Journal of Technical Education

Band 2, 2014, Heft 1

Heiko Merle (Technische Universität Darmstadt)

Jörg Lange (Technische Universität Darmstadt)

Ein konstruktivistisches Lehr-Lern-Konzept mit der Unterstützung von Computern im Stahlbau

Herausgeber

Bernd Zinn

Ralf Tenberg

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

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

Heiko Merle (Technische Universität Darmstadt)
Jörg Lange (Technische Universität Darmstadt)

Ein konstruktivistisches Lehr-Lern-Konzept mit der Unterstützung von Computern im Stahlbau

Zusammenfassung

Bei Studierenden des Bauingenieurwesens zeigen sich immer wieder Verständnisschwierigkeiten zu den Inhalten der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie. Um diesem Phänomen zu begegnen, ist der stattfindende Lehr-Lernprozess unter Berücksichtigung der Inhalte zu analysieren und gegebenenfalls zu verändern. Computerunterstützungen bieten dabei eine ausgezeichnete Möglichkeit Lernprozesse zu verändern. Ausgehend von einer formalen und subjektbezogenen Beschreibung von Bildung wird ein Lehr-Lernkontext auf Basis der lerntheoretischen Perspektive des sozial-moderaten Konstruktivismus entwickelt, welcher Lernende befähigt, kognitive Konstruktionen zu erzeugen, zu verändern und zu vernetzen. Die Bedingungen an den konstruktivistischen Lernkontext werden mit Hilfe von Computerunterstützungen in Form eines Wikis erfüllt. Im Rahmen eine didaktischen Umsetzung wird der Lehr-Lernkontext in Lehrveranstaltungen des Stahlbaus der TU Darmstadt angewendet und auf Basis der geltenden Studienordnung beschrieben. Die Evaluation zeigt, dass konstruktivistische Lernprozesse initiiert wurden und so ein maßgeblicher Lernerfolg erreicht werden konnte.

Schlüsselwörter: Stahlbau, Konstruktivismus, eLearning, Wiki, Didaktische Umsetzung

A constructivist teaching-learning-concept supported by computer in steel construction

Abstract

Students of Civil Engineering have often distinct expertise difficulties in the subject area of "elastic second order theory" and "theory of stability". To prevent this phenomenon the process of teaching and learning has to be analysed and modified if necessary. Therefore electronic supports like computers can be used to modify processes of learning. Based on a formal and subjective explanation of “Bildung”, a teaching and learning context has been developed. Therefore the social-constructivist theory was used. Within this context learners will be able to create, to modify and to network cognitive structures. The use of computer supported learning environments like Wikis can fulfil theses terms of the constructivist learning context. This model is applied within a course of the department of Steel Structures at the TU Darmstadt. It became apparent that constructivist processes of learning were initialised. Furthermore a successful learning outcome in consideration of the content, its structure and the methodological competence were achieved

Keywords: Steel Construction, Constructivism, eLearning, Wiki

1 Einleitung: Drei Fragen - Drei Lösungsansätze

"*Unendlich*" lautet die Antwort vieler Bauingenieurstudierender der Technischen Universität Darmstadt, wenn sie mit der Fragestellung: "*Wie groß sind die Verformungen eines geometrisch und strukturell perfekten statischen Systems beim Erreichen der Verzweigungslast?*" konfrontiert werden. Richtig wäre stattdessen die Antwort: "*Unbestimmt, jede Verformungsgröße ist möglich.*"

Zwar ist die Antwort von Studierenden per se nicht als falsch zu werten, da aus der mathematischen Perspektive eine unendlich große Verformung richtigerweise in der Menge aller möglichen Verformungen enthalten ist, sie zeigt jedoch, dass etwas erlernt, jedoch nicht alles verstanden wurde. An dieser Stelle soll keine exakte mechanische Begründung des oben genannten Phänomens erfolgen. Einzig der Hinweis, dass die Fragestellung der Stabilitätstheorie des Stahlbaus entstammt, die studentische Antwort jedoch auf einem Gedankenkonstrukt der Theorie II. Ordnung beruht, zeigt die Fähigkeit der Studierenden, zwei unterschiedliche ingenieurmäßige Theorien in einen unstrukturierten und vagen Zusammenhang setzen zu können. Eine wirkliche Erkenntnis, an dieser Stelle definiert als Fähigkeit beide Theorien sowie deren Zusammenhänge und Unterschiede tief greifend durchdringen zu können, scheint jedoch nicht vorhanden zu sein.

Verständnisschwierigkeiten von Studierenden innerhalb der Inhaltsbereiche der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie sind keine Beobachtungen, die sich auf die Lehre der Technischen Universität Darmstadt beschränken. Auch andere Hochschullehrende aus dem Bereich des Stahlbaus beschreiben sehr ähnliche Beobachtungen aus ihrer subjektiven Perspektive.

Es eröffnet sich somit die Fragestellung: "*Welches sind die Bedingungen für die defizitären Erkenntnisse der Studierenden in den Bereichen der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie?*"

Um sich einer Antwort anzunähern, gilt es zunächst diejenigen Bedingungen auszuschließen, aus denen sich die Erkenntnisschwierigkeiten nicht ergeben. Bedingungen für Lernprozesse werden in der Literatur häufig beschrieben und können nach Krapp (vgl. Krapp et al., 2006, S. 1-31) in den *Lehrenden*, die *lernende Person*, die *natürliche Umwelt*, die *pädagogisch arrangierte Umwelt*, die *Medien* und die *Interaktion* zwischen der lernenden Person und den übrigen Bedingungen differenziert werden. Da die bisherige Beschreibung zeigte, dass Defizite weder orts- noch zeitabhängig sind, können diejenigen Bedingungen ausgeschlossen werden, die einer Orts- und Zeitabhängigkeit unterliegen. Dies trifft sowohl auf den Lehrenden als auch auf die lernende Person zu. Die natürliche Umwelt der lernenden Person wird maßgeblich aus ihrem sozialen Umfeld erzeugt, welches sich im Hochschulbereich aus anderen lernenden Personen sowie den Lehrenden zusammensetzt. Somit besitzt auch die natürliche Umwelt eine Diversität. Es lässt sich zusammenfassen, dass mit großer Wahrscheinlichkeit weder Lehrende noch die lernenden Personen selbst Ursachen für die Erkenntnisschwierigkeiten liefern.

Die pädagogisch arrangierte Umwelt, die Medien und die Interaktion verbleiben somit als ursächliche Bedingungen für Erkenntnisschwierigkeiten. Es wird die pädagogisch arrangierte Umwelt als didaktischer Lernkontext sowie die Medien als Lernwerkzeug verstanden.

Das Bauingenieurstudium besitzt hochschulübergreifend einen historisch gewachsenen, vielerorts gleichartigen akademischen Lernkontext. Das zentrale Element ist hierbei stets die Vorlesung sowie die zugehörige eigenständige Vor- und Nachbereitung der Inhalte durch die Lernenden (vgl. hierzu Apel, 1999; Lange et al., 2000 und Melezinek, 1999). Die Vorlesung kann im Rahmen einer Lehrveranstaltung durch verschiedene Formate eigenständigen Lernens in Form von Übungen erweitert werden. Zumeist werden die Lehrveranstaltungen im Ingenieurbereich durch schriftliche Prüfungsereignisse abgeschlossen. Hierfür sind Vorbereitungsphasen vorgesehen. Lange et al. fassen die einzelnen Lernphasen zusammen und definieren dies als *Normalkonzept*.

Innerhalb dieses übergreifend homogenen Lernkontexts von Lehrveranstaltungen in den Bauingenieurstudiengängen finden ebenfalls sehr ähnliche Lernwerkzeuge ihre Verwendung. Vorlesungen finden traditionell tafelzentriert statt. Daneben kommen selten digitale Präsentationen zum Einsatz. Da Inhalte aus der Perspektive der Lernenden im Verlauf einer Vorlesung an der Tafel generiert werden, fertigen die Studierenden gleichzeitig Mitschriften des Gezeigten an. Dieses bildet die maßgebliche Grundlage für weitere eigenständige Lernformen. Daneben werden häufig Skripte zu Veranstaltungen angeboten und weitere Literaturquellen angegeben, die die Inhalte der Vorlesungen vertieft darstellen.

Aus dem beschriebenen homogenen Lernkontext und den zugehörigen Lernwerkzeugen ergibt sich ein maßgebliches Format der Interaktion der lernenden Personen. Die Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden während einer Vorlesung reduziert sich auf einen weitestgehend monologischen Vortrag. Außerhalb der Vorlesungen kann eine Interaktion, zum Beispiel während Sprechstunden initiiert werden. Weiterhin kann sich eine Interaktion unter den Lernenden in Form von fachlichen Gesprächen oder Gruppenarbeiten einstellen. Letztendlich erzeugen die Lernprozesse eine Interaktion der Lernenden mit den Medien. Studierende lernen die Inhalte und konstruieren somit eine Wirklichkeit daraus, dies vollzieht sich zumeist außerhalb eines institutionellen Rahmens.

Auf Grundlage dieser Beschreibungen kann abgeleitet werden, dass das Lernformat (als pädagogisch arrangierte Umwelt), die Lernmedien und die Formen der Interaktion als Bedingungen für die defizitären Erkenntnisse der Lernenden beschrieben werden können. Wie bereits zuvor beschrieben, liefern demgegenüber weder die Lehrenden noch die Lernenden und ihre natürliche Umwelt in diesem Fall Ursachen für Erkenntnisschwierigkeiten.

Die Fragestellung "*Welches sind die Bedingungen für die defizitären Erkenntnisse der Studierenden in den Bereichen der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie?*" sei hinreichend beantwortet, jedoch eröffnet sich damit eine weiterführende Fragestellung: "*Worin begründen sich die defizitären Erkenntnisse der Studierenden innerhalb dieser Bedingungen?*"

Die bisherige Beschreibung zeigte, dass die ursächlichen Bedingungen eng mit einander verzahnt sind und sich somit wechselseitig beeinflussen. Daraus folgt, dass Gründe für

Defizite nicht in den isolierten Bedingungen gefunden werden können, sondern eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich ist. Der Lernkontext des Normalkonzepts ist dadurch charakterisiert, dass aktivierende Lernformen zumeist innerhalb von eigenständigen Lernprozessen stattfinden. Diese ergeben sich wiederum außerhalb eines institutionellen und somit formalisierten Rahmens. Hiezu zählen die eigenständige Vor- und Nachbereitung der Vorlesungsinhalte, die Bearbeitung von Haus- und Seminararbeiten, sowie Lernprozesse während der Prüfungsvorbereitungsphase. Treten innerhalb dieser eigenständigen Lernprozesse Schwierigkeiten und Probleme auf, besteht die Gefahr, dass sie unerkannt bleiben und die Lehrenden keine Unterstützung geben können. Noch schwerwiegender vermag sich ein Ausbleiben der Lernprozesse auswirken. Beschränkten sich die Lernprozesse einzig auf die in Präsenz stattfindenden Elemente wie Vorlesungen, Übungen und Seminare, kann nur sehr begrenzt ein tieferes Verständnis erreicht werden. Stellen sich zudem die Lerninhalte als hinreichend komplex und theoriebezogen dar, verstärkt sich dieser Effekt. Bieten Inhalte wenige Verknüpfungspunkte mit bereits vorhandenem Vorwissen oder mit der Erfahrungsumwelt der Lernenden, kann die inhaltliche Anschlussfähigkeit schneller verloren gehen.

Neben der entstehenden Problematik durch eigenständige Lernprozesse kann weiterhin die Interaktion der Studierenden genauer analysiert werden. Ein Ziel der Interaktion ist die Initiierung von Reflexionen eigener Lern- und Erkenntnisprozesse sowie der Reflexion von fremden Erkenntnisprozessen. Auch hier gilt, dass die Interaktion außerhalb eines institutionellen Rahmes stattfindet und somit außerhalb des Beobachtungs- und Einflussnahmebereichs des Lehrenden liegt.

An dieser Stelle nun wirkt es verführerisch, den historisch gewachsenen, homogenen akademischen Lernkontext in der Bauingenieurlehre als grundlegend falsch zu bewerten. Berücksichtigt man jedoch, dass sich jeder Lernkontext als Ergebnis einer didaktischen Umsetzung auf einen lerntheoretischen Ansatz stützt, kann nicht von *falsch* oder *richtig* ausgegangen werden, sondern vielmehr von *passend* oder *nicht passend*. Kerres (vgl. Kerres et al., 2011, S. 265) beschreiben hierzu unterschiedliche Perspektiven auf Lernkontexte in Abhängigkeit des lerntheoretischen Ansatzes. Aufgrund der Komplexität von Lernen und Lehren und deren Abhängigkeit von sozialen Kontexten, wird eine multiperspektivische Verwendung verschiedener lerntheoretischer Ansätze empfohlen.

Wird diese Beschreibung als Antwort der aufgeworfenen Fragestellung "*Worin begründen sich die defizitären Erkenntnisse der Studierenden innerhalb dieser Bedingungen?*" interpretiert, schließt sich direkt eine dritte Fragestellung an: "*Mit Hilfe welcher Maßnahmen und Veränderungen der Bedingungen können Erkenntnisse, die eine wertvolle sozial-gesellschaftliche Qualität besitzen, erzeugt werden?*"

Werden die Gründe für Defizite in Erkenntnissen auf nicht beobachtbare und somit nicht steuerbare eigenständige Lernprozesse sowie interaktionistische Reflexionsprozesse reduziert, liegt die Annahme nahe, einzig diese Elemente des Lernkontextes zu ändern. Fasst man die Problematik globaler, kann dies zur Annahme führen, den ganzen Lernkontext in Frage zu stellen. Beide Extrema sind jedoch nicht zielführend. Werden lediglich die ursächlichen Elemente auf Basis lerntheoretischer Ansätze durch eine veränderte didaktische Umsetzung

restrukturiert, wird dies nicht absehbare Folgen auf weitere vorhandene didaktische Elemente nehmen. Wird hingegen der komplette Lernkontext ersetzt, werden auch die für den Lernprozess förderlichen didaktischen Elemente ersetzt. Es gilt somit Maßnahmen zu finden und Änderungen zu bewirken, die sich zwischen beiden Extrema bewegen.

2 Didaktische Modellbildung

Im Rahmen dieses Artikels findet eine Formulierung der konstruktivistischen Idee auf Basis des erkenntnistheoretischen Ansatzes nach Piaget (vgl. hierzu Jank u. Meyer, 2002, S. 191ff. und Moskaliuk, 2008), des Ansatzes der sozialen Interaktion nach Wygotski (vgl. hierzu Moskaliuk, 2008; Scardamalia u. Bereiter, 2006 sowie Gramlinger, 2004) und des systemtheoretischen Ansatzes nach Luhmann (vgl. hierzu Baraldi et al., 1997 und Simon, 2008) statt. Um diese Ansätze zu einer didaktischen Modellbildung umzuformen, wird das Verständnis einer konstruktivistischen Didaktik nach Reich (vgl. Reich, 2006) verwendet. Re-, De- und Konstruktionsprozesse im Realen, in Repräsentationen sowie Reflexionen von Konstrukteuren, welche die Rollen eines Beobachters, Teilnehmers und Akteurs einnehmen, entwickeln sich nach Reich ideal, wenn sie sich innerhalb der fünf Stufen des Lernens entsprechend dem pädagogischen Ansatz nach John Dewey (siehe auch Reich, 2006) vollziehen.

Dies resultiert in einem konstruktivistischen Lernkontext. Innerhalb dessen ergeben sich Lernprozesse als das Erzeugen, Verändern und Vernetzen von mentalen Konstruktionen. Lernenden wird es ermöglicht, auf Basis der individuellen Kognition, Lernprozesse zu initiieren, zu erhalten und zu beeinflussen. Dies vollzieht sich mit stetiger Perspektive auf eine reale Umwelt sowie auf individuelle Repräsentationen. Lernende können die Rollen eines Teilnehmers und eines Beobachters einnehmen und werden als Akteure gleichzeitig beobachtbar für Andere. Als dies findet seine Umsetzung im Feld einer handlungsbezogenen Problemorientierung. Diese Beschreibung eines konstruktivistischen Lernkontextes wird im Folgenden eine didaktische Umsetzung angewendet. Es findet dabei eine stetige Projektion auf den Lernkontext statt.

3 Didaktische Umsetzung im Feld des eLearning

3.1 Das Stahlbau-Wiki als Lernwerkzeug

eLearning kann allgemein als die Lernprozessunterstützung mit elektronischen Werkzeugen verstanden werden. Web 2.0 Anwendungen, innerhalb derer Nutzer von Konsumenten zu Produzenten werden, finden aktuell ihren Weg in Lernprozesse. Mit Perspektive auf die zuvor genannten Bedingungen eines konstruktivistischen Lernkontextes erwächst eine Beschreibung von eLearning 2.0 (vgl. Ehlers, 2011, S. 339ff.). Es ergeben sich nach Ehlers Übergänge von einer Rezeption zur Partizipation, von formaler Kontrolle zur Reflexion, von Bildung für Lernende zur Bildung durch Lernende und vom Empfänger zum Entwickler.

Das zentrale technische Element der didaktischen Umsetzung im hier vorgestellten Projekt bildet die Wiki-Software MediaWiki als Web 2.0 Werkzeug. Entsprechend der Definition von Web 2.0 können die Inhalte der Wikiseiten nicht nur gelesen, sondern aktiv erstellt, editiert und verändert werden. Über einen Webbrowser kann mittels einfacher Auszeichnungssprache (*Markup Language*) der Inhalt generiert und formatiert werden. Neben formatierten Texten können Tabellen, Diagramme und mittels TeX-Markup auch mathematische Beschreibungen erstellt werden – dies ist im Feld des Stahlbaus eine essentielle Eigenschaft. Weiterhin können Mediendateien wie Bildformate, Animationen und Videos eingebunden werden. Das Erstellen und Anlegen von Mediendateien erfolgt dabei in zwei Schritten. Zuerst ist eine Verknüpfung zu einem definierten Speicherort der Mediendatei zu erstellen und anschließend wird die Mediendatei in der Datenbank der Wiki Software gespeichert.

Neben dem Webbrowser sind keine weiteren lokal installierten Anwendungen erforderlich. Ein Merkmal des Wiki-Prinzips ist die nicht mehr vorhandene Unterscheidung zwischen Produzent und Konsument von Inhalten. Die Bezeichnung eines allgemeinen Nutzers subsumiert Leser und Autor, Produzent und Konsument sowie Lehrer und Lerner. Gemäß einer konstruktivistischen Didaktik nimmt der Nutzer somit die Rollen des Akteurs, des Teilnehmers und des Beobachters ein.

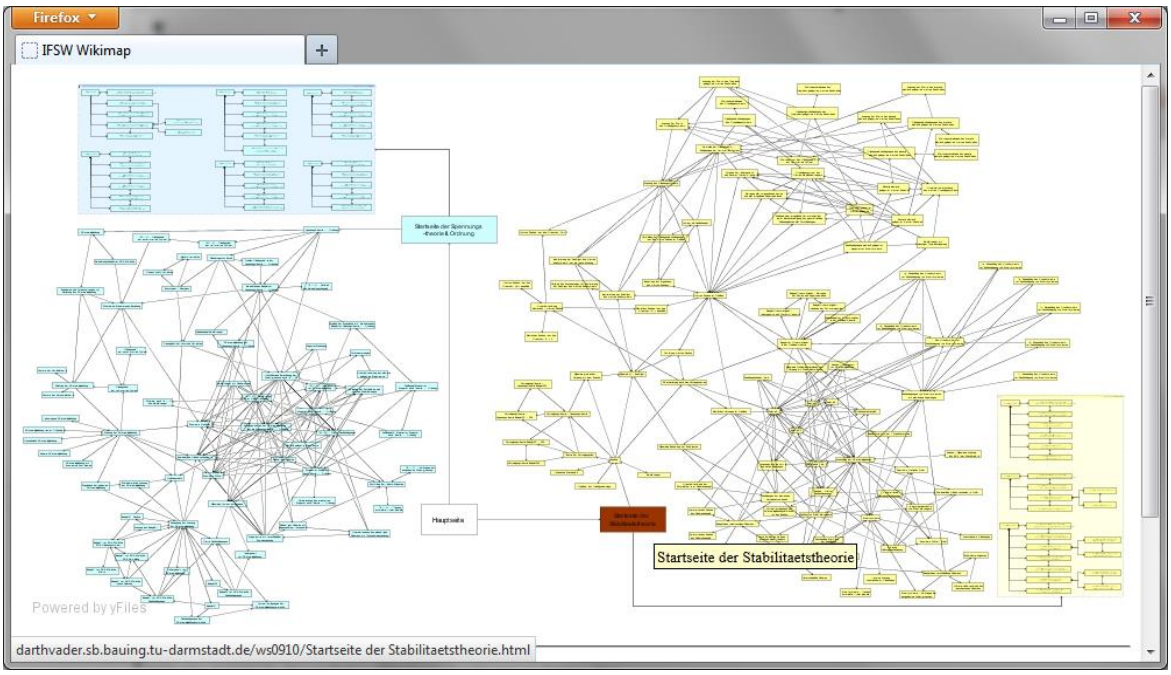

Abb. 1: Wikimap der Inhalte

Neben dem einfachen Erzeugen von Inhalten stellt die freie Verknüpfung durch Hyperlinks ein weiteres Merkmal des Wiki-Prinzips dar. Der Wiki-Link wird dabei nicht über einen absoluten Uniform Resource Locator (*URL*) definiert, sondern mittels Lemmata als eindeutige Beschreibungen. Dieser Entwicklungsprozess resultiert in einer nichtlinearen Wikistruktur. Die durch Verweise entstehenden Relationen zwischen Seiten, erzeugen eine vernetzte Struktur. Eine weitere Eigenschaft der Netzstruktur ist ihre zumeist nicht hierarchische

Ordnung. Auf Basis der assoziativen Relationen entsteht ein assoziatives Netz, das sich, durch die freie Editierbarkeit und das freie Erzeugen von Hyperlinks, zeitabhängig verändert.

Die Struktur der Inhalte des Wikis als Kombination aus Wikiseiten und Wiki-Links ergibt den in Abbildung 1 dargestellten Digraphen zur Stabilitätstheorie und zur Theorie II. Ordnung. Der Digraph lässt sich als eine Karte des Wikis interpretieren woraus sich die anglizistische Wortkomposition der Wikimap aus Wiki und Map ableitet. Die Wikimap wird für die Verwendung im Hypertext erweitert. So wird das statische Format durch verweissensitive Attribute der Ecken ergänzt. Die in Abbildung 1 dargestellte Wikimap zeigt die einzelnen Seiten des Wikis. Jede Box stellt dabei eine Wikiseite dar. Jede Linie kennzeichnet einen Wikilink zwischen den Wikiseiten. Neben der Darstellung der Wikimap in einem eigenen Tabulator des Browsers, benannt als Big-Map, wird stets in der zuletzt abgerufenen Wikiseite die Wikimap in einer verkleinerten Darstellung mit der aktuellen Position im Wiki angezeigt, benannt als Small-Map. Den Lernenden stehen somit neben den textsensitiven Wikilinks zwei weiter Medien zur Navigation in den Inhalten zur Verfügung.

3.2 Nutzermonitoring

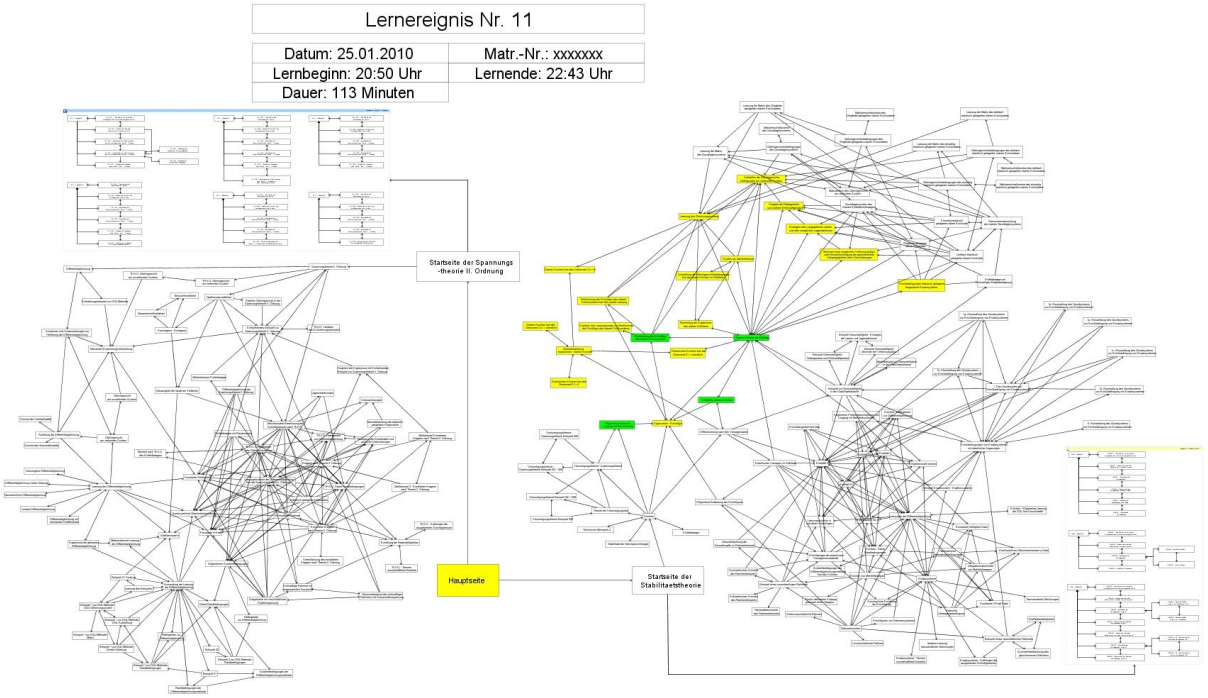

Abb. 2: Lernereignis eines ausgewählten Lernenden

Während des Lernprozesses werden Inhalte von den Lernenden erzeugt. Dies resultiert in weiteren Wikiseiten – die Wikistruktur wird somit kontinuierlich erweitert. Um das Verhalten der Lernenden innerhalb des Wikis beobachtbar zu machen, können diese freiwillig eine Erweiterung des Webbrowsers installieren. Diese Erweiterung zeichnet das Verhalten der Lernenden auf und sendet die Informationen an den Webserver. Dort werden die Daten ausgewertet und resultieren in einem Update der Wikimap. Jedem Lernenden können damit

Wikimaps mit der eigenen Navigationshistorie bereitgestellt werden. Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft für einen Lernenden die besuchten Wikiseiten während eines Lernereignisses. Dabei stellen die farblich markierten Boxen die besuchten Wikiseiten während eines Lernereignisses dar.

3.2 Durchführung innerhalb einer Lehrveranstaltung des Stahlbaus

Die eLearning-Veranstaltung ist in bestehende Lehrveranstaltungen des Fachbereichs Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der TU Darmstadt integriert. Es handelt sich dabei um die Stahlbau-Lehrveranstaltungen Stahlbau I des fünften Fachsemesters sowie Stahlbau II des sechsten Fachsemesters im Studiengang Bauingenieurwesen.

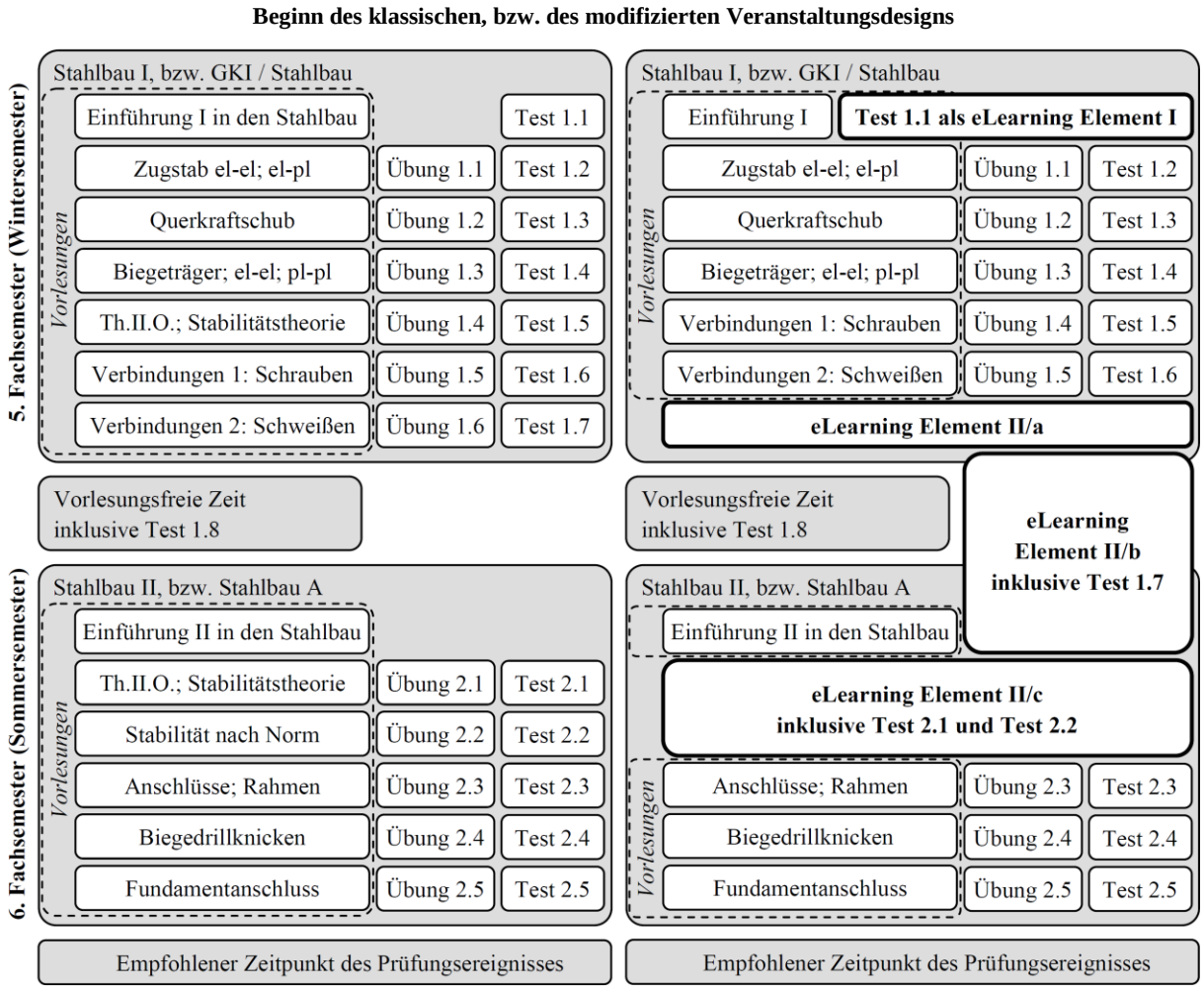

Abb. 3: Übersicht der Veranstaltungen des fünften und sechsten Fachsemesters

Die Inhalte der Veranstaltungen folgen dabei dem Normalkonzept nach Lange (vgl. Lange et al., 2000, S. 70-77) und sind in die Elemente Vorlesungen (vgl. Steinborn, 2007, S. 56), Übungen, Prüfungsereignis sowie zusätzliche schriftliche Tests strukturiert. Die Veranstaltung des fünften und sechsten Fachsemesters enthält sechs bzw. fünf fachliche

Themenschwerpunkte. Die Abbildung 3 zeigt detailliert die Themenschwerpunkte beider Fachsemester gemäß dem klassischen Veranstaltungsdesign. Die Integration der eLearning Veranstaltung in den dargestellten Ablauf in Abbildung 3 (rechts) des modifizierten Veranstaltungsdesigns subsumiert vier eLearning Elemente, welche Teile der Lehrveranstaltungen ersetzen.

Der dargestellte Test 1.1 beschreibt die erste Hausübung. Im Rahmen dieser Hausübung beschreiben die Studierenden auf Basis ihres Vorwissens ein Bauwerk aus Stahl in ingenieurmäßiger Weise. Während gemäß dem klassischen Veranstaltungsdesign eine papierzentrierte Durchführung stattfand, erstellten die Studierenden nach dem modifizierten Veranstaltungsdesign Inhalte innerhalb des Stahlbau-Wikis.

Die eLearning Elemente II/a, II/b und II/c bilden ein zusammenhängendes didaktisches Konzept und ersetzen Teile der Lehrveranstaltung Stahlbau I und Stahlbau II. Entgegen dem eLearning Element I werden ganze Teile des Normalkonzeptes in eine Web 2.0 Umgebung transferiert. Inhaltlich werden die Stahlbau-typischen Themen der Stabilitätstheorie und der Theorie II. Ordnung behandelt. Zeitlich sind die drei Elemente am Ende der Lehrveranstaltung Stahlbau I, in der vorlesungsfreien Zeit sowie zu Beginn der Lehrveranstaltung Stahlbau II verortet. Während der Durchführung fanden keine Vorlesungen im traditionellen Sinne statt. Es wurden Sprechstunden im Hörsaal angeboten, während derer die Studierenden inhaltliche und methodische Fragen und Probleme mit den betreuenden Personen besprechen konnten.

Das Element II startete mit einem Präelement. Es enthielt zwei Vorlesungen zu technischen, organisatorischen, didaktischen und inhaltlichen Aspekten sowie die Einteilung der teilnehmenden Studierenden in Themen- und Arbeitsgruppen. Daran schloss sich das Element II/a an und erstreckte sich über einen Zeitraum von W1 bis W5 mit einem Umfang von 5 Wochen gemäß Abbildung 4. Im Rahmen dieses Elementes erarbeiteten die Studierenden ein Glossar zu den Inhalten, sie definierten vorgegebene Begriffe, reflektierten und überarbeiteten diese in einem mehrschichtigen Prozess. Zudem erstellten die Studierenden die ersten individuellen Wikiseiten. Aus sozialer Perspektive arbeiteten die Studierenden in Gruppen mit mehreren Studierenden. Das Element II/a endete zeitgleich mit dem Ende des Wintersemesters.

Das Element II/b begann zeitlich versetzt zum Element II/a in der Woche W4. Es erstreckte sich über die gesamte vorlesungsfreie Zeit und endete mit dem Ende der vorlesungsfreien Zeit in der Woche W13. Im Rahmen dieses Elementes entwickelten die Studierenden eigene Aufgabenstellungen. In einem weiteren Schritt erarbeiteten sie einen Lösungsvorschlag. Es entstanden Problemsituationen (*"offene" Aufgaben*). Um Lernprozesse mit den Perspektiven der Re-, De- und Konstruktion gemäß den Bedingungen eines konstruktivistischen Lernkontextes zu initiieren, wurde die Entwicklung von Aufgabe und Lösungsvorschlag in einem mehrschichtigen Bearbeitungs-, Reflexions- und Überarbeitungskontext eingesetzt. Während des Elementes II/b war keine instruierte Interaktion zwischen den Studierenden vorhanden. Ergaben sich dennoch soziale Beziehungen, fanden diese autonom statt.

Im direkten Anschluss an das Element II/b und parallel zum Beginn des Sommersemesters startete das Element II/c in der Woche W14 und endet in der Woche W22. Organisatorisch

wurde das Element mit einer Präsenzvorlesung eingeleitet. Anschließend folgten ein Gruppenseminar an einem realen Tragwerksmodell und die erneute Bearbeitung von Begriffsdefinitionen. Eine soziale Vernetzung auf studentischer Ebene wurde mittels Korrektur einer studentischen Aufgabe durch die Studierenden erneut aufgegriffen. Parallel dazu fand eine Weiterarbeit an den eigenen Aufgaben statt. Diese waren über Re- und Dekonstruktionsprozesse um neue inhaltliche Aspekte zu erweitern. Dies sicherte eine tiefere reflexive Auseinandersetzung mit den individuellen Repräsentationen. Das Element wurde mit einer schriftlichen Zusammenfassung durch die Studierenden abgeschlossen.

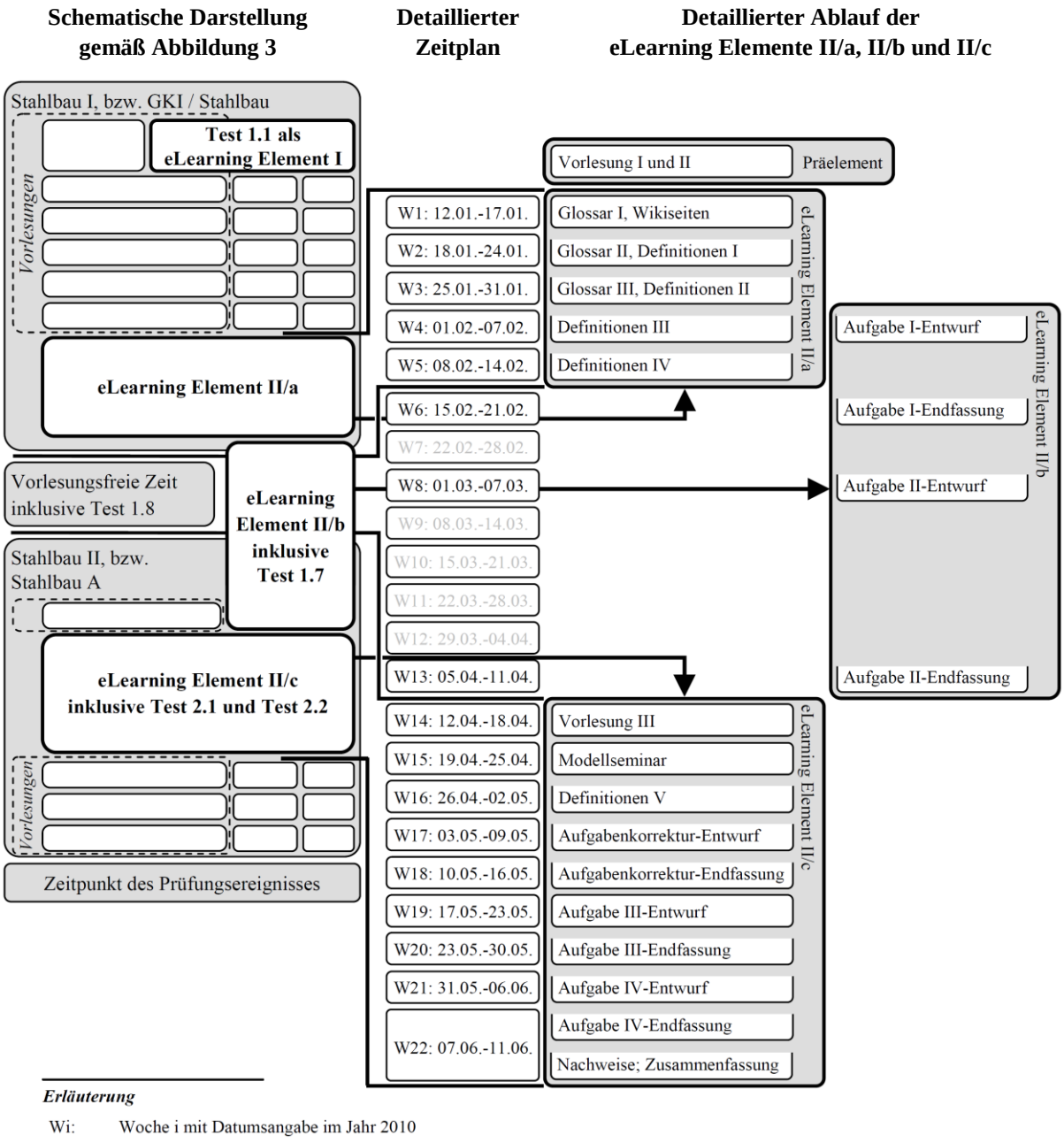

Abb. 4: Detaillierte Darstellung des Ablaufs des eLearning Elementes II

Die Lernziele der Durchführung gliedern sich in drei Hauptlernziele. Als methodisches Hauptlernziel wurden die Entwicklung und die Vertiefung von Medienkompetenzen im Bereich der Medienkunde, der Mediennutzung und Mediengestaltung festgelegt. Als inhaltliches Hauptlernziel wurde flexibles Wissen zur Theorie II. Ordnung und zur Stabilitätstheorie angestrebt. Letztendlich galt das Lernen-Lernen als didaktisches Hauptlernziel.

Ein weiteres prägendes Merkmal der didaktischen Umsetzung ist die Einteilung der Studierenden in Themen- und Arbeitsgruppen gemäß Abbildung 5. Während der eLearning Elemente II/a und II/b sind die Studierenden jeweils einer der beiden inhaltlichen Themengruppen zugeordnet. Sie erlernen lediglich die entsprechenden Inhalte. Mit Übergang in das Element II/c wechseln sie die Themengruppe. Nun werden die bis dato unbekannten Inhalte bearbeitet und erlernt. Gleichzeitig findet eine Vernetzung der beiden Inhaltebereiche statt.

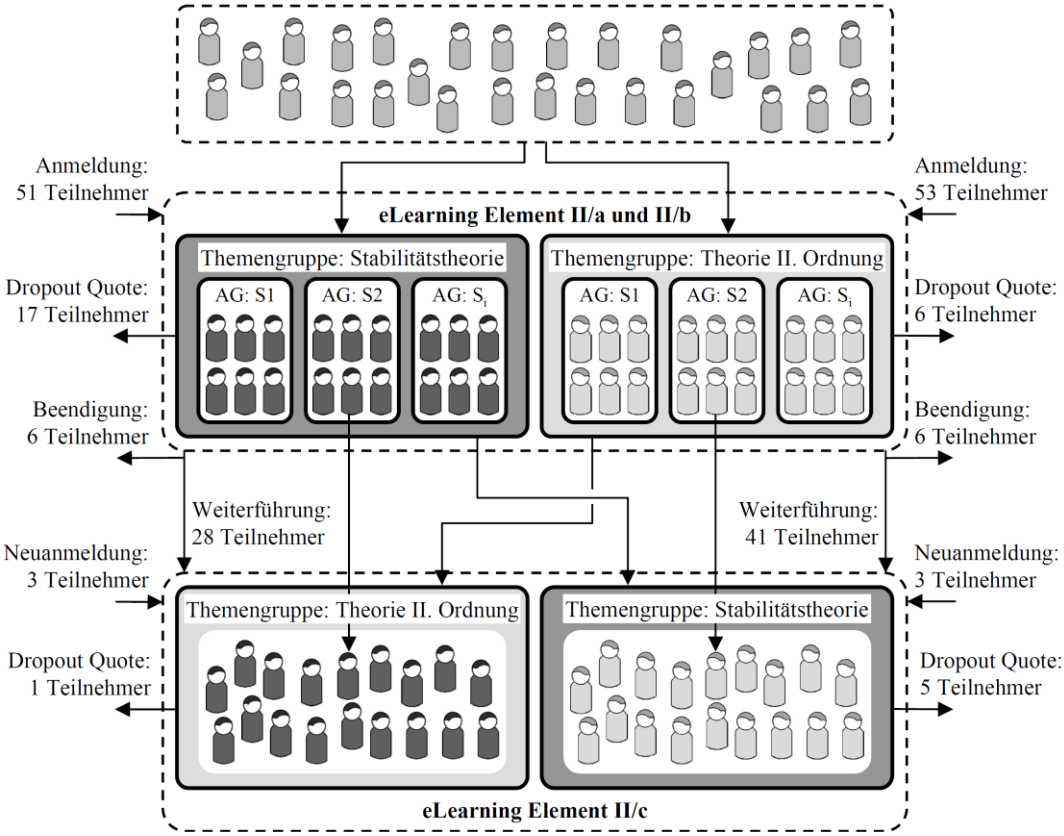

Abb. 5: Einteilung der Lernenden in Gruppen während des eLearning Elementes II

3.2.1 eLearning Element II/a

Nach zwei einführenden Vorlesungen wurden die Studierenden mit Beginn des eLearning Elementes II/a in die jeweiligen Themen- und Arbeitsgruppen eingeteilt. Auf der Ebene der semestralen Kohorte wurde mit der Erstellung eines Stahlbau-Glossars als Hybride von Glossar und Symbolverzeichnis begonnen. Die Studierenden beider Themengruppen hatten

die Aufgabe, die Inhalte des jeweils themenbezogenen Teilwikis zu explorieren und inhaltsspezifische Symbole und Begriffe in einer Glossar-Wikiseite zu sammeln und dort zu benennen bzw. zu erläutern. Das Sammeln von technischen Symbolen bahnte dabei die Orientierung in einzelnen Wikiseiten sowie Seitenstrukturen an. Zu diesem Zeitpunkt war eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Inhalten nicht erforderlich. Demgegenüber setzte das Sammeln von Begriffen ein erstes inhaltliches Verständnis voraus.

Neben dem Glossar war die Entwicklung von Definitionen zu vorgegebenen Begriffen Teil der arbeitsgruppenbezogenen Aufgabenstellung. Die Begriffe waren durch die Studierenden auf Grundlage der Wikiinhalte zu definieren. Die Begriffe wurden von mehreren Arbeitsgruppen parallel bearbeitet. Während das Erstellen des Glossars die Orientierung im Wiki sowie die Initiierung einer kognitiven Strukturbildung zum Ziel hatte, sollten die Begriffsdefinitionen einen punktuellen Einstieg sowie eine darauf bezogene inhaltliche Vertiefung anleiten. Es ergaben sich neben dem zentralen Portal weitere individuelle Zugänge zu den Inhalten des Wikis. So entstanden Schlüsselbegriffe, die eine feingranularere Exploration der Inhalte ermöglichten. Mehrere Begriffe wirkten dabei als eingrenzende Anker von Inhaltsbereichen. Die zugeordneten Begriffe wurden den Arbeitsgruppen auf der individuellen Wikiseite jeder Gruppe bereitgestellt.

Anschließend waren die erstellten Inhalte durch die Studierenden zu interpretieren und gegebenenfalls zu korrigieren. Aus konstruktivistischer Sicht ergab sich ein Vergleich der eigenen Wissenskonstruktion mit den Konstruktionen anderer Lerner. Das Wissen, entstanden in einem aktiven Prozess aus Strukturierung und Restrukturierung, wurde in einem Interaktionsprozess auf Viabilität überprüft. Diese Kontrolle fand über die im Wiki externalisierten Wirklichkeitsrepräsentationen statt. Sowohl die eigenen als auch die fremden Repräsentationen wurden interpretiert, verglichen und zu einer gemeinsamen Konstruktion weiterentwickelt.

3.2.2 eLearning Element II/b

Entgegen dem eLearning Element II/a enthielt das Element II/b gemäß der Abbildung 4 ausschließlich individuelle Aufgabenstellungen. Diese differenzierten sich in vier Teilaufgaben und enthielten die Entwicklung einer Aufgabe sowie eines zugehörigen Lösungsvorschlags. Gemäß den Aufgabentypen nach Bruder (vgl. Bruder et al., 2008 und Bruder u. Collet, 2011, S. 16f.) liegt eine Problemaufgabe (*„offene“ Aufgabe*) vor. Die Komponenten der Ausgangssituation, Transformation und Endsituation sind unbekannt. Das Ziel ist die Produktion aller drei Komponenten, so dass eine vollständig gelöste Aufgabe in Form eines Beispiels entstand. Der thematische Schwerpunkt der zu entwickelnden Aufgabe galt gemäß der Zuordnung zu einer Themengruppen.

Die Aufgabenstellung zur Entwicklung einer Aufgabe zur Theorie II. Ordnung bzw. zur Stabilitätstheorie wurde differenziert gestaltet. Die Differenzierung diente dem besseren Einstieg der Studierenden in den Lern- und Arbeitsprozess. Während die kohortenbezogene sowie die arbeitsgruppenbezogene Aufgabenstellung des eLearning Elements II/a eine freie Exploration der Inhalte ermöglichte und forderte, benötigte die individuelle Aufgabenstellung des eLearning Elements II/b eine geführte Fokussierung auf der Inhalts- sowie der

Prozessebene. Die Entwicklung einer Aufgabe mit Lösungsvorschlag stellte eine komplexe Problemstellung dar und basierte sowohl auf Problemlösekompetenzen als auch auf detailliertem Inhaltswissen. Die Aufgabenstellung enthielt Handlungsanweisungen und Empfehlungen. Diese waren für die Studierenden beider Themengruppen gültig.

Der durch die differenzierte Aufgabenstellung initiierte Lern- und Arbeitsprozess der Studierenden vollzog sich auf Basis der themenbezogenen Inhalte des Wikis. Auf Basis der Handlungsanweisungen wurden die Studierenden zum Bewusstsein über die Eigenschaften von Aufgaben angeregt. Eine Differenzierung in Problemlösestrategie-Aspekte und inhaltliche Aspekte erzeugte eine neuartige Perspektive auf den Lerngegenstand. Sowohl ein deduktives Vorgehen als auch ein induktiver Lernprozess als Schluss vom Besonderen zum Allgemeinen konnte von den Studierenden verwendet werden (vgl. Melezinek, 1999, S. 181 ff.).

Die globale Konstruktion sowie Restrukturierung der Ausgangs- und Endsituation führte weiterhin zu einer Reflexion der angestrebten Transformation. Führt die momentane Ausgestaltung der differenzierten Aufgabenstellung zu einer Transformation, die selbst zur neuen Erkenntnis um die Endsituation führt? Ausgehend von einer ersten individuellen Konstruktion der spezifischen Ausgangssituation wird durch die Verdeutlichung der möglichen Zielsetzung eine allgemeine Perspektive initiiert. Diese strukturelle Kopplung der Ausgangs- und Endsituation basiert auf der heuristischen Strategie des kombinierten Vorwärts- und Rückwärtsarbeitens.

Da die Viabilitätskontrolle im Rahmen der Gruppensprechstunde durch die Interaktion zwischen Studierenden und betreuenden Personen fakultativ entstand und somit nicht von allen Studierenden genutzt wurde, fand eine zusätzliche Prüfung der studentischen Ergebnisse im Wiki statt. Neben formalen Aspekten wurden Plausibilität, Komplexität, Berechenbarkeit und inhaltlicher Umfang überprüft. Unter Berücksichtigung der Anmerkungen waren die Inhalte im Wiki bis zum Ende der Woche W6 zu aktualisieren. Damit verfügten alle teilnehmenden Studierenden über eine, durch die Betreuung verifizierte Aufgabe und Aufgabenstellung.

Die im Rahmen der bereits stattgefundenen Gruppensprechstunden initiierte Transformation stand nun im Vordergrund. Jeder Studierende erzeugte einen detaillierten Lösungsvorschlag. Aufgrund der zeitlichen Verortung in die vorlesungsfreie Zeit wurde der Lern- und Arbeitsprozess der Studierenden durch individuelle Sprechstunden unterstützt. Nachdem zu Beginn der Fokus der Studierenden auf der globalen Zielsetzung der Theorie II. Ordnung bzw. der Stabilitätstheorie lag und nur eine rudimentäre Zerlegung der Problemstellung zur Generierung der differenzierten Aufgabenstellung stattfand, wurde nun das Prinzip der Zerlegung essentiell für das weitere Vorgehen. Affin zur differenzierten Aufgabenstellung wurde die zugehörige Transformation zerlegt. Neben der Rückführung einzelner Teilaufgaben auf bereits bekannte Aufgaben der Beispiele im Wiki wurde mittels Analogieschluss das Vorgehen in den Beispielen des Wikis auf die neu zu entwickelnden Lösungsvorschläge angewandt. Die Struktur der vorhandenen Beispielaufgaben führte zum Descartes'schen Schema. Über Anwendung des Transformationsprinzips wurde die Ausgangssituation in einer mathematischen Beschreibung interpretiert. Über ein Zurückgreifen auf vorhandene

Rechenoperationen im Wiki wurden die Teilaufgaben berechnet, was zur Lösung der Teilproblemstellung führte. Abhängig von der Zuordnung zu einer der beiden Themengruppen entwickelten die Studierenden den Lösungsvorschlag ihrer Problemstellung. Das eLearning Element II/b endete in der Woche W13 mit der Fertigstellung des Lösungsvorschlags in seiner Endfassung im Wiki.

Die operationale Schließung des kognitiven Systems jedes Lernenden führte zur Diversität der Lernprozesse. Daraus resultierten individuelle und einzigartige mentale Konstruktionen. Abschnitte dieser Konstruktionen fanden ihre Repräsentation in den Beispielen der Studierenden. Somit ergab sich die Qualität der Beispiele sowohl aus den mentalen Konstruktionen als auch aus dem Prozess der Repräsentation. Die Spanne der Beispiele reichte dabei von hochwertigen Beispielen, deren Lösungsvorschläge sehr gut nachvollziehbar und mathematisch sowie mechanisch richtig waren bis hin zu Beispielen, mit schwer nachvollziehbaren Lösungen und rechnerischen Mängeln.

3.2.3 eLearning Element II/c

Mit dem Beginn des eLearning Elements II/c in der Woche W14 wurden die Studierenden der ihnen bis dato unbekannten Themengruppe zugeordnet. Während das eLearning Element II/b ausschließlich individuelle Aufgabenstellungen enthielt, kamen im eLearning Element II/c neben individuellen Aufgabenstellungen erneut kollaborative Aufgabenstellungen zum Einsatz. Beide bezogen sich dabei auf die neuen Inhalte. Im Anschluss an eine einführende Vorlesung zum Sommersemester in der Woche W14 konnten die Studierenden ihr bisheriges Wissen in einem Modellseminar mit jeweils nur sechs Teilnehmern (jeweils drei Studierende je Themengruppe) in der Woche W15 wiederholen und praktisch anwenden. Zeitlich parallel wurden den Studierenden definierte Begriffe des eLearning Elementes II/a zugeordnet. Diese waren durch Wiki-Links mit den Inhalten des Wikis zu vernetzen. Als individuelle Aufgabenstellungen wurde jedem Studierenden ein Beispiel eines Kommilitonen zugeordnet. Dieses war bis zum Ende der Woche W18 zu analysieren und gegebenenfalls zu korrigieren. Das eigene Beispiel war um die Inhalte des neuen Themengebietes zu erweitern. Es entstanden somit Beispielaufgaben mit Inhalten zur Theorie II. Ordnung und zur Stabilitätstheorie. Abschließend waren die erlernten Zusammenhänge und Unterschiede zwischen der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie schriftlich zusammenzufassen. Die schriftliche Zusammenfassung war bis zum Ende der Woche W22 fertig zu stellen.

Die Studierenden wurden im Verlauf des Modellseminars angeleitet, die Themenbereiche nacheinander am Modell zu „begreifen“ und zu erforschen. Wurde mit der Untersuchung der Theorie II. Ordnung am Modell begonnen, durchliefen die Studierenden der zugehörigen Themengruppe im eLearning Elementen II/a und II/b den oben beschriebenen Re-, De- und Konstruktionsprozess. Die Studierenden der Themengruppe Stabilitätstheorie wurden in diesem Prozess eingebunden. Sie konnten durch das Handeln und die Erklärungen ihrer Kommilitonen eine Basis für den neuen Themenbereich erzeugen. Dies geschah vor dem Hintergrund der eigenen Repräsentationen zur Stabilitätstheorie. Zusammenhänge und Unterschiede beider Theorien wurden deutlich. Im Anschluss wurde ein Rollenwechsel initiiert und der verbleibende Themenbereich wurde am Modell exploriert. Abschließend war die Durchführung zu reflektieren. Zusammenhänge und Unterschiede wurden durch die

Studierenden erarbeitet. Die Abbildung 6 zeigt den aktiven Lernprozess der Studierenden während des Seminars.

Parallel dazu wurde als individuelle Aufgabenstellung jedem Studierenden ein, im Rahmen des eLearning Elementes II/b entwickeltes Beispiel eines Kommilitonen zugeordnet. Dieses Beispiel war zu prüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Analog zur Entwicklung einer Aufgabe differenzierte sich diese Aufgabe in einen Entwurf und eine Endfassung, die bis zum Ende der Woche W17 bzw. W18 entsprechend Abbildung 4 zu veröffentlichen waren.

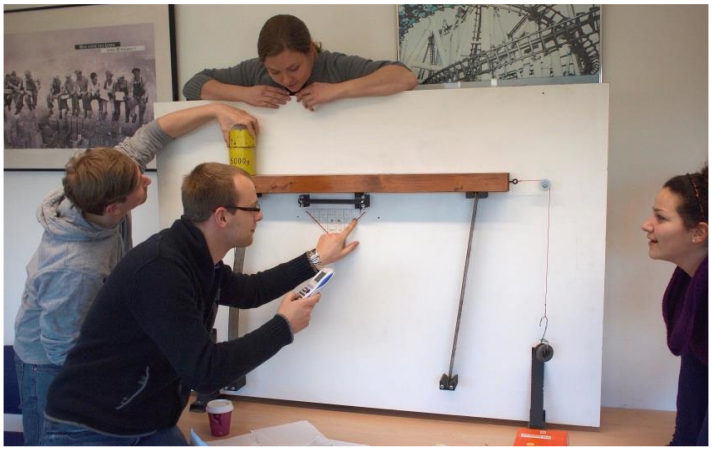

Abb. 6: Lernen am Modell im Rahmen des Modellseminars

Das Korrigieren eines Beispiels bedeutete einen wiederholten Wechsel der Rolle vom Lerner zum Lehrer. Während eigene Lernprozesse ausschließlich selbstbezügliche Reflexionen enthalten, führte die Korrektur eines Beispiels zu einer Reflexion über die Konstruktionen anderer, externalisiert in den jeweiligen Beispielen und einer reflexiven Haltung zu den eigenen mentalen Konstruktionen. Diese multiperspektivische reflexive Haltung führt zu einer erneuten Viabilitätskontrolle des eigenen Wissens. Aufgrund identischer Inhalte beider Theorien, wie etwa die Herleitung und Berechnung von Ersatzsystemen, enthielt die kritische Analyse fremder Beispiele stets eine kritische Analyse des eigenen Beispiels.

Um einen Lernerfolg auf struktureller Ebene zu erreichen, war es erforderlich, dass die Studierenden eine über die mathematische Ebene in Form des Descartes'schen Schemas hinausgehende Analyse des Beispiels vollzogen. Während der Gruppensprechstunden zeigte sich jedoch, dass die Studierenden hauptsächlich Analysen auf mathematischer Ebene durchführten. Über Impulse der betreuenden Personen wurden sie angeregt, neben dem vorhandenen Rechenalgorithmus ebenfalls die grundlegenden theoretischen Annahmen zu überprüfen.

Im Anschluss waren die eigenen Beispiele um die Inhalte des neuen Themenbereichs zu erweitern. Ein Teilnehmer, der im Rahmen des eLearning Elementes II/b der Themengruppe *Stabilitätstheorie* zugeordnet war, erweiterte das eigene Beispiel nun um eine Aufgabenstellung samt Lösungsvorschlag bezüglich der Inhalte des Themenbereichs *Theorie II. Ordnung*. Auch hier diente die Verwendung einer Entwurfsphase dazu, eine Korrektur

durch die Betreuung zu ermöglichen. Im Wiki waren die Dokumentationen ebenfalls auf der lernerbezogenen Wikiseite verortet

Entgegen einer Problemaufgabe („offene“ Aufgabe) mit jeweils unbekannter Ausgangssituation, Transformation und Endsituation während der Entwicklung des ersten Beispielabschnitts im Rahmen des Elementes II/b waren Teile der Ausgangssituation durch das bereits vorhandene statische System gegeben. Da die Erweiterung der Aufgabe im Anschluss an die Beispielkorrektur bearbeitet wurde, bestand die Möglichkeit, die eigene Endsituation aus der Endsituation eines fremden Beispiels abzuleiten.

Der Initiierung des Lernprozesses im neuen Themenbereich durch das Modellseminar und die Vernetzung der Begriffdefinitionen sowie der anschließenden Vertiefung durch die Korrektur eines Beispiels, folgte nun die Exploration des gesamten Themenbereichs. Im Gegensatz zur Entwicklung des ersten Beispielabschnitts waren bereits wesentlich umfangreichere mentale Strukturen vorhanden. Angebahnte und vorhandene Strukturen als Resultat der Definitionsvernetzung und der Beispielkorrektur konnten durch Assimilation neuen Wissens erweitert werden. Der sich zwangsläufig einstellende kognitive Konflikt mit Strukturen des anderen Themenbereichs führt zu Strukturerweiterungen durch Akkomodation. Neben der Ausbildung von kognitiven Strukturen eines Themenbereichs wurde die Vernetzung zwischen beiden Themenbereichen weiter ausgebildet. Zwar wurden im Modellseminar bereits einzelnen Zusammenhänge und Unterschiede angesprochen, jedoch blieben diese zunächst ohne tiefere Erkenntnis. Die Korrektur der Beispiele verstärkte die Verstehensleistung, diese blieb jedoch auf den inhaltlichen Bereich des Beispiels lokal begrenzt. Erst die Vernetzung der Erkenntnisse aus der Beispielkorrektur und der Aufgabenerweiterung sowie der beiden Aufgabenabschnitte untereinander führte zu einer ganzheitlich wirkenden mentalen Dekonstruktion.

4 Evaluation des eLearning Elementes II

Das eLearning Element II wurde hinsichtlich der Akzeptanz durch die Studierenden, des Lernprozesses und des Lernerfolges evaluiert. Die Akzeptanz wurde mittels Fragebögen evaluiert. Die Lernprozessanalyse wurde über Ergebnisse von Befragungen, Auswertung der Arbeit im Wiki und Ergebnisse des Monitorings durchgeführt und differenzierte sich in eine technische sowie didaktische Lernprozessanalyse. Die Lernergebnisse wurden über eine Lernerfolgsanalyse evaluiert. Die erforderlichen Eingangsdaten wurden mittels Selbsteinschätzung der Studierenden, über eine Auswertung der studentischen Arbeitsergebnisse und über Freitextbefragungen gewonnen. Da die Befragungen mittels Likert-skalierten Fragebögen und Freitextfragebögen in Präsenzphasen durchgeführt wurden, orientiert sich die Anzahl der auswertbaren Fragebögen an der Teilnehmeranzahl gemäß der Abbildung 5 in dem jeweiligen E-Learning Element (vgl. Merle, 2013, S. 156).

4.1 Evaluation der Akzeptanz durch die Lernenden

Die Akzeptanzanalyse zu Beginn des eLearning Elementes II zeigte, dass die Studierenden dem Lernkontext sowie dem Lernwerkzeug Wiki weder ablehnenden noch mit einer zu

großen Erwartungshaltung gegenüberstanden. Unter Berücksichtigung einer Unterstützung im Lernprozess, waren die Studierenden motiviert, eigenständig zu lernen. Im Verlauf des Elementes II zeigte sich, dass der Eindruck der Studierenden vom Lernkontext gut war und sie sich nicht überfordert fühlten. Trotz steigender Komplexität und einer langzeitigen Lernphase ergaben sich kein deutlicher Rückgang der Motivation und kein *Lost-in-Wikispace*-Effekt. Mit der Erstellung und Bearbeitung der eigenen Aufgabenstellung waren die Studierenden ebenfalls nicht überfordert. Obwohl die Unterstützung der Studierenden im Lernprozess im Verlauf des Elementes II reduziert wurde, um eine stärke Eigenständigkeit der Studierenden zu wecken, wurde die Betreuung als sehr gut bewertet. Das Seminar am Stahlbaumodell wurde erwartungsgemäß als sehr gut bewertet. Der Wechsel des Lernkontextes und die sehr starke Aktivierung verknüpft mit einer direkten Unterstützung sorgten für die hohe Zufriedenheit (vgl. Merle, 2013, S. 157-162).

4.2 Evaluation des Lernprozesses

Die Arbeits- und Lernprozesse während der Erstellung der eigenen Inhalte stellten sowohl in der didaktischen Umsetzung als auch in der zugehörigen Evaluation ein zentrales Element dar. Im Rahmen der Entwicklung einer eigenen Aufgabe sowie der zugehörigen Lösung spielten die vorhandenen Beispiele im Wiki eine entscheidende Rolle. Die Inhalte und deren Struktur bilden eine Vorbildfunktion bei der Entwicklung von Repräsentationen sowie der Externalisierung im Wiki. Dieser Effekt konnte im Rahmen der Erweiterung der eigenen Aufgabe nicht in gleichem Umfang erreicht werden. Zwar wirkten die Beispiele weiterhin ausgeprägt unterstützend, jedoch übernahmen die nun vorhandenen studentischen Beispiele die gleiche Funktion. Die Orientierung an den Beispielen anderer Studierender wurde durch die Aufforderung zur Korrektur eines Beispiels extrinsisch gefördert. Ein weiterer Grund für den Rückgang der unterstützenden Funktion der Beispiele liegt in der Konstruktion von kognitiven Strukturen. Während diese zu einem frühen Zeitpunkt erst konstruiert werden müssen und somit eine hohe Unterstützung erforderlich ist, sind sie im weiteren Verlauf des Elementes II bereits vorhanden, so dass keine derartig ausgeprägte Unterstützung erforderlich wird. Bestätigt wird dies dadurch, dass die studentischen Beispiele und Lösungsvorschläge oft gelesen wurden. Dieses Verhalten verstärkte sich mit der Zeit. Gegenüber einer Durchführung nach dem Normalkonzept zeigt sich hier ein großer Mehrwert der Durchführung als Blended-Learning im Wiki. Die beschriebene didaktische Umsetzung ermöglicht es erst, dass die Ergebnisse anderer Studierender beobachtbar werden, sie somit einen Einfluss auf eigene Lernprozesse nehmen und es zu einer Rückkopplung des eigenen Lernens mit dem Lernen anderer Studierender kommt. Obwohl die Interaktion der Studierenden lediglich indirekt stattfindet, hat sie einen positiven Einfluss auf die Konstruktion von Wissen (vgl. Merle, 2013, S. 163-175).

4.2.1 Lernprozessanalyse auf Basis der Daten des Nutzermonitorings

Die Aktivitätsereignisse auf Basis des Monitorings besitzen als übergreifende Eigenschaften neben dem kalendarischen Datum, die Startzeit und die Zeitdauer des Ereignisses sowie die Anzahl von Einzelelementen. Weiterhin sind detaillierte Eigenschaften der einzelnen Elemente in Form der abgerufenen Wikiseite und der Verweilzeit auf jeder Wikiseite

vorhanden. Es zeigte sich, dass 38 von 104 teilnehmenden Studierenden die Möglichkeit des Monitorings nutzten. Es ergaben sich insgesamt 910 auswertbare Aktivitätsereignisse mit einer Gesamtanzahl von 48.472 Wikiseitenabrufen.

Die Abbildung 7 zeigt die Punktewolke[1] der zweidimensionalen Ergebnisreihe aus Dauer und Anzahl der Elemente von Aktivitätsereignissen. Dies wird in Randbereiche mit Extremereignissen und einen Normalbereich differenziert. In den Randbereichen ergeben sich Aktivitätsereignisse mit einer sehr langen sowie mit einer sehr kurzen Verweildauer pro Wikiseite. 70 Ereignisse mit einer durchschnittlichen Verweildauer von mehr als 120 Sekunden pro Wikiseite sind in Abbildung 7 blau markiert. Sie können als niederfrequent charakterisiert werden, da über einen langen Zeitraum wenige Wikiseitenwechsel stattfinden. Demgegenüber können 392 Ereignisse mit einer durchschnittlichen Verweildauer von weniger als 20 Sekunden pro Wikiseite (*rot markiert*), als hochfrequent charakterisiert werden.

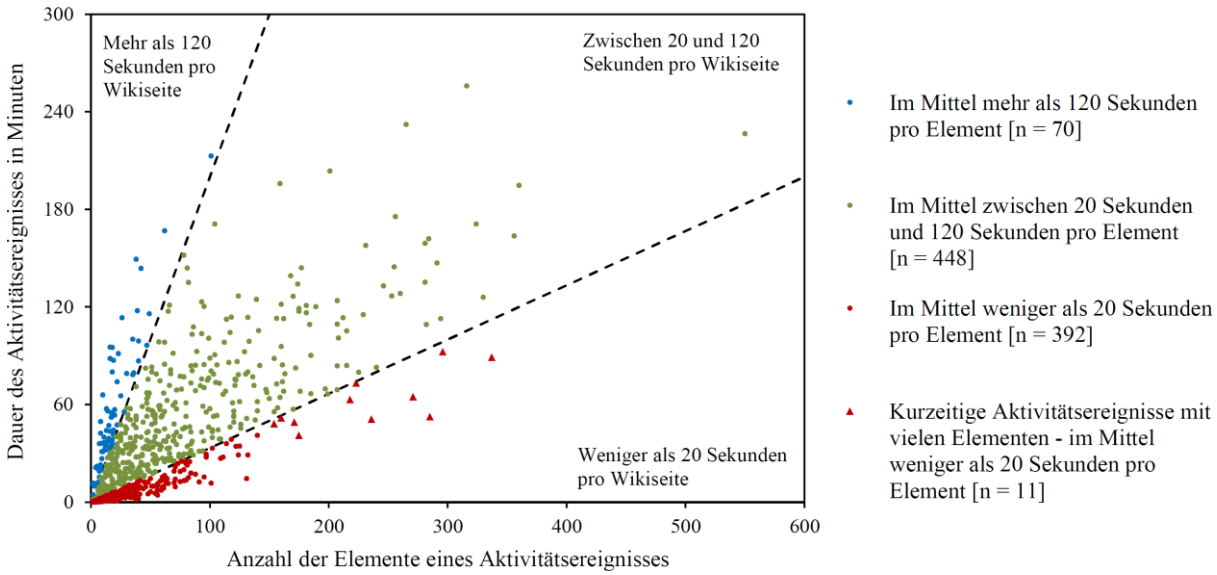

Abb. 7: Dauer und Elementanzahl von Aktivitätsereignissen als zweidimensionale Messreihe

Aus den quantitativen Analysen über die Anzahl von Elementen während eines Ereignisses, den maximalen Verweilzeiten der Ereignisse und dem Einfluss einzelner langer Verweilzeiten auf die Dauer des Ereignisses folgt, dass die Mehrzahl der Aktivitätsereignisse der Randbereiche eine andere Charakteristik aufweisen als die Mehrzahl der Ereignisse im Normalbereich. Gemäß der Tabelle 1 kann den Aktivitätsereignissen der einzelnen Bereiche eine didaktische Beschreibung unterstellt werden.

[1] Jeder Punkt stellt eines der 910 Aktivitätsereignisse dar.

Bewertung der Ereignisse hinsichtlich:	Hochfrequenter Randbereich	Normalbereich	Niederfrequenter Randbereich
Anzahl der Elemente	wenige	viele	sehr wenige
Gesamtdauer	kurz	lang	lang
Maximale einzelne Verweilzeit	kurz	lang	sehr lang
Einfluss langer Verweilzeiten	sehr gering	moderat	sehr hoch

Tab. 1: Bewertung der Aktivitätsereignisse

Hochfrequenter Randbereich:

Spontane und kurzfristige Ad hoc-Ereignisse mit Lernereignis-initiierendem Charakter, Vollzug innerhalb stattfindender Lernprozesse sowie Vergleich mit bereits vorhandenen Inhalten

Normalbereich:

Erzeugung von Inhaltsrepräsentationen in Kombination mit einer stetigen Verknüpfung von Inhalt und Struktur, Lernprozesse innerhalb vorhandener sowie neuer Strukturen

Niederfrequenter Randbereich:

Intensive Ereignisse mit einer tiefgehenden Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand, Anknüpfung an vorhandene mentale Strukturen

Abschließend kann die zweidimensionale Messreihe aus Abbildung 7 über das Verhältnis zwischen Kettendauer[2] und Kettenlänge[3] in Abhängigkeit des Ereigniszeitpunktes aus Datum und Uhrzeit den Wochen W_i des eLearning Elementes II entsprechend Abbildung 4 zugeordnet werden. Die zeitabhängige Punktewolke in Abbildung 8 zeigt die Verteilung der Ereignisse des Normalbereichs sowie des hoch- und niederfrequenten Randbereichs.

Ereignisse des hochfrequenten Randbereichs sind während des gesamten eLearning Elementes II vorhanden, ebenso wie Ereignisse des Normalbereichs ausschließlich der Woche W19. Demgegenüber sind niederfrequente Ereignisse nur punktuell mit sehr unterschiedlichen prozentualen Anteilen vorhanden. Es ergeben sich drei Phasen während des eLearning Elementes II mit einem deutlichen Anteil von niederfrequenten Ereignissen. Diese Phasen ergeben sich maßgeblich während der Wochen W1, W3 bis W4, W8 bis W9, W11 und W15 bis W17.

Im Anschluss an eine Sondierung des Wikis, gekennzeichnet durch zahlreiche Ereignisse des normal- sowie hochfrequenten Bereichs treten in der ersten Phase vermehrt niederfrequente Ereignisse im Rahmen der Entwicklung der eigenen Aufgabenstellung als Entwurf sowie den Begriffsdefinitionen auf. Neben der Entwicklung von strukturellen Inhaltsrepräsentationen ist nun eine intensive Auseinandersetzung mit den Inhalten erforderlich. Weiterhin findet die Erstellung erster eigener Wikiseiten statt, die ebenfalls in den Rahmen niederfrequenter Ereignisse fällt. Da in zahlreichen Fällen die Entwürfe der eigenen Aufgabenstellungen durch

[2] Die Kettendauer beschreibt die zeitliche Dauer eines Aktivitätsereignisses.
[3] Die Kettenlänge beschreibt die Anzahl der besuchten Wikiseiten eines Aktivitätsereignisses.

Rückkopplungen mit den betreuenden Personen qualitativ hochwertig ausfallen, sind keine intensiven Ereignisse des niederfrequenten Bereichs zur Reproduktion der Endfassung erforderlich. Im Anschluss ergibt sich im Rahmen der Entwicklung und Dokumentation des Lösungsvorschlags zur eigenen Aufgabe die zweite Phase mit einem hohen Anteil niederfrequenter Ereignisse. Auch hier ist eine intensive und detaillierte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erforderlich.

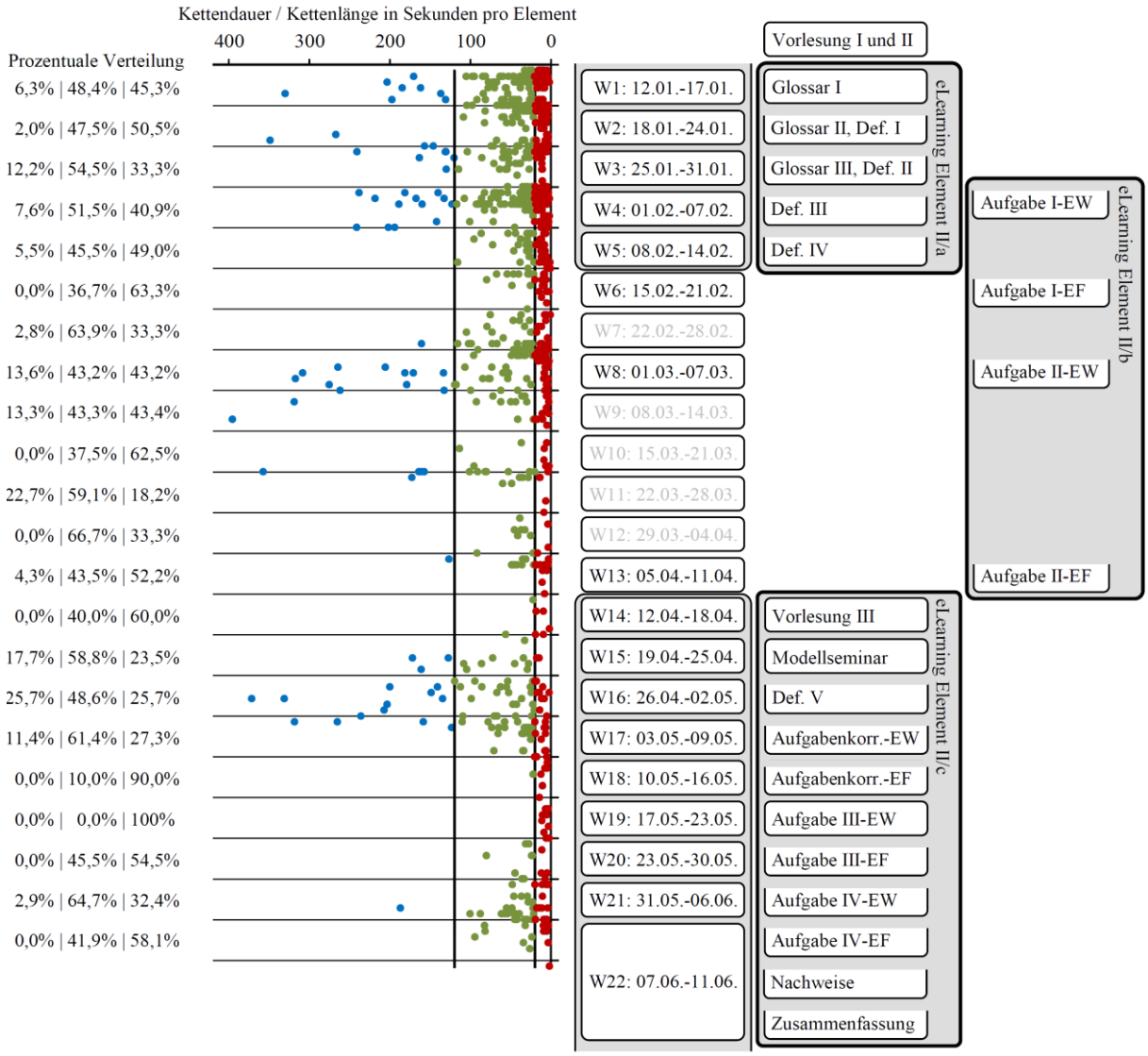

Abb. 8: Verteilung der differenzierten Aktivitätsereignisse während der Elementes II

Die dritte Phase mit zahlreichen niederfrequenten Ereignissen ergibt sich im Rahmen der Aufgabenkorrektur. Auch hier zeigt sich aus dem Zusammenhang zwischen bezogener Häufigkeit aller Ereignisse und dem Anteil der niederfrequenten Ereignisse eine konzentrierte Häufung Erkenntnis-relevanter Aktivitäten. Die Korrektur einer fremden Aufgabe basiert auf einer strukturbildenden intensivierten Auseinandersetzung mit neuen Inhalten. Besonders auffällig ist das geringe Auftreten von hochfrequenten Ereignissen als spontane und

kurzfristige Ad hoc-Ereignisse mit Lernereignis-initiierendem Charakter während dieser Zeit. Obwohl die Studierenden sich in dieser Phase zu Beginn des eLearning Elementes II/c in einem neuen inhaltlichen Themenbereich bewegen, ist die geistige, strukturelle und technische Beweglichkeit durch Übertragung aus den Elementen II/a und II/b bereits vorhanden und kann angewendet werden.

4.2 Evaluation des Lernerfolgs

Der Lernerfolg wurde neben Fragebögen und einer Auswertung der studentischen Dokumentationen im Wiki maßgeblich über Freitextbefragungen gewonnen. Diese bestanden aus Frage- bzw. Aufgabenstellungen, die durch die Studierenden schriftlich zu beantworten waren. Die Freitextfragebögen wurden stets im Rahmen einer Vorlesung des Stahlbaus ausgegeben, durch die Studierenden bearbeitet und zur Auswertung wieder zurückgegeben. Es ergaben sich 17 Frage- bzw. Aufgabenstellungen, die in die fünf Kategorien *„Allgemeines“*, *„Theorie II. Ordnung“*, *„Stabilitätstheorie“*, *„Nachweisverfahren nach Norm“* und *„Zusammenhänge zwischen Theorie II. Ordnung und Stabilitätstheorie“* eingeordnet werden konnten.

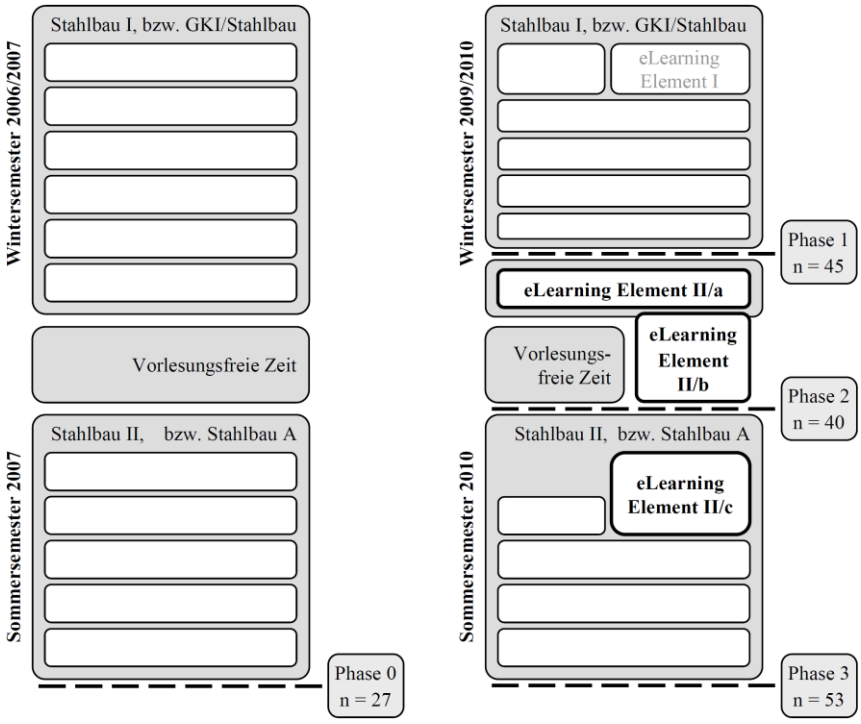

Abb. 9: Verteilung der studentischen Befragungen während der Semester

Die Befragung fand zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt. Die erste Befragung (*Phase 0*) fand am Ende der Veranstaltung im Sommersemester 2007 statt. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Studierenden alle Inhalte gemäß dem Normalkonzept gelernt. Diese Befragung gilt als Referenz für weitere Befragungen. Die zweite Befragung (*Phase 1)* fand während der Veranstaltung Stahlbau I im Wintersemester 2009/2010 statt. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Studierenden noch keine Inhalte gelernt. Die dritte Befragung (*Phase 2)* fand zu Beginn der

Veranstaltung Stahlbau II im Sommersemester 2010 statt. Die Befragten hatten zu diesem Zeitpunkt die Inhalte zur Theorie II. Ordnung oder zur Stabilitätstheorie gelernt. Die abschließende Befragung (*Phase 3*) fand am Ende der Veranstaltung Stahlbau II im Sommersemester 2010 statt. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Studierenden die Inhalte zur Theorie II. Ordnung und zur Stabilitätstheorie über das eLearning Element II/c gelernt.

Über ein Bewertungsschema entsprechend Abbildung 10 mit den äußeren Grenzen *„Antwort vollständig richtig“* und *„Antwort vollständig falsch bzw. Antwort nicht gewusst“* wurden die studentischen Antworten in eine äquidistante Skalierung interpretiert. Dies erlaubte die Bestimmung von absoluten und relativen Häufigkeiten sowie deren Mittelwerte und Standardabweichungen.

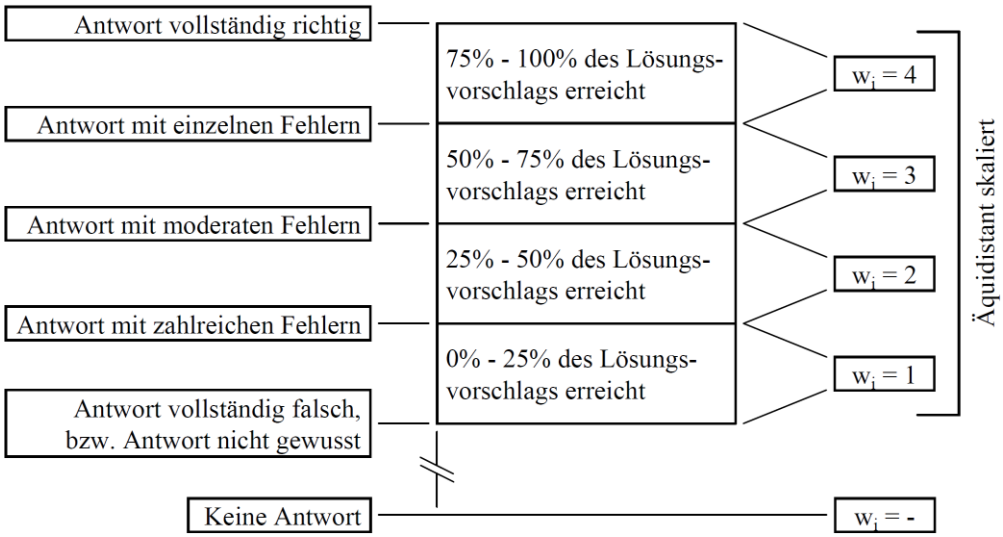

Abb. 10: Bewertungsschema und äquidistante Skalierung

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Die Abbildung 11 zeigt die Mittelwerte der studentischen Ergebnisse zur genannten Fragestellung. Diese ist der Kategorie *„Theorie II. Ordnung“* zu zuordnen. Es zeigt sich der maßgebliche Wissenszuwachs bei Studierenden, die zwischen den Phase 1 und 2 (während der Elemente II/a und II/b) der Themengruppe Theorie II. Ordnung zugeordnet waren. Die zweite Hälfte der Studierenden zeigt den maßgeblichen Wissenszuwachs zwischen der Phase 2 und 3 (Element II/c) wenn diese nun der Themengruppe Theorie II. Ordnung zugeordnet sind. Befinden sich Studierende in der Themengruppe Stabilitätstheorie ergibt sich ein nur geringer Zuwachs. Insgesamt liegt in der Phase 3 ein hoch signifikant höherer Zuwachs als in der Phase 0. Auch hier zeigt sich, dass Studierende nach erfolgter Teilnahme an dem eLearning Element II einen höheren Wissensstand besitzen, als Studierende nach der Teilnahme an der Veranstaltung nach dem Normalkonzept. Ein analoges Bild zeigt sich für weitere Fragen zur Theorie II. Ordnung sowie für Fragen zur Kategorie *„Stabilitätstheorie“*.

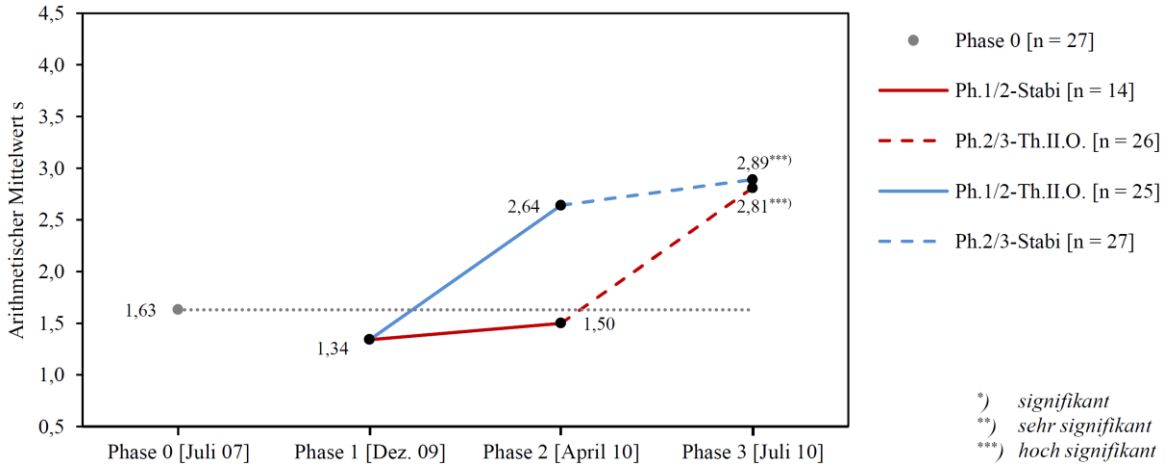

Abb. 11: Frage: Wozu werden Ersatzsysteme (Ersatzstäbe) verwendet?[4]

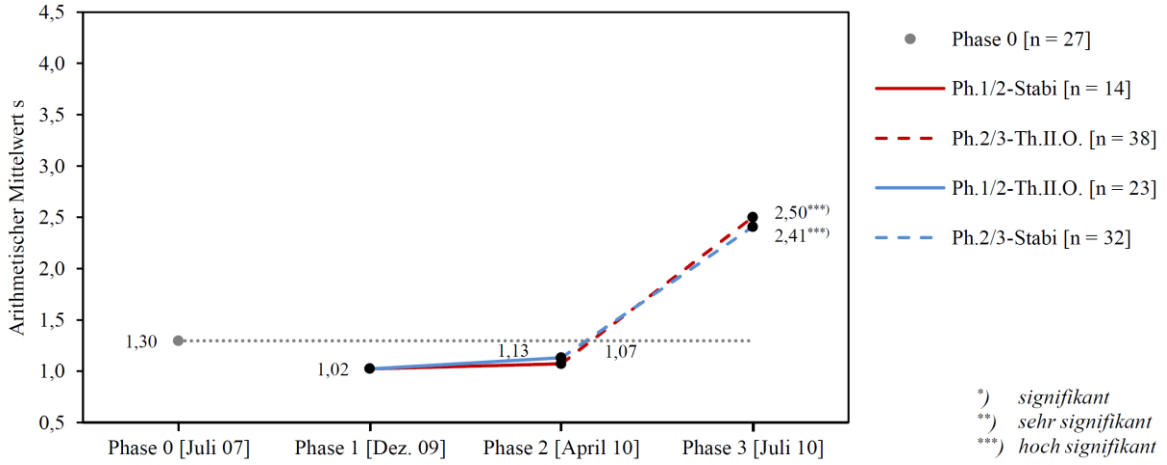

Abb. 12: Frage: Beschreiben Sie, wie Theorie II. Ordnung und Stabilitätstheorie zusammenhängen. Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Schlussendlich zeigt sich gemäß Abbildung 12 zur Frage/Aufgabenstellung zur Vernetzung beider Theorien, dass der maßgebliche Wissenszuwachs unabhängig der Themengruppe während des Elementes II/c stattfindet. Erst zu diesem Zeitpunkt erlernen die Studierenden die jeweils zweite Theorie. Auch hier zeigt sich ein hoch signifikanter Unterschied zwischen Studierenden des Normalkonzepts und dem eLearning Element II (vgl. Merle, 2013, S. 193-213).

[4] Die hier und im Folgenden dargestellten Mittelwerte beziehen sich auf die im jeweiligen Bild angegebenen Umfang n_i der jeweiligen Befragungsphase.

5 Zusammenfassung

Die Ausgangssituation bildeten defizitäre Erkenntnisse von Studierenden in den Bereichen der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie.

Als Grundlage einer lerntheoretischen Ableitung wurden die Ansätze von Piaget, Wygotski und Luhmann verwendet, um die Perspektive des Konstruktivismus weiter zu verfolgen. Zentrale Postulate sind die individuelle und handelnde Konstruktion von Wissen durch den Lernenden und die daraus folgende Abgeschlossenheit von einer Umwelt.

Im Rahmen der Analyse lerntheoretischer Ansätze und der daraus folgenden Ableitung eines konstruktivistischen Lernkontextes aus pädagogischer Perspektive fanden sich zahlreiche Hinweise und Spuren auf eine mögliche didaktische Umsetzung im Feld des computerunterstützten Lernens. Auf Basis der Analyse von vorhandenen Lernprozessen mit der Unterstützung von Computern wurden Wikis als Online-Medien gefunden, deren methodische Möglichkeiten eine deutliche Anlehnung an eine konstruktivistische Didaktik aufweisen.

Die didaktische Umsetzung in Form des eLearning Elementes II wurde beschrieben. Um den Studierenden einen geführten Einstieg in die Inhalte zu ermöglichen, waren zeitlich vor der Entwicklung der eigenen Aufgabe ein Glossar und Definitionen zu vorgegebenen Begriffen zu erstellen. Neben der Anbindung an Vorerfahrungen erzeugten die Teilaufgaben eine reflexive Interaktion der Studierenden untereinander. Durch die Internalisierung und Externalisierung von Inhalten sowie die Beobachtungen Anderer in Form einer wiederholten Internalisierung von externalisierten Repräsentationen entstanden Re-, De- und Konstruktionsprozesse.

Im Zuge der weiteren Lernprozesse innerhalb des eLearning Elementes II/c erweiterten die Studierenden ihre mentalen Konstruktionen um die Inhalte der bis dato unbekannten Theorie. Die didaktische Umsetzung knüpfte dabei an die vorherigen Lernprozesse an und erweiterte diese um neue Elemente. Während die Studierenden im Element II/b vornehmlich die Rollen eines Teilnehmers und eines Akteurs einnahmen und die Rolle des Beobachters nur indirekt in der didaktischen Umsetzung verankert war, wurde diese Rolle nun explizit gefördert. Hierzu analysierten und korrigierten sie eine Beispielaufgabe eines Kommilitonen. Ebenso entstand hierdurch ein deduktiver Lernprozess als Schluss vom Allgemeinen zum Besondern.

Die Evaluation des eLearning Elementes II gliederte sich in eine Akzeptanzanalyse, eine Lernprozessanalyse sowie eine Lernerfolgsanalyse.

Die Akzeptanzanalyse zeigte sehr gute Ergebnisse, so dass sich Lernprozesse uneingeschränkt entwickeln konnten. Die Lernprozessanalyse zeigte ebenfalls sehr gute Ergebnisse. So konnte ein spürbarer Kompetenzgewinn im Bereich der essentiellen Orientierung in den Lerninhalten nachgewiesen werden. Ebenso fand eine deutliche Reflexion in Form der Beobachtung von Lernprozessen anderer Studierender statt. Dieses Merkmal ist eindeutig der Durchführung als Blended-Learning im Wiki zuzuschreiben.

Letztendlich wurden die Lernergebnisse auf Basis von Freitextbefragungen analysiert. Es zeigte sich eindeutig, dass gegenüber einer Durchführung nach dem Normalkonzept keine

Erkenntnisdefizite auftraten. Die Studierenden zeigten sowohl zu den Inhalten der Theorie II. Ordnung und der Stabilitätstheorie als auch zu deren Zusammenhängen und Unterschieden sehr gute Lernergebnisse. Die essentiellen Erkenntnisse zu Kopplungen beider Theorien konnte somit hinreichend nachgewiesen werden.

Es zeigte sich, dass das beschriebene Lehr-Lern-Konzept wesentlich dazu beiträgt, viable Kompetenzen im Bereich kognitiver Konstruktionsprozesse zu erzeugen. Dabei wurde deutlich, dass eine Rückkopplung zwischen lerntheoretischen Ansätzen, didaktischer Modellbildung, didaktischer Umsetzung, Lernmedium und Lerninhalten essentiell für das Entstehen von Lernprozessen ist.

Epilog

"*Unendlich*" lautet zwar weiterhin die Antwort von Bauingenieurstudierenden der Technischen Universität Darmstadt, wenn wir sie mit der Fragestellung: "*Wie groß sind die Verformungen eines geometrisch und strukturell perfekten statischen Systems beim Erreichen der Verzweigungslast?*" konfrontieren. Die Anzahl derer, die antworten: "*Unbestimmt, jede Verformungsgröße ist möglich.*" überwiegt jedoch nun.

4 Literaturverzeichnis

Apel, H. J. (1999). Die Vorlesung – Einführung in eine akademische Lehrform. Köln: Böhlau.

Baraldi, C. et al. (1997). GLU: Glossar zu Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Bruder, R. et al. (2008). Mathematikunterricht entwickeln – Bausteine für kompetenzorientiertes Unterrichten. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Bruder, R. &. Collet, C. (2011). Problemlösen lernen im Mathematikunterricht. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Ehlers, U. (2011). Qualität für neue Lernkulturen des "Next Generation" E-Learning. In: P. Klimsa &. L. J. Issing ([Hrsg.), Online-Lernen - Handbuch für Wissenschaft und Praxis. Wien: Oldenbourg Verlag.

Gramlinger, F. (2004). Kollaboratives Lernen Studierender mit Hilfe von Knowledge Forum. In: J. Haake (Hrsg.), CSCL Kompendium. München; Wien: Oldenbourg Verlag.

Jank, W. & Meyer, H. (2002). Didaktische Modelle. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Kerres, M. (2001). Multimediale und telemediale Lernumgebungen. München: Oldenbourg Verlag.

Krapp A. et al. (2006). Geschichte, Gegenstandsbereich und Aufgaben der Pädagogischen Psychologie. In: Pädagogische Psychologie - 5. Auflage. Weinheim: Beltz.

Lange, J. et al. (2000). Evaluation von aktivierenden Lehrformen in Vorlesungen zum Stahlbau. In: Thema Forschung Nr. 2, S. 70-77. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.

Melezinek, A. (1999). Ingenieurpädagogik – Praxis der Vermittlung technischen Wissens. Wien: Springer.

Merle, H. (2013). Ein konstruktivistisches Lehr-Lern-Konzept mit der Unterstützung von Computern im Stahlbau (Dissertation). Darmstadt: Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik der Technischen Universität Darmstadt.

Moskaliuk, J. (2008). Konstruktion und Kommunikation von Wissen mit Wikis: Theorie und Praxis. Boizenburg: Hülsbusch.

Reich K. (2006). Konstruktivistische Didaktik: Lehr- und Studienbuch mit Methodenpool. Weinheim: Belz.

Scardamalia, M. & Bereiter, C. (2006). Knowledge Building: Theory, pedagogy and technology. In: K. Sawyer (Hrsg.), The Cambridge handbook of the learning sciences. New York: Cambridge University Press.

Simon, F. B. (2008). Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus. Heidelberg: Carl-Auer-Verlag.

Steinborn, T. (2007). Analyse des universitären Lern- und Arbeitsverhaltens von Studierenden des Bauingenieurwesens (Dissertation). Darmstadt: Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik der Technischen Universität Darmstadt.

Autor/in

Dr.-Ing. Heiko Merle

Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Stahlbau

Franziska-Braun Straße 3, 64287 Darmstadt

merle@stahlbau.tu-darmstadt.de

Zitieren dieses Beitrages:

Merle, H. & Lange, J. (2014): Ein konstruktivistisches Lehr-Lern-Konzept mit der Unterstützung von Computern im Stahlbau. Journal of Technical Education (JOTED), Jg. 2 (Heft 1), S. 54-79.