01A" ergibt sich mit $n_{IÜ} = 0$ der Wert $x_{IÜ} = 0,00$ und
- für "HE01B" mit $n_{IÜ} = 12$ der Wert $x_{IÜ} = 0,92$.

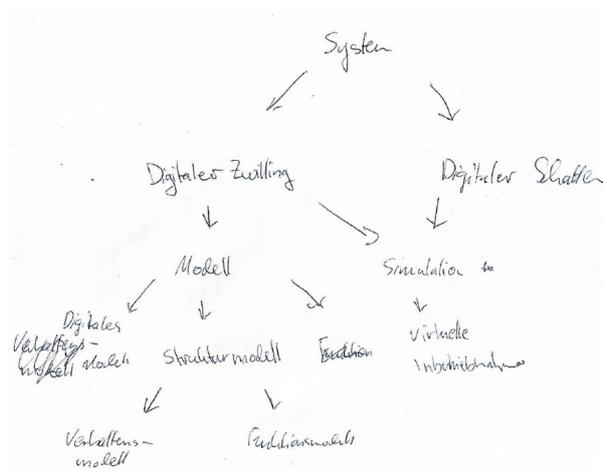


Abb. 3: Die Concept Map des/der Studierenden „GS01A“ verfügt über 10 Pfeilverbindungen, wobei 6 mit der Referenz Map übereinstimmen und keine davon beschriftet wurde.

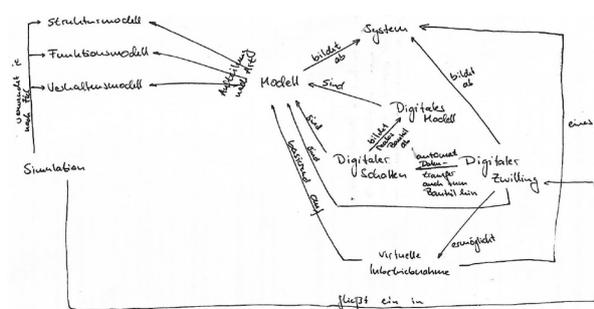


Abb. 4: Die Concept Map des/der Studierenden „HE01B“ verfügt über 17 mit Relationen beschriftete Pfeilverbindungen. Davon stimmen 13 mit denen der Referenz Map überein.

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abbildung 5 für die einzelnen Bewertungskriterien in Form eines Boxplots dargestellt.

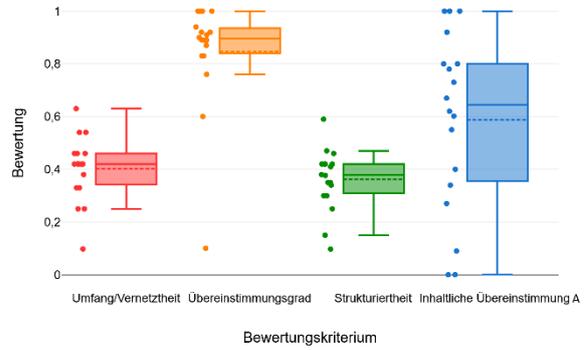


Abb. 5: Dargestellt sind die Auswertungsergebnisse für die jeweiligen Kriterien in Form eines Boxplots.

Für das Kriterium *Umfang/Vernetztheit* ergab sich ein Mittelwert von 0,42 bei einer Standardabweichung von 0,1. Die Studierenden tätigten somit durchschnittlich $10,1 \pm 2,3$ Pfeilverbindungen, die mit denen übereinstimmen, die auch von den Experten gewählt wurden.

Beim *Übereinstimmungsgrad* ergab sich ein Mittelwert von 0,89, ebenfalls bei einer Standardabweichung von 0,1. Daraus lässt sich ableiten, dass durchschnittlich nur 11 % der Pfeilverbindungen, die die Studierenden getätigt haben, nicht mit denen aus der Experten Map übereinstimmen.

Um auszuschließen, dass Extrema wie beispielsweise alle Begriffe mit Pfeilen zu verbinden ($x_{UV} = 1,0$) oder nur eine offensichtliche Pfeilverbindung zu tätigen ($x_{ÜG} = 1,0$) als positiv bewertet werden, sollten beide Kriterien stets zueinander in Relation gesetzt werden, um die Struktur der Concept Map als Ganzes bewerten zu können. Für das kombinierte Kriterium *Strukturiertheit* ergab sich ein Mittelwert von 0,38 bei $s = 0,1$.

Aufgrund der hohen Streuung ($n = 3$ Probanden mit dem Wert 1 und $n = 3$ Probanden mit Werten $< 0,1$) bzw. großer Standardabweichung von 0,34 beim Kriterium der *inhaltlichen Übereinstimmung A*, wurde zusätzlich der Wert *inhaltliche Übereinstimmung B* bestimmt (Abbildung 6). Dies geschah unter der Annahme, dass Studierende, aus deren Concept Maps bei weniger als 33 % der getätigten Pfeilverbindungen keine Präpositionsbildung möglich war, da diese entweder keine Pfeilrichtung hatten und/oder keine Relationen vorhanden waren, Verständnisprobleme bei der Umsetzung der Methode Concept Mapping oder sprachliche Probleme

bei der Ausformulierung der Präpositionen hatten. Für *inhaltliche Übereinstimmung B* wurden die betreffenden vier Studierenden nicht berücksichtigt. Die Standardabweichung konnte unter dieser Annahme um 47 % auf $s = 0,18$ verringert werden.

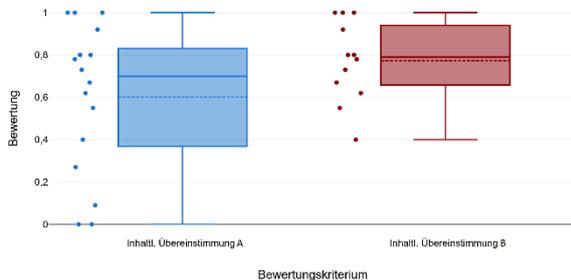


Abb. 6: Das Bewertungskriterium *Inhaltliche Übereinstimmung B* ergibt sich aus der reduzierten Stichprobe.

Für das Kriterium der *inhaltlichen Übereinstimmung A* ergab sich ein Mittelwert von 0,60. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Kriteriums *Umfang/Vernetztheit* bildete die Studierenden somit durchschnittlich 6,1 richtige Relationen pro Concept Map. Für die reduzierte Stichprobe ergab sich für *inhaltlichen Übereinstimmung B* der Wert 0,77. Unter der oben getroffenen Annahme lässt sich daraus ableiten, dass Studierende, die die Methode verinnerlichen konnten, durchschnittlich 7,8 richtige Relationen bildeten.

7. Diskussion/Limitation/Ausblick

Im Rahmen dieser Studie wurde gezeigt, dass der Einsatz von Concept Maps im Bereich der Steuerungstechnik ein hohes Potential aufweist. Dazu wurde zur komplexen Thematik des digitalen Zwillings von 16 Studierenden je eine Concept Map angefertigt, die jeweils durch den Vergleich mit einer von drei Experten erstellten Referenz Map, nach den drei hier beschriebenen Bewertungskriterien *Umfang/Vernetztheit*, *Übereinstimmungsgrad* und *inhaltliche Übereinstimmung*, ausgewertet wurden.

Die Auswertung ergab, dass eine durchschnittliche Concept Map der Studierenden über 11,3 Pfeilverbindungen verfügt, von denen 10,1 mit der Referenz Map übereinstimmen und pro Map 6,1 (7,8 bei reduzierter Stichprobe für das Kriterium *Inhaltliche Übereinstimmung*) fachlich

korrekte Präpositionen gebildet werden können.

Außerdem konnte durch einen Fragebogen zur Einschätzung des Concept Mappings, der direkt nach der Erstellung der Concept Map auszufüllen war, gezeigt werden, dass Studierende die Methode als interessant und nützlich einschätzen. So konnten mehr als die Hälfte der Studierenden konkrete Anwendungsgebiete für die universitäre Ingenieur:innen-ausbildung benennen. Die Handhabbarkeit der Methode wurde unterdurchschnittlich bewertet, was beispielsweise durch eine intensivere Einführung und/oder den regelmäßigen Einsatz gefördert werden kann.

Im Folgenden werden weitere Studien auf diesem Gebiet, bedingt durch die geringe Stichprobe von $n = 16$ Studierenden erforderlich sein, um die Ergebnisse der Studie verifizieren bzw. falsifizieren zu können. Nur so ist es möglich, dass aus den Ergebnissen konkrete Handlungsempfehlungen bezüglich des Einsatzes von Concept Mapping in der universitären Ausbildung von Ingenieur:innen im Bereich Steuerungstechnik, abgeleitet werden können. Vielversprechend sind auch erste Ergebnisse zum Einsatz von Concept Maps bei angehenden Mechatroniker:innen im Rahmen des Berufsschulunterrichts [28]. Auch ein verstärktes Arbeiten mit digitalen Werkzeugen (z. B. *CmapTools*) eignet sich sehr gut, um beispielsweise ein für Lehrende realisierbares automatisiertes Auswertungsverfahren, ohne zusätzlichen Einsatz einer automatischen Bilderkennung, einsetzen zu können.

Literatur

- [1] Cropley DH, Cropley AJ (2019) Industrie 4.0 und Kreativität im Ingenieurwesen: Folgen für die Hochschullehre. In: Haertel T, Terkowsky C, Dany S et al. (eds) Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen - Lösungen - Perspektiven. wbv, Bielefeld, pp 27-39
- [2] Zheng P, wang H, Sang Z et al. (2018) Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Front Mech Eng* 13:137-150. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- [3] Spöttl G, Gorltd C, Windelband L et al. (2016) Industrie 4.0 - Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie, München

- [4] Hellmich A, Zumpe F, Zumpe M et al. (2022) Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen. Forschungsbeirat Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- [5] Rosen R, Jäkel J, Barth et al. (2020) Simulation und digitaler Zwilling im Anlagenlebenszyklus
- [6] Fürstenau B (2011) Concept Maps im Lehr-Lern-Kontext. *DIE Zeitschrift für Erwachsenenbildung*:46–48. <https://doi.org/10.3278/DIE1101W046>
- [7] Aşıksoy G (2019) Computer-Based Concept Mapping as a Method for Enhancing the Effectiveness of Concept Learning in Technology-Enhanced Learning. *Sustainability* 11:1005. <https://doi.org/10.3390/su11041005>
- [8] Stewart J, van Kirk J, Rowell R (1979) Concept Maps: A Tool for Use in Biology Teaching. *The American Biology Teacher* 41:171–175. <https://doi.org/10.2307/4446530>
- [9] Novak JD (1981) Applying Learning Psychology and Philosophy of Science to Biology Teaching. *The American Biology Teacher* 43:12–42. <https://doi.org/10.2307/4447108>
- [10] Ausubel DP (1963) *The psychology of meaningful verbal learning*. Grune & Stratton
- [11] Ausubel DP (1968) *Educational psychology: A cognitive view*. Holt Rinehart and Winston, New York
- [12] Novak JD (1990) Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instr Sci* 19:29–52. <https://doi.org/10.1007/BF00377984>
- [13] Novak JD, Gowin DB (1984) *Learning How to Learn*. Cambridge University Press
- [14] Åhlberg M (2004) Varieties of concept mapping
- [15] Schroeder NL, Nesbit JC, Anguiano CJ et al. (2018) Studying and Constructing Concept Maps: a Meta-Analysis. *Educ Psychol Rev* 30:431–455. <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9403-9>
- [16] Knogler M, Wiesbeck AB & CHU Research Group (2018) Lernen mit Concept Maps: Eine Bilanz nach 42 Jahren Forschung. *Kurzreview*
- [17] Daley BJ, Torre DM (2010) Concept maps in medical education: an analytical literature review. *Med Educ* 44:440–448. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03628.x>
- [18] Becker LB, Welter VDE, Aschermann E et al. (2021) Comprehension-Oriented Learning of Cell Biology: Do Different Training Conditions Affect Students' Learning Success Differentially? *Education Sciences* 11:438. <https://doi.org/10.3390/educsci11080438>
- [19] Joseph C, Conradsson D, Nilsson Wikmar L et al. (2017) Structured feedback on students' concept maps: the proverbial path to learning? *BMC Med Educ* 17:90. <https://doi.org/10.1186/s12909-017-0930-3>
- [20] Lachner A, Burkhart C, Nückles M (2017) Mind the gap! Automated concept map feedback supports students in writing cohesive explanations. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 23:29–46. <https://doi.org/10.1037/xap0000111>
- [21] Vodovozov V, Raud Z (2015) Concept Maps for Teaching, Learning, and Assessment in Electronics. *Education Research International* 2015:1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/849678>
- [22] Graf D (2014) Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In: Krüger D, Parchmann I, Schecker H (eds) *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 325–337
- [23] Novak JD, Cañas AJ (2006) *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them*. Technical Report IHMC CmapTools 2006
- [24] Sumfleth E, Neuroth J, Leutner D (2010) Concept Mapping - eine Lernstrategie muss man lernen. *Concept Mapping - Learning Strategy is Something You Must Learn*. CHEMKON 17:66–70. <https://doi.org/10.1002/ckon.201010114>
- [25] McClure JR, Sonak B, Suen HK (1999) Concept map assessment of classroom learning: Reliability, validity, and logistical practicality. *J Res Sci Teach* 36:475–492. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199904\)36:4<475:AID-TEA5>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199904)36:4<475:AID-TEA5>3.0.CO;2-O)
- [26] Cañas AJ, Hill G, Carff R et al. (2004) CmapTools: A knowledge modeling and sharing environment. In: Cañas AJ, Novak JD, González FM (eds) *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology*, Vol. 1: Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping, vol 1, pp 125–134
- [27] Ryssel J (2019) *Feedback zu Concept Maps im betriebswirtschaftlichen Planspielunterricht - eine empirische Untersuchung*. Dissertation, Technische Universität Dresden
- [28] Ullrich B, Link N (2023): *Concept Maps von Auszubildenden und Lehrkräften zu Funktionszusammenhängen in (vernetzten) mechatronischen Systemen*. Tagungsband der gtw Konferenz 2022, Flensburg (im Druck)