

# Computational Metaphysics

Bewerbung zum zentralen Lehrpreis der Freien Universität Berlin

PD DR. CHRISTOPH BENZMÜLLER, MAX WISNIEWSKI, ALEXANDER STEEN  
Institut für Informatik – Arnimallee 7, 14195 Berlin

## 1 Einleitung

Die Formale Logik ist gleichermaßen beheimatet in der Philosophie, der Mathematik und der Informatik. Mit leicht unterschiedlicher Ausprägung ist sie in all diesen Disziplinen sowohl auf Anfänger- als auch auf Fortgeschrittenen-Niveau in Lehrveranstaltungen der jeweiligen Studiengänge vertreten. Kernthemen wie z.B. Aussagen- und Prädikatenlogik oder der Kalkül des natürlichen Schließens werden nicht selten mehrfach angesprochen, andere wichtige Themen aus Zeitgründen oft übergangen.

An vielen Universitäten, auch an der Freien Universität Berlin (zumindest in der Mathematik und Informatik), kommt der Logikausbildung aber dennoch eine vergleichsweise bescheidene Rolle zu. Insbesondere im deutschen akademischen System gibt es zudem kaum (oder zumindest zu wenige) Kooperationen zur Logikausbildung zwischen den genannten Fachbereichen. Interessante und wichtige Synergieeffekte können dadurch leider nicht ausgeschöpft werden und zunehmend relevante, fachdisziplinübergreifende Diskussionen werden nicht geführt.

Die beschriebene Situation steht im Widerspruch zu bemerkenswerten, recht aktuellen Erfolgen in den formalen Methoden, speziell von Verifikationswerkzeugen, sowohl in der Mathematik als auch in der Metaphysik. Diese Erfolge, die mit modernen, logikbasierten Beweisassistenzsystemen erzielt wurden, haben insbesondere auch verstärktes öffentliches Aufsehen erregt und sie deuten (zumindest in unserer Auffassung) auf einen sich anbahnenden Paradigmenwechsel hin, der die Mathematik und theoretische Philosophie/Metaphysik gleichermaßen betrifft.<sup>1</sup>

Mit unserer Lehrveranstaltung richten wir uns deshalb gleichzeitig an Studierende der Philosophie, Mathematik und Informatik. Ziel ist es eine fachübergreifende Einführung in verschiedene (theoretische) Logikformalismen mit einer praktisch motivierten Einführung in moderne, computer-basierte Beweisassistenzsysteme zu kombinieren. Obwohl diese Systeme mittlerweile recht hoch entwickelt sind und eine Nachfrage der Industrie nach entsprechend ausgebildeten Universitätsabgängern bereits besteht und weiter zunehmen wird, werden diese in der Logikausbildung an Hochschulen noch kaum eingesetzt. Dies gilt im Besonderen für die Freie Universität Berlin.

Nach erfolgreicher Einarbeitung in die theoretischen Grundlagen und die zum Einsatz vorgesehenen Beweisassistenzsysteme soll die Lehrveranstaltung darin münden – als Höhepunkt der Veranstaltung – die Studierenden zu befähigen die erwähnten Arbeiten zur Verifikation des ontologischen Gottesbeweises mit einem Computersystem selbst nachzuvollziehen.

Anschließend soll fachübergreifend die Bedeutung dieser Arbeit diskutiert werden, insbesondere im Hinblick auf eine computationale Metaphysik und die sich andeutende (und zum Teil bereits nachgewiesene) Möglichkeit der formalen Verifikation von Publikationen in diesem Bereich.

In Projektarbeiten sollen die Studierenden versuchen, die erlernten Techniken auf weitere, ähnliche Argumente in der Metaphysik zu übertragen und anzuwenden. Dabei soll aber auch der enge übergeordnete Bezug zu verwandten, aber technisch weitaus komplexeren Arbeiten in der Mathematik (Beweis der Kepler'schen Vermutung) beleuchtet werden.

## 2 Themenschwerpunkt und Ausrichtung der Lehrveranstaltung

Das im folgenden beschriebene Lehrvorhaben richtet sich an Masterstudierende aus den Studiengängen Philosophie, Mathematik und Informatik. In allen drei Studiengängen werden bereits im Grund- bzw. Bachelorstudium Grundlagen der formalen Logik gelehrt, auf die wir in unseren Lehrveranstaltungen aufbauen wollen. Durch die Einschränkung der Zielgruppe auf Masterstudierende können einige wichtige Themen als bekannt vorausgesetzt werden. Dies erlaubt es uns, ausschließlich ausgewählte, für die Veranstaltung essenzielle, Grundlagen der maschinengestützten Metaphysik zu thematisieren – den Fokus der Veranstaltung und den Großteil der praktischen Übungen jedoch auf aktuelle Forschungsthemen (s.u.) zu richten.

---

<sup>1</sup>Siehe zum Beispiel folgende Artikel zum formalen Beweis der Kepler'schen Vermutung in der Mathematik und zur formalen Analyse des Ontologischen Gottesbeweises:

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/keplersche-vermutung-mathematiker-beweist-kugelstapel-theorie-a-986851.html> und

<https://www.quantamagazine.org/20130222-in-computers-we-trust/> bzw.

<http://www.spiegel.de/international/germany/scientists-use-computer-to-mathematically-prove-goedel-god-theorem-a-928668.html>.

Die Grobziele dieser (und geplanter weiterer) Lehrveranstaltungen umfassen folgende Kernpunkte:

Die Studierenden ...

- beherrschen die logischen Grundlagen zur Vorlesung: insbesondere klassische Logik höherer Stufe (eine mathematische Logik) und höherstufige modale Logiken (Philosophie), sowie deren Verbindungspunkte.
- kennen das Forschungsfeld der komputationalen Metaphysik und verstehen dessen formale Grundlagen.
- können die Berührungspunkte der philosophischen und informatischen Forschung bestimmen und können beurteilen, welche Synergien durch entsprechende interdisziplinäre Arbeit entstehen.
- können argumentieren, auf Basis welchen formalen Systems sich eine (philosophische) Argumentation angemessen formalisieren lässt.
- können selbstständig entsprechende Einbettungen von nicht-klassischen Logiken (in klassische Prädikatenlogik höherer Stufe) ableiten.
- können aktuelle Beweisassistenzsysteme auf einem Computer bedienen und sinnvoll zur Unterstützung von Argumentationen anwenden.

Beispielhaft werden diese Punkte in den unten beschriebenen Lehrveranstaltungen an der Formalisierung und Analyse des ontologischen Gottesbeweises demonstriert und motiviert. Das Leitmotiv des ontologischen Gottesbeweises eignet sich besonders als roter Faden des Lehrvorhabens: Es ist einerseits ein philosophisch höchst anspruchsvolles und belebtes Thema und führte zu vielen kontroversen Forschungsarbeiten. Andererseits demonstriert es verständlich wichtige Konzepte der Modallogik (einer Erweiterung der klassischen Aussagen- bzw. Prädikatenlogik mit besonderer Bedeutung in der Philosophie), motiviert den Einsatz von Beweisassistenzsystemen aus der Informatik und zeigt gleichermaßen die Relevanz des formalen Ansatzes der maschinengestützten Argumentation. Zu den zuletzt genannten Punkten zählt u.a. die formale Verifikation und Widerlegung von Argumentationen aus bekannter Literatur.

Das Lehrvorhaben ist als Startpunkt einer größeren Vorlesungs- und Projektreihe zum Themenschwerpunkt "Computational Metaphysics" geplant und soll langfristig als interdisziplinäre Spezialisierung an der Freien Universität Berlin etabliert werden. Dazu gehört ebenfalls die Erweiterung des Lehrangebots um eine Bachelorveranstaltung und spezialisierte (Software-)projekte, die das breite Spektrum des Forschungsfelds bereits früh beleuchten bzw. eine Vertiefung erlauben. Dieses geplante Lehrangebot soll letztendlich schon im Grundstudium das Interesse von potenziellen Nachwuchs wecken sowie praxisorientiert in das Forschungsfeld einführen und somit die geplante Forschungsrichtung (siehe Absatz "Aktuelle Forschung") widerspiegeln und unterstützen.

Wir sind der festen Überzeugung, dass sich eine frühe Schwerpunktsetzung in Forschung und Lehre im Bereich der komputationalen Metaphysik nicht nur als ein Alleinstellungsmerkmal der FU Berlin als Vorreiter auf diesem Gebiet ausdrückt, sondern ebenfalls die Lehr- und Lernkultur in den Schnittgebieten der Philosophie, der Mathematik und der Informatik nachhaltig weiterentwickelt: So können die aktuell noch weitgehend voneinander getrennten Gebiete der (theoretischen) Philosophie auf der einen Seite und der Mathematik/Informatik auf der anderen Seite von den Anwendungen und den verfügbaren (Computer-)Werkzeugen des jeweils anderen profitieren. Insbesondere können sonst eher theoretisch dominierte Themen aus dem Gebiet der formalen Logik mit Hilfe von Beispielen und konkreten Interaktionen direkt mediengestützt (z.B. an einem Beweisassistenzsystemen) nachvollzogen werden.

### 3 Format, Inhalt, Lehrmethoden und Arbeitsformen

Das geplante Lehrvorhaben setzt sich aus zwei Teilveranstaltungen zusammen. Der erste Veranstaltungsteil, eine Vorlesung, soll die heterogene Wissensbasis bei den Studierenden der unterschiedlichen Fachbereiche Philosophie, Mathematik und Informatik angleichen. Auf dieser Grundlage werden dann die logische Einbettung mit aktuellen Forschungsergebnissen, eine Auswahl von modernen Beweisassistenten und Anwendungen der Einbettung auf verschiedene Fragestellungen der Philosophie präsentiert und diskutiert. Die Vorlesung soll dabei von Gastvorträgen der momentanen Spezialisten in den jeweils behandelten Themen durchsetzt sein.

Im zweiten Veranstaltungsteil, der Übung, sollen sich die Studierenden unter Anleitung bzw. Moderation selbstständig in Gruppen mit aktuellen Forschungsthemen beschäftigen und diskutieren. Die Übung ist dabei als Ergänzung und praktische Vertiefung der Themen Kalküle einbettung, maschinengestützten Beweisen und metaphysisches Schließen geplant. Beide Teilveranstaltungen haben einen Umfang von zwei SWS und finden damit jeweils einmal pro Woche statt. Am Ende des Semesters findet eine mündliche Prüfung über ein von den Studierenden selbst erarbeitetes (Gruppen-)Forschungsprojekt statt.

Beide Veranstaltungsteile gliedern sich in drei Teile (siehe Abb. 1), die thematisch eng miteinander gekoppelt sind und die Studierenden über das Gelernte reflektieren lässt.

#### Vorlesung: Formale Logik und Metaphysik

Die Erfahrung der Studierenden ist aufgrund der unterschiedlichen Ausbildungen in den jeweiligen Fachbereichen sehr heterogen. Ausgehend hiervon wird zuerst der Übergang von Aussagenlogik und Prädikatenlogik erster Stufe

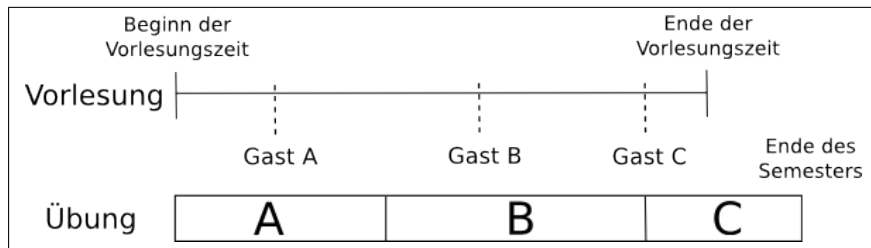


Abbildung 1: Grobplanung der Themengebiete von Vorlesung und Übung

zu Prädikatenlogik höherer Stufe vollzogen. Diese ausdrucksstarke Logik ist die Grundlage für den folgenden Einbettungsansatz, ist aber in den Fachbereichen kaum oder nur am Rande thematisiert. Hierbei werden auch die nur teilweise bekannten Logikkalküle wie der Kalkül des natürlichen Schließens, der Sequenzenkalkül und der Resolutionskalkül auf Prädikatenlogik höherer Stufe erweitert. Dieser meist theoretische Anteil wird durch motivierende Beispiele aufgebrochen.

Nach diesen Grundlagen wird der Ansatz der Logikeinbettung für Modallogik vorgestellt und am Beispiel des ontologischen Gottesbeweises illustriert. An dieser Stelle wird ein Gastvortrag eingeplant um einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand im Bereich der komputationalen Metaphysik zu geben. Hier bietet sich unter anderen Dr. Edward Zalta von der Stanford University an. Im Kontext des ontologischen Gottesbeweises werden mediengestützte Live-Demonstrationen (am PC) durchgeführt.

Im nächsten großen Abschnitt werden die Studierenden an maschinengestützte Beweisassistenten herangeführt: In Dialogform wird der Dozent mit den Studierenden zunächst einige Beweise mit Papier und Bleistift anfertigen und die Beweisführung dann Schritt für Schritt in ein formales Beweissystem wie Isabelle/HOL übertragen. Die Studierenden sollen hierbei die Zusammenhänge eines klassischen Beweises und eines formalen Beweises lernen. Insbesondere an dieser Stelle bietet sich das Abwechseln von Vortrag und Peer Instruction-Methoden als Arbeitsform an. Nach der Vermittlung eines grundlegenden Verständnisses für die Beweisassistenten ist wieder ein Gastvortrag vorgesehen. Hier bieten sich Dr. Bruno Woltzenlogel Paleo als Spezialist für die Anwendung von Beweissystemen für die Metaphysik und Prof. Dr. Larry Paulson von der Cambridge University als Spezialist für den Beweisassistenten Isabelle/HOL an.

Im letzten Abschnitt der Vorlesung wird eine Diskussion zu einem möglichen Paradigmenwechsel zwischen menschlicher und komputationaler Intelligenz angeregt. Verschiedene Anwendungsgebiete für maschinengestützte Beweise werden vorgestellt und zusammen mit den Studierenden erarbeitet. Hier bietet sich ein Vortrag von Prof. Dr. Wolfgang Lenzen von der Universität Bochum oder von Prof. Ph.D Frode Bjørdal an, die als Philosophen im Bereich der Metaphysik Einblick in interessante, forschungsrelevante Anwendungen und Themenbereiche geben können.

## Übung: Anwendungen und Automatisierung

Die Übung ist den Themenkomplexen der Vorlesung entsprechend in drei Teile, die methodisch auf den gelehrten Stoff abgestimmt sind, aufgeteilt.

Im Teil A der Übung sollen die Studierenden in einer seminaristischen Übung die Grundlagen der Prädikatenlogik höherer Stufe vertiefen und auf Beispiele anwenden. Hier bietet sich insbesondere eine Arbeitsform entsprechend der Expertengruppen-Methode an. Aktuelle Forschungsliteratur soll erarbeitet und in der Gruppe unter Anleitung diskutiert werden. Der Einbettungsansatz soll in diesen Gruppen auf weitere Logiken angewandt und der Gruppe präsentiert werden.

Im Teil B der Übung lernen die Studierenden den Umgang mit computergestützten Beweisassistenten in betreuten Übungen am Computer. Dabei sollen die Studierenden vertiefende Beispiele zur Vorlesung in z.B. Isabelle/HOL bearbeiten. Als Verbindung zum Gastvortrag und zum ersten Vorlesungsteil soll der ontologische Gottesbeweis in Isabelle/HOL formalisiert und (teil-)automatisch gelöst werden.

Im letzten Teil C sollen sich die Studierenden in kleinen Gruppen (max. 5 Personen) nach vorheriger Gruppenberatung auf eine nicht-klassische Logik festlegen, sowie auf einige Fragestellungen in dieser Logik. Der letzte Gastvortrag ist genau zu Beginn dieses Teils angesetzt, so dass die Studierenden einen möglichst guten Überblick über mögliche Themen bekommen können.

## Prüfung: Projektpräsentation

Die Studierenden haben bis zum Ende des Semesters Zeit an ihrem ausgewählten Projekt zu arbeiten. Die Abschlussprüfung ist eine Projektpräsentation in der Gruppe. Dort werden die Prüflinge ihrer Arbeit den Teilnehmenden der Lehrveranstaltung vorstellen, ihre Vorgehensweise beschreiben und die Ergebnisse diskutieren.

Jede gute Arbeit kann potenziell in einer wissenschaftlichen Publikation münden, für dessen Veröffentlichung die Gruppen weiterführende Betreuung durch die Antragsteller erhalten. Engagierte Teilnehmende können darüber hinaus für offene Promotionsstellen weiter empfohlen werden.

## 4 Veranstaltungskontext

### Aktuelle Forschung

Die Lehrveranstaltungen steht in engem inhaltlichen Zusammenhang zu den laufenden Forschungs- und Projekthemen der Antragsteller:

- Die Computationale Metaphysik steht im Mittelpunkt der Forschungsarbeit von Benz Müller im Heisenbergstipendium (DFG BE 2501/9-2). Die erwähnte Computer-basierte Analyse des ontologischen Gottesbeweises und die zugrundeliegende Technik zur Einbettung nicht-klassischer Logiken in die klassische Logik höherer Stufe ist in diesem Kontext erarbeitet worden.
- Im "Leo-III" Projekt (DFG BE 2501/11-1) wird ein automatischer Beweiser für die Prädikatenlogik erster und höherer Stufe entwickelt. Dieser wird wie der Vorgänger "LEO-II" in "Isabelle/HOL" zur Automatisierung von Unterproblemen integriert werden.
- Es gibt bereits mehrere Publikationen zum Thema, sowie großes Medieninteresse (s.o.).
- Benz Müller hat eingeladene Vorträge zum Thema an vielen renommierten Institution und internationalen Fachveranstaltungen gehalten (u.a. 1st World Congress on Logic and Religion, João Pessoa, Brazil, 2015; Intl. Tableaux Conference, Polen, 2015; Logic Summer School, ANU, Australia, 2015; Dagstuhl Seminar 15381 — Deduction: Models and Proofs, 2015; World Congress on the Square of Opposition, Vatican, 2014; 21. Jahrestagung der GI-Fachgruppe 'Logik in der Informatik', 2014; Sinaia, Romania, 2014. Lange Nacht der Wissenschaften, 2014/2015; viele weitere Vorträge und Kurse sind bereits vereinbart)

Wir fassen Benz Müller's Forschungsinteressen und Beiträge kurz zusammen (hier in englischer Sprache):

*Benz Müller is a logician working on the boundary of different disciplines: mathematical logic, computer science, artificial intelligence, philosophy and computational linguistics.*

*His research is founded on an expressive mathematical logic: Church's type theory, also known as classical higher-order logic (HOL), which Church proposed as a foundation for mathematics. In his PhD work and afterwards he has worked on the semantics and the proof theory of (modern variants of) this logic. Moreover, he has significantly contributed to its mechanization and automation using computers.*

*From early on the architecture and implementation of his higher-order automated theorem provers LEO-I, LEO-II and Leo-III, integrated artificial intelligence techniques and ideas. LEO-II and Leo-III are also employing state of the art implementation techniques and data structures from computer science. The provers have found international acclaim; for example, LEO-II was the TPTP world champion in higher-order automated theorem proving in 2010.*

*Most importantly, however, the development of the LEO-II prover paralleled and strongly influenced the joint development of the international TPTP THF infrastructure. The THF syntax format has been adopted by several other provers and it very successfully serves as an exchange format between interactive proof assistants (such as Isabelle/HOL) and the HOL automated theorem provers.*

*Benz Müller has applied HOL theorem provers in various domains, including computer science, maths, artificial intelligence and most recently philosophy (metaphysics). In recent experiments in computational metaphysics my theorem LEO-II has contributed some very relevant but previously unknown results about the ontological argument (in Kurt Gödel's version) for the existence of God.*

*To make this possible, Benz Müller had previously shown how classical HOL can be utilized as a meta-logic to elegantly and effectively embed various quantified non-classical logics, including higher-order modal logic as employed in Gödel's proof.*

*This work in metaphysics, which has some obvious relation to Leibniz' vision known as Calculus! and which provides a promising link between maths, computer science and philosophy, had a media repercussion on a global scale.*

*In addition to these core research contributions, Benz Müller has headed research projects on the edge to computational linguistics (natural language dialog), tutoring, human-computer interaction and (proof) planning. A significant time of his early career went into the OMEGA project (mathematical proof assistant) and the Calculus! research training network (integration of symbolic computation and symbolic reasoning).*

## Internationale Kooperation

Das Forschungsfeld der automatischen Deduktionssysteme hat eine breite und aktive Publikations- und Konferenzumgebung. Insbesondere mit der Anwendung auf Themen der Philosophie/Metaphysik kommen weitere Philosophie-dominierte Zeitschriften bzw. Konferenzen hinzu.

Das Thema des Lehrvorhabens ist von großem internationalen Interesse, u.a.:

- Benzmüller absolviert eine Gastprofessur (visiting scholar) in Stanford zur Vorbereitung auf das Thema der komputationalen Metaphysik. Hier findet eine enge Zusammenarbeit mit dem Philosophen Ed Zalta und seiner Computational Metaphysics group statt. Die Formalisierung von Zalta's "Principia Metaphysica" mithilfe der zuvor beschriebenen Methoden ist ein zentrales Thema des Aufenthalts und steht im engen Zusammenhang mit den Themen der Lehrvorhabens. Benzmüller hat Einladungen zu Vorträgen zur komputationalen Metaphysik angenommen in Stanford (Oktober 2015), am Stanford Research Institute (SRI, Dezember 2015), UC Berkeley (Frühjahr 2016).
- ARC Antrag/Projekt mit Bruno Woltzenlogel Paleo zum Thema Computationale Metaphysik an der ANU Canberra in Australien mit beantragten 2 PhD Stellen, geeignete PhD Kandidaten könnten in der Vorlesung gesichtet werden. Benzmüller (gemeinsam mit Woltzenlogel Paleo) hält im Dezember 2015 einen einwöchigen Kompaktkurs zum Thema höherstufige Modallogiken und deren Einbettung in klassische Prädikatenlogik höherer Stufe an der Australian National University (ANU) in Canberra.
- Benzmüller steht in engem Kontakt mit dem IIT Kharagpur in Indien und hält dort Anfang November einen eingeladenen, fachübergreifenden Vortrag zum Thema komputationale Metaphysik vor mehr als 1000 Nachwuchswissenschaftlern.

Es besteht ebenfalls großes Interesse gemeinsam mit Stanford und ANU PhD Arbeiten zu betreuen.

Als mögliche Gastredner in der Vorlesung bieten sich an: Prof. Dr. Wolfgang Lenzen (Philosophie/Metaphysik, Bochum), Dr. Edward Zalta (Philosophie/Metaphysik, Stanford, USA), Dr. Bruno Woltzenlogel Paleo (Informatik, ANU, Australien), Prof. Dr. Larry Paulson (Informatik, Isabelle/HOL System, Cambridge, UK)

## 5 Lern- und Qualifikationsziele

Als Verfeinerung der weiter oben genannten Grobziele, sind nachfolgend die Qualifikationsziele des beschriebenen Lehrvorhabens aufgeführt: Nach Abschluss der Lehrveranstaltung sollen die Studierenden die Grundbegriffe der modernen Logik kennen. Sie verstehen die üblichen Resultate der klassischen Logiken (Aussagenlogik und Prädikatenlogik erster und höherer Stufe). Die Studierenden verstehen den Zweck von nicht-klassischen Logiken (wie Modallogik, Temporallogik, Konditionallogik, ...) und können insbesondere deren Verwendung in der (philosophischen) Argumentation beurteilen. Die Studierenden können mit Hilfe von Beweiskalkülen formale Aussagen verifizieren oder widerlegen. Sie können fachsprachliche Texte über logische Grundlagen und Techniken aus dem Bereich der Informatik und Philosophie verstehen und sind in der Lage, Zusammenhänge zu bereits kennengelernten Themen selbstständig zu erkennen. Am Ende der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage relevante Themen der theoretischen Philosophie auf ihre logischen Kerninhalte zu reduzieren und mit Hilfe von geeigneten Techniken und Werkzeugen selbstständig formalisieren.

## 6 Integration in das Lehrangebot

Wie bereits beschrieben, hat das Forschungsprojekt in dessen Kontext das Lehrvorhaben geplant ist einen starken überfachlichen Charakter. Dies soll sich ebenfalls bei der Durchführung der Lehrveranstaltungen widerspiegeln, sodass das Lehrvorhaben ebenfalls als interdisziplinäre Begegnung zwischen den Fachgebieten der (theoretischen) Philosophie, der Mathematik und der Informatik angelegt ist. Zu diesem Zweck sind die Lehrveranstaltungen in das Modulangebot der jeweiligen Masterstudiengänge integrierbar:

**Philosophie M.A.** Im Rahmen des sog. "Interdisziplinären Studienbereichs"<sup>2</sup> können Bachelor- und Mastermodule mit thematischen Bezügen zur Philosophie aus anderen Studiengängen der FU eingebracht werden. Hier könnten also die zwei untenstehenden Module ausgewählt werden.

**Mathematik M.Sc.** Modul: "Ausgewählte Forschungsthemen"<sup>3</sup>

**Informatik M.Sc.** Module: "Spezielle Aspekte der praktischen Informatik" und "Spezielle Aspekte der theoretischen Informatik"<sup>4</sup>

Bei den genannten Modulen können die in Sektion 3 beschriebenen Prüfungsformen als Form der mündlichen Prüfung berücksichtigt werden.

---

<sup>2</sup>vgl. §7 (4) der SPO Philosophie M.A.

<sup>3</sup>vgl. §4 (3) der StO Mathematik M.Sc.

<sup>4</sup>vgl. §7 (2) der SPO Informatik M.Sc.

## A Relevante Publikationen

- [AOZ15] Jesse Alama, Paul E. Oppenheimer, and Edward N. Zalta. Automating leibniz’s theory of concepts. In Amy P. Felty and Aart Middeldorp, editors, *Automated Deduction - CADE-25 - 25th International Conference on Automated Deduction, Berlin, Germany, August 1-7, 2015, Proceedings*, volume 9195 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 73–97. Springer, 2015.
- [Ben15a] Christoph Benz Müller. Gödel’s ontological argument revisited – findings from a computer-supported analysis (invited). In Ricardo Souza Silvestre and Jean-Yves Béziau, editors, *Handbook of the 1st World Congress on Logic and Religion, João Pessoa, Brazil*, page 13, 2015.
- [Ben15b] Christoph Benz Müller. Higher-order automated theorem provers. In David Delahaye and Bruno Woltzenlogel Paleo, editors, *All about Proofs, Proof for All*, Mathematical Logic and Foundations, pages 171–214. College Publications, London, UK, 2015.
- [Ben15c] Christoph Benz Müller. Invited talk: On a (quite) universal theorem proving approach and its application in metaphysics. In Hans De Nivelles, editor, *TABLEAUX 2015*, volume 9323 of *LNAI*, pages 209–216, Wrocław, Poland, 2015. Springer.
- [BM14] Christoph Benz Müller and Dale Miller. Automation of higher-order logic. In Dov M. Gabbay, Jörg H. Siekmann, and John Woods, editors, *Handbook of the History of Logic, Volume 9 — Computational Logic*, pages 215–254. North Holland, Elsevier, 2014.
- [BP13] Christoph Benz Müller and Lawrence Paulson. Quantified multimodal logics in simple type theory. *Logica Universalis (Special Issue on Multimodal Logics)*, 7(1):7–20, 2013.
- [BPST15] Christoph Benz Müller, Lawrence C. Paulson, Nik Sultana, and Frank Theiß. The higher-order prover LEO-II. *Journal of Automated Reasoning*, 2015. In print; doi:10.1007/s10817-015-9348-y.
- [BWP14] Christoph Benz Müller and Bruno Woltzenlogel Paleo. Automating Gödel’s ontological proof of God’s existence with higher-order automated theorem provers. In Torsten Schaub, Gerhard Friedrich, and Barry O’Sullivan, editors, *ECAI 2014*, volume 263 of *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, pages 93 – 98. IOS Press, 2014.
- [BWP15a] Christoph Benz Müller, Leon Weber, and Bruno Woltzenlogel Paleo. Computer-assisted analysis of the Anderson-Hájek ontological controversy. In Ricardo Souza Silvestre and Jean-Yves Béziau, editors, *Handbook of the 1st World Congress on Logic and Religion, Joao Pessoa, Brasil*, pages 53–54, 2015.
- [BWP15b] Christoph Benz Müller and Bruno Woltzenlogel Paleo. Higher-order modal logics: Automation and applications. In Adrian Paschke and Wolfgang Faber, editors, *Reasoning Web 2015*, number 9203 in *LNCS*, pages 32–74, Berlin, Germany, 2015. Springer.
- [BWP15c] Christoph Benz Müller and Bruno Woltzenlogel Paleo. Interacting with modal logics in the coq proof assistant. In Lev D. Beklemishev and Daniil V. Musatov, editors, *Computer Science - Theory and Applications - 10th International Computer Science Symposium in Russia, CSR 2015, Listvyanka, Russia, July 13-17, 2015, Proceedings*, volume 9139 of *LNCS*, pages 398–411. Springer, 2015.
- [Chu40] A. Church. A formulation of the simple theory of types. *J. Symb. Log.*, 5(2), 1940.
- [God01] Kurt Godel. *Collected Works, Vol. 3: Unpublished Essays and Lectures*. Oxford University Press, 2001.
- [Mac95] D. MacKenzie. The automation of proof: A historical and sociological exploration. *IEEE Ann. Hist. Comput.*, 17(3):7–29, September 1995.
- [SB10] Geoff Sutcliffe and Christoph Benz Müller. Automated reasoning in higher-order logic using the TPTP THF infrastructure. *Journal of Formalized Reasoning*, 3(1):1–27, 2010.
- [WSB14] Max Wisniewski, Alexander Steen, and Christoph Benz Müller. The Leo-III project. In Alexander Bolotov and Manfred Kerber, editors, *Joint Automated Reasoning Workshop and Deduktionstreffen*, page 38, 2014.