1 Antrag zum Projekt „Virtuelle Energiesysteme – 3D-Welten zur Vermittlung von nachhaltigen Energiesystemen“

Elektrische Energie ist ein Energieträger, der aus unserer modernen Welt nicht mehr wegzudenken ist. Mittlerweile prägt der Begriff der „All-electric-society“ nicht mehr nur fachliche Diskussionen, sondern ist auch zunehmend ein prägendes Thema unserer Gesellschaft. Stromausfälle in jüngster Vergangenheit zeigen das Ausmaß, zu dem unsere heutige Gesellschaft von elektrischer Energie abhängt: Kassensysteme funktionieren nicht mehr, Mobilfunknetze sind nicht mehr erreichbar und Krankenhäuser sind nur noch begrenzt arbeitsfähig.

Auch Angriffe auf die elektrische Infrastruktur, sei es bei Tesla in Grünheide oder im Zuge des Ukraine-Kriegs sind ein häufig diskutiertes Thema in der Gesellschaft. In den etwa 20 Jahren, in denen ich nun bereits das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung an der Technischen Universität Ilmenau (TU Ilmenau) leite, hat die Energieversorgung eine deutliche Wendung erlebt. Waren zu Beginn meiner Zeit an der Universität noch Kohle- und Atomkraftwerke als Lieferanten von Grundlast am Netz, so sind es heute erneuerbare Energieanlagen, Hochspannungs-Gleichstromübertragung sowie Batteriespeicher, die die Forschung und Lehre prägen. Auch die zunehmende Vernetzung zwischen den Ländern und der Weg vom Erzeuger zum Verbraucher werden in der Lehre immer wichtiger.

Mir ist es besonders wichtig, den Studierenden zu vermitteln, wo der Strom herkommt, den sie täglich nutzen. Dabei schaue ich nicht nur auf die Energienetze, sondern auch auf die Erzeugungs- und Verbrauchsseite, also die Betriebsmittel, die an die Energienetze angeschlossen sind. In den Vorlesungen zu elektrischen Energiesystemen vermitteln mein Team und ich den Studierenden ein gesamtheitliches Bild unseres Energiesystems. Angefangen von den einzelnen Betriebsmitteln über ihre Modellierung bis hin zur Netzberechnung mit den Betriebsmitteln, zeichnen wir den Strompfad durch das Energiesystem nach. Für mich ist es besonders wichtig, ein Verständnis dafür zu schaffen, dass der Strom nicht nur aus der Steckdose kommt, sondern, dass viel mehr hinter dem Konzept „Energieversorgung“ steckt.

Energiesysteme sind für mich kein Thema für Einzelkämpfer, sondern Teamarbeit – am besten in interdisziplinären Teams. Im Bereich der interdisziplinären Zusammenarbeit bin ich deshalb besonders stolz auf die Entwicklung einer studentischen Konferenz, den Power and Energy Student Summit (PESS), die ich vor einigen Jahren ins Leben gerufen habe. Mit dieser Konferenz erhalten Studierende verschiedener elektrotechnischer Fakultäten in Deutschland, die im Bereich Elektrische Energiesysteme aktiv sind, die Möglichkeit ihre Studien- und Abschlussarbeiten als Paper anderen Studierenden sowie Vertretern aus der Industrie zu präsentieren. Die Konferenz geht dabei über die wissenschaftlichen Aspekte hinaus und ist zugleich eine Unternehmenskontaktmesse, die Studierenden praktische Einblicke in spätere Tätigkeitsfelder ermöglicht.

Für meine innovativen Lehrkonzepte wurde ich im Jahr 2021 von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik mit dem Lehrpreis ausgezeichnet. Für den Lehrpreis schlugen die Studierenden der Fakultät, vertreten durch den Fachschaftratsrat, alle zwei Jahre ein Mitglied aus der Professorenschaft vor. In der Laudatio der Vizepräsidentin für Forschung und Lehre wurde vor allem meine Innovations- und Tatkraft hervorgehoben. Diese schlägt sich beispielsweise in der Entwicklung von zwei Lehrveranstaltungen mit dem Titel „Energieforschung und Innovationsmethoden 1/2“ nieder. In diesen Veranstaltungen erlernen die Studierenden überfachliche Fähigkeiten in den Bereichen Projektmanagement und Teamfähigkeit. Energieforschung und Innovationsmethoden 1 ist dabei vor allem dem Scrum-Prozess gewidmet, wobei die Studierenden industriennahe Challenges bearbeiten. In der konsekutiven Lehrveranstaltung Energieforschung und Innovationsmethoden 2 erarbeiten die Studierenden gemeinsam mit einem erfahrenen Design Thinking Facilitator Prototypen für wiederum industriennahe Challenges. Die Verknüpfung von universitärer Lehre mit industriennahen Fragestellungen ist ein großer Mehrwert für die Studierenden,

wie uns sowohl von aktiven Studierenden als auch Alumni immer wieder bestätigt wird. Challenges in den letzten Jahren waren unter anderem: Entwicklung eines Systems zur automatisierten Blackout-Erkennung, Konzeptionalisierung eines Ersatzkanisters für Elektroautos oder Entwicklung eines Konzepts zur Ladeinfrastruktur für Elektroautos an der TU Ilmenau.

Hauptsächlich liegt der Fokus meines Fachgebiets auf Vorlesungen zu elektrischen Energiesystemen. Diese beginnen im Bachelorstudium mit zwei Grundlagenvorlesungen zu elektrischer Energietechnik und elektrischen Energiesystemen. Um die Studierenden zu motivieren, sich selbstständig mit aktuellen Fragestellungen unserer Energieversorgung zu beschäftigen, haben sie in Elektrische Energiesysteme 1 die Möglichkeit, aktuelle Forschungsfragen aus dem Bereich elektrischer Energiesysteme zu untersuchen und die Ergebnisse in einem Vortrag vor ihren Kommilitonen vorzustellen. Dabei legen wir neben der fachlichen Korrektheit auch Wert auf die wissenschaftliche Methode, eine ausgewogene Teamarbeit und den Einsatz neuer Tools, wie beispielsweise generativer künstlicher Intelligenz (KI). Im Rahmen der Vorlesung lernen die Studierenden abzuwägen, ob sich der Einsatz von KI lohnt und wenn ja, wie diese ihren Lernfortschritt unterstützen kann.

Nach den Grundlagenvorlesungen schließen sich weitere Fachvorlesungen im Bereich elektrische Energiesysteme an. Hier liegt der Fokus auf Themen wie Netzberechnung, Kommunikationsinfrastruktur, Fehleranalyse und neuen Technologien im Energiesystem. Zu letzteren zählen Hochspannungs-Gleichstromübertragungen, Batteriespeicher, rotierende Phasenschieber (Weiternutzung konventioneller Kraftwerke) und Offshore-Netze zum Einsammeln von Windstrom. Die Spezialvorlesungen sind integriert in den Masterstudiengang Elektrische Energiesysteme sowie Masterbereiche weiterer Studiengänge.

Den Lehrveranstaltungen ist gemein, dass sich die Inhalte im wahrsten Sinne des Wortes für die Studierenden schwer greifen lassen. Dies hat zwei wesentliche Gründe: zum einen sind Hochspannungsanlagen im Betrieb eine Gefahr für Leib und Leben, zum anderen sind diese oftmals nicht leicht zugänglich. In den letzten Jahren hat mein Fachgebiet mehrere themenbezogene Exkursionen angeboten, um den Studierenden praktische Einblicke in die Welt der Energieversorgung zu vermitteln. Darunter waren Besuche bei Siemens, 50Hertz, TenneT und TransnetBW, wobei die letzten drei deutsche Übertragungsnetzbetreiber sind. Auch wenn die Exkursionen von den Studierenden gut angenommen werden, haben sie den Nachteil, dass sie sich nach dem Betrieb des elektrischen Energiesystems richten und daher nicht immer mit den Vorlesungsinhalten kombinierbar sind. Auch wenn eine Exkursion zustande kommt, ist es oftmals so, dass viele Betriebsmittel und ihre Funktion bzw. Rolle im Energiesystem für die Studierenden nicht greifbar bleiben, da entweder die Zeit zu knapp ist oder die Betriebsmittel aus Sicherheitsgründen eingehaust und nur für Betriebspersonal zugänglich sind. Das heißt, die Studierenden sehen zwar einige Betriebsmittel, doch ihr Zusammenwirken ist für sie nicht verständlich.

Genau an dieser Stelle setzt die geplante Lehrinnovation an. Mit den 3D-Modellen von Betriebsmitteln und Umspannwerken soll die Nachvollziehbarkeit und Anschaulichkeit erhöht werden. Nach dem Vorbild einiger Netzbetreiber und Betriebsmittelhersteller sollen digitale Replikationen der Betriebsmittel bzw. Netzstrukturen entwickelt bzw. angepasst werden, um den Studierenden ein vertieftes Verständnis für Energiesysteme zu vermitteln. Ein prominentes Beispiel an dieser Stelle sind Umspannwerke. Umspannwerke fungieren im Netz als Schaltknoten, Übergabestationen von Energie und als Schutzmechanismus bei Fehlern im Netz. Sie erfüllen damit eine wichtige Funktion im Energiesystem und ihr Aufbau sowie ihre Funktionsweise sind essenziell für ein Verständnis des Energiesystems. Da große Umspannwerke oftmals an abgelegenen Orten liegen, ist eine Besichtigung nicht ohne weiteres möglich.

Im Rahmen der geplanten Lehrinnovation sollen Modelle von Umspannwerken in einer virtuellen Welt angefertigt werden, die während Lehrveranstaltungen zur Verfügung stehen. Darstellungen der Betriebsmittel mit Fotos und Videos bilden zwar zunächst einen guten Einstieg in die Thematik, haben aber den

Nachteil, dass nur ausgewählte Perspektiven existieren und die Betriebsmittel nicht von innen betrachtet werden können. Gleichzeitig ist die Medienform Foto bzw. Video sehr starr, d. h. es stehen nur begrenzte Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung. In den 3D-Modellen sollen sich die Studierenden zum einen wie in einem virtuellen Lernraum selbst bewegen und die einzelnen Komponenten eines Umspannwerks explorieren. Auf der anderen Seite sollen diese Modelle von Lehrenden genutzt werden, um einzelne Betriebsmittel und deren Funktion zu erklären. Gleichzeitig können mit diesen Umspannwerkmodellen Schaltreihenfolgen und Stromlaufwege erklärt werden. Die Umspannwerkmodelle orientieren sich im Detaillierungsgrad an bereits bestehenden Modellen von Netzbetreibern bzw. Herstellern. Die Übernahme der Modelle von Projektpartnern in die Lehre ist jedoch nicht eins zu eins möglich, denn diese Modelle werden oftmals zur Schulung von Fachpersonal eingesetzt bzw. dienen dem Assetmanagement als virtuelle Repräsentation eines Schaltfelds. Mit den Mitteln aus der Förderung des Stifterverbands sollen konkrete Modelle angepasst und für die universitäre Lehre aufbereitet werden.

Ein weiterer wichtiger Anwendungsfall für die 3D-Modelle sind auch die neuen Hochspannungs-Gleichstromverbindungen. Die Umrichterstationen sind aufgrund betrieblicher Restriktionen, wie hoher Frequenzen und Spannungen, für Menschen nicht zugänglich. Gleichzeitig stellen Sie eines der Herzstücke dieser Technologie dar. Eine exakte Modellierung der Umrichterstationen ist aufgrund patentrechtlicher Einschränkungen nicht möglich, jedoch können die Komponenten nachgebildet werden. Mit dieser vereinfachten Darstellung ist es zumindest möglich, den Studierenden die grundlegende Funktionsweise der leistungselektronischen Geräte zu vermitteln. Die Kombination von 3D-Modellen mit Zeitverläufen von Strom und Spannung ermöglicht es den Lehrenden, die Funktion der Wechsel- und Gleichrichtung anschaulicher darzustellen.

In Bezug auf Anwendungsfall 1, in dem sich Studierende in den Modellen selbstständig bewegen, soll eine bestehende 3D-Modellierungsumgebung der TU Ilmenau genutzt und um die Betriebsmittelmodell erweitert werden. Gleichzeitig werden Lernpunkte integriert, an den die Studierenden Informationen zu den Betriebsmitteln abrufen können. In dieser Anwendung wurden zu Zeiten der Covid19-Pandemie verschiedene Lernräume aufgesetzt und eine virtuelle Campustour implementiert. Federführend in diesem Projekt ist das Fachgebiet Virtuelle Welten und Digitale Spiele mit dem Projekt VEDIAS-VR. Die Lernräume befinden sich in einer Art Museum mit verschiedenen Räumen, in die Studierenden sich bewegen können, um gemeinsam an einer Lehrveranstaltung teilzunehmen. Die virtuelle Campustour hingegen wurde basierend auf realen Gebäudeplänen angefertigt, die auch Effekte wie Spiegelungen in den Fenstern berücksichtigen. Mit dieser Realitätsnähe sollen auch die Komponenten eines Energiesystems abgebildet werden. Neben der technischen Korrektheit ist auch ein optisch ansprechendes Design wichtig, da die Studierenden durch zunehmend realistische Computerspiele und Filme in ihrer Wahrnehmung geprägt sind. Der Vorteil bei der Weiternutzung der bestehenden Strukturen ist, dass wir auf verfügbare Infrastruktur zurückgreifen können, die zudem browserbasiert ist. Damit ist keine proprietäre Software notwendig, was einen niederschweligen Zugang zu dieser Lernform ermöglicht.

In der ersten Stufe des Projekts wird auf die Nutzung von 3D-Brillen verzichtet, um den Aufwand der Modellierung und des Materials in einem beschränkten Rahmen zu halten. Die Nutzung von 3D-Brillen setzt voraus, dass diese in ausreichender Stückzahl vorhanden und mit den entsprechenden Lerninhalten bespielt sind. Weiterhin sollten die Studierenden mit der Bedienung vertraut sein, um sich auf Lerninhalte fokussieren zu können. Die browsergestützte Version der 3D-Modelle hingegen bietet einfachere Funktionalitäten wie Drehungen mithilfe der Maus bzw. den Fingern auf einem Tablet.

Auch für Anwendungsfall 2, der Nutzung durch den Lehrenden, ist die browserbasierte Variante besser geeignet. Der Lehrende kann die Modelle direkt auf seinem Endgerät aufrufen und von dort aus mit den Studierenden interagieren. Gerade im Kontext der Vorlesungen ist eine einfache Bedienung unabdingbar, um den Informationsfluss nicht zu stören. Für die Anwendung durch die Lehrenden werden die

Lernmodule der selbstständigen Exploration ausgeblendet und die Lehrenden können bestimmte Funktionen wie Videos von Fehlschaltungen etc. einblenden. Gleichzeitig erlaubt die Interaktion über Avatare Fragen im virtuellen Objekt, die spezifisch zu einzelnen Netzelementen gestellt werden können. Im Lehrmodus sollen die Lehrenden zusätzlich Aufgaben für die Studierenden einspielen können, um Lernziele direkt überprüfen zu können. Für die Nutzung in Prüfungen ist das System zunächst nicht vorgesehen, wobei eine Integration in digital gestützte Prüfungsformate an der TU Ilmenau (Projekt examING) als zukünftiger Entwicklungsschritt möglich ist. Besonders geeignet sind hierfür mündliche Prüfungen, in denen Studierende Sachverhalte direkt am virtuellen Objekt erklären können.

Der Ansatz der oben beschriebenen Lehrinnovation ist nicht neu, andere Disziplinen nutzen digitale Lernräume bereits sehr intensiv. Neben immersiven Meetings mit Avataren, beispielsweise über Facebook oder Microsoft Teams, gibt es viele individuelle Lösungen wie beispielsweise an der Uni Wuppertal, der Hochschule Karlsruhe oder der Bauhaus Universität Weimar. Neuartig an unserem Ansatz ist die ganzheitliche Integration von elektrischen Energiesystemen für die Lehre in die virtuelle Welt. Netzbetreiber wie MitNetz Strom oder Bayernwerk haben bereits Umspannwerke in die virtuelle Welt überführt, mit den oben beschriebenen Einschränkungen für universitäre Lehre. Die Integration der digitalen Repräsentanten von Betriebsmitteln in die Lehre verbindet die technischen Konzepte von Industrieunternehmen mit den positiven Eigenschaften von immersiven Lernräumen, die beispielhaft in M. Conrad: „Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings“, S. Müser: „AR/VR.nrw – Augmented und Virtual Reality in der Hochschullehre“ und A. G. Büssing: „Immersive virtuelle Realität in der Hochschulbildung für nachhaltige Entwicklung: Gestaltungskriterien, Potenziale und Herausforderungen“ evaluiert wurden.

Die 3D-Modelle der Umspannwerke und Umrichterstationen können jedoch nicht nur im direkten Umfeld der universitären Lehre eingesetzt werden. Zusätzlich zu den Grundlagen- und Fachvorlesungen im Bereich elektrische Energiesysteme können zunächst angrenzende Fachgebiete, wie Gerätetechnik und Leistungselektronik auf die Modelle zurückgreifen und für ihre Fachbereiche anpassen bzw. erweitern. Im Sinne des Humboldt'schen Ideals, welches Forschung und Lehre vereint, sollen die Modelle auch für die Information der Bevölkerung eingesetzt werden. Beispiele für diesen Anwendungsfall sind Tage der offenen Tür, Kinder- und Jugenduniversitäten bzw. Fachführungen im Rahmen von Alumnitreffen. Der einfache Aufbau und die browserbasierte Lösung ermöglicht die Anpassung für die verschiedenen Nutzergruppen ohne großen Personalaufwand. Im Zuge des Wandels hin zur All Electric Society ist es von besonderer Bedeutung, dass auch Personen außerhalb der Universitäten und einschlägigen Industriezweige über die Themen der Energiewende informiert werden. Denn jeder Verbraucher kann durch Anpassung des eigenen Konsumverhaltens einen Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende leisten. Um ein Umdenken zu erzielen, sind Konzepte wie die Stromampel des Übertragungsnetzbetreibers TransnetBW, der Zeit online Energiemonitor oder die hohe Datenverfügbarkeit auf Plattformen wie energycharts.info ein wichtiger erster Schritt. Doch erst wenn die Menschen verstehen, dass es hinter der Steckdose bzw. dem Hausanschluss weitergeht, ist es möglich, ein Umdenken in der Konsumhaltung zu erzielen.

Gleichzeitig können die Modelle als Grundlage für Erweiterungen durch andere Universitäten und Hochschulen dienen, die Ergänzungen vornehmen, um ihre Lehrinhalte abzubilden. Ziel ist es, die digitalen Modelle als Open Educational Ressourcen (OER) zur Verfügung zu stellen und so für Ergänzungen und Erweiterungen zu öffnen. Durch einen hochschulübergreifenden Austausch können einerseits verschiedene Module aufgebaut werden, welche Vorlesungen an verschiedenen Einrichtungen ergänzen. Gleichzeitig können durch einen einheitlichen Aufbau der virtuellen Lernorte asynchrone Lernmöglichkeiten geschaffen werden, in denen sich Studierende und interessierte Personen individuell weiterbilden können. Dazu ist eine Koordination unter den betreuenden Hochschulen notwendig, wobei der Standard durch das

initiale Modell gesetzt wird. Die Veröffentlichung des Projekts ist nicht direkt zu Beginn geplant, sondern soll erst mit der Fertigstellung des Moduls „Umspannwerk“ erfolgen. Das entwickelte Modell wird dann im Rahmen einer OER-Strategie unter einer CC BY SA Lizenz veröffentlicht, um weiteren Hochschulen Zugang zu gewähren. Der Hintergrund der kaskadierten Veröffentlichung ist, dass eine gewisse modelltechnische Tiefe erreicht werden muss, um das Projekt in der Lehre und darüber hinaus einzusetzen.

Damit die Modelle weiterhin aktuell gehalten werden, bedarf es der Pflege der Daten über das Projektende hinaus. Zum einen soll das Modell im Sinne eines Community-Ansatzes stetig erweitert werden, wobei die neuen Module einer Prüfung durch Experten unterzogen werden, bevor sie in das Gesamtmodell integriert werden. Die Expertenprüfung erfolgt durch Fachprofessoren und Hochschuldidaktiker gleichermaßen, um fachliche Korrektheit und didaktische Passfähigkeit zu gewährleisten. An meinem Fachgebiet ist eine Laboringenieurstelle eingerichtet, die sich unter anderem mit der Pflege unserer Rechenmodelle beschäftigt. Eine Erweiterung des Kompetenzrahmens ist im Rahmen der Stellenbeschreibung möglich.

In meiner Funktion als Direktor des Thüringer Energieforschungsinstituts (ThEFI) bin ich innerhalb der TU Ilmenau sehr gut vernetzt, koordiniere interdisziplinäre Forschungsprojekte und fördere den Transfer zwischen Wissenschaft und Praxis. Diese Position ermöglicht es mir, aktuelle Forschungsergebnisse direkt in die Lehre zu integrieren und Studierende frühzeitig in Forschungsprozesse einzubinden. Neben meinen Tätigkeiten am Institut bin ich Mitglied der Studiengangkommission für Elektrotechnik und eng in die curricularen Entwicklungen eingebunden. Diese Rollen erlauben es mir, innovative Lehrformate wie das geplante Projekt zur 3D-Modellierung von Umspannwerken nachhaltig in die Studiengänge zu implementieren und deren Qualität kontinuierlich zu evaluieren. Gleichzeitig ist die Nutzung durch mehrere Fachbereiche ein großer Vorteil für die Verstetigung des Projekts.

Mein Team besteht aus erfahrenen wissenschaftlichen Mitarbeitenden und studentischen Hilfskräften, welches um Personen mit ausgewiesener Expertise in den Bereichen 3D-Modellierung, Virtual Reality und didaktischer Gestaltung digitaler Lernumgebungen aus unserem Netzwerk ergänzt werden kann. Gemeinsam haben wir bereits mehrere Projekte erfolgreich realisiert, die sich durch eine hohe Akzeptanz bei Studierenden und Lehrenden auszeichnen. Darunter fallen die Weiterentwicklung von Ansätzen aus den Modulen Energieforschung und Innovationsmethoden 1 bzw. 2. So wurden Konzepte zum Aufbau von Ladeinfrastrukturen oder zur Steigerung der Begeisterung für elektrische Energiesysteme an der TU Ilmenau umgesetzt. Die enge Zusammenarbeit mit den Fachgebieten für Empirische Medienforschung sowie Virtuelle Welten und Digitale Spiele der TU Ilmenau sichert die wissenschaftlich fundierte Evaluation des Innovationsprojekts. Diese Kooperation gewährleistet, dass die entwickelten Lehrinnovationen nicht nur technisch, sondern auch didaktisch und empirisch validiert sind. Die Kooperation mit Fachgebieten der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Medien beruht neben den gemeinsamen Forschungsprojekten auch auf langjährigen persönlichen Kontakten. Insgesamt verfüge ich über die notwendige fachliche, didaktische und organisatorische Expertise sowie über ein etabliertes Netzwerk innerhalb und außerhalb der Hochschule, um das geplante Projekt erfolgreich umzusetzen und nachhaltig in die Hochschullehre zu integrieren.

Der hochschulübergreifende Einsatz bietet eine gute Möglichkeit, um mit anderen Lehrenden im Bereich der elektrischen Energieversorgung in den Austausch zu kommen und gemeinsam Lehre in unserem Bereich attraktiver zu gestalten, denn die Energiewende braucht Fachkräfte. Doch nicht nur der Austausch mit Fachkollegen zu diesem Thema ist wichtig, sondern auch der im Umfeld der eTeach Fellows. Vom Austausch mit den anderen Fellows erhoffe ich mir neue Einblicke in die Arbeitswiesen anderen Fachdisziplinen. Durch die Vernetzung mit anderen Hochschulen in Thüringen, die ähnliche Projekte bereits umgesetzt haben, oder gerade umsetzen, ergeben sich für mein Team und mich interessante Möglichkeiten für Kooperationen und gemeinsame Veranstaltungen. Eines meiner erklärten Ziele ist die Vernetzung von Studierenden innerhalb ihrer eigenen aber auch zwischen den verschiedenen Disziplinen. Mich mit den

Fellows darüber auszutauschen, wie wir die Vernetzung bewerkstelligen und dabei unsere Kräfte bündeln können, um Thüringen zu einem starken Hochschulstandort für alle Disziplinen zu machen, ist mir ein wichtiges Anliegen.

Gleichzeitig erhoffe ich mir durch die Vernetzung mit den anderen Fellows Impulse für die Weiterentwicklung meines Lehrprojekts aber auch meiner Lehre im Allgemeinen. Neben einer technischen Weiterentwicklung möchte ich auch die didaktische Weiterentwicklung unserer Lehre, aber auch der Lehre in den Ingenieurwissenschaften im Allgemeinen mit in den Austausch nehmen. Die teils langjährige Erfahrung der anderen Fellows sehe ich als Schatz für die Entwicklung meiner Ideen und meines Studiengangs Master Elektrische Energiesysteme. Zudem wünsche ich mir, dass wir Fellows im Austausch weitere Projekte anstoßen können. Folgeanträge gemeinsam mit weiteren Kolleg*innen sehe ich als große Chance die Idee einer Masterausbildung mit weniger Frontalunterricht und dafür mehr Projekten voranzutreiben. Dabei setze ich auf den Hochschulstandort Thüringen, der seinen Mehrwert in der Kleinheit hat und diese nun nutzen muss! Gerne lade ich auch weitere Fellows zu uns an den Standort ein, um das Modell und den zugehörigen Lernraum vor Ort zu testen und Ideen zu entwickeln.

Im Austausch mit den anderen Fellows werde ich auch die projektspezifischen Herausforderungen und Erkenntnisse aus den Evaluationen diskutieren. Eine Hürde, die es zunächst zu meistern gilt, ist die Modellierung der Komponenten des Energiesystems in der dreidimensionalen Umgebung. Dafür steht jedoch am Fachgebiet viel Bildmaterial aus Umspannwerken zur Verfügung, welches für die digitale Modellierung genutzt werden kann. Gleichzeitig arbeiten wir mit einigen Netzbetreibern zusammen, deren Modelle wir adaptieren möchten. Sobald die Modelle erstellt wurden, werden sie in den oben skizzierten Vorlesungen und zugehörigen Übungen eingesetzt. Zur systematischen Bewertung der Lehrinnovation wird ein mehrstufiges Evaluationskonzept umgesetzt, das qualitative und quantitative Methoden kombiniert. Ziel ist es, sowohl den didaktischen Mehrwert der 3D-basierten Lernumgebung als auch deren Akzeptanz und Wirkung auf den Lernerfolg der Studierenden fundiert zu erfassen.

Während der Pilotphase werden kontinuierlich Rückmeldungen der Studierenden eingeholt, um die Nutzerfreundlichkeit, Verständlichkeit und Relevanz der Inhalte zu beurteilen. Dies erfolgt durch strukturierte Beobachtungen durch die Lehrenden, kurze, anonymisierte Online-Befragungen im Lernmanagementsystem Moodle und Fokusgruppengespräche. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen direkt in die iterative Weiterentwicklung der Lernumgebung ein. Zur Messung des Lernerfolgs wird ein Pre-Post-Design eingesetzt, bei dem die Kenntnisse der Studierenden vor und nach der Nutzung der 3D-Modelle getestet werden. Der Einbezug von Kontrollgruppen ist aufgrund der geringen Studierenden von aktuell zehn bis fünfzehn Personen in der Pilotphase nicht möglich. Sofern sich in den nächsten Jahren steigende Studierendenzahlen abzeichnen, wird diese summative Methode genutzt, um Unterschiede in der Wissensvermittlung und -aneignung zu analysieren. Dabei achten wir besonders darauf die Gruppen mit identischen Inhalten zu versorgen, um unfaire Behandlungen auszuschließen.

Zur Durchführung der Evaluationen werden in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet für Empirische Medienforschung der TU Ilmenau standardisierte Fragebögen entwickelt, die Aspekte wie kognitive Belastung, Motivation, Immersion und wahrgenommene Lernwirksamkeit erfassen. Diese Instrumente basieren auf etablierten Modellen wie dem Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL) von Markransky und Petersen. Dieses hebt die Bedeutung von Präsenz und Handlungsfähigkeit in immersiven Lernumgebungen hervor. Nach der initialen Implementierung und Evaluation ist eine langfristige Erfolgskontrolle geplant, die die Nachhaltigkeit der Lernerfolge und die Übertragbarkeit auf andere Module und Studiengänge untersucht. Hierbei werden auch qualitative Methoden wie Interviews mit Lehrenden und Studierenden eingesetzt, um tiefere Einblicke in die Wirkung der Lehrinnovation zu gewinnen.

Dieser mehrstufige Evaluierungsansatz aus formativer und summativer Evaluierung gewährleistet eine umfassende und fundierte Bewertung der Lehrinnovation und bietet die Grundlage für deren kontinuierliche Weiterentwicklung und nachhaltige Integration in die Hochschullehre. Die gewonnenen Erkenntnisse sind Teil der Veröffentlichungsstrategie, die der Lehrinnovation zugrunde liegt. Die Zeitpunkte für Veröffentlichungen, auch in Kooperation mit anderen Fachgebieten der TU Ilmenau sind im Arbeitsplan in Kapitel 2 vermerkt.

Ich bin überzeugt, dass die geplante Lehrinnovation die Motivation der Studierenden für die komplexen Vorgänge im elektrischen Energiesystem steigern wird. Mit dem beschriebenen Konzept lässt sich unserer Ansicht nach

- die Studienmotivation in den theoretischen Fächern der elektrischen Energietechnik durch konkrete Anschauungsobjekte und individuelle Erlebbarkeit von Netzbetriebsmitteln steigern.
- das systemische Verständnis der Studierenden fördern, indem Betriebsmittel in ihrer Funktion und Einbettung im Energiesystem exploriert werden können.
- die Bevölkerung zu Themen der Energiewende aufklären. Die Nutzung von Modellen in Kombination mit fachlichen Erklärungen erhöht die Nachvollziehbarkeit von Projekten der Energiewende bei der Bevölkerung. Im Sinne unseres Bildungsauftrags entlang des Humboldt'schen Ideals ist diese Form der Öffentlichkeitsarbeit neben unserer eigentlichen Lehrtätigkeit von besonderer Bedeutung – gerade im oftmals kontrovers diskutierten Bereich der elektrischen Energietechnik bzw. elektrischer Energiesysteme.

2 Arbeitsplan (01. September 2025 – 31. Dezember 2026)

Die digitalen Modelle sollen zum Sommersemester 2026 in die Lehre am Fachgebiet Elektrische Energieversorgung integriert werden. Bis Mai 2026 sind zunächst Vorarbeiten wie die Erstellung des Modells und die fachliche Prüfung geplant. Die Evaluation wird zu drei Zeitpunkten im Sommersemester durchgeführt.

AP	Projektmonat	2025				2026												
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Sichtung vorhandene Modelle & Einarbeitung Plattform																	
2	Ausarbeitung der 3D-Modelle																	
3	Nutzertests & Fragebogenerstellung																	
4	Überarbeitung der Modelle																	
5.1	Einsatz der Modelle in Vorlesung und Übung																	
5.2	Evaluierungen																	
6	Auswertung Evaluierung und Überarbeitung Modelle																	
7.1	Einsatz im Wintersemester 2025/26																	
7.2	Evaluierung im Wintersemester																	
8	Veröffentlichungen & Öffentlichkeitsarbeit																	

(1) Studieninformationstag der TU Ilmenau, (2) Ergebnisse der Evaluierung, (3) Nutzererfahrungen und Modellveröffentlichung

4 Risikobewertung des Projekts

Die Bewertung der Risiken inklusive angestrebter Gegenmaßnahmen stellt folgende Tabelle dar.

Risiko	Beschreibung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkung	Gegenmaßnahmen
Mangel an studentischen Hilfskräften	Schwierigkeiten bei der Rekrutierung qualifizierter studentischer Hilfskräfte für 3D-Modellierung	Gering	Verzögerungen bei der Modellierung	Frühzeitige Rekrutierung in universitätsweitem Auswahlverfahren, höhere Attraktivität durch fachnahe Aufgaben und faire Vergütung
Technische Kompatibilitätsprobleme	Schwierigkeiten bei der Integration bestehender Modelle in die TU Ilmenau Plattform	Mittel	Verzögerungen im Zeitplan	Technische Vorprüfung bestehender Modelle, Einbindung von Expert*innen des VEDIAS-VR Projekts sowie Test der Modellierungsumgebung; Ausweichoptionen sind vorhanden
Nutzungsprobleme in Vorlesung	Technische Probleme bei Live-Nutzung	Mittel	Unterbrechungen im Lehrbetrieb	Vorabtestläufe, Nutzung erprobter Browserlösungen, Nutzung der neu angeschafften Technik für Vorlesungsbetrieb
Geringe Akzeptanz durch Studierende	Studierende nehmen VR-Module nicht wie erwartet an	Gering	Geringe Nutzung, Lerneffekt bleibt aus	Iterative Testläufe, Feedbackschleifen, Integration in Pflichtmodule, Nutzung von Gamification-Elementen
Fehlende Modellfreigaben von Industriepartnern	Verzögerungen bei der Adaptierung von Bestandsmodellen	Mittel	Verzögerungen oder reduzierter Modellumfang	Nutzung frei verfügbarer Bilddaten als Grundlage, Kombination aus Eigenentwicklung und aus Vorabstimmungen zugesicherten Modellen von Industriepartnern
Patentrechtliche Einschränkungen	Bei Betriebsmitteln wie Umrichterstationen können nicht alle Details modelliert werden	Gering	Reduzierte Detailtiefe	Nutzung abstrahierter Modelle, Fokussierung auf didaktisch relevante Funktionen; patentrechtlich geschützte Objekte werden nicht modelliert, sondern als funktionaler Block dargestellt; Standardmodelle sind verfügbar
Fehlerhafte Evaluationsinstrumente	Fragebögen liefern keine verwertbaren Daten	Gering	Evaluation muss wiederholt werden	Kooperation mit Fachgebiet für Empirische Medienforschung zur Sicherstellung methodischer Qualität, Nutzung von qualitativen und quantitativen Befragungsmethoden (geringe Studierendenzahlen limitieren quantitative Methoden)

Durch das geplante Projekt profitieren Studierende von einer greifbaren, interaktiven Darstellung komplexer Betriebsmittel und Netzstrukturen, die bisher im Lehralltag nur schwer zugänglich oder abstrakt geblieben sind. Die Möglichkeit, sich selbstständig in virtuellen Lernräumen zu bewegen, fördert das systemische Verständnis, die Eigenständigkeit und die Motivation, sich mit den theoretischen Inhalten vertieft auseinanderzusetzen. Die Ergänzung von Übungen und Vorlesungen durch praxisnahe Einblicke erlaubt es Studierenden, Inhalte unmittelbar anzuwenden und ihr Wissen nachhaltig zu festigen.

Für die Lehrenden ermöglicht das Projekt, komplexe technische Zusammenhänge anschaulich und praxisnah zu vermitteln. Die browsergestützte, leicht zugängliche Plattform kann flexibel in verschiedenen Lehrformaten genutzt werden und fördert den Einsatz innovativer, didaktisch fundierter Methoden. Durch die erarbeiteten Modelle wird es möglich, Schaltvorgänge und Netzstrukturen visuell zu erklären und dabei unterschiedliche Lernniveaus in Übungen und Vorlesungen zu berücksichtigen. Das Modell kann sowohl in Einführungsveranstaltungen zu elektrischen Energiesystemen zur Vermittlung grundlegender Begriffe und Prinzipien als auch in Spezialveranstaltungen zur Darstellung von komplexen Schalthandlungen genutzt werden.

Über die TU Ilmenau hinaus bietet das Projekt Potenzial für einen hochschulübergreifenden Einsatz. Die geplante Veröffentlichung als OER ermöglicht anderen Hochschulen, die Modelle zu übernehmen, anzupassen und in eigene Lehrkonzepte zu integrieren. Gleichzeitig wird der Austausch mit anderen Lehrenden zur Weiterentwicklung innovativer Ansätze, um langfristig die Lehre in den Ingenieurwissenschaften attraktiver und praxisnäher zu gestalten. Das Projekt unterstützt zudem den Transfer in die Praxis und leistet einen Beitrag zur nachhaltigen Ausbildung von Fachkräften für die Energiewende.