
Ciplus
Band 1/2016

Forschendes Lernen – vom Bachelor zur Promotion in den Ingenieurwissenschaften

Thomas Bartz-Beielstein

Technology
Arts Sciences
TH Köln

Forschendes Lernen – vom Bachelor zur Promotion in den Ingenieurwissenschaften

Zusammenfassung

Forschendes Lernen versteht sich als ein methodisches Prinzip, das Forschungsorientierung und Verknüpfung von Forschung und Lehre in die Studiengänge und Lehrveranstaltungen integriert und für studentische Lernprozesse nutzbringend anwendet. Studierende sind dabei Teil der Scientific Community.

Dieser Artikel ist ein Erfahrungsbericht, in dem das Konzept des „Forschenden Lernens“ in einer Variante vorgestellt wird, die in den letzten zehn Jahren an einer deutschen Fachhochschule für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge entwickelt wurde.

Da es „das“ Forschende Lernen nicht gibt, werden zunächst die für diesen Artikel relevanten Gesichtspunkte zusammengestellt. Darauf aufbauend wird ein Prozessmodell des Forschenden Lernens vorgestellt. Dieses Modell ermöglicht Forschendes Lernen für Bachelor- und Masterstudierende sowie für Doktorandinnen und Doktoranden.

Schlagwörter

Forschendes Lernen, Promotion, Angewandte Mathematik, Prozessmodell, Erfahrungsbericht

1 Einleitung	3
2 Forschendes Lernen	3
Definition	3
Autonomie der Studierenden	4
Hürden: „Aller Anfang ist schwer“	5
Voraussetzungen für das Forschende Lernen	6
Der Prozess des Forschenden Lernens	7
Erfahrungen	8
3 Das FLSeven Prozessmodell	8
Die sieben Schritte	8
Lehr- und Lernumfeld	11
Die sieben Schritte im Detail	14
4 Beispiel Helikopter	19
5 Diskussion	20
Karriereplanung	20
Berücksichtigung der wissenschaftlichen Disziplinen	21
Literatur	22
Information zur Person	23

1 Einleitung

Die Art des Lernens und des Lehrens hat sich in den letzten Jahren stark verändert. Klassische Lehrformate wie der Frontalunterricht oder die traditionelle Vorlesung werden durch neue Formate ergänzt oder gar ersetzt. Dieser Wandel macht sich nicht erst in den Hochschulen bemerkbar, er ist bereits in den Schulen zu beobachten. Die Notwendigkeit neuer Herangehensweisen beschreiben Wedde & Bartz-Beielstein wie folgt: „Gleichzeitig war zu bemerken, dass die Schüler sich immer weniger von Vortrags- als vielmehr von kooperativen oder kollaborativen Unterrichtsformen angesprochen fühlen. Das betrifft alle Unterrichtsfächer. [...] Wir sehen hier nicht nur ein Drängen nach aktiver, verantwortlicher Mitarbeit, das nicht enttäuscht werden sollte, sondern ein Lernverhalten, das kooperative Arbeitsformen benötigt.“[Wedd00a]

Durch die stetige Fortentwicklung didaktischer Konzepte entstehen neue Lehr- und Lernformate. Die weite Verbreitung neuer Medienformate ermöglicht völlig neue Lernformen. Inhalte sind überall und zu jeder Tages- und Nachtzeit abrufbar. Es ist selbstverständlich, dass die Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden nicht nur im Hörsaal, sondern in unterschiedlichen Räumen (auch virtuell) stattfindet. Hochschulen stellen bei dieser Weiterentwicklung besonders hohe Ansprüche an sich selbst, da sie Bildungs- und gleichzeitig Forschungsinstitutionen sein wollen. Eigentlich sollten sie ein optimales Umfeld für die Umsetzung dieser neuen Formate bereitstellen: Die Kombination kooperativer Lehrformate mit praxisrelevanten Aufgaben unter Einbeziehung aktiver Forschungstätigkeit scheint eine sinnvolle, gar notwendige Vorgehensweise für den modernen Hochschulbetrieb zu sein.

Allerdings ist auch (noch) zu beobachten, dass in der Realität Studierende nur selten aktiv am Forschungsprozess teilnehmen bzw. beteiligt werden.

Literaturhinweis:

In dem im Jahre 2000 erschienenen Buch „Stat Lab: Mathematical Statistics Through Applications“ [Nola00a] wird beispielhaft ein neues Lehrformat für Mathematik- und Statistikvorlesungen beschrieben. In traditionellen Lehrbüchern zur Statistik werden zumeist Beispiele zur Illustration der Theorie am Ende eines Kapitels aufgelistet. Nolan und Speed drehen den Spieß um: Jedes Kapitel beginnt mit einem Fallbeispiel. Die Theorie wird angewandt, um die Fallbeispiele zu verstehen. „It turns the traditional teaching of mathematical statistics on its head by making a case study the centerpiece of each chapter.“

Dieser Beitrag ist wie folgt aufgebaut. In Abschnitt 2 werden die Grundgedanken des Forschenden Lernens eingeführt. Das darauf aufbauende Prozessmodell des Forschenden Lernens in sieben Schritten (FLSeven) wird im dritten Abschnitt beschrieben. Ein Beispiel, das die Anwendung der sieben Prozessschritte illustriert, folgt in Abschnitt 4. Dieser Beitrag schließt mit einer Diskussion des vorgestellten Modells im fünften Abschnitt.

2 Forschendes Lernen

Definition

Was sind die Kernelemente des Forschenden Lernens?

Übereinstimmung herrscht darin, dass die Lernenden durch Forschendes Lernen am Prozess der Wissenschaft beteiligt werden. Die Grundlage des Forschenden Lernens ist

„ein Verständnis von wissenschaftlicher Ausbildung als eine Ausbildung durch Wissenschaftler in einer Wissenschaft für einen auf Wissenschaft angewiesenen Beruf“ [BAK70a].

Die folgende, klassische Beschreibung geht auf Huber zurück:

„Forschendes Lernen zeichnet sich vor anderen Lernformen dadurch aus, dass die Lernenden den Prozess eines Forschungsvorhabens, das auf die Gewinnung von auch für Dritte interessanten Erkenntnissen gerichtet ist, in seinen wesentlichen Phasen – von der Entwicklung der Fragen und Hypothesen über die Wahl und Ausführung der Methoden bis zur Prüfung und Darstellung der Ergebnisse in selbstständiger Arbeit oder in aktiver Mitarbeit in einem übergreifenden Projekt – (mit)gestalten, erfahren und reflektieren.“ [Hube70a]

Diese mehr als vierzig Jahre zurückliegende Charakterisierung beinhaltet bereits die wesentlichen Elemente des Forschenden Lernens, wobei sich bei deren Ausgestaltung Spielräume ergeben.

Autonomie der Studierenden

Wie weit müssen Studierenden im Forschenden Lernen angeleitet werden?

Begriffe wie „Autonomie“, „Motivation“ und „Kreativität“ spielen für das Forschende Lernen wesentliche Rollen, so dass der Gedanke der „Anleitung“ eher in den Hintergrund tritt. Art und Umfang der Mitgestaltung durch Studierende werden in der Wissenschaft unterschiedlich interpretiert. Dies betrifft insbesondere die Vermittlung fachlicher Grundlagen.

- Zülch schlägt vor, im „Kleinen“ zu beginnen und „neben einem Fundus an solidem Fachwissen auch Raum und Möglichkeiten für divergentes Denken“ zu schaffen. Die Studierenden sollen ermutigt werden „neue Ideen und Herangehensweisen auszuprobieren“ [Zuel15a].
- Hubers Ansatz ist fundamentaler: Die Vermittlung von „Grundlagen“ oder „Grundkenntnissen“ im Rahmen eines „Grundstudiums“ führen zu einer Verschulung des Studiums und laufen dem Prinzip der Universität zuwider [Hube70a].

Meine Erfahrungen in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen sind in dieser Hinsicht eindeutig: Viele Studieninhalte sind prinzipiell schwierig. Studierende, die eine anspruchsvolle Forschungsaufgabe bearbeiten, ohne dass ihnen die fachlichen Grundlagen zur Verfügung stehen, verlieren u.U. das Interesse und produzieren Ergebnisse, mit denen sie selbst nicht zufrieden sind.

Daher zeigt sich mir in den ersten Semestern der ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge die Vermittlung von Grundlagenwissen als essentiell. Treffend wird dies von Zülch [Zuel15a] beschrieben:

„Auf kognitiver Ebene sind dabei neben der Beherrschung der Grundkenntnisse eines Stoffgebiets sowie von Spezialtechniken und grundlegenden wissenschaftlichen Vorgehensweisen, vor allem aber auch kognitive Techniken und Fertigkeiten für die Problemerkennung und Ideenfindung notwendig.“

Studierende sollten nach diesem Ansatz erst dann komplexe Themen bearbeiten, wenn sie grundlegende Kenntnisse sicher beherrschen. Sie müssen in der Lage sein, Fachaufsätze selbständig zu lesen und zu verstehen. Vielen Studierenden bereiten der strenge Formalismus und die Exaktheit der mathematischen Notation anfangs Schwierigkeiten. Sie müssen zunächst lernen, wie Sachverhalte abstrahiert werden können, um sie durch Formeln auszudrücken.

Literaturhinweis:

Beutelspachers Buch „Das ist o. B. d. A. trivial!: Tipps und Tricks zur Formulierung mathematischer Gedanken“ fasst die Anfängerschwierigkeiten auf humorvolle Art und Weise zusammen und beinhaltet wichtige Tipps für Studienanfänger.

Belastbares Grundlagenwissen ist notwendig – aber nicht hinreichend. Die Art und Weise, wie dieses Wissen vermittelt wird, ist entscheidend: Eine flexible, fachspezifische Anpassung des Verhältnisses von Grundlagenvermittlung und forschender Tätigkeit an die Studiensituation und eine ebenso angepasste Anleitung der Studierenden ist vorteilhaft.

Durch eine prozessorientierte Betrachtung des Forschenden Lernens kann diese Flexibilisierung transparent dargestellt werden. Durch die Unterteilung in einzelne Schritte kann die Forschungskompetenz vom ersten Semester bis zur Promotion systematisch aufgebaut werden. Hierzu wird die Forschungsaufgabe eingegrenzt oder in einzelne Teilaufgaben zerlegt. Die Studierenden werden nicht ad hoc mit einer komplexen Aufgabenstellung konfrontiert, sondern sukzessive in den Forschungsprozess eingeführt. Der forschende Anteil wird von Studienphase zu Studienphase erhöht.

Hürden: „Aller Anfang ist schwer“

Wie kann eine passende Forschungsaufgabe für Studienanfänger gefunden werden?

Für Master- und Doktorarbeiten in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ist die selbständige Auswahl einer Frage- bzw. Problemstellung sicherlich eine sinnvolle Vorgehensweise. Vereinzelt trifft dies auch auf Bachelorarbeiten zu.

In den Anfängervorlesungen der ersten Semester ist diese Vorgehensweise aus den folgenden Gründen nur schwierig umzusetzen:

- **Betreuungsrelation:** In den ersten Semestern werden die Veranstaltungen von mehreren Hundert Studierenden besucht. Eine sinnvolle Betreuungsrelation kann nicht gewährleistet werden, wenn einzelne Studierende oder kleinere Gruppen individuelle Aufgaben selbst erstellen.
- **Niveau:** Für die Studierenden ist es schwierig, den passenden Schwierigkeitsgrad für die Aufgabe zu wählen. Die von den Lehrenden vorgegebenen Aufgabenstellungen haben in der Regel den passenden Schwierigkeitsgrad, da die Lehrenden die Gesamtheit der Aufgaben überblicken.
- **Aufwand:** Bei den von den Studierenden selbst gewählten Aufgaben besteht die Gefahr, dass der Aufwand falsch eingeschätzt wird. Die von den Lehrenden erstellten Aufgabenstellungen sind hinsichtlich des Bearbeitungsaufwandes vergleichbar.
- **Vorwissen:** Reinmann & Sippel bemerken, dass die Studierenden für das Forschende Lernen durch Eigeninteresse motiviert sein müssen. „Erkenntnisinteresse aber setzt eine gewisse Begeisterung für den Inhalt voraus, die wiederum nur zu erreichen ist, wenn Neugier und/oder Vorwissen vorhanden sind.“ [Rein14a]

Diese Hürden sind nicht unüberwindbar. So kann mit großem Personaleinsatz die Betreuungsrelation verbessert werden, Niveau und Umfang selbst gewählter Aufgaben können durch Feedback der Lehrenden angepasst werden, das Vorwissen kann in Ergänzungskursen gelehrt werden, etc.

Allerdings sind es nicht allein diese Hürden, die zu der Empfehlung führen, Aufgabenstellungen von den Lehrenden auswählen zu lassen (oder mindestens von den Lehrenden einen festen Rahmen vorgeben zu lassen). Für die ersten Semester der Bachelorstudiengänge ist die Qualifikation und die Erfahrung der Lehrenden das entscheidende Argument für diese Vorgehensweise:

- Qualität: In die Aufgabenstellungen fließen zum Teil jahrelange Erfahrungen aus der Lehre und der eigenen Forschung der Dozenten ein. Deshalb sind die meisten Aufgabenstellungen einfach gut.
- Kontinuierliche Verbesserung: Fehler aus vorangegangenen Semestern können von den Dozenten korrigiert werden.
- Effizienz: Die Studierenden können effizient zu den fundamentalen Ideen geleitet werden. Die Dozenten können einen roten Faden durch das spezielle Fachgebiet aufzeigen.
- Kompetenz: Last but not least kommt noch das didaktische Können der Dozenten hinzu. Sie können Zusammenhänge, die über das einzelne Fachgebiet hinausgehen, aufzeigen. Der Umgang mit Fehlern kann gezielt gelehrt und gelernt werden.

Literaturhinweis:

Die Vorlesungen von Gilbert Strang (Mathematikprofessor, Massachusetts Institute of Technology) sind eine wahre Fundgrube für diejenigen, die gerne in Zusammenhängen denken [Stra10a]. Strang, der für seine Beiträge zur Lehre mehrfach ausgezeichnet wurde, versteht es auf unnachahmliche Art und Weise, Bezüge zwischen unterschiedlichen Anwendungsgebieten der Mathematik aufzuzeigen.

Voraussetzungen für das Forschende Lernen

Welche speziellen Anforderungen stellt das Forschende Lernen an die Beteiligten?

Lehrende sind Expertinnen und Experten in ihrem Fachgebiet und stellen aus dieser Expertise heraus realistische Forschungsaufgaben in Form von Lehr- und Lernarrangements bereit. Zu Beginn des Bachelorstudiums (Grundstudium) lenken sie den Lernprozess. Anfangs können die Themen meist nicht von den Studierenden selbständig gewählt werden. Im späteren Verlauf des Studiums nimmt der Dialog zwischen Lehrenden und Studierenden einen immer größeren Raum ein. Die Lehrenden übernehmen die Funktion von Coaches und beraten die Studierenden primär bei fachlich-inhaltlichen und arbeitsmethodischen Fragestellungen. Dabei werden die Lehrenden von wissenschaftlichen Mitarbeitern und studentischen Tutoren unterstützt. Von den Studierenden wird Interesse an dem Fachgebiet erwartet. Sie sollen Aufgaben selbständig bearbeiten und eigenständige Lösungen entwickeln. Obwohl Forschungsergebnisse in einem sozialen Kontext ausgetauscht werden, sollten die Studierenden sich bewusst sein, dass sie in didaktisch dazu ausgewählten Situationen auf sich selbst zurückgeworfen sind. Es wird von ihnen die Reflexion ihres Handelns gefordert.

Literaturhinweis:

Die Vorlesungen von Gilbert Strang (Mathematikprofessor, Massachusetts Institute of Technology) sind eine wahre Fundgrube für diejenigen, die gerne in Zusammenhängen denken [Stra10a]. Strang, der für seine Beiträge zur Lehre mehrfach ausgezeichnet wurde, versteht es auf unnachahmliche Art

und Weise, Bezüge zwischen unterschiedlichen Anwendungsgebieten der Mathematik aufzuzeigen.

Der Prozess des Forschenden Lernens

Wie kann Forschendes Lernen prozessorientiert betrachtet werden?

Hierfür gibt es bereits gute Beispiele:

- Für die empirische Hochschulbildungsforschung entwickelten Schneider & Wildt ein Modell, um Analogien zwischen dem Lern- und Forschungsprozess darzustellen [Schn09a, Wild09a]. Die Forschungstätigkeit wird dabei in acht Schritte untergliedert und als Zyklus beschrieben: 1) Themenfindung, 2) Formulierung von Fragestellungen (Hypothesen), 3) Erstellung eines Untersuchungskonzeptes, 4) Entwurf eines Forschungsdesigns, 5) Durchführung, 6) Auswertung, 7) Anwendung und Vermittlung in der Praxis und 8) Eintauchen in die Praxis. Diese acht Schritte werden analog zu vier Stufen des Lernprozesses nach Kolb (Reflexion, Konzept, Experiment, Erfahrung) [Kolb76a] betrachtet. Schneider & Wildt projizieren den Lernprozess (Learning cycle) in den Forschungszyklus, so dass analoge Schritte sichtbar werden. Sie weisen auf einen wichtigen Aspekt hin: Trotz aller Analogien existieren wesentliche Unterschiede zwischen Forschung und Lernen. Sonst könnten die Studierenden direkt ein Forschungsprojekt, z.B. in der Industrie, durchführen. Die Hochschulen wären dann überflüssig.
- Mit dem „Zürcher Framework“ steht ein weiteres Modell zur Verfügung, das den Prozess des Forschenden Lernens in Etappen gliedert. Diese „Gliederung des Prozesses in Etappen ist Standard für die Forschungspraxis und hilfreich für das hochschuldidaktische Konzept“ [Trem12b]. Hildebrand & Tresp stellen die Wichtigkeit einer an die jeweilige Studiensituation angepassten Vorgehensweise wie folgt dar: „Studienstufen sind demnach durch ihre je unterschiedlich anspruchsvollen oder je unterschiedlich vertieft bearbeiteten Kompetenzen beschreibbar, wobei sich diese Beschreibung je disziplinspezifisch zeigen wird.“ [Trem12b].

Das Six-Sigma Prozessmodell

Wie können die einzelnen Prozessschritte qualitativ abgesichert und die Nachhaltigkeit der Verbesserungen überprüfbar gemacht werden?

Elemente der Qualitätssicherung, die ihren Ursprung in der industriellen Forschung und Entwicklung haben, können hierfür gewinnbringend eingesetzt werden. Das sogenannte Six-Sigma Vorgehensmodell wurde zur Verbesserung der Produktqualität in den 1980er Jahren bei Motorola entwickelt. Dieses Modell beinhaltet einen Definitionsschritt („Define“), in dem das Problem spezifiziert und das messbare Projektergebnis bestimmt werden. Im zweiten Schritt („Measure“) wird ein Datenerhebungsplan aufgestellt. Die Analyse der Daten findet im dritten Schritt („Analyze“) statt. Lösungen werden im vierten Schritt („Improve“) entwickelt. Im fünften und letzten Schritt („Control“) wird die Nachhaltigkeit der Verbesserungen sichergestellt.

Das Six-Sigma Prozessmodell lässt sich nicht 1:1 auf den Prozess des Forschenden Lernens übertragen. Einzelne Überlegungen lassen sich jedoch sinnvoll zur Qualitätssicherung des Forschenden Lernens verwenden: So ist bei beiden Prozessen die Präzisierung der Fragestellung essentiell. Es müssen die korrekten Methoden und Modelle ausgewählt werden. Zentral ist, dass Erkenntnisse hypothesengetrieben gewonnen werden. Auch muss in beiden Prozessen die Nachhaltigkeit der gefundenen

Resultate sichergestellt werden. Im Six-Sigma Vorgehensmodell werden die Zuständigkeiten, Termine, Fristen und das zur Verfügung stehende Budget festgelegt. Dies entspricht im Forschenden Lernen der Festlegung der zu bearbeitenden Aufgabe, des Abgabetermins, des Umfangs der Arbeit usw.

Erfahrungen

Kurz zusammengefasst lassen sich meine Erfahrungen bei der Anwendung des Forschenden Lernens wie folgt darstellen:

- Die Vermittlung von Grundlagenwissen ist essentiell.
- Forschendes Lernen verläuft analog zu realen Forschungsprozessen, ist aber nicht mit ihnen identisch.
- Die Prozessschritte des Forschenden Lernens können flexibel an die Studiensituation angepasst werden.
- Methoden zur Qualitätssicherung können zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Ergebnisse angewendet werden.

3 Das FLSeven Prozessmodell

Die sieben Schritte

Welche Schritte beinhaltet das an der TH Köln entwickelte Prozessmodell des Forschenden Lernens?

Das „Forschende Lernen in sieben Schritten“ (FLSeven) lässt sich wie folgt beschreiben (siehe Abbildung 1):

- FL-1. Wissenschaftliche Fragestellung formulieren
- FL-2. Wissenschaftliche Forschungsaufgabe spezifizieren
- FL-3. Aktuellen Forschungsstand sichten
- FL-4. Wissenschaftliche Methodenkenntnisse erwerben
- FL-5. Forschungsarbeit durchführen
- FL-6. Forschungsergebnis veröffentlichen und präsentieren
- FL-7. Forschungsprozess reflektieren und Nachhaltigkeit sichern

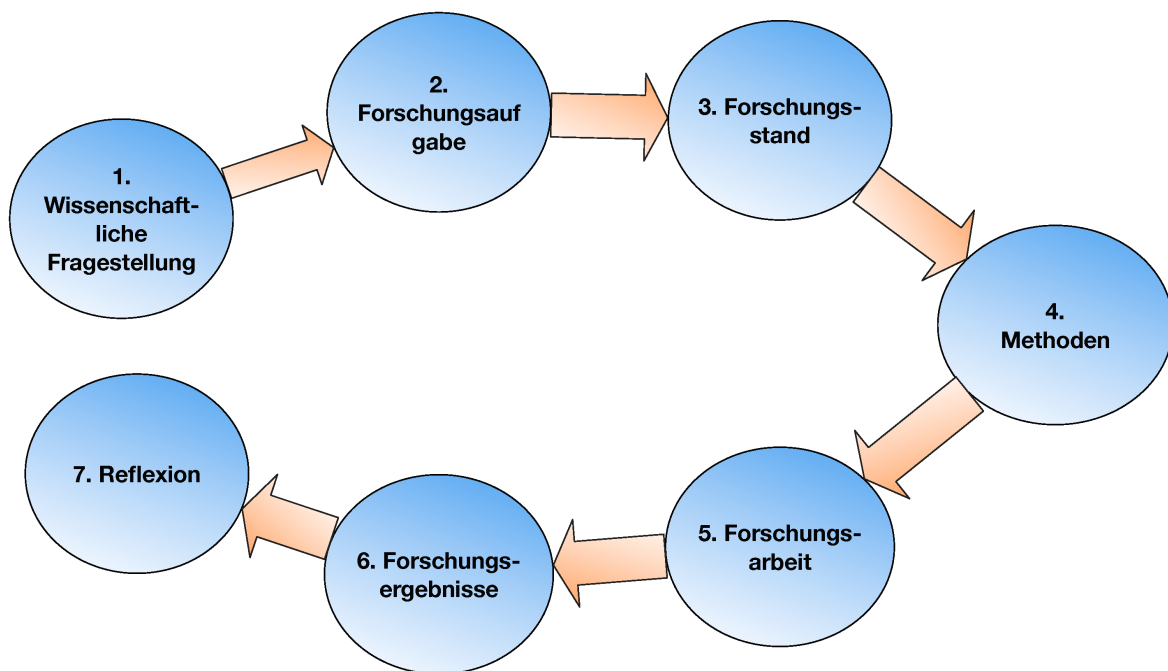


Abbildung 1. Die sieben Schritte des FLSeven Modells.

Die flexible Anpassung der Prozessschritte an die jeweilige Studienphase ist ein zentrales Element des FLSeven Prozessmodells. Durch eine unterschiedliche Gewichtung der sieben Schritte lässt sich das Forschende Lernen an die unterschiedlichen Studiensituationen anpassen. Studierende werden während des Bachelorstudiums z.B. als Ergebnis eines Praxisprojektes einen kurzen Bericht erstellen, aber noch keinen Zeitschriftenaufsatz, der in einem internationalen Fachjournal erscheint. In Tabelle 1 werden die einzelnen Schritte mit Bezug auf die Studienabschnitte übersichtsartig dargestellt.

Tabelle 1: Schritte des FLSeven Prozessmodells in den einzelnen Studienphasen. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden die Studienabschnitte in drei Phasen (Bachelor, Master, Promotion) eingeteilt. Diese einzelnen Phasen werden im späteren Verlauf dieses Abschnittes ausdifferenziert und detailliert beschrieben.

	Prozessschritt	Bachelor	Master	Promotion
FL-1	Wissenschaftliche Fragestellung formulieren.	Übersicht über die vorgegebenen Themen der Vorlesung oder des Projektes erarbeiten. Grundlagen lernen. Lernziele herausuchen.	Projektthema auswählen.	Eigene Fragestellung formulieren. Abstract schreiben. Mit anderen Forschern austauschen.
FL-2	Wissenschaftliche Forschungsaufgabe spezifizieren.	Teilaufgabe sichten.	Case-Studie durchführen. Teilaufgabe aus größerem Projekt präzisieren.	Arbeitstitel finden. Betreuer auswählen. Betreuungsvereinbarung abschließen.
FL-3	Aktuellen Forschungsstand sichten.	Vorwissen und Voraussetzungen klären. Semesterliteratur und Hilfsmittel (Formelsammlung, Computerprogramme) auswählen.	Vom Lehrenden ausgewählte Literatur sichten und bearbeiten. Eigenständige Literaturrecherche durchführen.	Literaturdatenbank nutzen. Eigene Datenbank erstellen.
FL-4	Wissenschaftliche Methodenkenntnisse erwerben.	Vorlesungsskripte durcharbeiten.	Semesterapparat und selbst recherchierte Fachliteratur durcharbeiten, Kursinterne Methodenschulung wahrnehmen.	Fortbildung, Methodenschulungen (auch extern) wahrnehmen, Doktorandenseminar besuchen.
FL-5	Forschungsarbeit durchführen.	Projektaufgaben lösen. Aufgabenvarianten bearbeiten.	Eigenständig Daten erheben und analysieren. Einzelne Hypothesen aufstellen und überprüfen.	Verschiedene Studien recherchieren. Hypothesen aufstellen und überprüfen. Umfassende, vergleichende Analysen anstellen.
FL-6	Forschungsergebnis veröffentlichen	Konkrete Lösung darstellen.	Wissenschaftlich relevantes Ergebnis	Generalisierbare Ergebnisse herausarbeiten.

	und präsentieren.	Projekt abnehmen lassen. Praxissemestervortrag halten. Bachelorarbeit schreiben. Im Kolloquium vortragen.	herausstellen. Masterarbeit schreiben. Im Kolloquium vortragen.	Ergebnisse publizieren. (Journal, Workshop, Konferenz, ...). Doktorarbeit schreiben. Arbeit verteidigen.
FL-7	Forschungsprozess reflektieren und Nachhaltigkeit sichern.	Direktes Feedback durch Maple T.A. abrufen. Feedback umsetzen.	Feedback durch Kommilitonen und Dozenten annehmen und umsetzen.	Feedback durch Gutachter (Review) erhalten und umsetzen, Austausch mit Kolleginnen und Kollegen pflegen. Doktorandenseminar besuchen.

Lehr- und Lernumfeld

In welchem Umfeld wird FLSeven eingesetzt?

Im Folgenden wird erläutert, wie die sieben Schritte in der Arbeitsgruppe SPOTSeven des Autors umgesetzt werden.

Das Prozessmodell FLSeven wurde an einer Fachhochschule entwickelt.

Fachhochschulen besitzen kein eigenständiges Promotionsrecht. Daher werden die Promotionen in Kooperation mit Partneruniversitäten durchgeführt. Dieser Umstand soll an dieser Stelle lediglich erwähnt, aber nicht weiter vertieft werden, da er auf das Prozessmodell keinen direkten Einfluss hat. Durch den zusätzlichen administrativen Aufwand werden einige Schritte allerdings verkompliziert.

Das SPOTSeven Team besteht (Mitte 2015) aus acht Promotionsstudentinnen und -studenten sowie zwei Professoren. Hinzu kommen Bachelor- und Masterstudierende sowie studentische Hilfskräfte.

Stichwort „SPOTSeven Lab“

Das SPOTSevenLab ist im Cluster „Computational Services and Software Quality“ im Forschungsschwerpunkt „Computational Intelligence plus“ (CIplus) der TH Köln angesiedelt. Es gehört zum Institut für Informatik der Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften und wurde vom Autor, der seit 2006 eine Professur für „Angewandte Mathematik“ innehat, gegründet. Die im SPOTSeven Lab durchgeführten Arbeiten tragen zur Festigung der Spitzenposition der TH Köln im Forschungsbereich „Computational Intelligence“ (CI) im internationalen Vergleich bei. Für die Nachwuchskette (vom Schüler bis zum Promovenden) werden Themen aus der aktuellen Forschung zugänglich gemacht. Promotionsverfahren werden kooperativ mit Universitäten in Dortmund, Amsterdam und Leiden durchgeführt. Weitere Informationen: www.spotseven.de

Die zentrale Rolle der Doktorarbeiten

Forschungsthemen werden über die einzelnen Lehrveranstaltungen hinweg in den unterschiedlichen Studienabschnitten bearbeitet. Teilergebnisse aus Doktorarbeiten und Forschungsprojekten werden als Aufgaben für die Studierenden in den ersten Semestern verwendet. Praxisprojekte dienen als Basis für Bachelorarbeiten. Studentische Case-Studies bilden das Fundament für Master-Arbeiten. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter setzen ihr Wissen bei der Betreuung von Master- und Bachelor-Abschlussarbeiten ein. Somit entstehen vielfältige Forschungskompetenzen, die zu unterschiedlichen Zeiten und für unterschiedliche Formate überprüfbar sind.

Wie ein einzelnes Thema als Grundlage für Forschendes Lernen für Bachelor- und Masterstudierende sowie Doktoranden dienen kann, wird im Folgenden anhand einer Anwendung aus der Energie- und Umwelttechnik dargestellt. Dazu werden Staubabscheider betrachtet, die in modernen, filterlosen Staubsaugern und auch in großtechnischen Anlagen wie z.B. zur Abgasreinigung in Kohlekraftwerken zum Einsatz kommen. Ihre Dimensionierung ist eine aktuelle Forschungsaufgabe, die im Rahmen einer Dissertation bearbeitet wird. Zur Unterstützung dieser Dissertation wurden bereits Projekt-, Bachelor- sowie Masterarbeiten und mehrere Case-Studies durchgeführt. Teilaufgaben werden als Projektaufgaben der Vorlesung Mathematik von den Studierenden bearbeitet. Dieses Zusammenspiel ist in Abbildung 2 dargestellt.

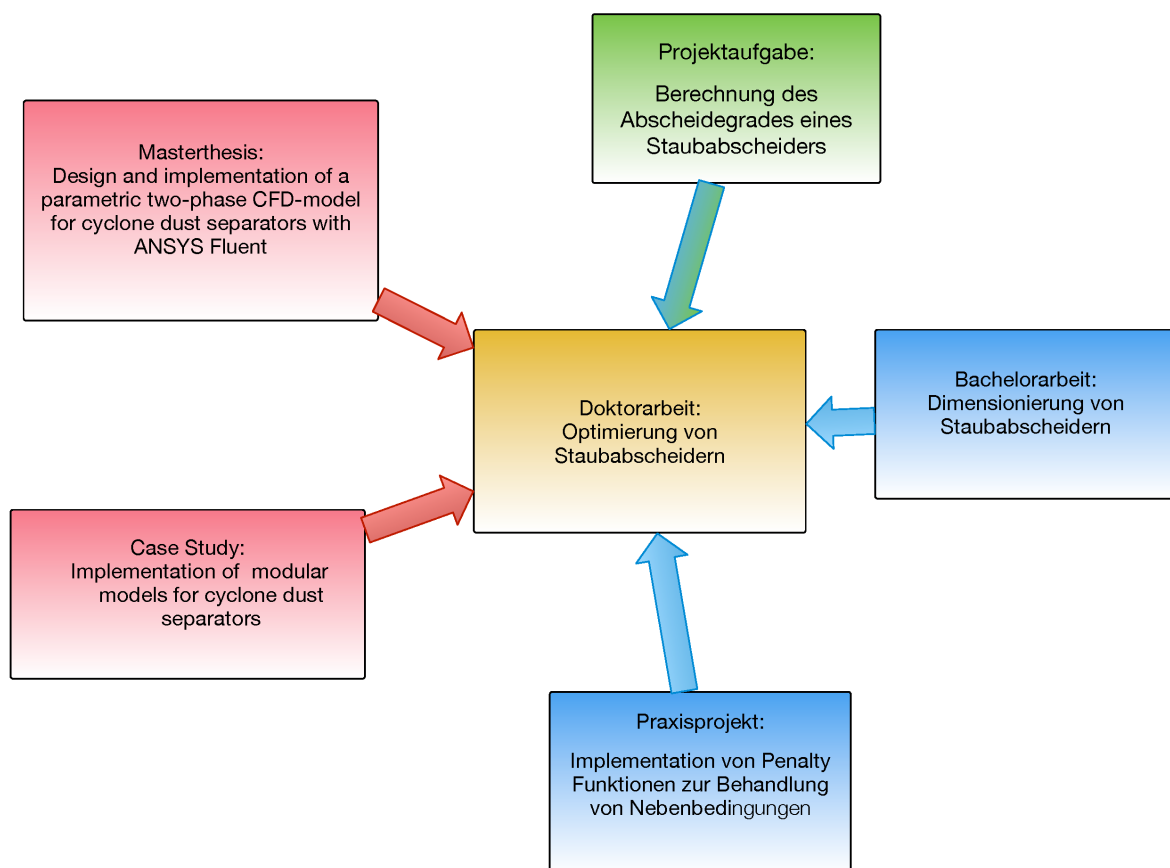


Abbildung 2. Elemente aus Doktorarbeiten werden im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten sowie als Case-Studies, Projektaufgaben und Praxisprojektaufgaben bearbeitet. Grün: Vorlesung 1. Semester Bachelor. Blau: Bachelor 5. und 6. Semester. Rot: Master.

Von der Doktorandin wurden Fachartikel verfasst, die den Studierenden zur Verfügung gestellt werden [Brei13a]. Teilaufgaben aus aktuellen Forschungsprojekten zur Simulation und Optimierung des Abscheideverhaltens werden bereits im ersten Semester bearbeitet. Die von der Doktorandin erstellte Skizze eines Staubabscheiders (siehe Abbildung 3) kommt in den Projektaufgaben des ersten Semesters zum Einsatz.

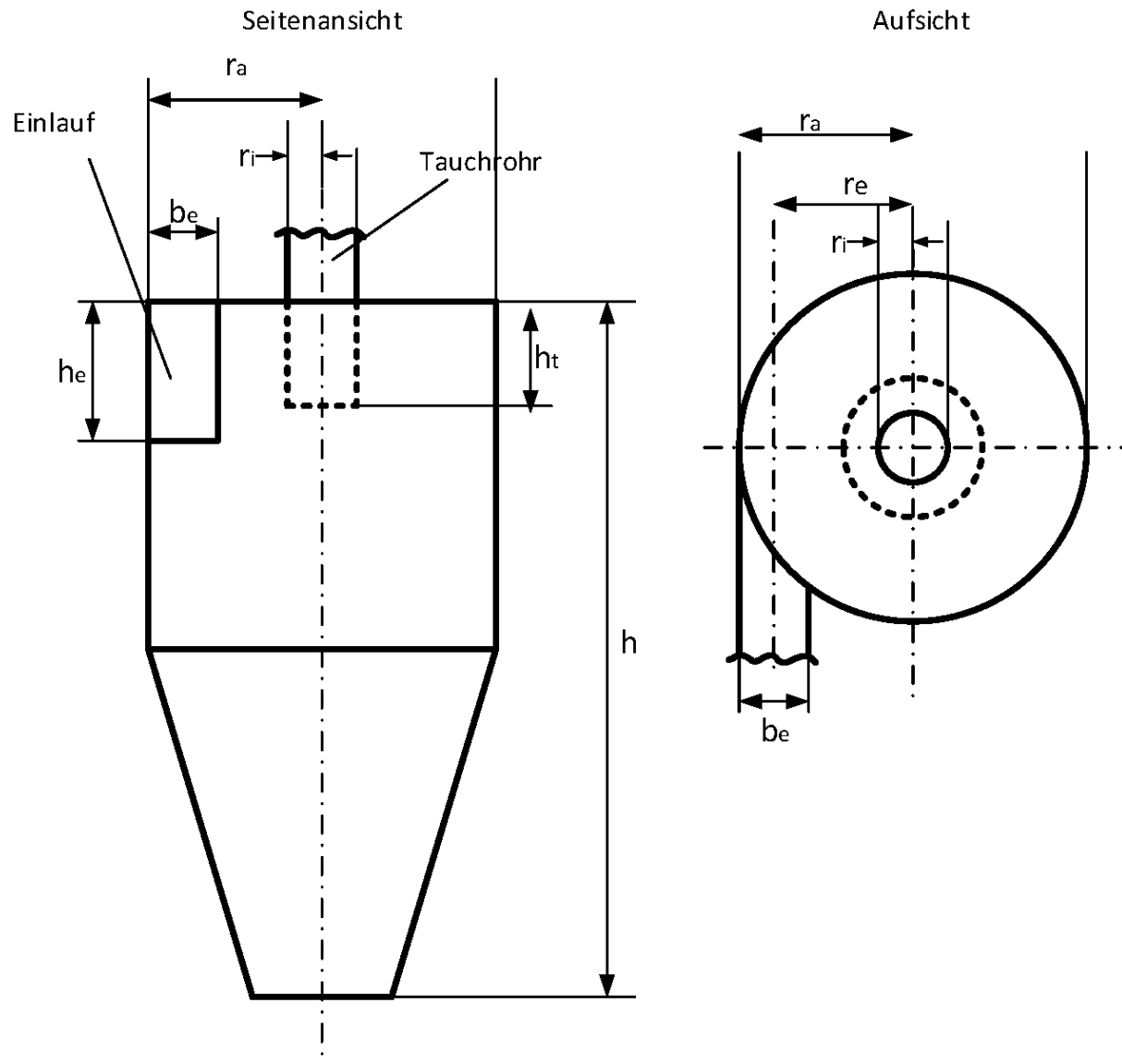


Abbildung 3. „Seitenansicht und Aufsicht eines Staubabscheiders. Diese Abbildung stammt aus einer Veröffentlichung, die im Rahmen einer Doktorarbeit erstellt wurde [Brei13a]. Sie wird bereits im ersten Semester eingesetzt und dient als Grundlage für eine Teilaufgabe in der Veranstaltung Mathematik 1.

Veranstaltungsformate

Das FLSeven Prozessmodell ist in unterschiedlichen Lehrformaten wie z.B. in Vorlesungen und in Seminaren anwendbar. Es erfährt eine veranstaltungsspezifische Ausprägung: In Vorlesungen können Vortragende eine Übersicht des Forschungsgebietes geben und Verknüpfungen zu anderen Forschungsgebieten aufzeigen. Zudem können sie eigene Forschungsaktivitäten erläutern.

Seminare ermöglichen eine dialogorientierte Vorgehensweise. Die Studierenden können ihre eigenen Ergebnisse darstellen und erhalten Feedback. Weitere Formate wie Exkursionen, Praktika, Projekte oder Workshops lassen sich ebenfalls in dieses Prozessmodell eingliedern.

Als Ergebnis des Forschungsprozesses werden unterschiedliche Produkte hervorgebracht: Zeitschriftenartikel, Poster, Vortrag. Durch die Gliederung in sieben Stufen können bereits im Verlauf des Forschungsprozesses Leistungsnachweise von den Studierenden erbracht werden. Dadurch ist eine Reflexion im laufenden Prozess möglich.

Sehr große Lerngruppen: e-Learning

Die Auseinandersetzung mit der Frage „Wie können praxisrelevante, individuelle Aufgaben (und Prüfungen) für mehrere Hundert Studienanfängerinnen und Studienanfänger erstellt werden?“ führten zur Entwicklung des Lehrveranstaltungsformats „Math & More“.

Stichwort „Math & More.“

Math & More ist ein Lehrveranstaltungsformat für Mathematikvorlesungen in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen. Bei der Entwicklung war mir individualisiertes, selbstgesteuertes Lernen für große und sehr große Lerngruppen wichtig. Dieses wird durch den verstärkten Einsatz von E-Learning Elementen ermöglicht. Weitere Informationen sind unter <http://mathandmore.gm.fh-koeln.de> zu finden.

Mit „Math & More“ steht ein methodisch-didaktisches Konzept für die Vorlesungen zur Angewandten Mathematik im ingenieurwissenschaftlichen Grundstudium (Bachelor) zur Verfügung, das individualisiertes Lernen für große bis sehr große Lerngruppen (z.B. Vorlesungen mit 750 Teilnehmern) ermöglicht. Durch den Einsatz von e-Learning-Unterlagen, die mit Hilfe des „Teaching-Assistant“ Systems Maple T.A. erstellt werden, erhalten die Studierenden individuelle Aufgaben und Lösungen, die zu jeder Zeit und von jedem Ort abgerufen werden können. Zusätzlich stelle ich den Studierenden die mit einem Tablet-PC erstellten Vorlesungsmitschriften und Lernvideos zur Verfügung. Teilaufgaben aus Forschungsprojekten werden ebenfalls mit dem Maple T.A. System geprüft. Durch das Maple T.A. System werden vorwiegend die Taxonomiestufen 1 bis 3 (erinnern, verstehen und anwenden) nach Bloom adressiert [Bloo56a]. Durch die Einrichtung von Aktivübungen, in denen Vorleistungspunkte vergeben werden, werden die Studierenden zum aktiven Vorrechnen angeregt. Hierbei werden auch die höheren Taxonomiestufen berücksichtigt, da es in kleineren Gruppen (10-15 Studierende) zu fachlichen Diskussionen kommt.

Stichwort „Maple T.A.“

Maple T.A. (Teaching Assistant) ist eine E-Learning Plattform, die sowohl freies Lernen als auch Tests unter Aufsicht ermöglicht. Zu jeder Aufgabe wird die korrekte Lösung, teilweise auch ein Lösungsweg mit Lösungshinweisen, angezeigt.

Die sieben Schritte im Detail

Die Anpassung des FLSeven Prozessmodells wird für jeden der sieben Schritte exemplarisch beschrieben. Dazu wird zwischen den folgenden Studienabschnitten unterschieden (siehe auch Tabelle 1):

1. Bachelor,

2. Master und
3. Promotion.

Die Komplexität der Aufgabenstellungen und der Grad der Selbständigkeit der Studierenden nehmen mit wachsender Semesterzahl zu.

Die Studierenden sind in allen Studienabschnitten in der Lage, eine kritische Fragehaltung zu entwickeln, Ergebnisse zu reflektieren und ihre eigene Vorgehensweise zu hinterfragen [Rein14a].

FL-1 Wissenschaftliche Fragestellung formulieren

- **Bachelor:** In den ersten Semestern ist das Forschende Lernen in die Lehrveranstaltungen, die Vorlesungen und Projekte beinhalten, integriert. In den Vorlesungen wird das Themengebiet mit seinen zugehörigen Aufgabenstellungen eingeführt (z.B. „Optimierung“ oder „Versuchsplanung“). In einer Einführungsveranstaltung werden die grundlegende Fragestellung des Moduls, die didaktische Grundkonzeption, die Learning-Outcomes und Beurteilungsmaßstäbe dargestellt. Im ersten Semester besteht im FLSeven Modell das vorrangige Ziel darin, dass überschaubare Teilaufgaben von den Studierenden möglichst selbständig bearbeitet werden können. In der Regel handelt es sich dabei um Anwendungsaufgaben, die in Forschungsprojekten durchzuführen sind. Im weiteren Verlauf des Bachelorstudiums treten umfangreiche Projektarbeiten, die auf authentischen Problemen beruhen, hinzu. Diese werden in Kooperation mit Industriepartnern aus den SPOTSeven Forschungsprojekten erstellt.
Die Optimierung eines Produktionsprozesses zur Schokoladenherstellung, die Wegeplanung für ein Hochregallager oder die Optimierung eines Staubabscheiders für Kohlekraftwerke stellen nur drei von vielen Themen dar, die im Jahr 2015 von Studierenden bearbeitet wurden. Zur Auswahl stehen realistische Settings in komplexen Situationen, individuell selbständig durchzuführende Arbeitsvorhaben (Recherche, Konstruktion, Simulation) und kooperative Projekte. Durch Kooperationen mit lehrenden Kollegen entstehen interdisziplinär zu bearbeitende Aufgabenstellungen, wobei die Studierenden die Aufgaben aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten.
Die Bearbeitung authentischer Aufgabenstellungen wird gleichermaßen von Lehrenden und Studierenden bevorzugt. Vereinzelt werden simulierte Forschungsaufgaben herangezogen.

Literaturhinweis:

Ein wichtiges Beispiel für simulierte Forschungsaufgaben sind die didaktisch sehr gut strukturierten Aufgaben aus der statistischen Versuchsplanung wie z.B. das im Kap. 4 beschriebene Helikopter-Projekt. Diese und ähnliche Aufgaben werden in dem bereits eingangs erwähnten Buch „Stat Lab: Mathematical Statistics Through Applications“ [Nola00a] hervorragend beschrieben.

- **Master:** In den höheren Semestern werden komplexere Sachverhalte, z.B. in Fallstudien behandelt. Masterstudierende entwickeln ihre eigenen Fragen und finden ihren eigenen Zugang zu wissenschaftlichen Fragestellungen. Sie können sich dadurch in eine Forschungssituation direkt hinein begeben und den Forschungsprozess erleben.
In der Erstbesprechung beschreibe ich die Forschungsaufgabe. Einige Studierende treten auch mit einer selbst gewählten Forschungsaufgabe an mich

heran. Die Studierenden sollen dann bis zum nächsten Treffen, das ca. ein bis zwei Wochen später stattfindet, die Aufgabenstellung mit ihren eigenen Worten beschreiben.

- **Promotion:** Die Auswahlphase ist für Doktorandinnen und Doktoranden besonders wichtig, da sie ein Thema finden sollten, für das sie wirklich „brennen“. In der Forschungsgruppe steht durch Kontakte zur Industrie und zu kooperierenden Hochschulen eine Vielzahl von Themen zur Verfügung. Die meisten Themen haben einen Praxisbezug. In den ersten Monaten findet eine Auswahl des thematischen Schwerpunkts statt: Konferenz- und Workshopbesuche, persönliche Gespräche, Literaturempfehlungen.

FL-2 Wissenschaftliche Forschungsaufgabe spezifizieren

- **Bachelor:** In den ersten Semestern werden die Aufgabenstellungen vorgegeben. Die Studierenden können hier Aufgabenvarianten auswählen. Durch den Einsatz von Maple T.A. (s.o.) werden individualisierte Aufgabenstellungen bereitgestellt. Da sich die Lehrveranstaltung an angehende Ingenieurinnen und Ingenieure richtet, steht das technische Verständnis im Vordergrund. Hinzu kommt die Anwendung elementarer Rechengesetze. Zur Berechnung der erforderlichen Größen wird eine wissenschaftliche Publikation zu Grunde gelegt, die gemeinsam mit den Doktoranden der SPOTSeven-Arbeitsgruppe (s.o.) erstellt wurde. Die Studentinnen und Studenten müssen im Selbststudium die erforderlichen Parameter für die Berechnungen dem Dokument entnehmen, Formeln herausuchen und anwenden. Während der gesamten Phase des Selbststudiums steht Maple T.A. zur Verfügung, so dass die Lösungen überprüft werden können. Jeder Teilnehmer erhält eine individuelle Aufgabenstellung und kann beliebig viele Variationen der Aufgabe bearbeiten.
- **Master:** Ausgangspunkt für die Konkretisierung ist die von den Studierenden selbst verfasste Beschreibung der Problemstellung. Sie dient als Vorlage für eine vorläufige Gliederung des Forschungsberichts.
- **Promotion:** Für die Doktoranden erfolgt die Eingrenzung des Gebietes und die Festlegung eines Arbeitstitels. Zu diesem Zeitpunkt wird eine auf die individuellen Bedürfnisse abgestimmte Betreuungsvereinbarung zwischen Doktoranden und dem betreuenden Professor abgeschlossen.

Tipp:

Wenn Promotionen mit Industriepartnern durchgeführt werden, liegt der Promotion häufig eine durch das Unternehmen vorgegebene Aufgabe zu Grunde. Da die Promotion sich über mehrere Jahre erstreckt, können sich die Zielsetzungen dieser Aufgabe ändern oder gar die gesamte Aufgabe wegfallen. Um zu verhindern, dass die Doktoranden eine völlig neue Aufgabe wählen müssen, sollte ein projektunabhängiger Teil definiert werden, so dass die Promotion auch bei Wegfall der Aufgabe weitergeführt werden kann.

FL-3 Aktuellen Forschungsstand sichten

- **Bachelor:** Das notwendige Vorwissen wird durch die Lehrenden in Form von Vorlesungen vermittelt. Im Skript zur Vorlesung finden sich Unterlagen, die zur Bearbeitung der Forschungsaufgabe erforderlich sind. Zusätzliche Informationen werden über eine E-Learning Plattform zur Verfügung gestellt. Die Inhalte der Forschungsaufgaben werden durch die Studierenden selbst erarbeitet. Der

Austausch unter ihnen (z.B. auf der E-Learning Plattform) wird von mir aktiv gefördert. An den Diskussionen in den Foren der E-Learning Plattform nehme ich „im Hintergrund“ teil. Nicht jedes einzelne Posting wird von mir beantwortet. Falls jedoch unlösbare Probleme auftreten, stelle ich Lösungen bereit.

- **Master:** Selbständige Literaturrechen sind in den höheren Semestern Standard. Für die Studierenden wird eine Literaturliste erstellt, die zu ergänzen ist.
- **Promotion:** Die Doktoranden legen eine eigene Datenbank für ihr Forschungsgebiet an. Sie tauschen sich auf Konferenzen mit anderen Forschern aus.

FL-4 Wissenschaftliche Methodenkenntnisse erwerben

- **Bachelor:** Die wesentlichen Inhalte werden im Grundstudium im Rahmen einer Vorlesung und in den begleitenden Übungen, die von studentischen Tutorinnen und Tutoren betreut werden, und Aktivübungen, die von wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführt werden, vermittelt. Bei den Aktivübungen müssen die Studierenden ihre Lösungen vortragen und erhalten dadurch Vorleistungspunkte. Durch die Bereitstellung von Materialien zum Selbstlernen wird die Eigenständigkeit der Studierenden unterstützt.
- **Master:** In den höheren Semestern kommen vermehrt seminaristische Elemente hinzu.
- **Promotion:** Für die Doktoranden findet ein wöchentliches Seminar statt, in dem neben dem fachlichen Austausch auch methodische Fragestellungen behandelt werden. Im diesem Doktorandenseminar berichten jeweils zwei Doktoranden über ihre aktuellen Arbeiten. Es hat sich gezeigt, dass im Doktorandenseminar kürzere Präsentationen in kürzeren Abständen erfolgreicher sind als umfangreiche Präsentationen, die nur einmal im Semester stattfinden. Probleme können durch die Besprechungen in der Arbeitsgruppe vorzeitig erkannt werden. Es werden Experten zur Vermittlung von Methodenkenntnissen zu Vorträgen und Workshops eingeladen. Vermehrt werden auch Methodenworkshops von den kooperierenden Hochschulen angeboten.

FL-5 Forschungsarbeit durchführen

- **Bachelor:** Im Grundstudium ist die Erarbeitung der Ergebnisse in die Zeitstruktur der Veranstaltung integriert. Diese Phase findet vor und während sogenannter Projektwochen statt. Pro Semester sind drei Projektwochen vorgesehen, so dass die Studierenden drei Projektaufgaben bearbeiten. Sie müssen sich selbst organisieren, um die Aufgaben zu behandeln. Lösungen können während der Übungsphase mit Maple T.A. überprüft werden. In der Selbstlernphase steht ein kontinuierliches Feedback durch Maple T.A. bei der Bearbeitung ihrer Aufgaben zur Verfügung. Die Studentinnen und Studenten können sich gezielt auf die Prüfungen am Ende der jeweiligen Projektwoche vorbereiten. Durch die Vergabe von Vorleistungspunkten, die in den Projekten und Aktivübungen vergeben werden, kommt es zudem zu einem Abbau des Prüfungsdrucks während der Klausur. Beratungen finden während der Sprechstunden, per Mail und in den Foren statt.
- **Master:** Durch regelmäßige Projekttreffen während des gesamten Semesters wird eine kontinuierliche Bearbeitung sichergestellt. Es werden Protokolle angefertigt und Meilensteine definiert. Durch den Einsatz von modernen

Versionsverwaltungs- und Kollaborationstools kann professionell im Team an Forschungsaufgaben gearbeitet werden.

- **Promotion:** Die Doktoranden arbeiten weitestgehend selbständig. Sie erhalten Unterstützung, falls diese von ihnen eingefordert wird. Die in den Betreuungsvereinbarungen abgeschlossenen Inhalte werden regelmäßig überprüft und ggf. aktualisiert. Diese Überprüfungen dienen primär dem Schutz der Doktoranden und sind nicht als Erfolgskontrollmechanismen zu verstehen. Zentrale Elemente für die Promotion sind die Publikationen der Doktoranden. Anhand der Publikationen wird der Fortschritt im Promotionsprozess sichtbar gemacht.

FL-6 Forschungsergebnis veröffentlichen und präsentieren

1. **Bachelor:** In den ersten Semestern findet eine computerbasierte Abnahme der von den bis zu 750 Studierenden erzielten Ergebnisse statt. Die Studierenden können zur Vorbereitung auf die Abnahme beliebig viele Varianten der Aufgabe mit Maple T.A. erzeugen und die Korrektheit ihrer Lösungen selbstständig überprüfen. Für die eigentliche Abnahme wird eine weitere Variante der Aufgabe generiert. Diese wird unter Aufsicht im PC Pool der Hochschule bearbeitet. Hierfür werden Vorleistungspunkte vergeben.
2. **Master:** Die Studierenden präsentieren ihre individuellen Forschungsergebnisse im Rahmen von Abschlusskolloquien. Im Anschluss werden Publikationen für Fachzeitschriften, Workshops und Konferenzen erstellt, in denen die Einzelergebnisse zusammengefasst und erweitert werden.
3. **Promotion:** Präsentationen im wöchentlich stattfindenden Doktorandenseminar, im Seminar des betreuenden Professors an der Partneruniversität, auf Konferenzen und Tagungen sind obligatorisch. An dem Doktorandenseminar nehmen internationale Gäste teil. Die Transparenz der Forschung (Partizipation der Öffentlichkeit) ist hierbei ein wichtiges Leitmotiv. Es wird auf diese Weise deutlich, dass in jedem Fall als Ergebnis der Forschungsarbeit im SPOTSeven Lab nicht nur der Lerngewinn oder die Lernleistung für den Lernenden zählen. Die Ergebnisse werden darüber hinaus gewinnbringend von anderen Forschern und Anwendern in der Industrie genutzt. Die Veröffentlichung z.B. von Programmen als Ergebnis der Doktorandenforschung erfolgt standardgemäß als Open-Source. Somit wird eine eingangs erwähnte Kernforderung des Forschenden Lernens umgesetzt, nämlich „dass die Lernenden den Prozess eines Forschungsvorhabens, das auf die Gewinnung von auch für Dritte interessanten Erkenntnissen gerichtet ist“ [Hube70a] mitgestalten.

FL-7 Forschungsprozess reflektieren und Nachhaltigkeit sichern

- **Bachelor:** Einzelne Learning-Outcomes werden von mir zu Beginn der jeweiligen Veranstaltung detailliert beschrieben. Zur Erreichung der Learning Outcomes biete ich Lernaktivitäten auf ansteigenden Taxonomiestufen an.
 - Erinnern, verstehen und anwenden (Taxonomiestufen 1-3): Zur Wissensreproduktion eignen sich Übungsaufgaben, die vorlesungsbegleitend zum Skript in einer Aufgabensammlung angeboten werden. Zusätzlich können die Studierenden individualisierte Aufgabenstellungen rechnen, die mit Maple T.A. generiert werden und über das Internet abrufbar sind. Die Studierenden erhalten direkt eine online-Evaluation ihrer Lösungen.

- Verstehen, anwenden und analysieren (Taxonomiestufen 2-4) wird innerhalb sogenannter Aktivübungen gelernt. Lösungen müssen vor dem Übungstermin von den Studierenden abgegeben werden. In der Übung selbst werden die Lösungen besprochen.
- Die Beurteilung eines Sachverhaltes wie z.B. die Qualität einer Lösung oder die Zusammenfügung einzelner Elemente zu einem Ganzen (Taxonomiestufen 5 und 6) erfolgt im Rahmen der Vorlesung unter meiner Anleitung. Diese beiden Ausprägungsgrade sind nicht Gegenstand der Prüfungen im ersten Semester der Bachelorstudiengänge.

Die Studierenden erhalten ein kontinuierliches Feedback ihres Lernfortschritts, da Lösungen zu allen Aufgaben selbstständig via Maple T.A. jederzeit überprüft werden können. Die Leistungen werden nicht mehr nur punktuell (einmal im Semester durch eine Klausur) abgeprüft. Der Anreiz, kleinere Lerneinheiten zu erarbeiten, wird erhöht. Der Lernprozess wird verstetigt, Fortschritte werden transparent. Die Studierenden werden motiviert, Verantwortung für ihren Lernprozess zu übernehmen.

Mit den Teilnehmern der Vorlesungen führe ich nach Durchführung der Klausuren jeweils zum Semesterende Feedbackgespräche durch. Dadurch wird eine Reflexion des Vorgehens, des Arbeits- und des Gruppenprozesses, des Status und der Relevanz der Ergebnisse möglich. Die Ergebnisse der Feedbackgespräche werden für die gesamte Studierendengruppe veröffentlicht, so dass die Studierenden nachverfolgen können, welche Anregungen umgesetzt wurden.

- **Master:** In den höheren Semestern liegt der Schwerpunkt auf den höheren Taxonomiestufen. Es findet nach Beendigung der Veranstaltung ein Feedbackgespräch statt. Fester Bestandteil der von mir betreuten Abschlussarbeiten ist ein Kapitel, in dem die eigene Vorgehensweise und die gefundenen Ergebnisse von den Studierenden reflektiert werden.
- **Promotion:** Für Doktorandinnen und Doktoranden finden regelmäßige Besprechungen im Doktorandenseminar statt.

4 Beispiel Helikopter

Nach der allgemein gehaltenen Beschreibung der sieben Prozessschritte im letzten Abschnitt wird zur Illustration eine beispielhafte Umsetzung anhand eines Helikopterprojektes beschrieben (siehe Abbildung 4). Dieses Projekt wird jeweils mit Studierenden des fünften Semesters in den ingenieurwissenschaftlichen Bachelorstudiengängen durchgeführt [Bart15u].

- **FL-1. Wissenschaftliche Fragestellung formulieren:** Die Flugeigenschaften eines Helikopters hängen von der Dimensionierung der Rotorblätter ab. Wie kann die optimale Breite und Länge eines Rotorblattes bestimmt werden?
- **FL-2. Wissenschaftliche Forschungsaufgabe spezifizieren:** Um die Aufgabenstellung zu konkretisieren (und die Kosten zu begrenzen), werden Papierhelikopter untersucht. Breite und Länge der Rotorblätter können mit einer Schere angepasst werden. Flugversuche finden im Foyer und in den Treppenhäusern der Hochschule statt.
- **FL-3. Aktuellen Forschungsstand sichten:** In welchen Fachdisziplinen werden vergleichbare Fragestellungen bearbeitet? Gibt es Lösungsansätze?

- **FL-4. Wissenschaftliche Methodenkenntnisse erwerben:** Es werden statistische Grundlagen (Regression, Varianzanalyse) benötigt, die im dritten Semester in der Vorlesung Mathematik behandelt wurden. Methoden der Versuchsplanung werden eingeübt. Die zur Verwendung stehenden Ressourcen werden verplant: Jede Gruppe überlegt, wie viele Versuche durchgeführt werden können. Danach werden Versuchspläne aufgestellt und die Anzahl der unterschiedlichen Helikoptertypen für die Experimente berechnet.
- **FL-5. Forschungsarbeit durchführen:** Die Versuche werden als Gruppenarbeiten durchgeführt. Einteilung der Verantwortlichkeiten. Aufstellen von Hypothesen. Datenerhebung (Flugversuche). Analyse. Überprüfung der Hypothesen.
- **FL-6.: Forschungsergebnis veröffentlichen und präsentieren:** Statistische Auswertungen, Ergebnisvisualisierung, Diskussion der Ergebnisse, Erkundung eventueller Fehler.
- **FL-7. Forschungsprozess reflektieren und Nachhaltigkeit sichern:** Praxisbezug: Unterschiede zwischen realen Helikopter-Tests und den durchgeführten Papier-Helikopter Versuchen. Was wurde gelernt? Evaluation der Veranstaltung.

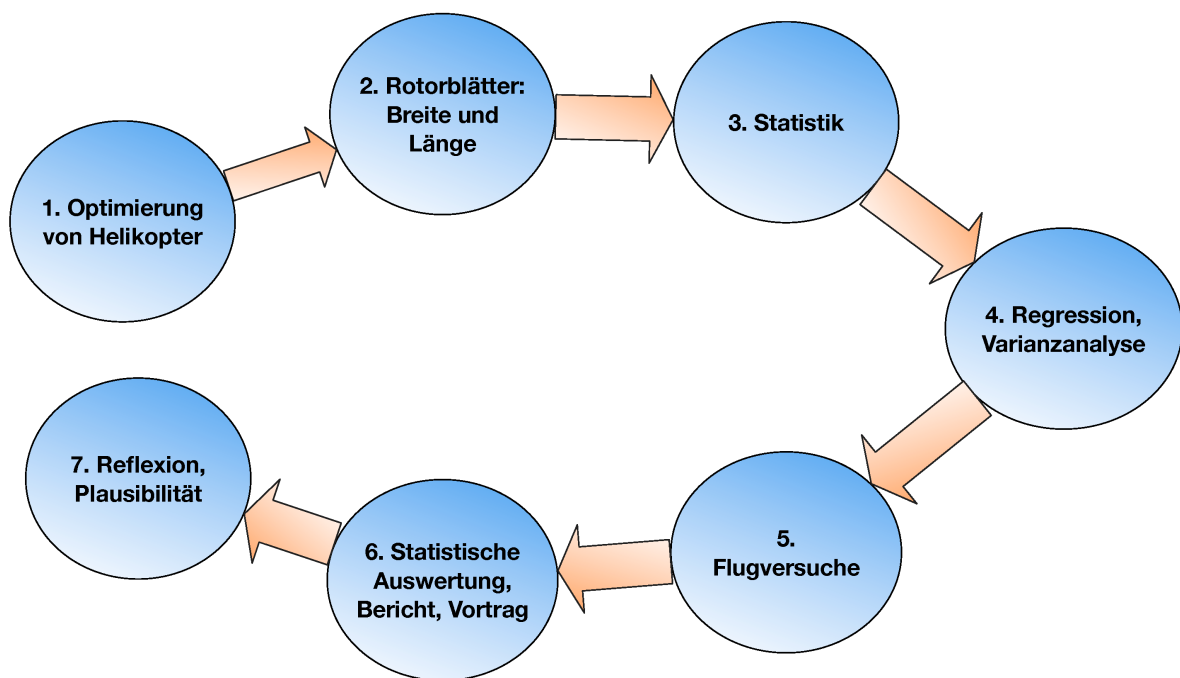


Abbildung 4. Die sieben Schritte des FLSeven Modells am Beispiel des Helikopter-Projekts.

5 Diskussion

Das FLSeven Prozessmodell stellt Referenzpunkte zur Umsetzung und Diskussion des Forschenden Lernens an Hochschulen zur Verfügung. Es berücksichtigt dabei die Eigenheiten ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge.

Karriereplanung

Für welche Studierenden ist das Forschende Lernen geeignet?

Das FLSeven Modell ermöglicht die schrittweise Planung wissenschaftlicher Karrieren für Studierende, wobei die gesamte Kette vom Grundstudium bis zur Promotion berücksichtigt wird.

Durch das Forschende Lernen werden auch die Lernbedürfnisse der Studierenden berücksichtigt, die keinen Master oder keine Promotion anstreben. Alle Beteiligten profitieren von der Vermittlung von Lernkompetenzen für die Berufsfähigkeit in hochqualifizierten Berufen. Sie erhalten eine breite Orientierung, lernen vernetzendes Denken und methodische Flexibilität, Ausdauer, Teamfähigkeit und Verantwortungsbereitschaft. Sie finden kreativitätsfordernde und -fördernde Settings vor, bearbeiten individuelle Aufgaben (Recherchen, Konstruktionsaufgaben usw.) in kooperativen Projekten. Die zu bearbeitenden Aufgaben sind weitestgehend authentisch. Durch das kontinuierliche Feedback und durch die Anerkennung von Teilleistungspunkten wird der Prüfungsdruck in Klausuren abgebaut und das Aufschieben der Prüfungen reduziert.

Berücksichtigung der wissenschaftlichen Disziplinen

Für welche Studiengänge ist das Prozessmodell FLSeven geeignet?

Jede wissenschaftliche Disziplin besitzt eine spezifische Vorgehensweise zur Gewinnung von Forschungsergebnissen. Die generelle Vorgehensweise bei der Umsetzung des Forschenden Lernens ist in den unterschiedlichen Disziplinen vergleichbar. So setzt die von Huber entwickelte Definition des Forschenden Lernens keine spezielle Forschungsdisziplin voraus.

Die einzelnen Phasen des FLSeven Prozessmodells erhalten eine unterschiedliche Gewichtung, die für die jeweilige Fachdisziplin angepasst werden können.

Soziales Lernen

Wie wird im FLSeven Modell des Forschenden Lernens der gesellschaftliche Kontext berücksichtigt?

Forschendes Lernen spielt sich in einer sozialen Gemeinschaft ab. Es handelt sich um einen offenen Dialog. Die Studierenden können den gesellschaftlichen Kontext und die Verantwortung der Wissenschaft mitdiskutieren.

Die wissenschaftliche Gemeinschaft wird im Laufe des Forschungsprozesses größer: Zunächst ist der Austausch auf die Mitstudierenden und die Dozierenden sowie im Laufe des Studienzyklus auf Industriepartner beschränkt. Die Doktorarbeit schließlich ist einem breiten internationalen Publikum zugänglich und wird vor diesem „verteidigt“. Neben diesen Interaktionen nach außen gibt es einen starken Einfluss nach innen. Das Forschungsteam der von mir geleiteten Arbeitsgruppe im SPOTSeven Lab besteht aus Studierenden mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen (Informatiker, Elektrotechniker, Automatisierungstechniker, Statistiker). Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kommen aus verschiedenen Nationen (Deutschland, Vietnam, Kolumbien, Russland, Polen). Einerseits verbessert sich die Qualität der Forschungsergebnisse durch die Zusammenarbeit im Team. Andererseits entstehen auch soziale Kompetenzen. Die Fähigkeit, andere zu verstehen sowie sich ihnen gegenüber situationsangemessen zu verhalten, ist grundlegend. Auch werden Führungsqualitäten z.B. bei der Anleitung von Bachelorstudierenden erlernt. Die Heterogenität des Teams ist nicht nur für den fachlichen Austausch ein großer Vorteil. Es ist motivierend, einen Büroraum zu betreten, in dem die Freude an der Zusammenarbeit unmittelbar erfahrbar ist.

Unterschiede nicht verwischen

Gibt es Unterschiede zwischen dem Forschenden Lernen und Forschen?

Forschendes Lernen ist im Gegensatz zur eigentlichen Forschung nicht nur produktorientiert. Es ist zusätzlich prozessorientiert und erfahrungsbezogen. Deshalb sollten die unterschiedlichen Zielsetzungen von Forschungs- und Lernprozessen nicht ignoriert werden. Schneider & Wildt [Schn09a] gehen zwar von einer Analogie zwischen Forschungs- und Lernprozess aus, betonen allerdings eine grundlegende Differenz der Bezugssysteme von Forschen und Lernen: „Während Forschen auf einen originären Erkenntnisgewinn innerhalb eines Wissenschaftssystems abzielt, ist Lernen auf subjektiv neuen bzw. bedeutsamen Erkenntnisgewinn angelegt.“ [Crom15a]. Forschungs- und Lernprozess sind also nicht von vornherein identisch. Der Lernprozess kann aber so gestaltet werden, dass reale Handlungsabläufe unter Bezugnahme persönlicher Erfahrung und wissenschaftlicher Theorien aktiv erprobt werden [Eule05a].

Literatur

[Bart15u] T. Bartz-Beielstein. Wie im Flug gelernt. Online: https://www.th-koeln.de/hochschule/wie-im-flug-gelernt_17983.php. Abgerufen am 3.9.2015.

[Bloo56a] B.S. Bloom, M.D. Engelhart, E.J. Furst, W.H. Hill, und D.R. Krathwohl. *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. Handbook I: Cognitive domain. New York: David McKay, 1956.

[Brei13a] B. Breiderhoff, T. Bartz-Beielstein, B. Naujoks, M. Zaefferer, A. Fischbach, O. Flasch, M. Friese, O. Mersmann, and J. Stork. Simulation and optimization of cyclone dust separators. In F. Hoffmann and E. Hüllermeier, editors, *Proceedings 23. Workshop Computational Intelligence*, pages 177–195. Institut für Angewandte Informatik/Automatisierungstechnik am Karlsruher Institut für Technologie, KIT Scientific Publishing, 2013.

[Crom15a]. A. van Wickevoort Crommelin. Forschendes Lernen – Genese des Konzepts und aktuelle Ansätze. Online: http://www.uni-greifswald.de/fileadmin/mp/1_studieren/Qualitaetssicherung/interStudies/FLL/Genese_Ansaetze_forschendesLernen.pdf. Abgerufen am 4.9.2015.

[Eule05a] D. Euler. Forschendes Lernen. In W. Wunderlich und S. Spoun, Hrsg., *Universität und Persönlichkeitsentwicklung*. Campus, 2005.

[Heuc13a] S. Heuchemer. Profil2 – Projekte für inspirierendes Lehren und Lernen. Antrag im Rahmen des gemeinsamen Programms des Bundes und der Länder für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre. Online: https://www.th-koeln.de/mam/downloads/deutsch/hochschule/profil/lehre/profil2_antrag_ministerium.pdf. Abgerufen am 4.9.2015.

[Rein14a] G. Reinmann and S. Sippel. Königsweg oder Sackgasse? E-Portfolios für das forschende Lernen. Preprint, 2014. Online: http://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2009/11/Artikel_Hamburg_CampInnovation_final.pdf. Abgerufen am 13.9.2015.

[Schn09a] R. Schneider and J. Wildt. Forschendes Lernen und Kompetenzentwicklung. In: Forschendes Lernen im Studium, S. 53–68. Webler, 2009.

[Stra10a] G. Strang. Wissenschaftliches Rechnen. Springer, 2010.

[Trem12b] T. Hildebrand and P. Tresp. Forschungsorientiertes Studium - universitäre Lehre: Das „Zürcher Framework“ zur Verknüpfung von Lehre und Forschung. In T. Brinker and P. Tresp, editors, Einführung in die Studiengangentwicklung, S. 101–116. W. Bertelsmann, Bielefeld, 2012.

[Wedd00a] H. F. Wedde and T. Beielstein. Informatik an einer Waldorfschule: Ziele, Erfahrungen, Perspektiven. Erziehungskunst, 6:678–687, Juni 2000.

[Kolb76a] D. A. Kolb. The Learning Style Inventory: Technical Manual. McBer & Co, Boston MA, 1976. Online: http://learningfromexperience.com/media/2010/08/tech_spec_lsi.pdf. Abgerufen am 5.9.2015.

[Wild09a] J. Wildt. Forschendes Lernen: Lernen im “Format” der Forschung. journal hochschuldidaktik, 20(2):4–6, 2009.

[Zuel15a] J. Zülch. Warum nicht im Kleinen beginnen? Forschendes Lernen in den Lehralltag integrieren. LEHRE LADEN: Downloadcenter für inspirierende Lehre der RU Bochum, 2015. Online: <https://dbs-lin.ruhr-uni-bochum.de/lehreladen/lehrformate-methoden/forschendes-lernen/integration-in-den-lehralltag/>. Abgerufen am 5.9.2015.

Information zur Person

Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein hat seit dem Jahre 2006 die Professur „Angewandte Mathematik“ an der TH Köln inne. In dieser Zeit gelang es ihm, mit SPOTSeven ein interdisziplinäres Forschungsteam zusammenzustellen, das weltweit einen exzellenten Ruf genießt. Er ist Sprecher des Forschungsschwerpunktes Cplus (Computational Intelligence plus). Prof. Bartz-Beielstein studierte Mathematik und Informatik an der TU Dortmund und Mathematik und Pädagogik am Institut für Waldorfpädagogik in Witten-Annen.

Ciplus
Band 1/2016

Forschendes Lernen – vom Bachelor zur Promotion in den Ingenieurwissenschaften

Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein

Institut für Informatik

Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften

Technische Hochschule Köln

Februar 2016

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung liegt beim Autor.

**Technology
Arts Sciences
TH Köln**