

**Rechnergestütztes Lernen im Bereich der
Regenerativen Energien
(Ausgewählte Aspekte)**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)**

von M.Sc. Angel Nikolaev Angelov
geb. am 14. Juni 1980 in Gabrovo

genehmigt durch die Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Zbigniew Styczynski
Prof. Dr. Petra Schweizer-Ries (Jun. Prof.)
Prof. em. Dr.-Ing. Edmund Handschin

Promotionskolloquium am 14.12.2007

Schriftliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsberatung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Magdeburg, 14.01.2008

Angel N. Angelov

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	III
1. EINLEITUNG. WISSENSCHAFTLICHE THESIS	1
1.1. MOTIVATION	1
1.2. LERNEN.....	1
1.3. THESIS, ZIEL UND INHALT DER DISSERTATION.....	2
2. GEBIETE UND METHODEN DES LERNENS.....	5
2.1. EINFÜHRUNG	5
2.2. METHODEN DER WISSENSVERMITTLUNG	6
2.3. MEDIALES DESIGN	7
2.3.1. <i>Direktstudium (Präsenzphase)</i>	9
2.3.2. <i>Fernstudium (netzbasiert)</i>	11
3. FORMEN DER WISSENSVERMITTLUNG.....	14
3.1. EINFÜHRUNG	14
3.2. ÜBERBLICK ÜBER DIE METHODEN UND TECHNIKEN UND DEREN EINSATZ	16
3.3. MEDIALE ELEMENTE IN DER LEHRE	19
3.3.1. <i>Vorlesung</i>	21
3.3.2. <i>Seminare / Übungen</i>	21
3.3.3. <i>Laborpraktika</i>	22
3.3.4. <i>Selbststudium</i>	22
3.4. KOMMUNIKATION.....	23
4. NUTZUNG VON GEEIGNETEN TECHNIKEN FÜR LEHRE UND FORSCHUNG.....	25
4.1. GESTALTUNG VON VORLESUNGEN	25
4.2. GESTALTUNG VON ÜBUNGEN.....	28
4.3. VIRTUELLES LABOR.....	30
5. REALISIERUNG UND IMPLEMENTIERUNG	32
5.1. E-LEARNING SYSTEM REGËN - M.....	32
5.1.1. <i>Methodische Vorgehensweise beim Erstellen des Systems</i>	32
5.1.2. <i>Drehbuch</i>	36
5.1.3. <i>Anwendung der IT-Plattform</i>	39
5.1.4. <i>Das System RegEn – M</i>	41
5.2. VR – TRAINING	53
5.2.1. <i>Methodische Vorgehensweise beim Erstellen des Systems</i>	54
5.2.2. <i>Drehbuch</i>	56
5.2.3. <i>Anwendung der IT-Plattform</i>	59
5.2.4. <i>Das System RegEn – VL</i>	60
5.3. VIRTUELLES LABOR.....	71
5.3.1. <i>Methodische Vorgehensweise beim Erstellen des Systems</i>	72
5.3.2. <i>Drehbuch</i>	78
5.3.3. <i>Anwendung der IT-Plattform</i>	79
5.3.4. <i>Das System VR.Lab</i>	81
6. AKZEPTANZ	87

7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	92
8. LITERATURVERZEICHNIS	94
9. ANHANG	101
A. ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	101
B. ABKÜRZUNGEN	104

1. Einleitung. Wissenschaftliche Thesis

1.1. Motivation

In der Energiewirtschaft ist ein zunehmender Trend für die steigende Nutzung von regenerativen Energien zu verzeichnen. Dies ist auf die zunehmende Ressourcenknappheit fossiler Brennstoffe und auf die globale Klimaerwärmung zurückzuführen. In diesem Zusammenhang ist die Suche nach effizienten und zugleich schadstoffarmen Energiewandlungsmöglichkeiten als Alternative unausweichlich [46],[48].

Die regenerativen Energien befinden sich in den letzten Zeiten zunehmend im Zentrum des Interesses der Forschung und Lehre [49]. Der Einsatz von regenerativen Energieerzeugern ist allerdings mit hohem technischen Aufwand verbunden. Bei der Ausbildung von hoch qualifiziertem Personal in den Hochschulen wird im Bereich der regenerativen Energien kostenintensive Technik und Ausstattung benötigt. Zudem werden teure Praktika in den Industrie- und Forschungsunternehmen in Anspruch genommen. Weiterhin wird dieser Trend durch die rasante technologische Entwicklung verstärkt, die mit höheren Kosten verbunden ist [1],[26],[27].

Die Gesellschaft ist durch die ständig zunehmende Notwendigkeit, den persönlichen Wissensstand zu erweitern, geprägt. Mit der stetig steigenden weltweiten Vernetzung ist der Erwerb von Wissen zeit- und ortsunabhängig geworden. Die weite Verbreitung des Internets als Informationsquelle hat diese Entwicklung erst ermöglicht [2],[9],[10].

Der Wissenserwerb im Bereich der Elektrotechnik ist durch die Abstraktheit des Fachgebiets gekennzeichnet. Die Studenten benötigen abstrakte Fähigkeiten im Denken, um das Fachwissen verstehen und praktizieren zu können.

Um diese Fähigkeiten zu fördern, werden vermehrt computergestützte Lehrveranstaltungen angeboten. Durch die Integration von innovativen Visualisierungs- und Darstellungstechnologien ist diese Lernmöglichkeit gekennzeichnet. Eine Kostenreduzierung wird durch den Einsatz zeit- und ortsunabhängiger medialer Lerninhalte erzielt [7],[15].

1.2. Lernen

In der heutigen globalen und dienstleistungsorientierten Gesellschaft spielt das Lernen und der Wissenserwerb eine zunehmend wichtige Rolle, wodurch die Entwicklung und Erprobung neuer Lern- und Trainingsmethoden angeregt wird.

Die Visualisierung komplexer Systeme ist eine unverzichtbare Voraussetzung für das Grundverständnis von neuem Wissen. Insbesondere trifft dies auf Systeme mit komplexen Vorgängen zu, dessen Verstehen und Handhaben sonst viel Zeit in Anspruch nehmen würde; zudem kann teure Ausstattung erforderlich sein [14]. Die Ingenieure sollen stets auf dem neuesten Ausbildungsstand sein, dürfen aber gleichzeitig durch Weiterbildung und Training nur geringe Kosten verursachen. Für spezialisierte Techniker in Forschungs- und Industrieunternehmen ist regelmäßiges und qualitativ hochwertiges Training allerdings notwendig [18].

Durch gute Strukturierung und Anschaulichkeit bietet das rechnergestützte Lernen ein erleichtertes Umgehen mit den zu lernenden Unterrichtsinhalten. Auf diese Weise können gerade schwierige Themen, durch die Zeit- und Ortsunabhängigkeit, leichter erlernt und unbegrenzt wiederholt werden. Computer Based Training (CBT) ist eine gute Alternative zu den „klassischen“ Lernmethoden [4],[8],[14].

Eine Vielzahl von Techniken ermöglicht die Erzeugung visueller Informationen, die von zweidimensionalen Bildern einer Gesamtstruktur bis hin zu den dreidimensionalen virtuellen Systemrepräsentationen führen. Hierbei bietet die VRML-Darstellung (Virtual Reality Modeling Language) mit seiner Plattformunabhängigkeit und seiner Netzwerkfunktionalität die Möglichkeit all diese spezifischen Herausforderungen zu implementieren und zu gewährleisten [20]. Durch die Anwendung dieser Techniken kann die Funktionalität und das Zusammenspiel einzelner Elemente genau beschrieben und visualisiert werden [20],[57].

1.3. Thesis, Ziel und Inhalt der Dissertation

Sich stetig weiterentwickelnde, interdisziplinäre Geräte und Systeme erfordern in der Aus- und Weiterbildung neue innovative Bildungskonzepte und didaktische Strukturen.

Die Anwendung der lehrgestützten Techniken, unter anderem die Virtual-Reality-Technik, kann den Lernprozess im Bereich der technischen Fächer (hier im Bereich der Regenerativen Energien) wesentlich erleichtern. Einige neue Elemente, wie zum Beispiel VR-Labore (Virtual Reality), können bei geeigneten, mathematisch genauen Modellen den Wissenserwerb wesentlich vergrößern und die Attraktivität des Technikstudiums wiederherstellen.

Die Thesis der Arbeit kann wie folgt formuliert werden:

Durch die Anwendung rechnergestützter Lern- und Visualisierungs-Methoden ist es möglich die Qualität und Effizienz der Wissensvermittlung im Bereich der Regenerativen Energien zu steigern.

Im Laufe dieser Arbeit wurden verschiedene netzbasierte Lernmodule entwickelt, die das Bestreben einer bestimmten, themenbezogenen Richtung aus dem Bereich der regenerativen Energien verfolgen. Diese Lernmodule sind in das Lehrprogramm der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am Lehrstuhl für Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen für das Fach Regenerative Energien integriert.

Um die Thesis zu beweisen, wurde eine Umfrage basierend auf den entstanden Lernmodulen durchgeführt und somit die Akzeptanz und Effizienz dieser festgestellt.

Die Motivation und Erfolgsfaktoren dieser Arbeit sind durch die folgenden Aspekte gegeben:

- Steigern der Attraktivität des Technikstudiums,
- Vermittlung von abstraktem Lehrwissen im Bereich der Elektrotechnik,
- Immer komplexer werdende Maschinen und Anlagen,
- Anforderungen an die Betriebsführung erhöhen sich,
- Sicherheitsvorschriften zu ihrer Bedienung und Wartung werden zunehmend strenger,
- Immer, wenn Menschen an Prozessen beteiligt sind, muss der „human factor“ berücksichtigt werden.

All diese Aspekte führen zu einer zukünftig zunehmenden Virtualisierung der Bildung.

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert.

In Kapitel 2 werden die verschiedenen Gebiete und Methoden des Lernens beschrieben, dabei wird einführend auf die Grundlagen der Wissensvermittlung eingegangen. Ein weiterer Schwerpunkt wird auf das mediale Design der Präsenz- und Online-Phasen gelegt.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit den verschiedenen Formen der Wissensvermittlung. Dabei wird auf die verschiedenen Methoden und Techniken und deren Einsatz eingegangen. Weiterhin wird die Verwendung geeigneter medialer Elemente in der Lehre untersucht und es werden mögliche Kommunikationsarten der Wissensvermittlung beschrieben.

Die Nutzung von geeigneten Techniken in Lehre und Forschung wird in Kapitel 4 untersucht. Die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten von Vorlesungen, Seminaren/Übungen und virtuellen Laboren werden näher erläutert.

Kapitel 5 präsentiert die Realisierung und die Implementierung der verschiedenen Lernmodule. Die Struktur des Kapitels beinhaltet die methodische Vorgehensweise beim Erstellen der Systeme mit den jeweiligen modulspezifischen Drehbüchern und dessen Anwendung in der Lehre. Folgende Lernsysteme sind entwickelt worden: RegEn – M (Regenerative Energien - Multimedial), RegEn – VL (Regenerative Energien – Virtuelles Labor) und V.LS – Virtuelles Training.

Kapitel 6 gibt Aufschluss über die Akzeptanz der umgesetzten Lernmodule, dazu wurde eine Befragung von Studenten an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik durchgeführt.

2. Gebiete und Methoden des Lernens

2.1. Einführung

Die Entwicklung der neuen Technologien bezüglich des Wissens lässt die Wichtigkeit der Änderung der bisherigen Bildungsmethoden erkennen. So verliert die Erstausbildung zunehmend an Bedeutung, da eine kontinuierliche und berufsbegleitende Weiterbildung angestrebt wird. Diese Lernform sollte in erster Sicht flexibel bezüglich Zeit und Ort sein und möglichst kostengünstig sein.

Mit traditionellen Lehr- und Unterrichtsformen ist diese Flexibilität schlecht umsetzbar und zusätzlich meist mit höheren Kosten verbunden. Das Wissen sollte je nach Bedarf an die entsprechende Lernmethode anpassbar sein. Über die Nutzung und Anwendung moderner elektronischer Medien kann eine solche Unabhängigkeit geschaffen werden. Diese rechnergestützten Lernmethoden werden auch Computer Based Training (CBT) genannt [1],[2],[3].

Das Lernen mittels CBT hat seine Stärken und Schwächen bezüglich seiner Verwendung im Alltag. Neben der hohen Orts- und Zeitunabhängigkeit profitiert das CBT von dem effizienten Training, welches durch die individuelle Gestaltung der Lehrpläne möglich ist [9],[10]. Es besteht die Möglichkeit den Lernstoff in verschiedenen Schwierigkeitsstufen zu untergliedern und unterschiedliche Schwerpunkte der Schulung zu setzen. Der Lernende kann den für sich notwendigen Lerninhalt wählen und das Tempo des Lernens selbst bestimmen. Komplizierte dynamische Prozessabläufe können so beispielsweise mit Video oder 3D-Simulationen visualisiert und umgesetzt werden, wodurch besseres und schnelleres Verstehen sichergestellt werden kann [20]. Insbesondere fördert dies die Motivation der Lernenden, komplexe Zusammenhänge zu erkennen und nachzuvollziehen. Durch die Einbindung externer Informationsquellen, wie zum Beispiel das Internet können die Lerninhalte der Lernmodule ergänzt und vertieft werden. Diese positiven Seiten führen zu einer Erhöhung der Akzeptanz des netzbasierten Lernens (E-Learning). Mehr als zwei Drittel der Teilnehmer einer Umfrage des Instituts für Medien- und Kompetenzforschung 2002 können sich derzeit eine Weiterbildung durch E-Learning vorstellen.

Doch auch das E-Learning ist von technischen und didaktischen Grenzen gezeichnet [3]. Um die geforderte Flexibilität und Interaktivität multimedial zu realisieren, sind Anschaffungen bezüglich des netzbasierten Lernens einzukalkulieren. Diese sind mit einem finanziellen Aufwand verbunden. Bisher wurden Lernprozesse hauptsächlich mit Bildern und Grafiken visualisiert, ohne die Funktionalität mit einfließen zu lassen. Zudem sind traditionellen Lernformen davon gekennzeichnet, durch eine begleitende

Kontrolle und Anleitung den Lernerfolg bzw. den Lernprozess zu gewährleisten. Somit übernimmt der Lernende hier eine passive Rolle und kann dadurch demotiviert werden [17],[37].

Des Weiteren eignen sich nicht alle Lehrbereiche für computergestützte Lernprozesse. So lassen sich beispielsweise kommunikative und soziale Fähigkeiten, wie Teamarbeit und Mitarbeiterführung kaum über selbständiges individuelles Lernen vermitteln. Jedoch kann eine Kombination aus traditionellen Präsenzveranstaltungen unter Einbeziehung von virtuellen Laboren oder interaktiven netzbasierten Lernmodulen diese Fähigkeiten mit berücksichtigen [39].

2.2. Methoden der Wissensvermittlung

Die wichtigste Form von rechnergestütztem Lernen (CBT) ist eine multimedial und interaktiv gestaltete Lernsoftware, die auf einem Datenträger (wie z.B. CD, DVD oder HDD) vorliegt. Diese Lernmaterialien werden meist nicht netzbasiert dem Lernenden zur Verfügung gestellt. In der Regel wird das Wissen ohne direkte Rückkopplung zu einem Betreuer vermittelt. Das Lernen mittels CBT hat vor allem in der betrieblichen Weiterbildung eine weite Verbreitung gefunden. Sinnvoll genutzt wird diese Lernmethode in Fachdisziplinen, in denen Faktenwissen gelernt und geübt werden. Darüber hinaus empfehlen sich die nicht netzbasierten CBT für Lerninhalte, die über eine geringe Dynamik und wenig Aktualisierungsbedarf verfügen, wie das zum Beispiel der Fall beim Vermitteln von Grundwissen ist [2],[11].

Rechnergestütztes Lernen (CBT) verfügt im Allgemeinen über:

- eine begrenzte Interaktivität,
- eine geringe Individualisierung der Lernwege,
- ein eingeschränktes inhaltliches Feedback.

Heutzutage ist eine stetig steigende Dynamik des Wissens zu beobachten, daher gewinnt der Einsatz von netzbasierten Lernmodulen oder so genannten WBT (Web Based Training) an Bedeutung. Bei dieser Lernform wird der Lehrstoff von dem Lernenden netzbasiert bearbeitet. Über gegebene Kommunikationsmöglichkeiten kann zusätzlich Kontakt mit dem Lehrer bzw. den anderen Lernenden, beispielsweise per E-Mail, hergestellt werden. Dadurch können Unklarheiten bezüglich des Lerninhalts oder Handhabungsprobleme schneller behoben werden. Weiterhin ist folglich die Kommunikation und Betreuung im Unterschied zum Lernen mit dem nicht webbasierten CBT stärker betont [27]. Eine unterschiedliche Gestaltung der Lernszenarien ist durch den Einsatz verschiedener Lernschwerpunkte und Lernziele möglich.

Die Wissensvermittlungsmethoden CBT und WBT erreichen unterschiedliche Lerngruppen und besitzen ihre Vor- und Nachteile bezüglich der Wissensvermittlung. Einen ersichtlichen Vorteil für die steigende Nutzung von netzbasiertem Lernen bietet die Möglichkeit, Lern- und Trainingsinhalte schnell zu ändern, anzupassen und zu aktualisieren. Außerdem kann durch den Gebrauch des Internets eine effiziente und schnelle Verteilung und Übertragung des Wissens gewährleistet werden [17]. Durch diese Kommunikationsfähigkeit, die die Nutzung von WBT bietet, kann eine höhere soziale Eingebundenheit geschaffen werden [4]. Infolgedessen kann eine Kopplung zwischen den Vorteilen der klassischen Lehrveranstaltungen und denen des netzbasierten Lernens (E-Learning) hergestellt werden (Abb. 1).

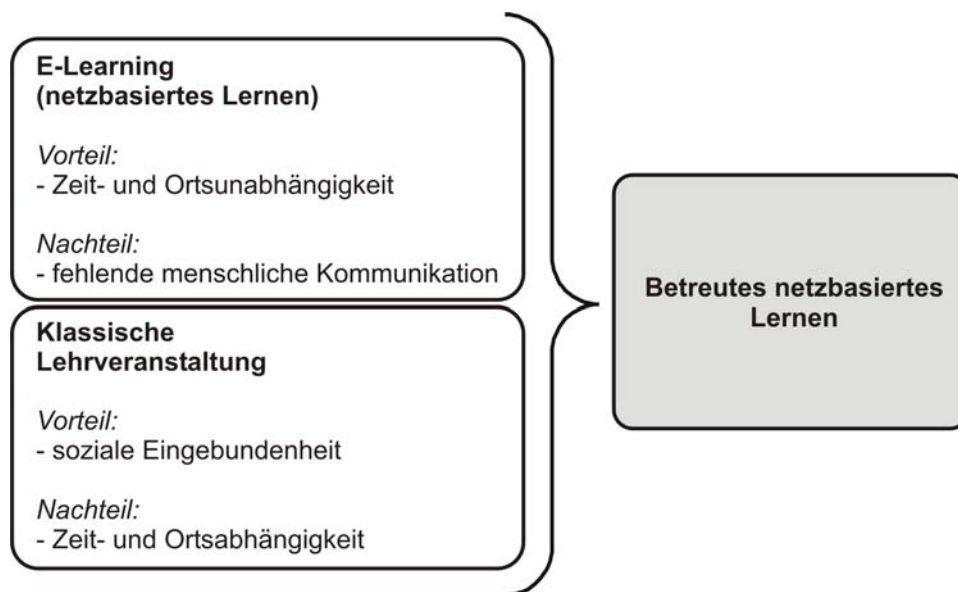


Abb. 1: Kopplung zwischen klassischen Lehrmethoden und E-Learning.

2.3. Mediales Design

Der Einsatz verschiedener Medien hat das Bestreben den Lernprozess zu fördern. Bei der Nutzung netzbasierter Lernmodule werden diese eingesetzt, um die Wissensvermittlung und den Lernerfolg zu steigern. Über das Medium Computer greift man innerhalb einer medialen Lernumgebung auf unterschiedliche, zielgerichtete und aufbereitete Lerninhalte zu. Welche Funktionen diese Medien innerhalb des Lernprozesses übernehmen, wie sie gestaltet werden und welche Funktion sie erfüllen, hängt von dessen Design und der Zielrichtung des Lernmodulinhaltes ab.

Bei dem Design und der Gestaltung der netzbasierten Lernumgebung fließen die Erfahrungen mit ein, die bei der Erstellung von nicht netzbasierten Lernumgebungen

gewonnen wurden. Es besteht eine vielfältige Basis, die den besonderen Bedingungen des netzbasierten Lernens angepasst werden soll [10],[13]. Viele Gestaltungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel aus der CD-Produktion, lassen sich nicht direkt in einer netzbasierten Lernumgebung verwirklichen. Technische Grenzen werden aufgrund der Dateigröße, der nutzerabhängigen Datenübertragungsraten und der daraus entstehenden Ladezeitverzögerung gesetzt.

Bei der Entwicklung bisheriger netzbasierter Lerninhalte wurde lange Zeit fast kein Schwerpunkt auf das grafische und typografische Design gelegt, wodurch die Lernmodule häufig unübersichtlich, unverständlich und wenig attraktiv gestaltet waren. Gegenwärtig ist eine neue Entwicklung von Lernmodulen mit der Gewichtslegung, unter anderem auf mediales Design, zu beobachten. Diese Schwerpunktverlagerung führt zur Entstehung von überschaubaren, verständlichen und interessant gestalteten Lernmodulen, die den Lernerfolg und die Motivation des Lernenden positiv beeinflussen.

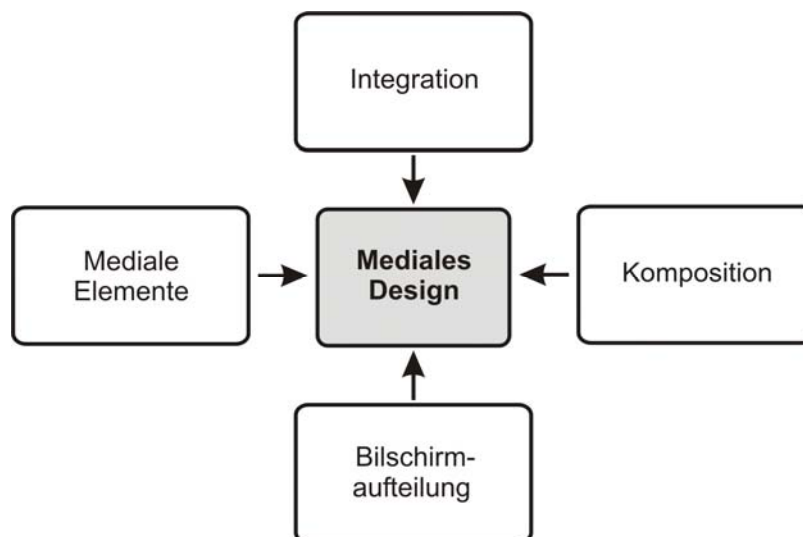


Abb. 2: Beispielkomponenten medialen Designs [23].

Design ist das Ergebnis der Auseinandersetzung mit den Erfahrungswerten anderer und der persönlichen Kreativität des Entwicklers, es fließen beispielsweise Integration, Komposition, Bildschirmaufteilung und mediale Elemente (Video, Ton, usw.) ein (Abb. 2).

In den folgenden Abschnitten werden zwei Gebiete des Lernens unter Berücksichtigung des medialen Designs beschrieben, das Direktstudium und das Fernstudium.

2.3.1. Direktstudium (Präsenzphase)

Bei der Präsenzphase spielt die tutorielle Betreuung der Lernenden eine bedeutende Rolle. Jedoch durchläuft die Betreuung eine Veränderung während der Dauer des Kurses [2],[3],[4]. Abb. 3 stellt die Formen der tutoriellen Betreuung im zeitlichen Ablauf dar.

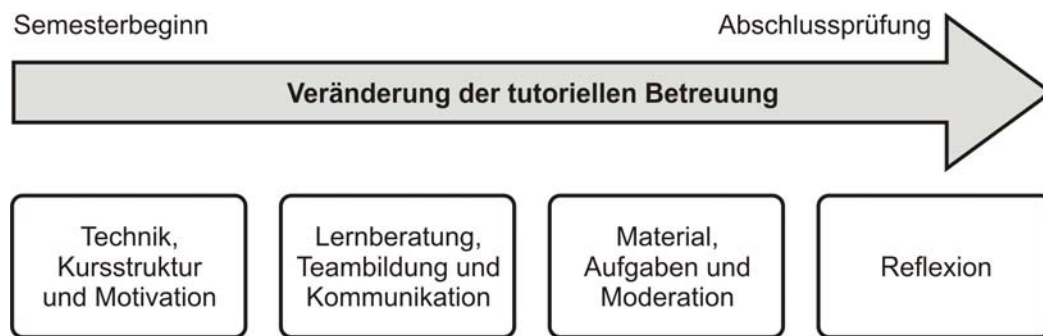


Abb. 3: Formen der tutoriellen Betreuung im Kursverlauf.

- Technik, Kursstruktur und Motivation

Zu Beginn der Lehrveranstaltung steht die Motivation des Lernenden an oberster Stelle. Es bietet sich an, im Rahmen einer Einführungspräsenzveranstaltung die Lernenden mit der Technik vertraut zu machen. Betreuungstechnische Einzelheiten können an dieser Stelle allen Teilnehmern bekannt gegeben werden. Die Kursstruktur, der Zeitrahmen und die Lernziele können erläutert werden [13],[14]. Folgende Punkte können beispielhaft für die erste Präsenzveranstaltung genutzt werden [18]:

- Bekanntgabe der Web-Adresse des virtuellen Kurses,
- Erstellen und Verteilen der Benutzerkonten,
- Technische Einführung,
- Vorstellung der Kursstruktur,
- Zeitplanung zur Erarbeitung der Inhalte,
- Festlegung und Erläuterung der Lernziele mit regelmäßigen Terminen.

- Lernberatung, Teambildung und Kommunikation

Ist der Kurs angelaufen, sind Probleme im Umgang mit dem Lernstoff (z.B. Verständnisschwierigkeiten) zu erwarten. Bei einer überschaubaren Gruppengröße

kann hier ein Tutorium (ähnlich einer Nachhilfestunde) angeboten werden [21]. Um Demotivation oder negativen Lernerfolg durch unverständliche Lerninhalte zu vermeiden, kann innerhalb des ersten Lernabschnitts ein Treffen veranstaltet werden. Ziel des Treffens ist die Besprechung und Beseitigung dieser Schwierigkeiten [37]. Bei dieser Gelegenheit werden Teams gebildet, die zukünftig zusammenarbeiten werden (z.B. Seminaraufgaben gemeinsam lösen). Die Zusammenarbeit (Teamfähigkeit) benötigt eine Strukturierung innerhalb der gebildeten Lerngruppe. Diese Teamfähigkeit wird auch durch die Betreuung des Tutors während der Präsenzveranstaltungen verstärkt. Beispielsweise kann jedes Semester eine Gruppe zu jedem Lernmodul mit der Erarbeitung eines Referats beauftragt werden. Zum erfolgreichen Abschluss der Veranstaltung muss das Referat in der Gruppe präsentiert werden. Dies befähigt zusätzlich das soziale Arbeiten und die Motivation der einzelnen Lernenden in der Gruppe.

Die Beiträge der Studenten können von den nachfolgenden Generationen genutzt werden; somit wird der Wissensbestand der Lehrveranstaltung stetig erweitert und ergänzt. Probleme mit der Bearbeitung des Themengebietes können anhand gegebener Kommunikationsmöglichkeiten in Form von E-Mails oder virtuellen Chat-Foren diskutiert werden.

- Material, Aufgaben und Motivation

Sind im vorigen Abschnitt die Aufgaben verteilt worden, so hilft der Tutor während der Nachfolgetreffen bei der zusätzlichen Lernmaterialsbeschaffung und gibt Tipps und Hinweise zur Literaturrecherche. Die Nachfolgetreffen dienen ebenfalls zur Besprechung der online gelösten Seminaraufgaben. Um die Motivation zur Mitte des Kurses aufrecht zu erhalten, hat sich in der Praxis die Durchführung von Veranstaltungen bewährt. Dieses können Berichte von laufenden Forschungsprojekten oder Gesprächsrunden mit Experten (Professor oder externe Dozenten) sein. Ebenfalls sinnvoll an dieser Stelle des Kurses ist das Durchführen komplexer Rechenaufgaben unter Anwendung moderner Software im Rahmen eines virtuellen Seminars (Siehe Kapitel 5.1).

- Vertiefung und Reflexion

Die Anwendungen des neuen Wissens können in Praktika und bei komplexen Seminaraufgaben das Festhalten und die Anwendung der Erkenntnisse erleichtern. In dieser Phase beginnt die Prüfung des Wissens zunehmend an Bedeutung zu gewinnen. In Präsenzveranstaltungen sollten daher verstärkt Hinweise zur Wissenskontrolle gegeben werden und Seminaraufgaben besprochen werden.

2.3.2. Fernstudium (netzbasiert)

Im Gegensatz zu der Präsenzveranstaltung wird die netzbasierte Phase entscheidend vom didaktischen Modell und der Ausprägungsform bestimmt. Die einzelnen Module der Lernveranstaltung werden als tutorielles System umgesetzt und aufgebaut. Nach einer Einführung in das Lehrmodul beginnt der Lernende in der Regel mit dem ersten Kapitel, wobei die einzelnen Lerninhalte (Seiten) linear abzarbeiten sind, wodurch ein so genannter vorgegebener Lernweg entsteht [26],[29].

Bei den verschiedenen Modulabschnitten wird zum Abschluss eines jeden Kapitels ein kurzer Test absolviert. Erst nach erfolgreichem Bestehen des Tests kann mit dem nächsten Kapitel begonnen werden.

Es ist möglich, die Wissenskontrolle am Ende des gesamten Lernmoduls einzubauen. Die klassischen drei Schritte der Lernmodelle (Lernen, Vertiefen, Prüfen) sind auch in einem tutoriellen System zu finden. Das gesamte Lehrangebot kann daher in die folgenden drei Abschnitte eingeteilt werden:

- Lernen

In der orientierenden Einführungsphase soll der Student für das Thema motiviert werden. Es wird an bestehendes Wissen des Lernenden angeknüpft. Neue Inhalte werden noch nicht vermittelt, vielmehr wird ein Bild des Lehrstoffes gegeben und Interesse dafür beim Studenten geweckt (Abb. 4) [35].



Abb. 4: Beispiel zur Umsetzung der Einführungsseiten aus dem Modul der Windenergie.

- Vertiefung

Jede Lernphase wird in Wissensseinheiten unterteilt. Jede Wissensseinheit ist in sich abgeschlossen und beinhaltet einen überschaubaren Wissensumfang. In der folgenden Abb. 5 ist eine Wissensseinheit aus dem Lernmodul Brennstoffzelle abgebildet. Der Inhalt der Einheit ist die Kennliniencharakteristik einer Brennstoffzelle. Wenn der Student mit dem Mauszeiger die unterschiedlichen Bereiche der Kennlinie verfolgt, erscheint im links daneben stehenden Informationsbereich die detaillierte Erklärung zu diesem Kennlinienabschnitt. Diese Wissensseinheit entspricht dem entdeckenden Lernen.

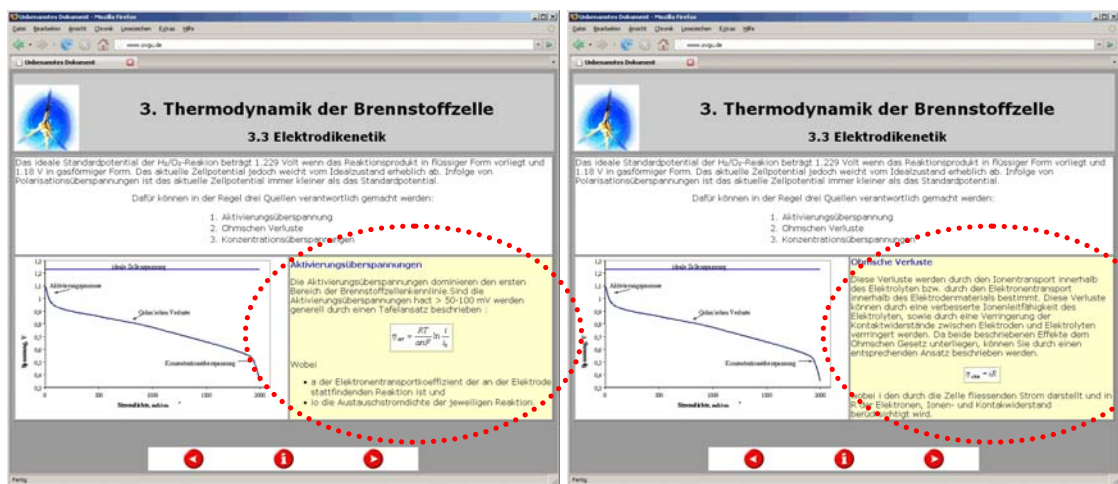


Abb. 5: Entdeckendes Lernen am Beispiel des Lernmoduls Brennstoffzelle.

- Prüfen

Der Überprüfung des Lernerfolgs kommt eine besondere Bedeutung im netzbasierten Lernen (WBT) zu, siehe Abb. 6. Lerndefizite können so frühzeitig festgestellt werden, worauf der Tutor in den Präsenzphasen reagieren kann.

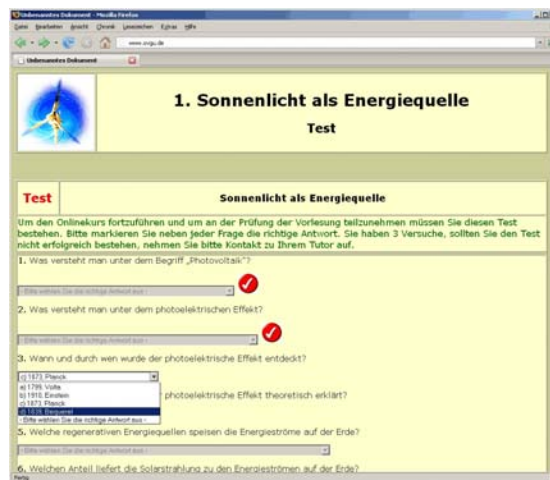


Abb. 6: Beispiel einer Wissenskontrolle.

Bei der Bearbeitung von Seminaufgaben sollen die Lernenden eigenständig, zum Beispiel im Lernmodul Wind, den Energieertrag einer Windkraftanlage berechnen. Hierzu müssen sie die technischen Datenblätter verschiedener Windkraftanlagen herunterladen (Abb. 7). Die Parameter der einzelnen Windkraftanlagen sollen anschließend mit Hilfe des Berechnungsprogramms anhand verschiedener Szenarios ausgewertet werden. Das Ergebnis wird in ein vorgesehenes Feld auf der entsprechenden Seite eingetragen und im Hintergrund als E-Mail an den Betreuer des Kurses gesendet [2],[5],[6],[7].

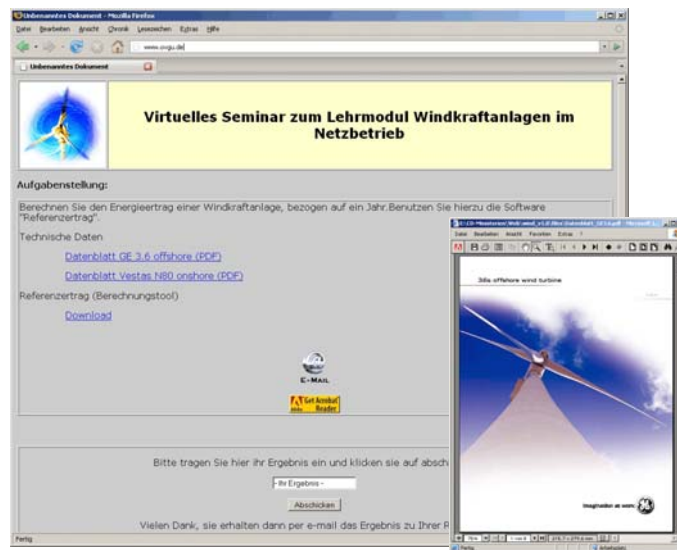


Abb. 7: Virtuelles Seminar, Programm- und Datenblattdownload.

3. Formen der Wissensvermittlung

3.1. Einführung

Bereits in den 50er Jahren wurde bei Diavorträgen mit damals modernen Diaprojektoren das Wort „Multimedia“ aufgegriffen. Heute wird dieser Begriff nahezu in allen Lebensbereichen genutzt bei unterschiedlichster Verwendung. Multimedia ist eines der am häufigsten falsch verwendeten Schlagworte [10],[11].

Die wörtliche Bedeutung ergibt sich aus den Wortbestandteilen:

Multi- [lat.: viel], als Präfix und

Medium [lat.: das in der Mitte Befindliche], allgemein Mittel, vermittelndes Element, insbesondere (in der Mehrzahl) Mittel zur Weitergabe oder Verbreitung von Informationen durch Sprache, Gestik, Mimik und Bild (...) (aus: Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Band 15, Mannheim 1975).

Gegenwärtig versteht man beim Einsatz von Multimedia in der Lehre in der Regel die Verwendung multimedialer Elemente bei der computergestützten und netzbasierten Zusammenstellung von Lernmaterial. Das Lernmaterial findet unterschiedlichen Gebrauch in der Praxis, zum einen während des Präsenzunterrichts und zum anderen als zusätzliches Lern- und Trainingsangebot außerhalb des Präsenzunterrichts.

Kommt es zum Einsatz des Computers in der Präsenzphase, wird dieser in der Regel als reines Präsentationsmittel (zusammen mit einem Datenprojektor) genutzt, um bestimmte Sachverhalte zu veranschaulichen. Bei Nutzungsarten außerhalb der Präsenzphasen werden Lernmaterialien entweder netzbasiert oder nicht netzbasiert über geeigneten Datenträger (Speichermedien) bereitgestellt. Das Lernmaterial kann kontinuierlich und beliebig oft wiederholt werden, wodurch eine Reihe verschiedener, lernzielorientierter Möglichkeiten zur Verfügung gestellt werden [8],[9].

Multimedia umfasst den Einsatz von Audio (Sprache, Klang, Musik, ...), Video (Text, Grafik, Standbild, Animation, Film, ...) und Interaktivität (über Tastatur, Maus, Touchpad, ...) [11],[13].

	<i>mono ...</i>	<i>multi ...</i>
<i>Medium</i>	monomedial: Buch, Bildschirm	multimedial: Audio, Video und Interaktivität
<i>Kodierung</i>	monocodal: Nur Text, nur Bilder	multicodal: Text mit Bildern, Text mit Musik
<i>Wahrnehmung</i>	monomodal: nur visuell, nur akustisch	multimodal: akustisch, visuell und optisch

Abb. 8: Übersicht des unterschiedlichen Einsatzes von Medien [10].

Wichtiges Kennzeichen für den Einsatz von Multimedia ist die Kombination unterschiedlicher Medientypen (Abb. 8). Eine Verknüpfung von Text und Grafik allein wird nicht als Multimedia bezeichnet, kommen jedoch Video oder Ton hinzu, ist diese Bezeichnung gerechtfertigt [7],[11].

Die Zeit als Darstellungsdimension bei der Charakterisierung von Medien spielt eine bedeutende Rolle. Es sind zwei Kategorien von Medien zu unterscheiden [7],[11]:

- *Statische Medien*, wie zum Beispiel Text oder Grafik, sind in ihrer Darstellung von der Zeit unabhängig. Der Informationsinhalt dieser Medien unterliegt keiner Zeitbedingung.
- *Kontinuierliche Medien*, wie Ton, Animation oder Video sind in ihrer Darstellung von der Zeit abhängig. Sie bestehen aus einzelnen Darstellungselementen, wie zum Beispiel Einzelbildern. Die Gesamtbedeutung ergibt sich erst aus ihrer Reihenfolge und ihrem zeitlichen Abstand.

Als Medium wird im Allgemeinen ein Mittel zur Verbreitung und Darstellung von Informationen bezeichnet. Umgangssprachlich wird der Begriff sehr unscharf und häufig in unterschiedlichen technischen und nichttechnischen Zusammenhängen verwendet [2],[11],[13].

Es wird unterschieden zwischen fünf Medienarten [2],[16]:

- Das Perzeptionsmedium

Darunter versteht man die Informationsaufnahme des Menschen. Primär wird zwischen Sehen und Hören unterschieden. Zu den visuellen Medien zählen Text, Einzelbild und Bewegtbild; unter akustischen Medien versteht man Musik, Geräusch und beispielsweise Sprache.

- Das Repräsentationsmedium

Das Repräsentationsmedium spiegelt die Informationskodierung auf dem Rechner wider und wird durch die unterschiedliche Art der rechnerinternen Informationsdarstellung gekennzeichnet.

- Das Präsentationsmedium

Präsentationsmedien sind Einrichtungen zur Darstellung von Information für einen (menschlichen) Benutzer. Man differenziert zwischen Ausgabemedien und Eingabemedien (Schnittstelle Information - Rechner). Die Medien Papier, Bildschirm und Lautsprecher sind Ausgabemedien, hingegen sind Tastatur, Kamera und Mikrofon Eingabemedien.

- Das Speichermedium

Das Speichermedium unterscheidet die verschiedenen gebräuchlichen Datenträger. Diskette (FDD), Festplatte (HDD), CD-ROM, DVD, USB-Massenspeichergerät, usw. Die Speicherung von Daten ist nicht nur auf die im Rechner verfügbaren Komponenten beschränkt, so gilt das Papier ebenfalls als Speichermedium.

- Das Übertragungsmedium

Das Übertragungsmedium charakterisiert die Informationsträger, die eine kontinuierliche Übertragung von Informationen ermöglichen, zum Beispiel Kabel, Funkverbindungen, Glasfaser usw. Speichermedien sind bei dieser Art von Medien ausgeschlossen.

3.2. Überblick über die Methoden und Techniken und deren Einsatz

Derzeit wird davon ausgegangen, dass Wissen im menschlichen Gehirn als komplexes Netzwerk gespeichert ist, es bildet die Assoziation einzelner Gedanken und Ideen. Das Schreiben reproduziert dieses im menschlichen Gehirn abgespeicherte Wissen [19]. Die Kommunikation zwischen Menschen kann über mehrere Medien entstehen. Dokumente sind eine Art dieser

Informationsübertragung, d.h. über Dokumente wird Wissen ausgetauscht. Das Lesen eines Dokumentes konstruiert Wissen. Jedes Wissen muss vor dem eigentlichen Austausch in ein lineares Dokument transformiert werden (Abb. 9). Die Strukturinformation wird in die eigentlichen Inhalte integriert [11],[13],[16].

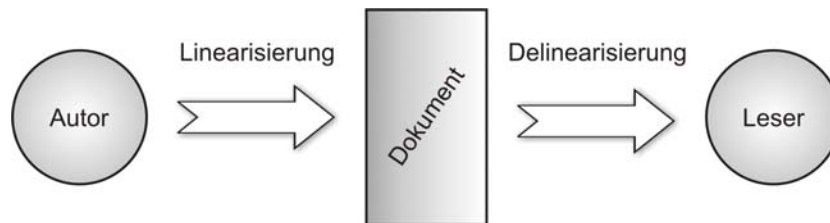


Abb. 9: Informationsübertragung zwischen Menschen [13].

Ein Buch oder ein Artikel auf Papier hat eine vorgegebene Struktur. Man kann jedoch methodisch einzelne Abschnitte lesen, ohne vorherige Abschnitte zuvor bearbeitet zu haben (nicht vorgegebener Lernweg).

Romane und Filme geben gewissermaßen immer eine bestimmte Reihenfolge für den Leser vor, dies kann als vorgegebener Lernweg bezeichnet werden. Wissenschaftliche Literatur kann aus voneinander unabhängigen Kapiteln bestehen. Jedoch wird meist ebenso sequenzielles Lesen vorausgesetzt. Die Dokumentation schließt oft eine Zusammenstellung relativ unabhängiger Informationseinheiten ein (Abb. 10); ein Lexikon wird zum Beispiel von mehreren Autoren erstellt und immer nur in Teilbereichen abschnittsweise gelesen. Es bietet sich eine sinnvolle elektronische Hilfe, bestehend aus der Verkettung von Informationen, an [11],[13].

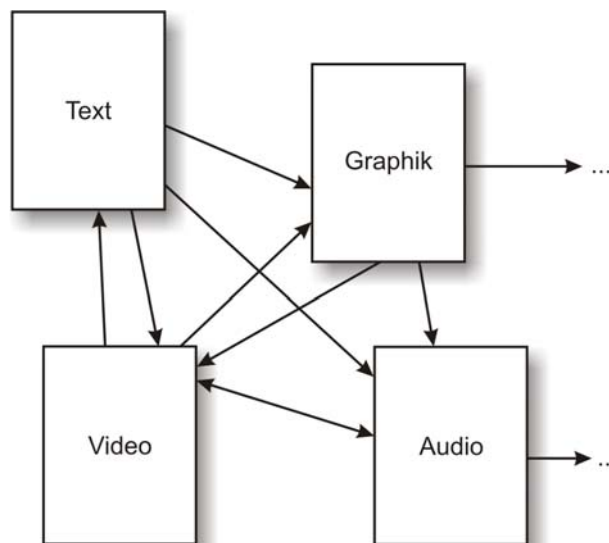


Abb. 10: Beispiel einer nicht-linearen Informationsverkettung verschiedener Medien.

Einen gespeicherten Text, bei dem es möglich ist, durch Anklicken eines ausgewählten Begriffs zu einer anderen Textstelle zu gelangen, bezeichnet man als Hypertext. Der Benutzer kann, unterstützt durch diese Technik, selbständig den gesamten Lerninhalt erarbeiten. Wird statt einer Begriffsverzweigung eine Sprach-, Musik- oder Bilddarbietung ausgelöst, so spricht man von Hypermedia [9],[11],[13].

Eine Hypertext-Struktur ist ein Graph bestehend aus Knoten und Kanten.

- Die Knoten sind die eigentlichen Informationseinheiten. Sie stellen beispielsweise Textelemente, einzelne Graphiken, Audios oder Videos dar. Die Informationseinheiten werden fast immer als in sich geschlossene Informationsgruppen dem Lernenden übergeben.
- Die Kanten stellen den Bezug zwischen verschiedenen Informationseinheiten her. Sie werden als Links (Verknüpfung) bezeichnet.

Im Internet spielt die Hypertext-Technologie durch die so genannten Links bzw. Hyperlinks, mit denen Dokumente beliebig verbunden werden können, eine zentrale Rolle. Als Vorteile dieser Darstellungsart gelten [11],[13],[26]:

- benutzerfreundliche Art der Navigation,
- schnelle Unterstützung bei zukünftigen Veränderungen,
- einfache Erweiterbarkeit.

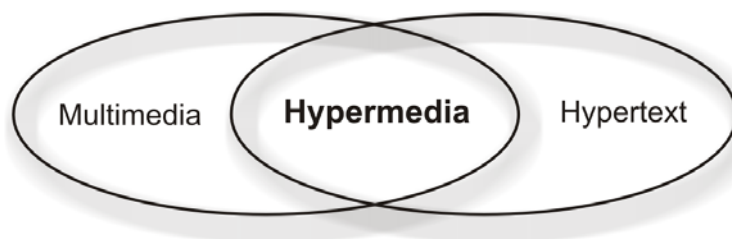


Abb. 11: Hypermedia als Schnittmenge von Hypertext und Multimedia [7].

Das Lesen eines Hypertext-Dokuments wird als Browsen oder Navigieren durch das Dokument bezeichnet. Aus der Definition kann die Verbindung zu Multimedia gezogen werden, indem Hypermedia als eine Schnittmenge von Hypertext und Multimedia definiert wird (Abb. 11).

Ein Hypertext- bzw. Hypermedia-Dokument stellt ein Netzwerk dar. Diese Verbindungen im Netzwerk gehen von so genannten Links aus und verweisen auf eine andere Textseite oder bei Hypermedia-Dokumenten zu anderen Medienobjekten. Ein Link kann zum Beispiel ein Stück Text, eine Grafik oder auch

ein vollständiges Dokument sein. Meist werden die Links durch Anklicken des Mauszeigers aktiviert.

Für die Erstellung eines Hypertextdokuments werden Hypertext-Beschreibungssprachen verwendet. Die am häufigsten verwendete Beschreibungssprache ist HTML (Hypertext Markup Language).

3.3. Mediale Elemente in der Lehre

Unter dem Oberbegriff mediale Elemente werden die in einer netzbasierten Lehrveranstaltung eingesetzten Einzelmedien zusammengefasst. Abb. 12 gibt eine Übersicht der verschiedenen Medientypen, wie beispielsweise Text, Bild, Ton, Video und Animation wieder.

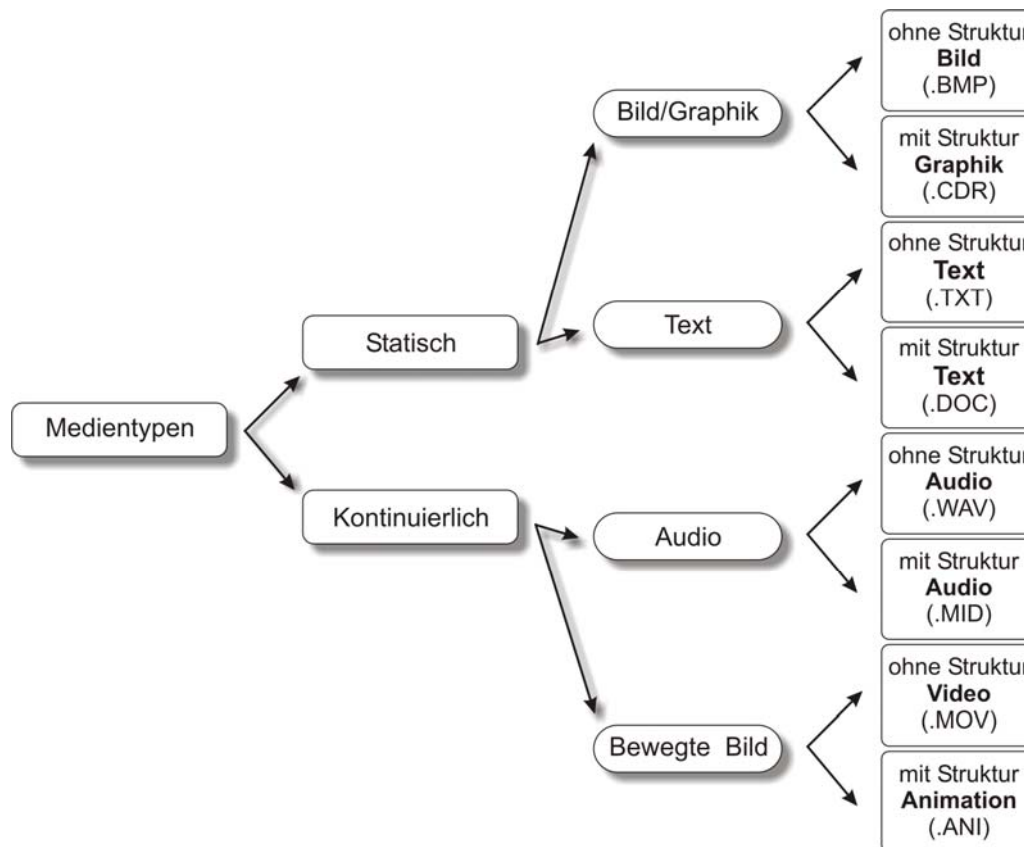


Abb. 12: Beispiele verschiedener Medientypen [13].

Hier ist wiederum die zeitliche Unterscheidung in statische und kontinuierliche Medien zu erkennen.

Statische Medien sind zeitunabhängig. Beispiele dafür sind Texte, Hypertexte, Grafiken und Bilder, deren Information eine Folge einzelner Elemente ohne

Zeitkomponente impliziert. Die Gültigkeit der mit den Daten kodierten Information ist damit zeitunabhängig.

Kontinuierliche Medien, wie Audio und Video sind zeitabhängig. Die mit den Medien gesendete Information ist nur zu einem bestimmten Zeitpunkt gültig und aktuell [13].

Medientypen mit Struktur weisen zusätzlich, anstatt einer reinen Auflistung der kleinsten Teilelemente eines Mediums (Buchstaben, Pixel usw.), Strukturinformationen und Konzepte auf, aus welchen sich die übrigen Mediendaten erneut erschließen lassen. Falls nur die Strukturinformationen gespeichert werden, benötigen strukturierte Datentypen in der Regel weniger Speicherplatz als Datentypen ohne Struktur [9],[10].

Nachfolgend werden die medialen Elemente der statischen und kontinuierlichen Medien kurz erläutert.

- Bilder und Grafiken

Bilder und Grafiken gehören zu den wichtigsten Elementen jeder multimedialen Anwendung. Durch dessen Implementierung können qualitative Zusammenhänge visualisiert werden, um komplexe Lerninhalte zu vermitteln. Von einer Grafik wird dann gesprochen, wenn das Bild nur aus geometrischen Figuren besteht (siehe Kapitel 4.2).

- Text

Der Text ist das traditionelle Medium zur Speicherung und Weitergabe von Informationen. Auch im Multimediabereich bietet der Text das wichtigste Basiselement zur Wissensvermittlung.

- Audio

Das Medium Audio bezeichnet die Gesamtheit aller akustischen Signale im Bereich des Hörschalls. Sprechertexte wirken persönlicher als geschriebener Text, so dass der Lernende sich stärker angesprochen fühlt und sich in diesem Moment ganz auf das Bild bzw. die Grafik konzentrieren kann.

- Video und Animation

Unter einem Video bzw. einer Animation versteht man eine diskrete Folge von Einzelbildern, die ab etwa 16 Bildern pro Sekunde als kontinuierliches Video oder als Animation wahrgenommen werden. Dieser Effekt bildet die Grundlage für die Aufzeichnung und Verarbeitung von Videos/Animationen (siehe Kapitel 4.2). Diese Medien werden überwiegend bei der Grundwissensvermittlung eingesetzt.

3.3.1. Vorlesung

Typische Anwendungsformen der medialen Elemente bei einer Vorlesung sind:

- Audio- und Video-Übertragungen

Die Vorlesung eines Dozenten wird mittels Videoübertragung synchron oder asynchron an den Lernenden übertragen. Zusammen mit dem Bild des Dozenten werden auch die sprachlichen Erläuterungen dem Studenten visuell und akustisch weitergegeben.

- Whiteboard (virtuelle Tafel)

Für die Vorlesung können vorbereitete Daten wie zum Beispiel Präsentationen gezeigt werden. In der Regel wird das Whiteboard zusammen mit Audio und Video übertragen.

Es wird eine Präsenzlehrveranstaltung eines Dozenten aufgenommen und in einen entfernten Hörsaal zeitgleich übertragen. Datenleitungen zwischen den Veranstaltungsräumen garantieren, dass der Dozent mit den entfernten Studenten kommunizieren kann. Der Dozent überträgt seine Folien und sein Tafelbild vom PC auf ein in beiden Veranstaltungsorten befindliches Whiteboard. Alle Lernenden in den Veranstaltungsräumen können den Erläuterungen des Dozenten folgen, Fragen stellen und das Tafelbild einsehen, ähnlich einer Videokonferenz [4],[14],[15].

3.3.2. Seminare / Übungen

Seminare und Übungen zeichnen sich durch einen festen Ablauf des Lernvorganges aus. Diese Formen der Wissensvermittlung greifen auf einen großen Aufgabenbestand verschiedener Schwierigkeitsgrade zu. Der Student bearbeitet die Aufgaben und bekommt die Rückmeldung, ob die Antwort richtig oder falsch ist. Auf die Antworten des Studenten kann zum Beispiel das netzbasierte Lernprogramm reagieren und zum Beispiel den Schwierigkeitsgrad erhöhen oder erleichtern. Diese Form der Wissensvermittlung eignet sich besonders gut:

- zur Vermittlung von Fakten und Regelwissen,
- zur Identifizierung von Lerndefiziten,
- und zur Vorbereitung von Klausuren und Praktika.

Prinzipiell werden Übungsprogramme zur Überprüfung von Grundwissen und der Feststellung von Lerndefiziten eingesetzt [16],[17].

3.3.3. Laborpraktika

Das Laborpraktikum gehört zu den kontinuierlichen Lernformen und kann zu den wichtigsten Lernformen gezählt werden. Diese zeichnet sich allgemein durch drei Arbeitsschritte aus:

- Informationen werden gegeben und diskutiert,
- Aufgaben werden gestellt,
- Antworten werden geprüft, ausgewertet und kommentiert.

Bei einem netzbasierten Lernmodul wird die Rolle des Dozenten von dem Lernsystem übernommen. Eine Interaktion findet ausschließlich zwischen dem System und dem Lernenden statt.

Zu einem virtuellen Laborpraktikum gehört eine orientierende Einführung in die ausgewählten Wissensgebiete, die Darstellung der verknüpften Wissensinhalte in jeweils kleinen Schritten und die Überprüfung des Lernerfolgs. Je nach Lernziel kann dabei eine unterschiedlich starke Prägung der Lernsteuerung vorgenommen werden [16],[17].

3.3.4. Selbststudium

Im Selbststudium werden unter anderem virtuelle Simulationen eingesetzt. Unter diesen versteht man rechnergestützte Anwendungen von dynamischen Modellen. Der Lernende kann beispielsweise durch Abändern der Modellparameter aktiv im virtuellen Labor eingreifen. Durch das Eingreifen des Lernenden wird das Modell in einen neuen Zustand versetzt, der als Ausgangspunkt für neue, gezielte Modellzustände dient. Modelle von physikalischen Objekten können als Simulation umgesetzt werden. Der Computer simuliert entweder das gesamte Modell oder nur bestimmte Teilaufgaben [37],[39].

Ein generelles Ziel des Simulationseinsatzes ist den Lernenden in eine möglichst realitätsnahe Abbildung des realen Systems zu versetzen. Dadurch wird dem Lernenden das Sammeln von Erfahrungen ermöglicht, indem er Konsequenzen seines Handelns und seiner Entscheidungen erfährt. Negative Erfahrungen wie finanzielle Verluste durch Zerstörung eines realen Systems werden durch die Nutzung virtueller Simulationen vermieden.

3.4. Kommunikation

Kommunikation (aus lat. Communicatio – Mitteilung, Unterredung) ist allgemein die Verständigung (Informationsaustausch) zwischen Menschen, Menschen und Maschinen oder zwischen Maschinen. Treten diese Informationen in Form von Text, Sprache, Bild und Video auf, wird von Telekommunikation gesprochen. Wird die Telekommunikation dazu noch um die Möglichkeit einer Interaktion erweitert, liegt eine Multimedia-Kommunikation vor [9],[13].

Kommunikation ist ein Prozess, an dem folgende Elemente beteiligt sind:

- Sender,
- Nachricht (Mitteilung),
- Empfänger.

Es können vier Kommunikationsarten unterschieden werden [7],[13],[35],[38]:

- Mensch-Mensch-Kommunikation

Die Mensch-Mensch-Kommunikation ist eine Kommunikationsart, bei der Menschen miteinander in Verbindung treten (Abb. 13). Diese Verständigung erfolgt etwa zwischen dem Studenten und dem Dozenten bei einer Präsenzveranstaltung (Vorlesung, Seminare). Es handelt sich dabei beispielsweise um den direkten Austausch von Informationen, Diskussionen, Verhandlungen bei Konflikten usw. [9],[13].



Abb. 13: Mensch-Mensch-Kommunikation [9].

Die beschriebene Kommunikationsform kann durch zwei unterschiedliche Arten von Übertragungen entstehen [7],[13]:

- verbal, z.B. Sprache, Geräusche, Laute und
- nonverbal, z.B. Signale (Lichtsignale), Zeichen, Symbole und Bilder, Mimik und Gestik.

- Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation

Diese Art der Kommunikation wird auch indirekte Kommunikation genannt. Der wesentliche Unterschied zur Mensch-Mensch-Kommunikation besteht darin, dass die Information über eine zwischengeschaltete Maschine geleitet wird (Abb. 14). Zwischen dem Studenten und dem Dozenten entsteht eine derartige Verständigung etwa bei einer virtuellen Lernveranstaltung (virtuelle Vorlesungen und Seminare) [13]. Weite Verbreitung dieser Kommunikationsform erfolgt durch die Nutzung des Internets (z.B. E-Mail, Internet-Telefonie oder Telekonferenzen). Das Gespräch via Telefon, das Fax und selbstverständlich der klassische Brief sind weitere Beispiele für die Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation außerhalb des Internets.



Abb. 14: Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation [9].

- Mensch-Maschine-Kommunikation

Die Mensch-Maschine-Kommunikation ist eine Art der Verständigung, bei der ein Mensch mit einer Maschine (Computer) kommuniziert (Abb. 15). Datenbank-Abfragen bei einem virtuellen Praktikum stellen eine solche Beziehung dar. Der Mensch formuliert seine Frage entsprechend den gegebenen Möglichkeiten und der Computer „beantwortet“ die Anfrage.



Abb. 15: Mensch-Maschine-Kommunikation [9].

- Maschine-Maschine-Kommunikation

Die Maschine-Maschine-Kommunikation ist eine Kommunikationsart, bei der ausschließlich zwei oder mehrere Computer untereinander Daten austauschen ohne direktes menschliches Mitwirken.

4. Nutzung von geeigneten Techniken für Lehre und Forschung

4.1. Gestaltung von Vorlesungen

Lerntheorien und didaktische Modelle liefern die Grundlagen für die Erstellung einer netzbasierten Lehrveranstaltung (Online-Kurs). Dessen Entwickler entscheidet einleitend über die Kursgestaltung, Lerninhalte und dessen pädagogisches Lernziel. An dieser Stelle sollte die Nutzergruppe berücksichtigt werden und die Lerninhalte auf diese abgestimmt und aufbereitet werden.

Grundlage der inhaltlichen Gestaltung bildet eine umfangreiche Materialsammlung. Schwerpunkt bei der Erstellung der Inhalte ist die themen- und lerngerechte Unterteilung und Abfolge des Unterrichtsmaterials. Lernen ist ein vielschichtiger Prozess des Wissenserwerbs. Beim Aufbau von Wissensstrukturen kann der Lernende unterstützt werden, indem ihm ein inhaltlicher Leitfaden gegeben wird. Um diesen zu gewährleisten, sollen die Wissensseinheiten eine in sich geschlossene Informationseinheit bilden und für sich allein ein Teilthema beinhalten. Überleitungen zu weiterführenden oder vertiefenden Wissensseinheiten sollen durch Navigationshilfen eine intuitive Orientierung innerhalb des Lernangebots ermöglichen. Es ist daher besonders bei der Erstellung der Inhaltsstruktur auf die Verbindung zwischen der Inhaltsgestaltung und der Navigationsstruktur zu achten.

Dabei wird auf folgende Lernabfolgen bei der Strukturierung des Lernmoduls geachtet [2],[3],[4]:

- vom einfachen zum komplexen Lerninhalt und
- vom allgemeinen zum speziellen Wissen.

Bei der Gestaltung einer Vorlesung steht die Vermittlung von Fakten und Regelwissen im Vordergrund. Dieses kann mit Hilfe der medialen Elemente wie Text, Audio und Video realisiert werden. Eine Vorlesung kann traditionell in Form eines Tafelbildes gehalten werden, jedoch ist dadurch die Aufmerksamkeit und Konzentration des Lernenden stark gefordert. Dies kann zu negativen Ergebnissen bezüglich des Lernerfolgs führen. Daher werden vermehrt Kombinationen aus traditionellen und multimedialen Lerntechniken genutzt. In Tab. 1 sind die Vorteile und Nachteile der jeweiligen Lerntechnik aufgelistet [14],[17].

Tab. 1: Vor- und Nachteile der verschiedenen Lerntechniken [14],[17].

	Vorteile	Nachteile
Präsenzveranstaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Lernende nehmen soziale Kontakte auf, bilden Gruppen - Dozenten und Studenten lernen sich persönlich kennen - Die Kommunikation ist ganzheitlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Alle Personen müssen zur gleichen Zeit am gleichen Ort sein - Lernende müssen gleich schnell lernen
Netzbasiertes Lernen (E-Learning)	<ul style="list-style-type: none"> - Studenten lernen unabhängig von Ort und Zeit - Lernende bestimmen selbst ihr Lerntempo - Schnelle Änderung und Aktualisierung der Lerninhalte möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine sozialen Kontakte zu anderen Lernenden - Missdeutungen von Inhalten möglich - Hohe Selbstlernkompetenz erforderlich

Durch den Einsatz von Audio- und Videoübertragung ist eine Verbindung zwischen Präsenzveranstaltungen und netzbasierten Lehrveranstaltungen geschaffen, wodurch die Vorlesung an Flexibilität gewinnt.

Wichtige technische Funktionen für das Medium Video, die bei dem Lernsystem verwendet werden, sind:

- Streaming

Streaming bedeutet, dass das Betrachten von Teilen bereits möglich wird, noch bevor das gesamte Video oder Audio vollständig übertragen wurde. Die Zeit, die zum vollständigen Übertragen der Daten benötigt wird, kann bereits für das Verarbeiten der eingetroffenen Daten genutzt werden. Einige Systeme bieten auch die Möglichkeit, den Stream während der Übertragung zu steuern. Das RealMedia®-System zum Beispiel bietet Steuerelemente an, mit denen der Benutzer das Video anhalten, zurück- oder vorspulen kann, als wären die Daten auf dem lokalen Rechner vorhanden. Andere Systeme, wie zum Beispiel das Autorensystem MacromediaFlash®, unterstützen das Streaming, indem sie die Daten unterteilen und angeordnet verschicken. So ist eine interaktive Nutzung bereits möglich, bevor die Übertragung komplett abgeschlossen ist [7],[11],[13].

- Kompression

Unter Kompression bzw. Komprimierung versteht man im Allgemeinen eine Reduzierung der Datenmenge durch mathematische Methoden. In nahezu allen Datenformen sind überflüssige Informationen enthalten. Durch den Einsatz geeigneter Kodierungsverfahren können diese redundanten Elemente entfernt werden und die benötigten Speichermengen reduziert werden. Die Datenmenge wird maßgeblich bestimmt durch die Auflösung (Videogröße) des Inhalts. Dabei ist auf gewisse Mindestanforderungen zur Darstellung der Information zu achten. In Abhängigkeit der zulässigen Geschwindigkeit der Datenübertragung eignen sich unterschiedliche Komprimierungsarten [11],[13]:

Verlustfreie Komprimierung – stellt exakt dieselben Daten nach der Dekomprimierung zur Verfügung, die vor dem Komprimieren vorhanden waren. Daten- und Informationsverluste sind ausgeschlossen.

Verlustbehaftete Komprimierung – liefert nach der Dekomprimierung nicht genau dieselbe Datenmenge, die vor dem Komprimieren verfügbar war. Daten- und Informationsverluste sind möglich.

- Synchronisation

Im Rahmen der Synchronisation kontinuierlicher Medien spielen die Zeitanforderungen eine bedeutende Rolle. Bei der Synchronisation von Video und Audio werden Verzögerungen von bis zu 80 ms nicht als störend empfunden. Werden hingegen Video und Text (z.B. Untertitel) synchronisiert, sind Schwankungen bis zu 250 ms tolerierbar. In einem ähnlichen Bereich liegt der Wert bei der Synchronisation von Bild oder Text und Audio (z.B. Vorlesen des Textes oder Beschreibung des Bildes) [2],[11],[13].

Diese Techniken der Gestaltung sind beispielsweise in dem E-Learning System RegEn – M (Regenerative Energien - Multimedia) umgesetzt (siehe Kapitel 5.1). Ziel des Systems ist es, komplexe Zusammenhänge und Inhalte über die regenerativen Energien dem Lernenden mittels Text, Bild und Animation/Video leichter und anschaulicher zu vermitteln. Demnach wird durch den Einsatz von Multimedia das Fachgebiet interessanter gestaltet, wodurch der Lernende motiviert wird, schwierige Sachverhalte zu verstehen. Das wiederum sichert den Lernerfolg.

4.2. Gestaltung von Übungen

Bei der Gestaltung von Übungen stehen neben der Vertiefung des Grundwissens, das Lösen und Bearbeiten von problemspezifischen Aufgaben, sowie die Vorbereitung von Klausuren im Vordergrund. In der Übung werden traditionell die Aufgaben in Papierform verteilt, vom Lernenden bearbeitet und anschließend vom betreuenden Dozenten ausgewertet. Bei netzbasiertem Lernen bleiben diese Form der Problemlösung und der gewünschte Lerneffekt erhalten. Gegenwärtig nehmen die multimedialen Elemente auf dem Rechner den Platz des Papiers ein. Zu den häufig verwendeten Techniken zählt die Nutzung von Text, Grafik, Animation und Ton.

Von einer Grafik wird dann gesprochen, wenn das Bild nur aus geometrischen Figuren besteht. Diese Grundformen können per Hand (mit Stift) oder mit Hilfe von Computer-Grafikprogrammen (Autorensoftware) angefertigt werden.

Die Grafik findet meist in zwei verschiedenen Formen Anwendung als:

- Vektorgrafik (objektorientierte Grafik) und
- Flächengrafik (Rastergrafik, Pixelgrafik).

Der wesentliche Unterschied zwischen den genannten Formen besteht in der Art der Speicherung. Bei der Flächengrafik wird das Bild in einzelne Punkte aufgeteilt, wobei jeder Punkt mit seinen spezifischen Informationen gespeichert wird. Hingegen werden bei der Vektorgrafik markante Punkte und Flächeneigenschaften gespeichert. Zudem lassen sich Vektorgrafiken beliebig skalieren ohne Qualitätsverluste. Daher ergeben sich die folgenden Vorteile für die Vektorgrafik [13],[18]:

- geringerer Speicherplatzbedarf,
- höhere Abbildungsgenauigkeit,
- verlustfreie Skalierung (Vergrößerung).

Die Flächengrafik kommt vor allem bei der Fotografie zum Einsatz. Die Bilder werden auflösungsabhängig gespeichert. Je höher die Auflösung des Bildes ist, desto höherer ist der Speicherplatzbedarf [18]. Bei einer Multimedia-Anwendung stehen etwa Grundbildformate, wie das GIF- und das JPEG-Format zur Verfügung. Weitere gängige Formate sind BMP, PNG und TIF.

Das GIF-Format wird überwiegend für Schwarz-Weiß-Bilder, aber auch für einfache Grafiken und flächige Bilder mit wenig Farbe verwendet. Die Komprimierung ist verlustfrei; dieses Format eignet sich insofern für Animationen. Das JPEG-Format geht mit verlustbehafteter Komprimierung einher und wird daher meist für Fotografien oder Bilder im Web verwendet. Mit diesem Format wird eine hohe Bildqualität geschaffen.

Geläufige Formate der Vektorgrafik sind EPS, PS oder WMF. Die Bildbeschreibung geschieht über mathematische Funktionen. Verwendung findet die Vektorgrafik im Bereich der Darstellung von einfachen geometrischen Figuren, bei Diagrammen oder Logos.

Für die multimediale Anwendung in Übungen sind diese Techniken geeignet. Dabei ist auf die Dateigröße und somit auf die Wahl der Bildformate zu achten, da diese entscheidend für die schnellere Übertragung der Lerninhalte sind. Die Dauer der Ladezeit ist abhängig von der zu ladenden Dateigröße. Lange Ladezeiten sollen vermieden werden, um den Lernfluss nicht zu unterbrechen und folglich demotivierend auf den Lernenden zu wirken [2].

Die Darstellungskraft der Grafiken stößt bei der Vermittlung komplexer Prozessabläufe an ihre Grenzen. Folglich ist die Animation ein weiteres wichtiges Gestaltungsmittel für die Lehre und Forschung.

Um Animationen zu generieren, sind mehrere Methoden unter Einbeziehung gängiger Tricktechniken und Effektmöglichkeiten möglich. Über geometrische Basiselemente, wie Kugel, Quader, Linie, lassen sich einzelne komplexe Objekte entwerfen und zu kompletten Szenen mit Hintergründen zusammenstellen. Den einzelnen Objekten können Oberflächen zugeordnet werden. Diese Strukturen ermöglichen es, nahezu alle natürlichen Formen zu visualisieren und zu simulieren[18].

Für die Animation sind drei Methoden relevant [18],[29]:

- Clip-Animation

Einzelne variierende Bilder werden hintereinander in möglichst kurzem Wechsel abgespielt. Anhand des Bildwechsels und der veränderten Bildinformation entsteht die Bewegung. Diese Art der Animation ist wie Videodaten zu behandeln.

- Pfad-Animation

Bei der Pfad-Animation wird ein Bild oder Objekt entlang einer rechnerisch definierten Linie bewegt. Dabei sind ein statischer Hintergrund und das zu bewegende Objekt notwendig. Die Bewegung wird als Pfad gespeichert und kann

jederzeit erneut ausgeführt werden. Pfad-Animationen sind sehr speichereffizient, weil nur ein Objekt und der rechnerische Pfad zu speichern sind.

- Objekt-Animation

Bei dieser Animationsart lassen sich Objekte (z.B. ein Kreis) beliebig durch einfache Programmbefehle steuern. Ein Objekt kann seine Form, Lage und sein Füllmuster ändern, weil diese Eigenschaften als Variablen vorhanden sind. So entstehen Animationen, in denen sich die Darstellung interaktiv verändern lässt. Im Rahmen der Gestaltung von Übungen kommt diese Technik zur Anwendung, um das Interesse der Lernenden zu steigern.

4.3. Virtuelles Labor

Bei der Gestaltung eines virtuellen Labors kommt es auf praxisorientiertes Wissen bzw. Erfahrungen an, die bei der Bedienung und Steuerung komplexer Anlagen und Systeme notwendig sind. Dieses praxisnahe Lernen findet im herkömmlichen Labor bei der Arbeit mit realen Anlagen/Maschinen statt. Ziel des virtuellen Labors ist es, den Lernenden in eine möglichst realitätsnahe Umgebung zu versetzen. Die reale Lernumgebung wird mit Hilfe von dreidimensionalen Techniken virtuell nachgebildet [16],[20],[35].

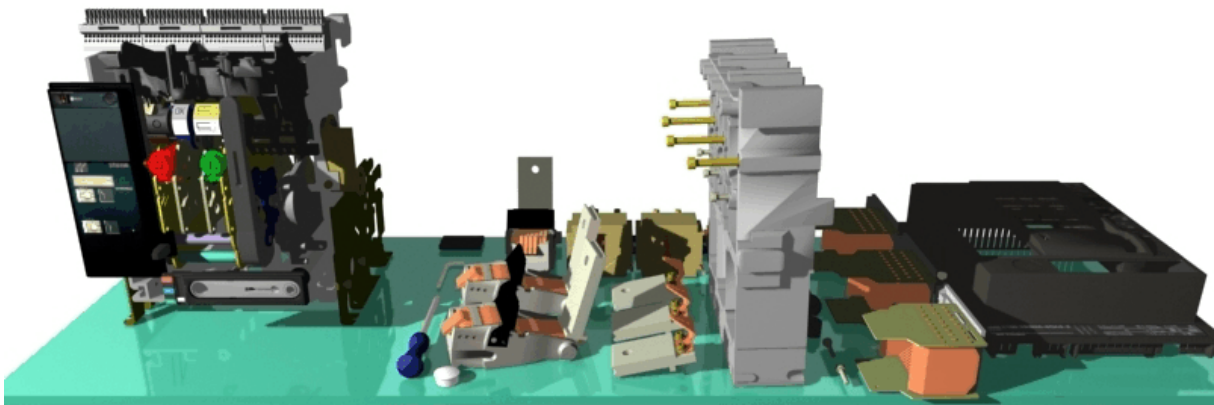


Abb. 16: Virtuelle Repräsentation eines Leistungsschalters.

Die Sprache VRML (Virtual Reality Modelling Language) ist eine mögliche Technik, mit der virtuelle Kopien von realen Systemen exakt dreidimensional abgebildet werden können. Die Abb. 16 zeigt eine solche dreidimensionale virtuelle Repräsentation eines Leistungsschalters, die mit Hilfe von VRML gefertigt wurde. Die Repräsentation soll die wichtigsten Funktionen und Probleme mit dem Umgang dieses Leistungsschalters dem Lernenden näher bringen (siehe Kapitel 5.2).

Das Ziel bei der Nutzung dieser Techniken ist das Erstellen von Trainingsszenarien, die das Lernen von verschiedenen Aufgabenbereichen möglich machen. Die Besonderheit liegt hierbei in der Nutzung von dreidimensionalen Darstellungen, beispielsweise im Servicebereich elektrischer Anlagen.

Die Visualisierung komplexer Systeme ist eine unverzichtbare Voraussetzung für das Grundverständnis von neuem Wissen. Insbesondere trifft dies auf Systeme mit komplexen Vorgängen zu, dessen Verstehen und Handhaben sonst viel Zeit in Anspruch nehmen würde. Zudem kann teure Ausstattung erforderlich sein. Dem Studenten kann die Angst vor der Zerstörung teurer Ausstattung genommen werden, wodurch die Motivation gesteigert wird, praxisnahe Erfahrungen zu sammeln.

Die Studenten sollen stets auf dem neuesten Ausbildungsstand sein. Weiterhin eignen sich diese Techniken für spezialisierte Techniker im Industrieunternehmen, bei denen regelmäßiges und qualitativ hochwertiges Training allerdings notwendig ist.

Durch gute Strukturierung und Anschaulichkeit bietet das virtuelle Lernen ein erleichtertes Umgehen mit den zu lernenden Unterrichtsinhalten. Auf diese Weise können gerade schwierige Themen durch die Zeit- und Ortsunabhängigkeit leichter erlernt und unbegrenzt wiederholt werden. Zudem werden durch Praktika das Festhalten von neuem Wissen und die Anwendung der Erkenntnisse gefördert. Die VRML-Darstellung (Virtual Reality Modeling Language) bietet mit seiner Plattformunabhängigkeit und seiner Netzwerkfunktionalität die Möglichkeit, all diese spezifischen Herausforderungen zu implementieren und zu gewährleisten [20],[35],[57].

5. Realisierung und Implementierung¹

5.1. E-Learning System RegEn - M

Das E-Learning System RegEn – M (Regenerative Energien - Multimedial) ist eine netzbasierte multimediale Lehrveranstaltung, die an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg entwickelt wurde.

Ein Schwerpunkt wird auf die Multimedia-Umsetzung von Lerninhalten unter Verwendung verschiedener medialer Elemente gelegt. Die praktische Realisierung und Implementierung basiert auf vier Szenarien, die als selbständige Module innerhalb dieser Lehrveranstaltung umgesetzt wurden. Die einzelnen Lernmodule sind wie folgt gegliedert [50],[52]:

- Modul 1: Allgemeine Grundlagen der Energieerzeugung aus regenerativen Energiequellen und ihre Potentiale,
- Modul 2: Wind als Energiequelle,
- Modul 3: Photovoltaische Energieerzeugung,
- Modul 4: Brennstoffzelle.

Diese sind als unabhängige Lernmodule in HTML (Hypertext Markup Language) konzipiert und multimedial aufgebaut. Die Ausarbeitung ist mit der Software MacromediaFlash® und MacromediaDreamweaver® erstellt worden. Die Erarbeitung der Lerninhalte basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche zu den angesprochenen Themen.

5.1.1. Methodische Vorgehensweise beim Erstellen des Systems

- Internet und Intranet

Das Internet ist ein weltweiter Verbund von Rechnernetzwerken, die alle auf dem Übertragungsprotokoll IP (Internet Protocol) aufbauen. Daten werden im Internet nach dem Prinzip der Paketvermittlung übertragen. Für die netzbasierten

¹ Die Beschreibung der Modelle und die realisierten Module befinden sich im technischen Bericht [73]

Lernmodule hat dies eine besondere Bedeutung. Es kann nicht immer sichergestellt werden, dass die Pakete in gleicher Reihenfolge oder im gleichen zeitlichen Zusammenhang beim Empfänger ankommen, wie sie zuvor vom Absender verschickt wurden. Die Geschwindigkeit der Übertragung ist nicht garantiert [7],[11],[13].

Als Intranet bezeichnet man ein organisationsinternes Netzwerk, das nach den Prinzipien des Internets aufgebaut ist. Es kann sich um ein lokales Netzwerk (LAN – Local Area Network) oder auch ein verteiltes Netzwerk (WAN – Wide Area Network) handeln (Abb. 17). Lokale Netzwerke können über das Internet zu verteilten Netzwerken zusammengeschlossen werden. Intranets werden durch eine so genannte Firewall vom Internet abgeschirmt und zusätzlich wird der Datenverkehr durch diese kontrolliert. Dadurch werden auch unberechtigte Zugänge von oder nach außen blockiert [7],[11],[13].

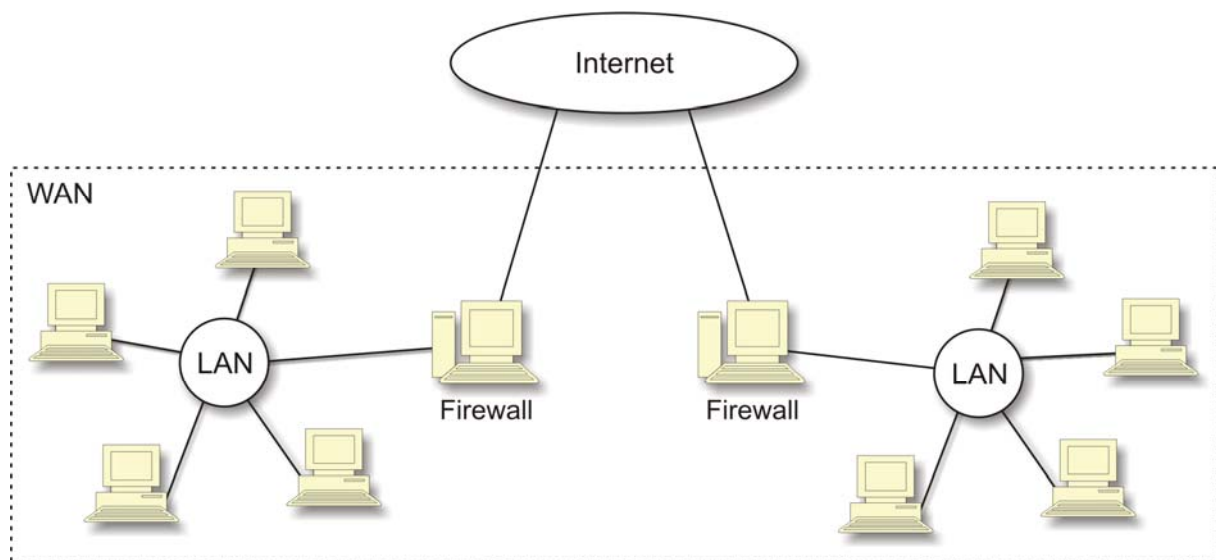


Abb. 17: Beispiel eines Rechnernetzwerkes [7].

Das Internet und das Intranet treffen keine Aussage über die eigentliche Funktionalität des Netzes, sie bilden lediglich die Plattformen bei der Realisierung weiterer Funktionalitäten in den netzbasierten Lernmodulen.

- Multimedia und HTML

Das World Wide Web (WWW) ist das am weitesten verbreitete und bekannteste Hypermedia-System, das textuelle, graphische und auditive Informationen zur Verfügung stellt. Über Web-Browser kann auf diese Informationen zugegriffen

werden. Dokumente sollen auf jedem Rechner immer möglichst gleich unabhängig von der verwendeten Hardware, dem Betriebssystem und der Software dargestellt werden. Alle Medienobjekte, die durch digitale Daten darstellbar sind, lassen sich über das Internet und das WWW versenden. Dem Browser kommt die Aufgabe zu, die gewünschten Webobjekte darzustellen. In der Regel handelt es sich um HTML²-Dokumente, die unter Benutzung des HTTP³-Protokolls übertragen werden. HTML ist ursprünglich nicht zur Kodierung von Multimediadokumenten gedacht, die ersten Versionen kannten nur Befehle zur Einbindung von Texten und Grafiken. Inzwischen ist die Einbindung von Bildern oder beliebigen multimedialen Objekten standard [7],[10],[13].

Nicht jeder Computer besitzt die aktuellste Browser-Version. Veraltete Browser sind nicht in der Lage, alle Medienobjekte tatsächlich wiederzugeben. Die meisten Browser können nur wenige mediale Elemente darstellen, können aber ihre Funktionsmöglichkeiten durch Zusatzmodule erweitern, die in den Browser eingebunden werden (so genannte Plug-In). Plug-In's laden ein externes Anwendungsprogramm, das in der Lage ist das zu ladende Medienobjekt anzuzeigen (Abb. 18). Zusätzlich werden weitere Medieneigenschaften angegeben, die beschreiben, ob die Medien statisch oder kontinuierlich sind und ob es sich um audio-, video- oder audiovisuelle Medien handelt [2],[7],[13].

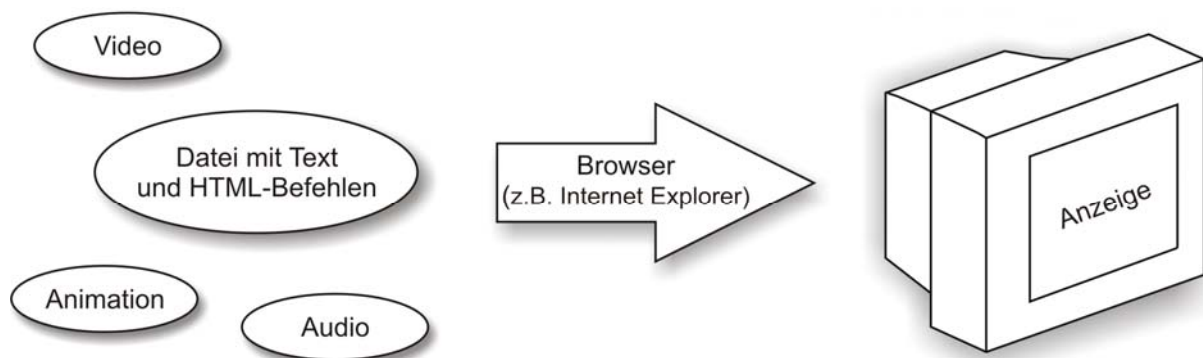


Abb. 18: Weitergabe multimedialer Objekte mittels eines Browsers [7].

- Übertragung multimedialer Objekte

Bei der Darstellung von multimedialen Objekten werden diese zunächst vom Server herunter geladen und anschließend vom Browser dargestellt. Meistens verläuft die Übertragung und Darstellung des Dokuments asynchron [7],[8].

² HTML – HyperText Markup Language

³ HTTP – HyperText Transfer Protocol

Anders verläuft die Technologie des Data-Streaming. Bei dieser Technologie werden die Mediendaten dargestellt, während sie übertragen werden. Übertragung und Visualisierung laufen in Echtzeit ab. Diese Methode ist für große Videodokumente geeignet, die nicht zuvor auf dem Rechner zwischengespeichert werden sollen. Echtzeit bedeutet nicht, dass die Übertragung so schnell wie möglich erfolgt, sondern dass das System eine bestimmte Übertragungsgeschwindigkeit garantiert.

Dabei sind vier Parameter zu beachten [7],[18]:

- der Durchsatz (auch als Bandbreite bezeichnet) der Verbindung, als Maß für die Geschwindigkeit der Datenübertragung,
- die Zuverlässigkeit der Verbindung,
- die Verzögerung der Verbindung,
- die Schwankungen der Verzögerung,

Geeignete bereits genannten Datenformate und Kompressionsverfahren werden eingesetzt, um die eingeschränkte Verbindungsqualität im Internet zu optimieren. Softwareprodukte wie z.B. der RealPlayer®, aber auch der im Betriebssystem Windows® integrierte Mediaplayer® unterstützen die Echtzeitübertragung.

- Synchronisation

Die Synchronisation zeichnet sich dadurch aus, dass ein Bezug zwischen den verschiedenen Medien und den kodierten Informationen hergestellt wird. Synchronisationsfehler können den Lernprozess stören, wenn während des Transfers die angebotenen Dateneinheiten nicht zusammen angepasst oder nicht miteinander logisch eingebunden sind.

Bei multimedialen Systemen treten die Dateneinheiten in den folgenden Varianten auf [13]:

- Inhaltliche Beziehungen können zwischen den verschiedensten Medien bestehen. Dieselben Daten werden auf verschiedene Weise präsentiert (z.B. Tabelle und zugehöriges Diagramm).
- Örtliche Beziehungen beschreiben die Anordnung von Objekten zueinander (z.B. zwischen Text und Bild in einem Dokument).
- Zeitliche Beziehungen sind vor allem zwischen den kontinuierlichen Medien (z.B. Lippensynchronisierung bei Video und Ton) zu finden.

5.1.2. Drehbuch

Zu Beginn der Entwicklung des Systems wurde die Lehrveranstaltung in verschiedene Themengebiete unterteilt und dessen Lernziele bestimmt.

- Sequenzierung

Alle vier Lernmodule sind unterteilt in je fünf Sequenzen, wovon jede Sequenz einen zusammenhängenden Lehrblock bildet (Tab. 2). Jeder Lehrblock unterteilt sich wiederum in logisch aufgebaute Wissensseinheiten von jeweils einem Dokument.

Tab. 2: Sequenzierung der Lehrmodule.

Sequenzierung in fünf Wissensseinheiten			
Modul Allgemeine Grundlagen	Modul Photovoltaische Energieerzeugung	Modul Windenergie- nutzung	Modul Brennstoffzellen
Primär- und Sekundärenergie	Sonnenlicht als Energiequelle	Wind als Energiequelle	Funktionsprinzip
Verluste, Energieträger	Physikalische Grundlagen	Physikalische Grundlagen	Anwendungen
Umweltbelastung	Bauarten	Energiewandlung	Thermodynamik der BZ
Energiemix	Solarzellen als Energiewandler	Elektrische Energie von der WEA	BZ Charakteristik
Nachhaltige Energieversorgung und Erneuerbare Energie	Photovoltaik- anlagen im Netzbetrieb	Windkraftanlagen im Netzbetrieb	Brennstoffzellen- systeme

Die Sequenzen unterteilen sich wiederum in Wissensseinheiten. Jede Einheit soll ein in sich abgeschlossenes Unterthema beinhalten und in kurzer Zeit zu erarbeiten sein [2],[14].

- Lernzieldefinition

Aus der Sequenzierung haben sich pro Lernmodul fünf Sequenzen ergeben, die für die Zwischenlernziele definiert werden sollen. Dies ergibt fünf Zwischenlernziele, die das Modullernziel ergeben. Es werden zunächst die affektiven, kognitiven und psychosozialen Lernziele definiert [26],[37],[39].

- Affektive Lernziele

Die Studenten sollen für die zukünftigen Entwicklungstrends und Potentiale der Nutzung der regenerativen Energien sensibilisiert werden. Die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten, gegenwärtig und zukünftig, sollen bekannt sein.

- Kognitive Lernziele

Die Studenten sollen beispielsweise in den Modulen Windenergienutzung und Brennstoffzelle wissen, wie die Energieerzeugung durch Windkraftnutzung und Brennstoffzellennutzung funktioniert. Physikalische Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungen sowie Probleme sollen bekannt sein.

- Psychosoziale Lernziele

Die Studenten sollen bei diesen beiden Lernmodulen in der Lage sein, den Energieertrag einer Windkraftanlage und ein Brennstoffzell-System zu berechnen. Des Weiteren sollen die Teilnehmer im Team ein Thema bearbeiten, ein Referat anfertigen und die Ergebnisse präsentieren.

Nachdem die Grobziele bestimmt sind, folgt die Formulierung der Zwischenlernziele. Hierbei werden Lernziele in steigender Komplexität erzeugt. Tab. 3 zeigt die Umsetzung der Lernziele anhand der Module Windenergienutzung und Brennstoffzelle. Diese der Analogie Zielsetzung ist in den weiteren Modulen wieder zu finden.

Tab. 3: Ansteigende Lernziele der Lehrmodule Wind und Brennstoffzelle.

Lernziel	Windkraftnutzung	Brennstoffzellennutzung
Wissen / Kenntnis	der Potentiale der Windkraftnutzung und der historischen Entwicklung der Windkraftanlage (WEA)	des Funktionsprinzips der Brennstoffzelle (BZ), Abgrenzung zu Kraftwerken, BZ-Typen
Verstehen	der Berechnung des Energieertrags aus dem Wind, der Prinzipien der Windenergienutzung, Widerstands- und Auftriebsläufer, der Bauarten von WEA, der Energiewandlungskette	der Reaktionsgleichungen, einsetzbare Brennstoffe, Kraftwerksbauformen und Potentiale der Energieerzeugung mit BZ
Anwenden	der Leistungskennlinien von WEA und der Regelungsarten von WEA	der Thermodynamik der BZ, Kennlinie und Wirkungsgrad
Analyse / Synthese	des elektrischen Systems WEA, des Netzanschlusses von WEA-Systemen	der Beeinflussungen der Kennlinie, der Brennstoffzellensysteme, Brennstoffaufbereitung, Richtlinien
Evaluation/ Bewertung	der wirtschaftlichen und technischen Aspekte der Windenergienutzung	des Erdgasbetriebs

Bei Lernzielen auf der Wissenssebene geht es um das Erinnern von konkreten Einzelheiten, Fakten und Termini.

Auf der Verstehensebene müssen die Studenten in der Lage sein, Zusammenfassungen und Schlussfolgerungen zu ziehen sowie Prognosen zu erstellen.

Bei Lernzielen im Bereich des Anwendens soll der Lernende in der Lage sein Verfahren und Regeln richtig einzusetzen und anzuwenden.

Im Bereich der Analyse und Synthese sollen die Studenten befähigt sein, relevante Informationen zu filtern und einen kontextuellen Bezug herzustellen. Darüber hinaus sollen bei der Synthese, Elemente aus verschiedenen Quellen zu Aufsätzen und Hypothesen zusammengesetzt werden.

Auf der Bewertungsebene soll eine Bewertung nach quantitativen und qualitativen Merkmalen vorgenommen werden können [14].

5.1.3. Anwendung der IT-Plattform

Baumgartner gibt in seinem Buch „Auswahl von Lernplattformen“ eine Definition webbasierter Lernplattform an.

Unter einer webbasierten Lernplattform ist eine serverseitige installierte Software zu verstehen, die beliebige Lerninhalte über das Internet zu vermitteln hilft und die Organisation der dabei notwendigen Lernprozesse unterstützt [6].

Diese Definition grenzt Lernarrangements aus, die zwar über das Internet verteilt werden, ansonsten aber keine organisatorischen Funktionen für den Lernprozess aufweisen. Hierzu zählen vor allem Skripte zum herunterladen, spezifische über das WWW angebotene Lehrveranstaltung und Inhalte. Ebenfalls ausgegrenzt werden Managementsysteme, die zwar administrative Funktionen übernehmen, aber keine inhaltlichen Aufgaben im Lernprozess aufweisen. Dazu gehören auch Content Management Systeme, die zwar Inhalte administrieren und präsentieren, aber keine Funktion für den Lernprozess aufweisen. Alle webbasierten Systeme, die nicht zu Lernzwecken konzipiert worden sind, aber hierzu verwendet werden können, wie Datenbanken, Application sharings und Intranets stellen keine Lernplattform im Sinne dieser Definition dar.

Es können fünf hauptsächliche Funktionsbereiche webbasierter Lernplattformen herausgebildet werden [6],[17],[29]:

- Wiedergabe der Lerninhalte

Hierzu zählt vor allem die Fähigkeit der netzbasierten Lernplattform, multimediale Formate darzustellen. Dazu gehört die Möglichkeit Texte darzustellen, als auch andere Medien wie Videos/Animationen, Bilder/Grafiken und Audio.

- Kommunikation

Zu den Kommunikationswerkzeugen zählen die synchrone und asynchrone Datenübertragung.

- Lösung von Aufgaben und Übungen

Die Lernplattform verfügt über geeignete Möglichkeiten, um Tests und Übungen zu editieren, bereitzustellen und somit eine Wissenskontrolle zu ermöglichen.

- Unterstützungs- und Bewertungshilfen

Lernfortschrittskontrollen und Möglichkeiten für Autoren den Lernfortschritt der Studenten zu kontrollieren, geben Hilfestellungen während des Lernprozesses.

- Administration

Pflege der Benutzerverwaltung, Anlegen neuer Benutzer, Passwortvergabe und gruppenspezifische Benachrichtigungen über Termine, Veröffentlichungen neuer Kurse, Zeitbeschränkungen, usw. zählen zur Administration des Lernsystems.

Bei der Anwendung netzbasierter Lernplattformen ist es von Bedeutung zu Beginn zwei Festlegungen zu treffen [37],[38]:

- Stufe des Lernprozesses,
- zur Verfügung stehende Lernangebot,
- Bestimmung der Nutzerzielgruppe.

Nachdem die Entscheidungen zur Lernprozessstufe und zur Nutzerzielgruppe ausgewählt sind, müssen die weiteren Kriterien definiert werden.

Diese Kriterien sind:

- Didaktische Zielorientierung

Basierend auf den Zielgruppen- und Lernprozessstufen ist die didaktische Grundstruktur der Lernplattform offen und anpassungsfähig. Während der laufenden Lehrveranstaltung ist die Lernplattform den Lernstufen angepasst.

- Kommunikation

Kommunikation, sowohl in synchroner als auch asynchroner Form werden von den Lernplattformen unterstützt.

- Administration

Während der gesamten Lehrveranstaltung ist eine Administration der Lernplattform vorgesehen.

- Technik

Anpassungsfähigkeit an Standard-Internettechnologien (wie HTML, Javascript usw.) sind gegeben. Gängige Betriebssysteme werden unterstützt.

- Software- und Lizenzkosten

Finanzielle Belastungen entstehen während der Entwicklungsphase durch die Nutzung von Autorensoftware, wie zum Beispiel MacromediaFlash®, MacromediaDreamweaver®. Für die Anwendung der fertig gestellten Lernplattform und dessen Lernmodule fallen keine Software- und Lizenzkosten an.

5.1.4. Das System RegEn – M

Das Ziel des Systems ist die Umsetzung der Lehreinheiten:

- Allgemeine Grundlagen der Energieerzeugung aus regenerativen Energiequellen und ihre Potentiale,
- Wind als Energiequelle,
- Photovoltaische Energieerzeugung und
- Brennstoffzelle,

für das Fach Regenerative Energiequellen (RegEn – Multimedial) aus bestehenden Drehbuchkonzepten. Die Lehreinheiten sind als selbständige Module realisiert und innerhalb der online Lehrveranstaltung eingebunden.



Abb. 19: Logo der netzbasierten Lehrveranstaltung RegEn – Multimedial.

In den verschiedenen selbständigen Modulen sind Simulationen und virtuelle Experimente realisiert, die sich mit dezentralem Erzeugen und Speichern von Energie beschäftigen und die neuesten Forschungsergebnisse einbinden.

Die Lehrmodule erfüllen folgende Teilziele des Studiums:

- Ergänzung der Lehre durch computergestützte Vorlesungen,
- Lernen durch Selbstlernprozesse,
- zeit- und ortsunabhängiges Lernen,
- computergestützte Wissenskontrolle (Selbstkontrolle).

Die verschiedenen Modulinhalte, aus dem die netzbasierte Lehrveranstaltung besteht, sind unterteilt in Grundinhalte und vertiefende Inhalte des Lehrmaterials (z.B. zusätzliche Lerninhalte, Links usw.). Hier kann ein Unterschied gemacht werden zwischen den persönlichen Zielen des einzelnen Studenten und beispielsweise zwischen den verschiedenen Fachgebieten des Studierenden.

Nach jedem Lernmodul erscheint ein Testmodul. Das Testmodul verfügt über mehrere Multiple-Choice Fragen oder einzelne Rechenaufgaben, die richtig gelöst werden müssen, um das vorherige Lernmodul zu bestehen. Während des Tests kann der Studierende nicht auf dasselbe und andere Lernmodule zugreifen. Er hat aber die Möglichkeit, den Test zweimal auszuführen. Bei mehrmaligem Versuch wird automatisch eine E-Mail mit den Daten des Studierenden, in einer speziell dafür angelegten E-Mail-Adresse, dem Dozenten zur Verfügung gestellt. Später kann festgestellt werden, wie viele Versuche der Studierende gebraucht hat, um das Modul oder die ganze Lehrveranstaltung richtig zu beantworten. Aus dieser Information könnte am Ende des Semesters eine begründete Note dem Studierenden vergeben werden.

- Gestaltung

Wenn eine multimediale Umgebung für die Zwecke des Lernens angeboten wird, soll eine ergonomische Funktionalität und eine erkennbare Didaktik in der Thematik und in der Vortragsweise vorhanden sein.

Bei dem strukturellen Design werden alle Ideen und Inhalte, die in Lernmodulen später eingebracht werden, analysiert und strukturiert. Hierzu gehören Recherche, Bedarfs- und Zielgruppenanalyse, die später einen klaren und verständigen Lerninhalt ergeben.

Wichtig für eine harmonische und attraktive Gestaltung ist die Auswahl der Schrift. Das Ablesen sollte für den Studierenden nicht anstrengend sein, sondern ihn motivieren. Ein sehr bedeutender Punkt ist das Festlegen der Schrifttypen. Erfahrungsgemäß ist die Verwendung von vielen verschiedenen Schriftarten nicht empfehlenswert, es verwirrt den Benutzer und sieht nicht einheitlich aus. Bei der Auswahl der Schriftgröße gibt es keine Vorschriften, sie sollte jedoch lesbar sein. Jeder Browser (z.B. Internet Explorer® oder Mozilla®) besitzt die Funktion die Schriftgröße zu ändern, daher kann jeder Benutzer allein die gewünschte Schriftgröße festlegen.

Abb. 20 zeigt die Startseiten der Lernmodule „Allgemeine Grundlagen der Energieerzeugung aus regenerativen Energiequellen und ihre Potentiale“ und „Photovoltaische Energieerzeugung“.

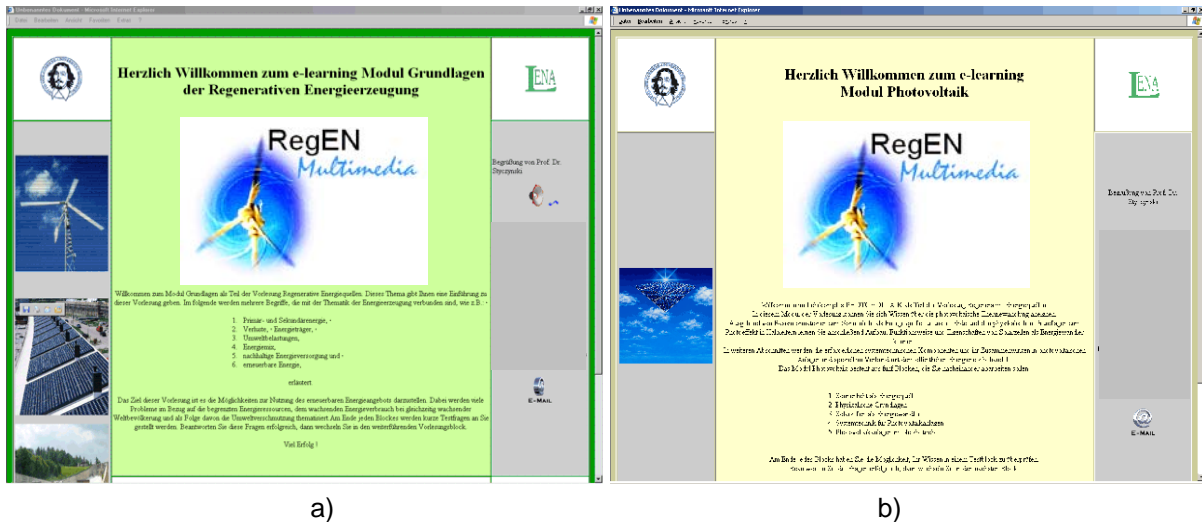


Abb. 20: Beispiel Startseiten des Lernsystems RegEn – Multimedia.
 a) Lernmodul „Allgemeine Grundlagen“, b) Lernmodul „Photovoltaik“

Die einzelnen Seiten sind einfach, übersichtlich und klar gestaltet. Bei der Erstellung einer Seite ist immer davon auszugehen, dass der Benutzer kein Computerprofi ist und dass er nicht mit komplizierten Anwendungen umgehen kann. Daher sind Navigationshilfen auf jeder Seite enthalten, die dem Lernenden den Weg weisen. Diese Navigationshilfen sind seitenspezifisch und variieren in ihrer Darstellung und Funktion. Abb. 21 veranschaulicht Beispielseiten aus dem Lernmodul „Photovoltaische Energieerzeugung“.

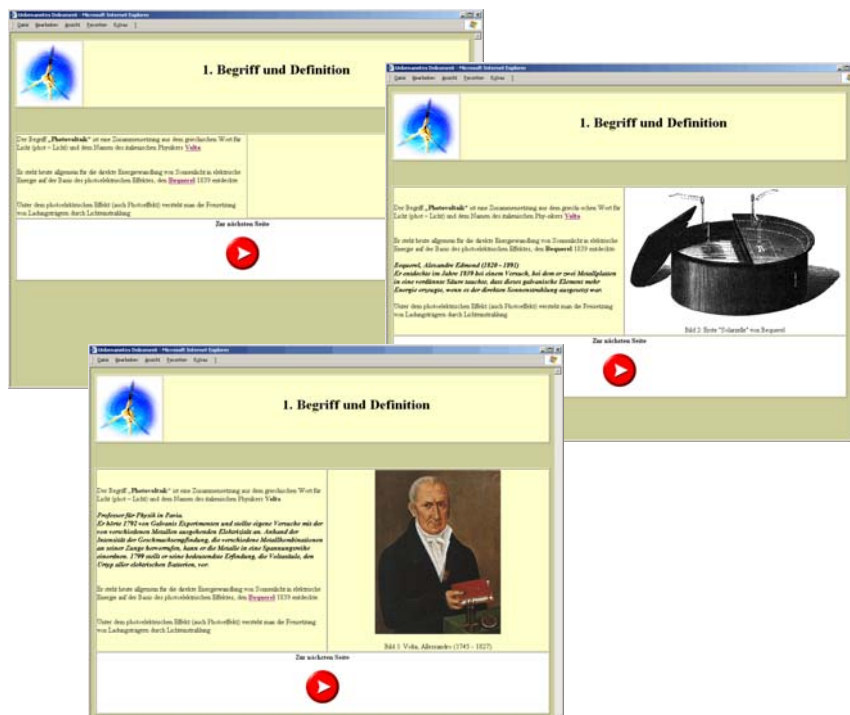


Abb. 21: Vertiefung bei dem Lernmodul „Photovoltaik“.

- Animationen

Animationen mit Vertonung dienen der Veranschaulichung von komplexen Inhaltsabfolgen und sollen diese verständlicher und interessanter für den Lernenden gestalten.

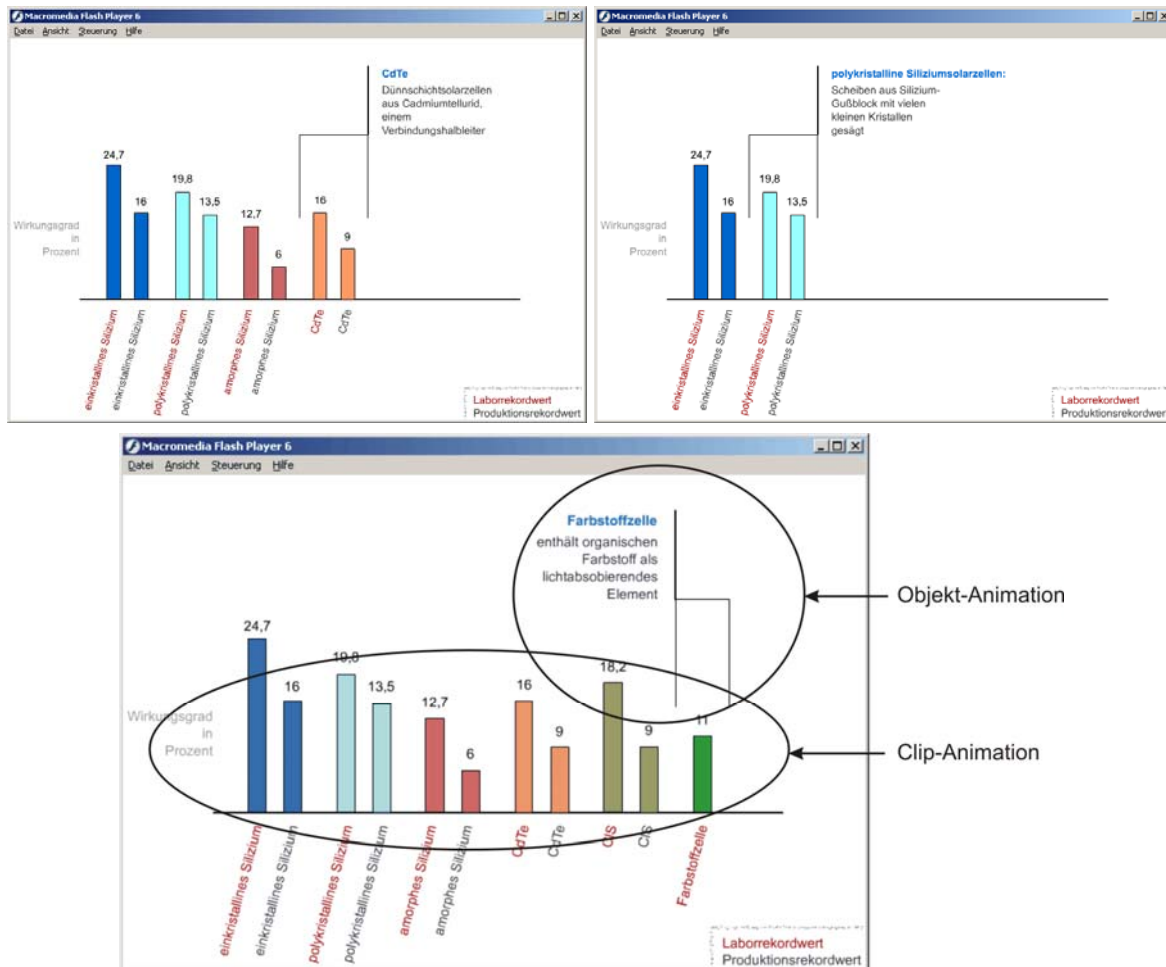


Abb. 22: Wirkungsgrade verschiedener PV-Solarzellen aus dem Modul „Photovoltaik“.

Ziel der Animation in Abb. 22 ist die multimediale Zusammenstellung verschiedener Wirkungsgrade einzelner Solarzellen.

In diesem Beispiel wird eine Mischung zwischen Clip- und Objekt-Animation verwendet.

Die Clip-Animation wird im Regelfall über mehrere Stufen realisiert, die sich im Laufe der Zeit zusammenbauen. Bei jeder Stufe wird dem Studierenden ein anderer Typ Solarzellen mit seinem spezifischen Wirkungsgrad vorgestellt. Gleichzeitig kommt die Objekt-Animation zum Einsatz und erläutert den spezifischen Aufbau und die Struktur jeder verschiedenen Solarzellenart.

Bei einer weiteren Animationsvariante ist eine Kombination der Methoden Clip-Animation und Pfad-Animation vorstellbar. Der Animationsvorgang kann in zwei Stufen geteilt werden, die für den Studierenden unbemerkt ablaufen.

Bei der ersten Stufe baut sich etwa der Hintergrund auf, der mit Hilfe der Clip-Animation realisiert werden kann. Kurz bevor die zweite Stufe beginnt wird der Hintergrund statisch. Beim Einsatz der Pfad-Animation (Stufe zwei) kann das Objekt entlang einer rechnerisch definierten Linie bewegt werden. Für diese Animationsart werden nur der statische Hintergrund und das Objekt benötigt. Vorteile bietet diese Art in erster Linie, da sie sehr geringen Speicherplatz benötigt und schnell realisierbar ist.

Zusätzlich können während des Animationsablaufs akustisch und visuell Erläuterungen bezüglich der jeweiligen Funktionalität im jeweiligen Zustand der Solarzelle gegeben werden.

- Simulation

Erfolgreiches Lernen wird wesentlich durch eine Vielzahl von Beispielen (Simulationen, virtuelle Experimente usw.) gefördert. Eine derartige Ausführlichkeit und Anschaulichkeit des Lehrstoffs ist in einem Buch so nicht realisierbar. Ein reales System wird mittels einer Simulation durch ein algorithmisches oder mathematisches Modell nachgebildet. Dabei werden mediale Elemente verwendet, die den Studierenden die Interaktion mit diesem Modell erlauben. Bei Animationen ist dies so nicht möglich. Ein Beispiel einer Simulation zeigt die Abb. 23. Die virtuellen Experimente können beliebig mit verschiedenen Parametern wiederholt werden, so dass das Verständnis für deren Parametereinfluss steigt [7],[18].

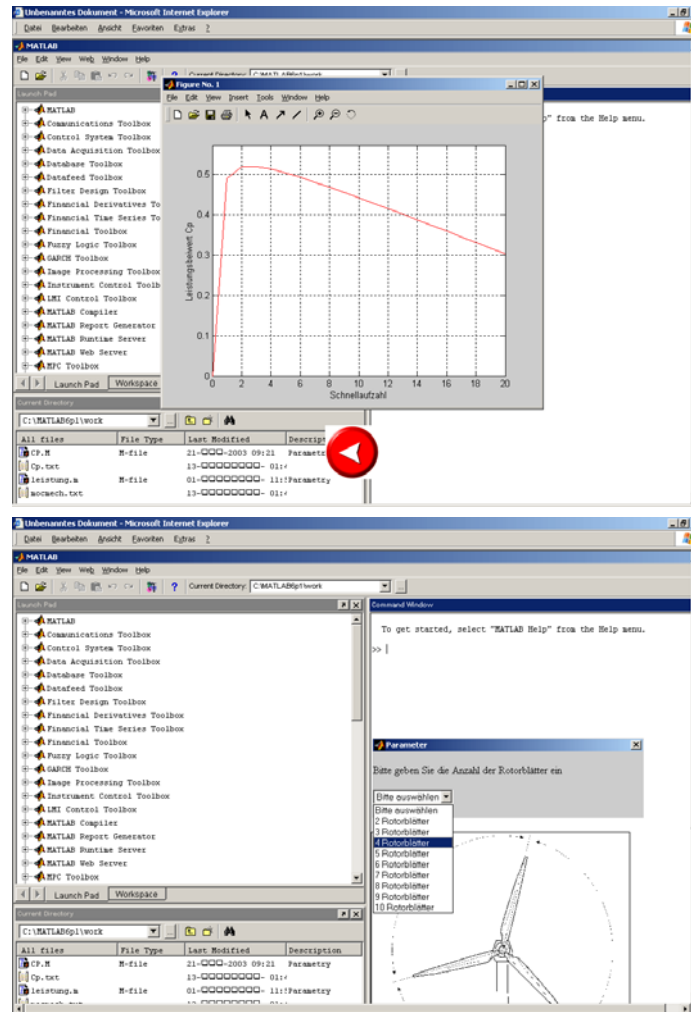


Abb. 23: Virtuelle Simulation mit MATLAB® aus dem Lernmodul „Wind als Energiequelle“.

Der Einsatz von Simulationen für die Lehre, Planung und Konstruktion gestattet es, noch nicht existierende Systeme zu testen, zu probieren und zu verbessern.

Beispielsweise wird bei der in Abb. 23 dargestellten virtuellen Simulation des Lernmoduls „Wind als Energiequelle“, die Anzahl der Rotorblätter (von 2 bis 10 Rotorblättern) einer Windkraftanlage verändert, wodurch die Leistung der Windkraftanlage variiert. Die Simulation ist unter Verwendung der Software MATLAB® realisiert worden.

Ein weiteres Beispiel wäre aus dem Lernmodul „Photovoltaische Energieversorgung“ möglich. Dort können die Lernenden in Abhängigkeit von der Solareinstrahlung die Veränderung des Energiegewinns einer Solarzelle auf der Erdoberfläche simulieren.

- Virtuelles Seminar

Die netzbasierte Lehrveranstaltung RegEn – Multimedia bietet die Möglichkeit, den Rechner als Kommunikationsmedium zu benutzen und die Auswertung einem (entfernten) menschlichen Tutor zu überlassen. Diese Art der Kommunikation ist die schon genannte Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation (siehe Kapitel 3.4). Der Tutor ist insbesondere bei der Auswertung freier Antworten (offener Fragen) vielmehr in der Lage, nicht nur die Korrektheit der Antwort zu überprüfen, sondern auch Verständnisprobleme und andere Schwierigkeiten festzustellen.

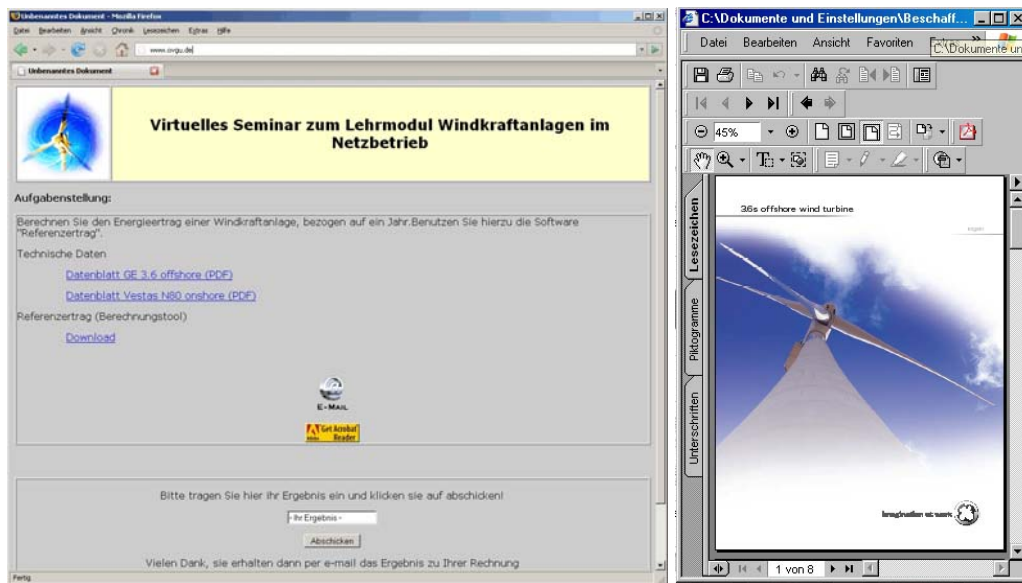


Abb. 24: Virtuelles Seminar, Lehrmodul „Wind als Energiequelle“.

Abb. 24 stellt den Lernbereich des virtuellen Seminars dar. Um diesen zu absolvieren, muss der Studierende zunächst den Test des Kurses erfolgreich bestanden haben. Der Download und die technischen Dokumente beispielsweise, die der Student für dieses Modul benötigt, sind oben dargestellt.

Zur Vertiefung des Wissens soll von den Studierenden eine Rechenaufgabe gelöst werden. Das Ergebnis wird in ein vorgesehene Feld eingetragen und dem Dozenten zugeschickt. Zur Lösung der Aufgabe muss der Student Daten aus technischen Unterlagen (stehen zum Download auf englisch bereit) entnehmen und mit Hilfe des Anwendungsprogrammes „ReferenzErtrag®“ diese berechnen. Die Software „ReferenzErtrag®“ stammt vom Deutschen Windenergieinstitut (DEWI).

Durch die Anwendung moderner Software erhält der Student bereits während seiner Hochschulausbildung Praxiskenntnisse im Umgang mit fachspezifischer Software.

Die Aufgabenstellung kann selbstverständlich dem Hochschulniveau angepasst werden.

- Wissenskontrolle

Test und Lernerfolgskontrollen erfüllen zwei sehr wichtige Aufgaben in dem Lehr- und Lernprozess [7],[19]. Tests und Lernerfolgskontrollen dienen:

- dem Lernenden als Indikator für seinen eigenen Lern- und Leistungsstand. Sie können ihn motivieren aber auch den Lernprozess anhalten, wodurch der eigene Lernprozess überdacht werden kann.
- dem Lehrenden als Indikator dafür, inwieweit die vorgegebenen Lernziele erreicht sind und wie erfolgreich die gewählte Lehrstrategie war. Daher kommt ihnen eine Schlüsselrolle zu.

In den verschiedenen Tests unterscheidet man zwischen offenen und geschlossenen Fragenstellungen [7],[18],[19]:

- Offene Fragen werden vom Lernenden textlich beantwortet, wobei er die Antwort frei formulieren kann. Eine einfache Überprüfung der Genauigkeit kann zum Beispiel durch die Versendung an den Dozenten erfolgen, der wiederum die Übereinstimmung mit einen oder mehreren Musterlösungen prüfen kann.
- Geschlossene Fragen schränken die Antwortmöglichkeiten des Lernenden ein, indem zum Beispiel vorformulierte Antworten zur Auswahl stehen. Typische Formen geschlossener Fragen sind Multiple-Choice Aufgaben, Zuordnungsaufgaben und Weitere (Abb. 25).

Beide Fragetypen sind in der aktuellen Version von RegEn – Multimedia verfügbar und können jedoch zukünftig erweitert und ergänzt werden.

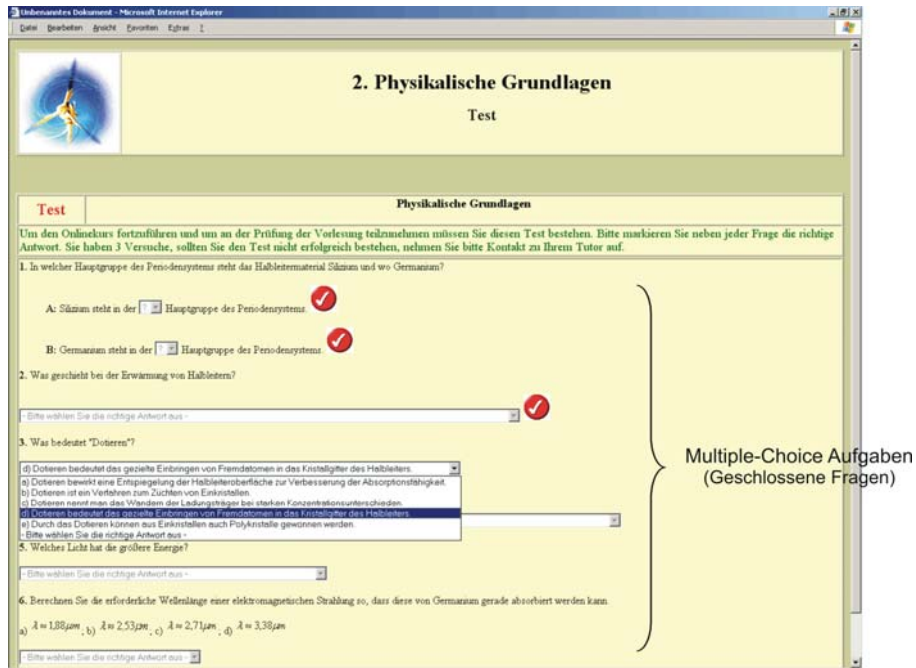


Abb. 25: Beispiel einer Testseite aus dem Lernmodul „Photovoltaik“.

Um zu verhindern, dass der Student diesen Test durch Ausprobieren besteht, wird jeder Fehlversuch von ihm registriert. Nach Abschluss des Tests erhält der verantwortliche Dozent eine E-Mail mit den Daten des Studenten und der Anzahl seiner Versuche (Abb. 26). Aus dieser Information könnte am Ende des Semesters eine gerechtfertigte Note an den Studierenden vergeben werden.



Abb. 26: Testseite im Lernmodul „Photovoltaik“ bei mehrfach falsch beantworteten Fragen.

Die realisierten Lernmodule sind aneinander gereiht, so dass ein vorgegebener Lernweg festgelegt ist. Mittels der angegebenen Inhaltsaufteilung lässt sich dies umsetzen, die Struktur kann aber nur baumartig beschrieben werden. Die hier realisierte Struktur ist jedoch vielfältiger, deshalb wird in der Arbeit ein Beschreibungsmittel verwendet, das auch Schleifen und Wiederholstrukturen enthält. In Abb. 27 und Abb. 28 sind die Hierarchiestrukturen anhand von Beispielen aus den Modulen „Brennstoffzelle“ und „Wind als Energiequelle“ dargestellt.

Die Kursinhalte werden separat als eine Wissensseinheit in die Kollektionen gespeichert. Jede Wissensseinheit besteht aus einer HTML Seite, einer Abbildung oder einer Animation, die jeweils separat als Datei existiert. Wissensseinheiten, die aus mehreren Dateitypen bestehen, wie zum Beispiel Hypertext + Bild, sind Multimediadokumente und werden in Clustern gespeichert. Alle Dateien (Dokumente) werden mit Links zu anderen Wissensseinheiten gespeichert. Externe Links können in den Dokumenten belassen werden.

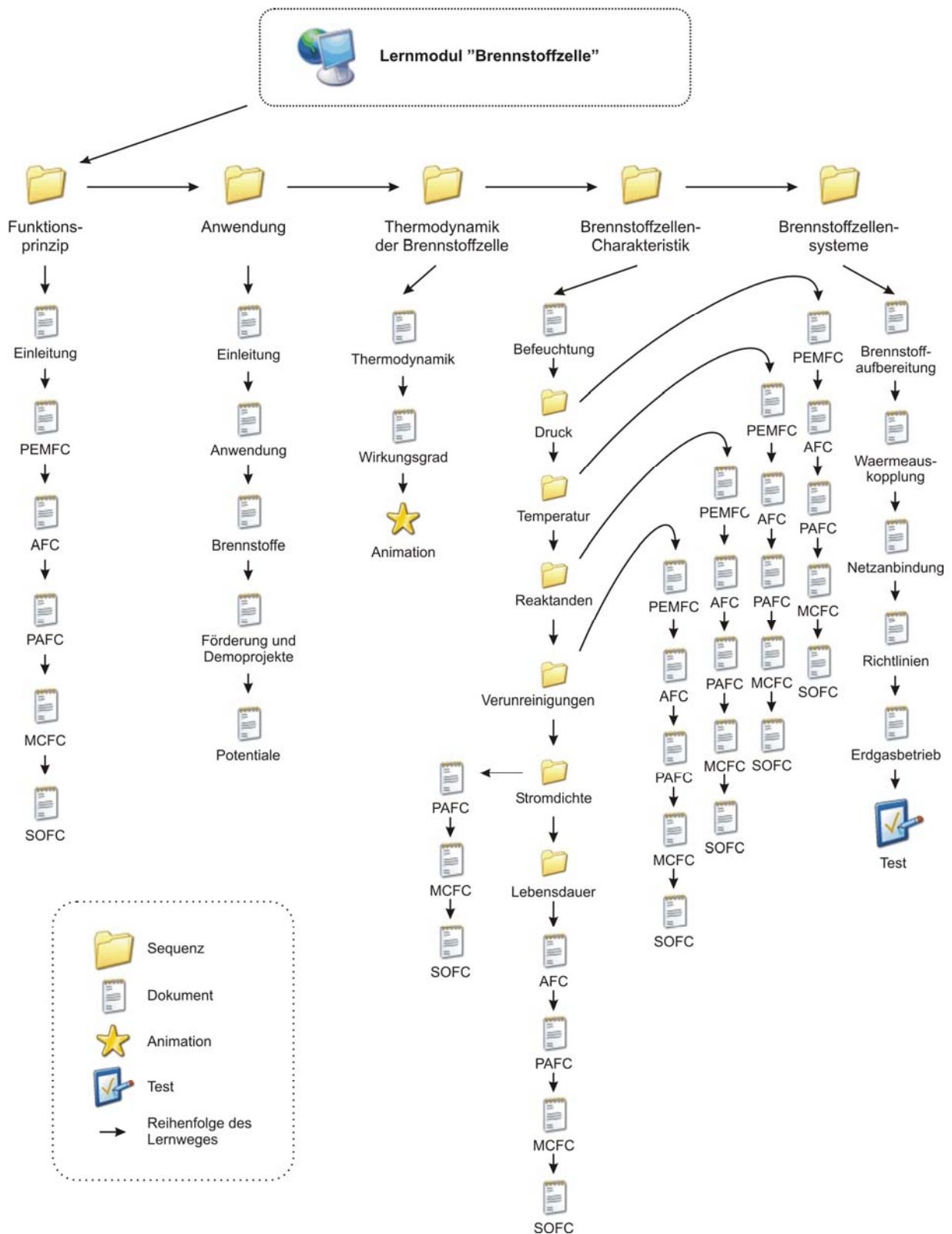


Abb. 27: Hierarchiestruktur des Moduls „Brennstoffzelle“ [42].

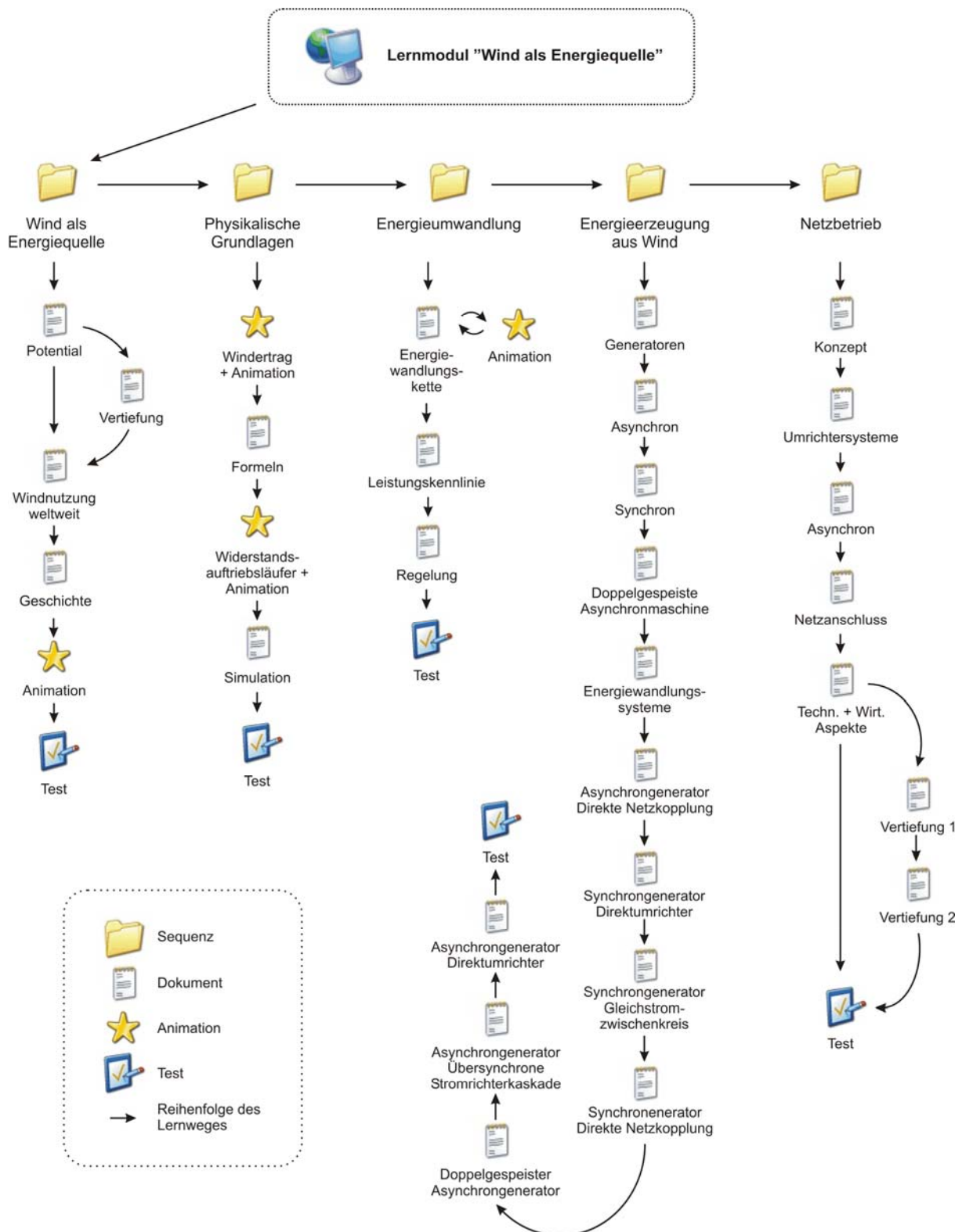


Abb. 28: Hierarchiestruktur des Moduls „Wind als Energiequelle“ [42].

5.2. VR – Training

In diesem Abschnitt werden zwei verschiedene Lernmodule vorgestellt. Diese unterscheiden sich in ihrer Form, in der das zu lernende Wissen vermittelt wird. Das Lernmodul RegEn – VL (Regenerative Energien – Virtuelles Labor) bietet dem Nutzer keinen vorgegebenen Lernweg an, die Lerninhalte können somit unabhängig und selbständig bearbeitet werden. Das zweite entwickelte Lernmodul ist ein Trainingsmodul, in dem beispielsweise verschiedene Wartungsaufgaben gelernt und trainiert werden können. Dieses Modul ist durch einen vorgegebenen Lernweg gekennzeichnet, der die einzelnen Trainingsaufgaben somit übermittelt.

- RegEn – VL (Regenerative Energien – Virtuelles Labor)

Es wurde ein dreidimensionales Modell einer Windkraftanlage als ein selbständiges Modul namens RegEn – VL – Wind für das Fach „Alternative Energiequellen“ entwickelt. Dieses multimediale Lehrsystem basiert auf der Sprache VRML (Virtual Reality Modeling Language). Alle Komponenten einer Windkraftanlage und deren Bestandteile wurden auf der Grundlage von Datenblättern unterschiedlicher Windkraftanlagenherstellern modelliert. Bei der Umsetzung des virtuellen Modells wurde, neben dem konstruktiven Aufbau und der Arbeitsweise der Windkraftanlage, Wert auf die Benutzerfreundlichkeit gelegt. Das dreidimensionale Lernmodul führt den Lernenden von den physikalischen Grundlagen und der Geschichte der Windenergienutzung zu den Techniken der Windräder. Durch den Einsatz verschiedenster multimedialer Elemente kann sich der Lernende in dem Modul frei bewegen und die Objekte in verschiedensten Ansichten detailliert betrachten.

Im Rahmen dieses Lernmoduls wurden zusätzlich Rechenaufgaben und virtuelle Experimente entwickelt, die dem Lernenden sowohl die physikalischen Grundlagen der Windenergienutzung als auch die Ermittlung von Jahresenergieerträgen nahe bringen sollen. Anhand der Windmesswerte des Deutschen Wetterdienstes wurde an drei verschiedenen Standorten (Magdeburg, Kiel und Stuttgart) die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit von unterschiedlichen pitch- und stall-geregelten Anlagen berechnet. Der Benutzer hat die Möglichkeit verschiedene Parameter zu variieren und eine näherungsweise Anpassung der Weibull-Verteilung an ein gemessenes Histogramm einzustellen.

- V.LS (Virtueller Leistungsschalter)

V.LS ist ein Trainingsmodul, welches die Virtual Reality Technologie und Hypermedia in einem integriert. Ziel ist es, durch innovatives Lernen und die Nutzung neuer dreidimensionaler Geometrie-Konzepte, den Umgang mit dem Trainingsmodul dem Nutzer zu ermöglichen. In dem Trainingsmodul sind zwei Wartungsaufgaben implementiert. Dafür wurde eine dreidimensionale virtuelle Repräsentation eines Leistungsschalters mit Hilfe von VRML gefertigt, welches die wichtigsten Funktionen und Probleme mit dem Umgang dieses Leistungsschalters dem Lernenden näher bringen soll. Auf die Lernvorgänge und die komplexen Systemvorgänge wurde besonderer Wert gelegt. Es wurde die Funktionalität und das Zusammenspiel einzelner Elemente genau beschrieben und visualisiert. Weitere Schwerpunkte wurden auf die detaillierte, systemgenaue Repräsentation der einzelnen Systemkomponenten gelegt, die im Gesamtbild die bestmögliche reale Darstellung des Leistungsschalters ermöglicht. Dadurch kann beispielsweise eine umfangreiche Anlagemechanik durch eine dreidimensionale Darstellung ersetzt werden [66],[67].

Das Computer Based Training (CBT) beinhaltet sowohl Videofilme als auch interaktive Trainingsszenarien in deutscher und englischer Sprache. Es umfasst zwei wesentliche Wartungsaufgaben für den Leistungsschalter:

- den Austausch der Hauptkontakte sowie
- das Hochrüsten der Schalter auf ein kommunikationsfähiges Gerät.

in dem Trainingsmodul ist die Besonderheit, dass der Lernprozess durch einen vorgegebenen Lernweg gesteuert wird.

5.2.1. Methodische Vorgehensweise beim Erstellen des Systems

Bei der Konzeptionierung von Virtual Reality Umgebungen sollte gleichzeitig die reale und die virtuelle Umgebung in den Designprozess eingebunden werden. Nur so lassen sich auf die jeweilige Anwendung ausgerichtete, nutzergerechte Systeme realisieren. Das nachfolgend beschriebene Zusammenwirken von realen und virtuellen Gestaltungsparametern ist in Abb. 29 skizziert.

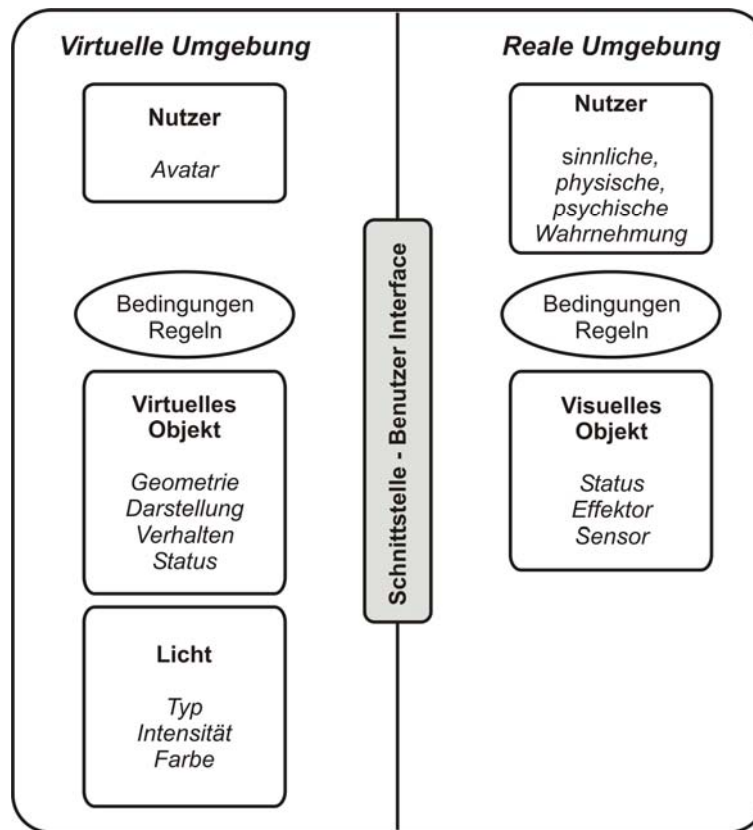


Abb. 29: Reale und virtuelle Gestaltungsfaktoren für ein Virtual-Reality-System [20].

Die reale Umgebung wird durch die Beziehung zu seinem Nutzer bestimmt. Die Parameter die den Nutzer in der realen Umgebung beeinflussen sind von physischer und psychischer Natur. Diese sollen in der virtuellen Umgebung berücksichtigt werden. Zudem gelten in der realen Umgebung bestimmte Bedingungen und Regeln wie Schwerkraft, Temperatur, etc., die den Nutzer in seinem Handeln einschränken. Im Zusammenhang mit virtuellen Welten kommen entsprechende Navigationsgeräte, wie Tastatur und Maus als Kommunikationsschnittstelle zwischen realer und virtueller Welt hinzu. Diese weisen wiederum bestimmte Eigenschaften auf, die das Handeln des Nutzers zusätzlich entscheidend beeinflussen.

In der virtuellen Umgebung sollen Objekte mit Attributen mit Hilfe von entsprechenden Methodiken beschrieben und interaktiv erfasst werden. Über bestimmte Parameter können die Eigenschaften von Objekten wie Geometrie, Farbe, Präsentationsform, Status oder Verhalten eingestellt werden. Ferner sind entsprechende Attribute für die Umgebung selber zu definieren. Hierbei sind zum Beispiel Lichtparameter, atmosphärische Effekte oder physikalische Gegebenheiten zu berücksichtigen. Diese Effekte können mit der Verwendung virtueller Werkzeuge die Realität des Nutzers genau abbilden. Daher wird ein Bezugspunkt innerhalb der virtuellen Umgebung bestimmt, der zur Orientierung benötigt wird.

Die Abbildung der realen Umgebung in die virtuelle Umgebung erfolgt über eine Schnittschicht. Diese soll beide Umgebungen flüssig und in einer für den Nutzer kaum wahrnehmbaren Art und Weise zusammengeführt werden. Handlungen des Nutzers über Interaktionsgeräte sollen die entsprechenden Aktionen in der virtuellen Umgebung aufrufen. Parallel sollen Aktionen und Zustandsveränderungen in der virtuellen Umgebung dem Nutzer über die Kommunikationsschnittstelle Handlungsrückmeldung geben. Für eine optimale Implementierung und Gestaltung sind nutzerspezifische Interaktionskonzepte in den Schnittschichten grundlegend. Sie bestimmen maßgeblich den Erfolg jeder virtuellen Arbeitsumgebung.

5.2.2. Drehbuch

Die Realisierung und Gestaltung der VR-Trainingsmodule wird anhand eines Beispiels aus dem V.LS Trainingsmodul (Virtueller Leistungsschalter) veranschaulicht.

Das Modul beinhaltet folgende zwei Wartungsaufgaben, die mit dem virtuellen Leistungsschalter zu erlernen sind:

- der Austausch der Hauptkontakte sowie
- das Hochrüsten der Schalter auf ein kommunikationsfähiges Gerät.

Bei der Realisierung der Module ist ein vorgegebener Lernweg eingebaut, der dem erfolgreichen Durchführen der Wartungsaufgaben dient. Die einzelnen Schritte werden durch das Bedienungshandbuch des Leistungsschalters koordiniert. Die Lernmodulstruktur ist wie folgt in Abb. 30 schematisch dargestellt.

Nach der Sprachauswahl beim Start des Moduls kann der Nutzer zwischen folgenden vier Optionen wählen (siehe Kapitel 5.2.4 Abschnitt V.LS):

- Demo – Ein vertontes Video zeigt den Ablauf der jeweiligen ausgewählten Wartungsaufgabe und dient der Einführung in das Thema. Es kann zudem als Auffrischung des Wissens genutzt werden.
- Training – Hier findet das Lernen und Trainieren nach der Auswahl der gewünschten Wartungsaufgabe in der virtuellen Umgebung statt.
- Hilfe – Hier werden hilfreiche Hinweise bezüglich der Navigation, notwendiger Rechneranforderungen und benötigter Plug-In gegeben.
- Impressum

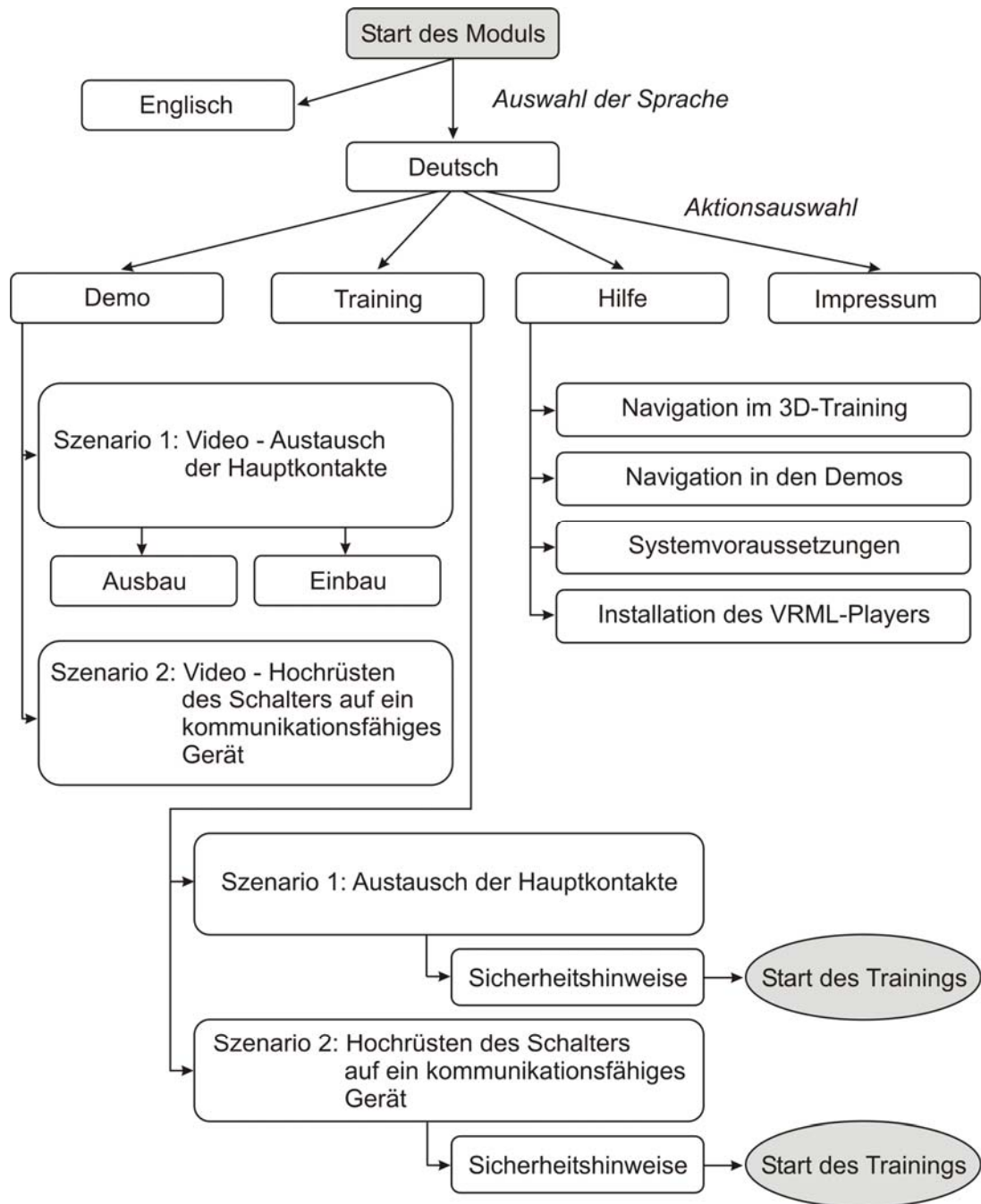


Abb. 30: Schematischer Ablauf des V.LS (Virtueller Leistungsschalter) Trainingsmoduls.

Nach dem Start des ausgewählten Trainingsmoduls wird die virtuelle Lernumgebung geladen. In Abb. 31 ist ein Beispiel für den vorgegebenen Lernweg anhand des Trainingszenarios „Hochrüsten der Schalter auf ein kommunikationsfähiges Gerät“ aus dem V.LS Modul dargestellt. Um das Trainingszenario erfolgreich zu absolvieren, müssen alle Einzelschritte korrekt und in der richtigen Reihenfolge abgearbeitet werden.

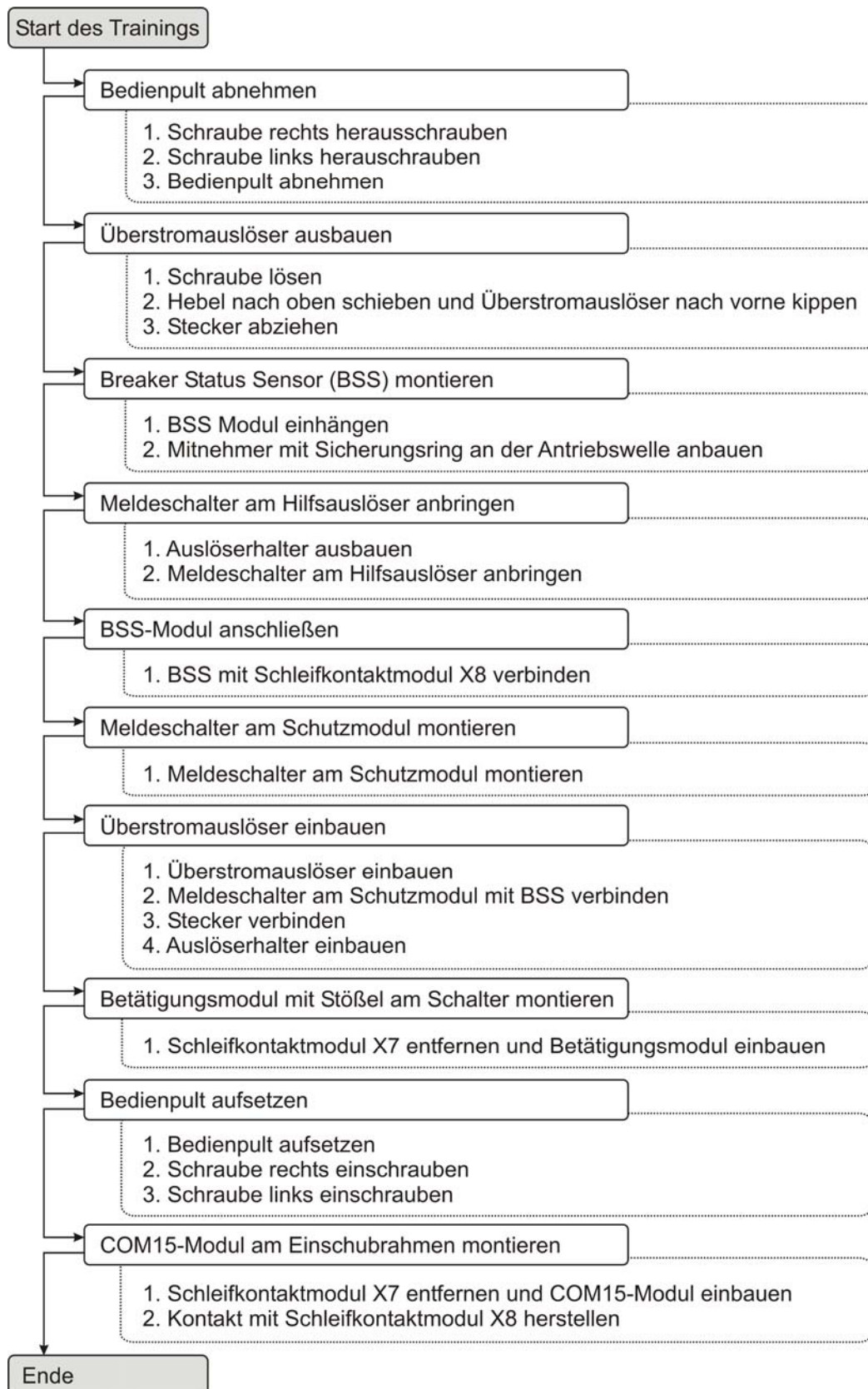


Abb. 31: Beispiel des vorgegebenen Lernwegs im Trainingszenario „Hochrüsten der Schalter auf ein kommunikationsfähiges Gerät“.

5.2.3. Anwendung der IT-Plattform

Durch den Einsatz virtueller Welten werden neue Anforderungen an das Lernen gestellt. Virtuelle netzbasierte Trainings und vernetzte virtuelle Klassenzimmer zeigen, dass mehr Kooperation und Kommunikation im Lernprozess notwendig ist. Dies wird durch die Ankopplung realer und virtueller Trainingseinheiten in den betreuten und speziell kooperativen Lernprozess umgesetzt [18],[21],[33].

Bei der Implementierung von virtuellen Lernumgebungen in das netzbasierte Lernen wurden folgende Aspekte der Lernplattform einbezogen [21],[37],[39]:

- Symmetrie

Die Informationen werden überwiegend von einem Dozenten zu den Lernenden transferiert (Asymmetrie - Vorführung und Vermittlung von Grundwissen), dagegen wird bei allen am Lernprozess Beteiligten ein vergleichbares Wissensniveau vorausgesetzt (Symmetrie - kooperatives und soziales Lernen).

- Direktheit

Der Lernprozess ist von einer Person oder einem Programm gesteuert oder handelt die Lerngruppe weitgehend autonom als sich selbst organisierende Einheit ab.

- Gruppenbildung

Lerngruppen stehen im Vordergrund, die für eine kurze Zeit gebildet werden bzw. sich bilden oder solche, die über eine längere Zeit kooperieren und dabei auch Wissensobjekte erzeugen.

- Sozialform

Art und Größe der Gruppe bestimmen die Qualität und Quantität der möglichen Interaktionen.

- Wissensziel

Jeder Lernende soll über Grundwissen verfügen, um sich dann weiterführend in die Thematik vertiefen zu können.

- Ort und Zeit

Die Lernenden befinden sich zur gleichen Zeit im gleichen Raum, die Interaktion verläuft in der Regel in klassischer Kleingruppenarbeit. Sie kann aber auch computerbasiert in elektronischen Meetings, unterstützt durch Software erfolgen.

5.2.4. Das System RegEn – VL

- RegEn – VL (Regenerative Energien – Virtuelles Labor)

Nachdem die automatische Überprüfung der Plug-In vom System erfolgreich abgeschlossen ist, wird das Modul gestartet, indem man auf die Windkraftanlage mit der Maus klickt. Abb. 32 zeigt die Startseite des Lernmoduls RegEn - VL. Zur korrekten Ausführung der Funktionen des Moduls wird ein VRML-Player (Plug-In) erforderlich, der das darstellen von dreidimensionalen Objekten ermöglicht. Dieser ist in jedem Modul integriert und muss vor dem Beginn der Arbeit installiert werden. Dieser Vorgang ist nur bei der ersten Nutzung des Moduls erforderlich.

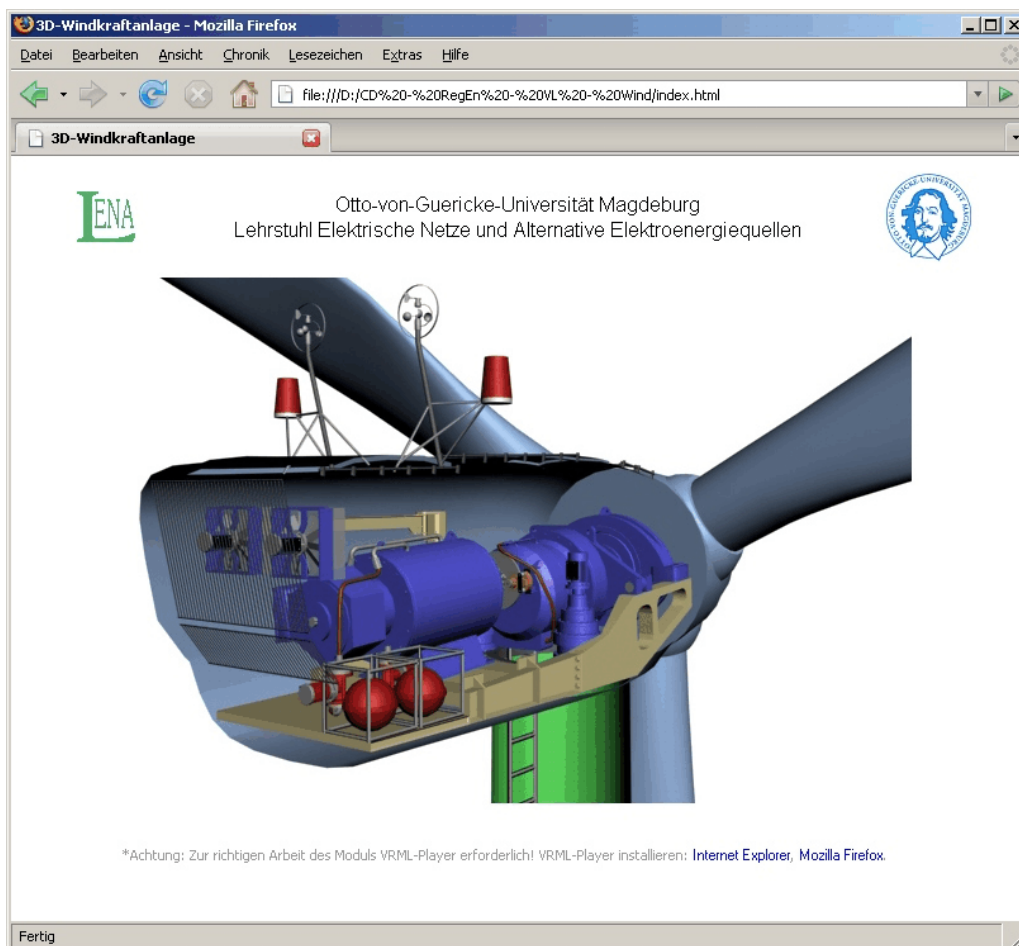


Abb. 32: Startseite des RegEn - VL Moduls.

Das Modul ist in drei Teile gegliedert, die aus dem Hauptmenü des Lernmoduls zu wählen sind. Diese sind wie folgt eingeteilt: Grundlagen, Dreidimensionale Windkraftanlage und Rechenaufgaben.

Grundlagen

Dieser Teil beinhaltet allgemeine Informationen und Wissen über die Geschichte, Grundlagen und physikalische Hintergründe bei der Nutzung von Windenergie. Abhängig von der Menge der Informationen sind die Lerninhalte in mehrere Informationsbereiche unterteilt. Auf diese kann von dem Lernenden wie folgt zugegriffen werden:

- Geschichte der Windkraft,
- Physikalische Grundlagen,
- Wind (Entstehung und Windgeschwindigkeitsverteilung).

In Abhängigkeit von der Seitenanzahl befindet sich im Informationsbereich ein Seitenumschalt-Schaltfläche, der das Umschalten zwischen den Informationsbereichen ermöglicht. In Abb. 33 ist ein Beispiel aus dem Teilbereich Physikalische Grundlagen der Energienutzung dargestellt.

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window titled '3D-Windkraftanlage'. The address bar shows the file path: file:///D:/CD%20-%20RegEn%20-%20VL%20-%20Wind/index.html. The page content includes a navigation menu with 'Home', 'Geschichte', 'Grundlagen', 'Wind', '3D-Modul', and 'Rechnaufgaben'. The 'Grundlagen' section is active, with a sub-section 'Physikalische Grundlagen'. The main text describes Albert Betz's work from 1922-1925, explaining the Betz limit and the Betz theory. A formula for kinetic energy is shown:
$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1.1)$$
 Below the formula, a table defines the variables: E (Windenergie in [Nm]), m (Masse der Luft in [kg]), and v (Windgeschwindigkeit in [m/s]). A note at the bottom states: 'Der Volumenstrom \dot{V} ist definiert als ein durch eine Fläche A pro Zeiteinheit hindurchfließendes Volumen.'

Abb. 33: Physikalische Grundlagen der Energienutzung.

Dreidimensionale Windkraftanlage

Dieser Bereich des Lernmoduls ist wie folgt untergliedert: Technische Komponente, Außenansicht und Innenansicht der Windkraftanlage. In diesem Bereich befindet sich die gesamte mit Hilfe der VRML – Sprache entworfene Windkraftanlage und die detaillierte Beschreibung der einzelnen Komponenten.

Unabhängig von Anwendung, Bauform oder konstruktivem Aufbau ist bei allen Windkraftanlagen die Wandlung der kinetischen Energie der bewegten Luftmassen in mechanische Rotationsenergie gleich. Windkraftanlagen sind Energiewandler.

Die Innenansicht der virtuellen Windkraftanlage zur Netzeinspeisung von Strom ist in Abb. 34 dargestellt. An dieser lassen sich alle wesentlichen Komponenten zeigen.



Abb. 34: Konstruktiver Aufbau der Windkraftanlage im Bereich des 3D-Moduls.

Dem Lernenden stehen achtzehn einzelne Komponenten (plus Rotor) zur Verfügung, die die gesamte Windkraftanlage bilden, sowie eine interne Turmkonfiguration der Windkraftanlage. Nach der Wahl der gewünschten Komponente erhält der Nutzer eine Beschreibung dieser Komponente, technische Daten (Herstellerkatalog) und ein zusätzliches detailliertes dreidimensionales Modell. Dieses Modell erlaubt dem

Nutzer eine genaue Betrachtung und das Studieren dieses Elementes (Abb. 36). Das Betätigen der Grossansichts-Schaltfläche öffnet ein neues separates Fenster, in dem das 3D-Modell sichtbar wird, weiterhin kann dieses auf eine beliebige Bildschirmauflösung angepasst werden.

Der Nutzer hat die Möglichkeit sich frei im virtuellen Modell zu bewegen, zusätzlich stehen auch voreingestellte Ansichten zur Verfügung. Durch die Ansicht Menü können diese gewählt werden und somit die wichtigsten Teile und dessen Zusammenwirkung dargestellt werden (Abb. 35).



Abb. 35: 3D-Modell und detaillierte Beschreibung des Funktionsprinzips des Azimutlagers einer Windkraftanlage.

Nach der Bekanntmachung der einzelnen Komponenten bestehen zwei Möglichkeiten, die Anlage entweder von Außen oder von Innen zu betrachten. Die virtuelle Windkraftanlage wurde mit einem realitätsnahen Hintergrund entworfen, damit die Außenansicht realer wirkt.

Die Innenansicht stellt das komplette Spektrum der einzelnen Komponenten der Windkraftanlage dar. Durch das virtuelle Modell kann der Benutzer die funktionelle

Arbeitsweise der Anlage erlernen. Es stehen dreiundzwanzig Ansichten zur Verfügung. Abb. 36 zeigt ein Beispiel der internen Ansicht der Windkraftanlage.

Mit Hilfe der Schaltfläche „Anlauf der Anlage“ wird die gesamte Windkraftanlage gestartet. Anschließend kann sowohl die Umdrehung des Rotors und der Rotorwelle als auch der Kühlungsprozess des Generators betrachtet werden.

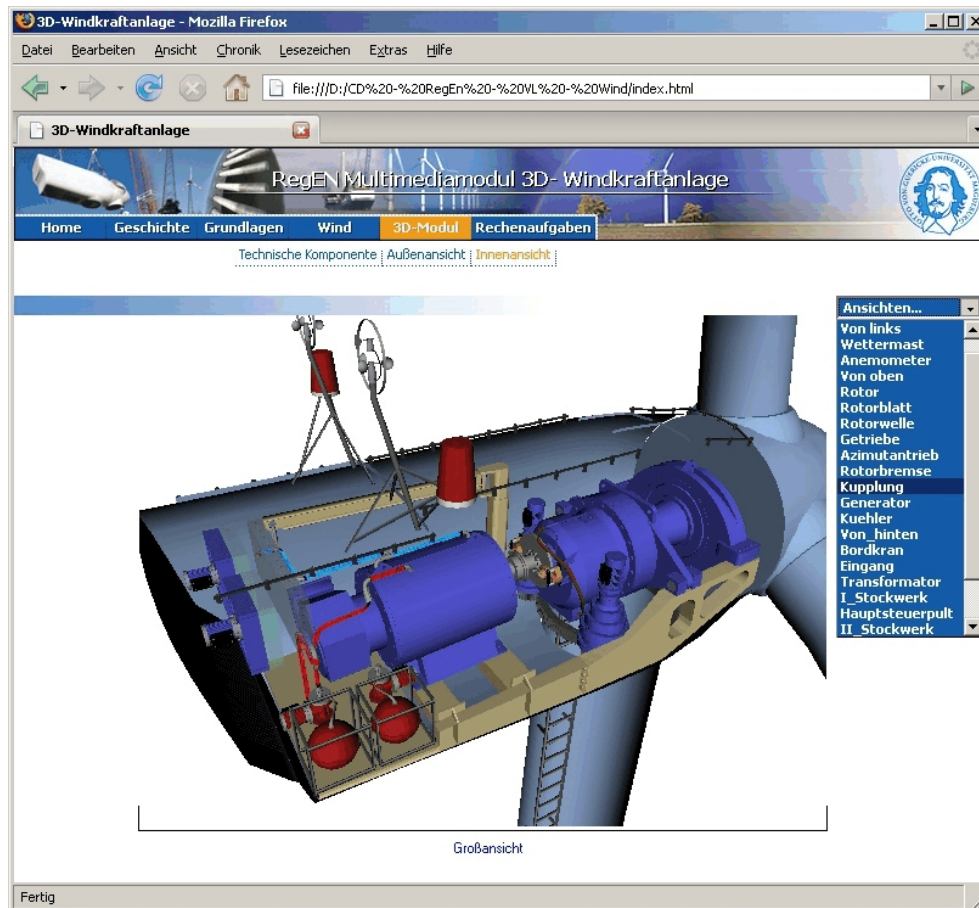


Abb. 36: Beispiel der Innenansicht der Windkraftanlage.

Rechenaufgaben

Dieser letzte Teil des Lernmoduls enthält die mit Hilfe der Matlab®-Umgebung entwickelten Rechenaufgaben, die als Ergänzung für die dreidimensionale Windkraftanlage realisiert wurden. Die Rechenaufgaben sind mittels MacromediaFlash® als unabhängige Umgebung aufgebaut, um eine bequeme Handhabung zu gewährleisten. Die Aufgaben sollen dem Lernenden die physikalischen Grundlagen der Windenergienutzung und einige Methoden, wie zum Beispiel die Berechnung des Jahresenergieertrages bei der Planung einer Windfarm, näher bringen.

Auf der Abb. 37 ist ein Beispiel der ersten Aufgabe gegeben: „Berechnung und Darstellung der Leistung P und des Leistungsbeiwertes C_p einer Windkraftanlage“. Diese Aufgabe offenbart dem Lernenden bei Auslegung einer Windkraftanlage zwei grundsätzliche Parameter – Leistung und Leistungsbeiwert. Der Leistungsbeiwert zeigt, wie effizient eine Windkraftanlage die Energie des Windes in Elektrizität umwandelt. Der Leistungsbeiwert ist definiert als der Quotient aus der dem Wind entzogenen Leistung zur insgesamt enthaltenen Leistung. Dem Lernenden werden diese Parameter mit dessen Bedeutung und Auswirkung grafisch dargestellt.

The screenshot shows a web-based virtual lab interface. The top part is a navigation menu with 'Rechenaufgaben' highlighted. Below it, the title 'Aufgabe 1. Berechnung und Darstellung der Leistung P und der Leistung C_p einer Windkraftanlage' is displayed. The main content area contains an introduction, instructions, and interactive sliders for rotor diameter (82, 70, 48 m) and wind speed (0-25 m/s). Two graphs show power P [kW] and power coefficient C_p [-] vs. wind speed [m/s].

Abb. 37: Beispiel von Rechenaufgaben im virtuellen Labor des Lernmoduls.

Anhand der verschiedenen sowohl stall- als auch pitch-geregelten Windkraftanlagen und der Datenblätter können die Werte von diesen Parametern im Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit abgelesen werden. Mit Hilfe des Rotordurchmesser-Schiebers kann man eine von drei pitch-geregelten Anlagen wählen. Wenn man den Schieber nach oben bewegt, ändert sich sowohl der Rotordurchmesser als auch die Höhe dieser Anlage. Zusätzlich ist durch den Windgeschwindigkeits-Schieber die Änderung der Windgeschwindigkeit im Bereich von

1 bis 25 m/s verstellbar. Zugleich lassen sich die Parameter in den Leistungsbeiwertkurven ablesen.

Diese Zusammenhänge werden auch analytisch dargestellt und befinden sich unter der Formelweg-Schaltfläche. In diesem Bereich lassen sich auch Herstellerdaten dieser Windkraftanlagen, entsprechende Formeln und eine Beispielrechnung ansehen.

- V.LS (Virtueller Leistungsschalter)

Das Lernmodul V.LS ist ein dreidimensionaler Trainingsimulator. Er besteht aus zwei eingebauten Trainingszenarien „Austausch der Hauptkontakte“ und „Hochrüsten des Schalters auf ein kommunikationsfähiges Gerät“. Jedes der beiden Szenarien kann als Vorführung (Demo) oder interaktiv in der dreidimensionalen Umgebung (Training) durchgeführt werden.

Jedes Szenario hat das Bestreben eine bestimmte Richtung bei der Lernthematik zu vermitteln, wodurch eine einfache Unterteilung des Wissens und deren Lernrichtung geschaffen werden kann.

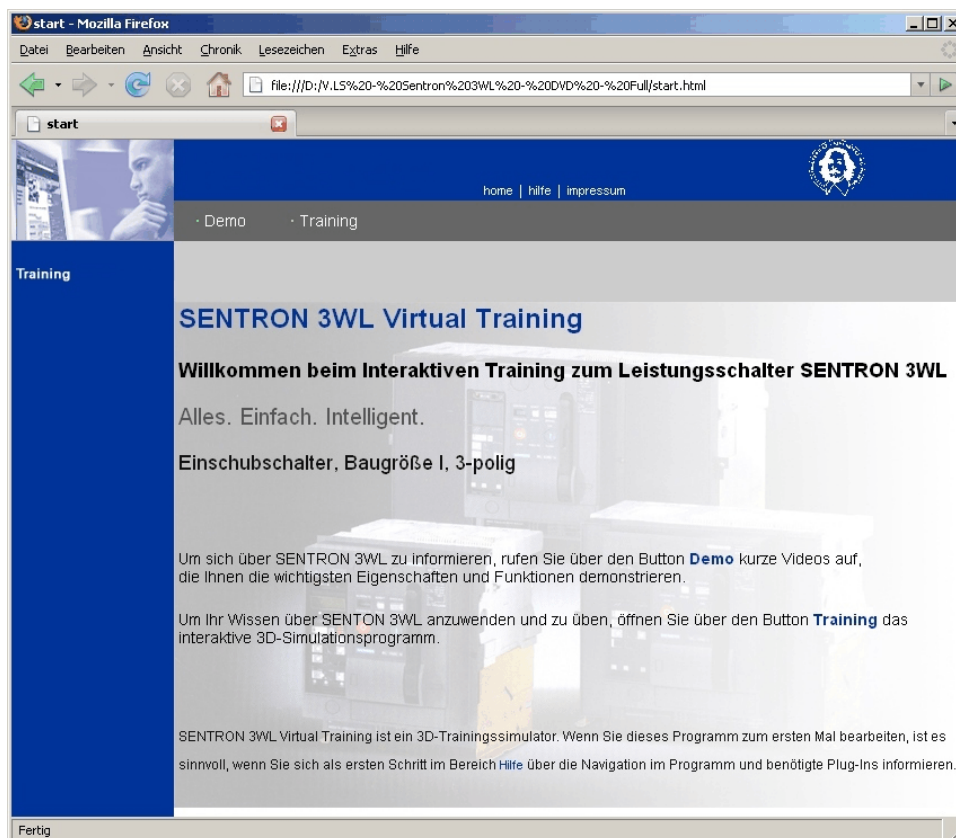


Abb. 38: Startseite des V.LS Moduls.

Auf der Startseite kann der Benutzer zunächst zwischen deutscher und englischer Sprache wählen, um auf die jeweilige Startseite der gewählten Sprache zu gelangen. Die deutsche Startseite ist in Abb. 38 gezeigt. Hier werden einleitende Worte über die kommenden Nutzungsmöglichkeiten des Lernmoduls beschrieben.

Unter dem Bereich Hilfe kann sich der Nutzer vorab über die Navigation im Programm und den benötigten VRML-Player (Plug-In) informieren, um so erstmaligen Nutzern den Einstieg zu erleichtern. Gegebenenfalls kann bei auftretenden Problemen auch während der Nutzung auf die Hilfe zugegriffen werden. In den Trainingsszenarien sind die einzelnen Schritte und Aktionen als Hilfestellung beschrieben.

Der Hilfebereich ist in folgende Themen gegliedert:

- Navigation im 3D-Training –der Nutzer findet hilfreiche Hinweise, wie man im dreidimensionalen Trainingsmodul operieren kann.
- Navigation in den Demos – beschreibt die Steuerung der Demonstrationsvorführung.
- Systemvoraussetzungen – die empfohlene Mindestvoraussetzungen der Hardware und Software sind angegeben.
- Installation des VRML-Players (Plug-In) – stellt den Vorgang zur Installation des benötigten Plug-Ins detailliert dar.

Demo-Modus des V.LS Trainingsmoduls

Jedes Wartungsszenario wird in einem Demovideofilm vorab am virtuellen Modell vorgeführt (Abb. 39). Es wurde eine Unterteilung der Szenarien in Ausbau und Einbau vorgenommen, zur besseren Übersicht und Achtsamkeit des Nutzers. Die Demonstration ist mit der jeweiligen gewählten Sprache vertont. Dabei ist jedes Szenario, mit den für sich relevanten Schritten, sprachlich beschrieben. Die hinterlegte Sprache dient mit der vorgeführten Trainingssequenz zu besserem Verständnis für den Lernenden.

Es besteht die Möglichkeit, die Videogröße beliebig zu verändern, indem mit der rechten Maustaste auf das Video geklickt wird und die gewünschte Größe im Kontextmenü gewählt wird, zum Beispiel Vollbild.

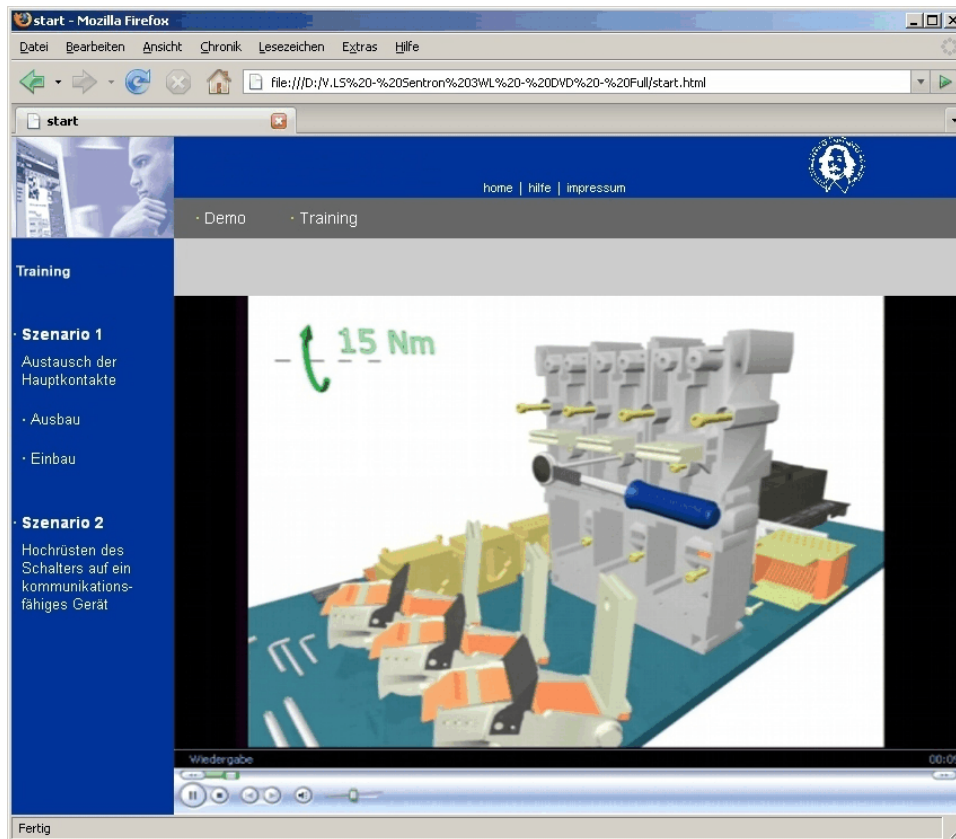


Abb. 39: Demo-Modus des V.LS Moduls.

Trainings-Modus des V.LS Trainingsmoduls

Nachdem der Nutzer das gewünschte Trainingsszenario ausgewählt hat, wird er mit den Sicherheitshinweisen vertraut gemacht. Anschließend wird das Trainingsmodul gestartet (Abb. 40). In diesem sind die einzelnen Schritte und Aktionen in den Trainingsszenarien beschrieben. Um das virtuelle Training zu durchlaufen, wählt der Nutzer die richtigen Bauteile des Schalters in der korrekten Reihenfolge aus. Dafür werden per Mausklick nacheinander, die unter Aktion beschriebenen Elemente, in der dreidimensionalen Grafik ausgewählt. Anhand der weiß hinterlegten Schrift erkennt man den aktuellen Vorgang der absolviert werden muss. Grau ist wiederum die bereits erledigte Aufgabe markiert.

Im Trainings-Modus können verschiedene Ansichten des virtuellen Leistungsschalters genutzt werden. Dabei klickt der Lernende zur Navigationshilfestellung einfach mit der rechten Maustaste auf den Hintergrund und wählt die gewünschte Kameraansicht des Kontextmenüs. In diesem Menü ist je nach Szenarioschritt immer als erstes der Ansichtspunkt zu sehen, der zum nächsten Schritt führt.

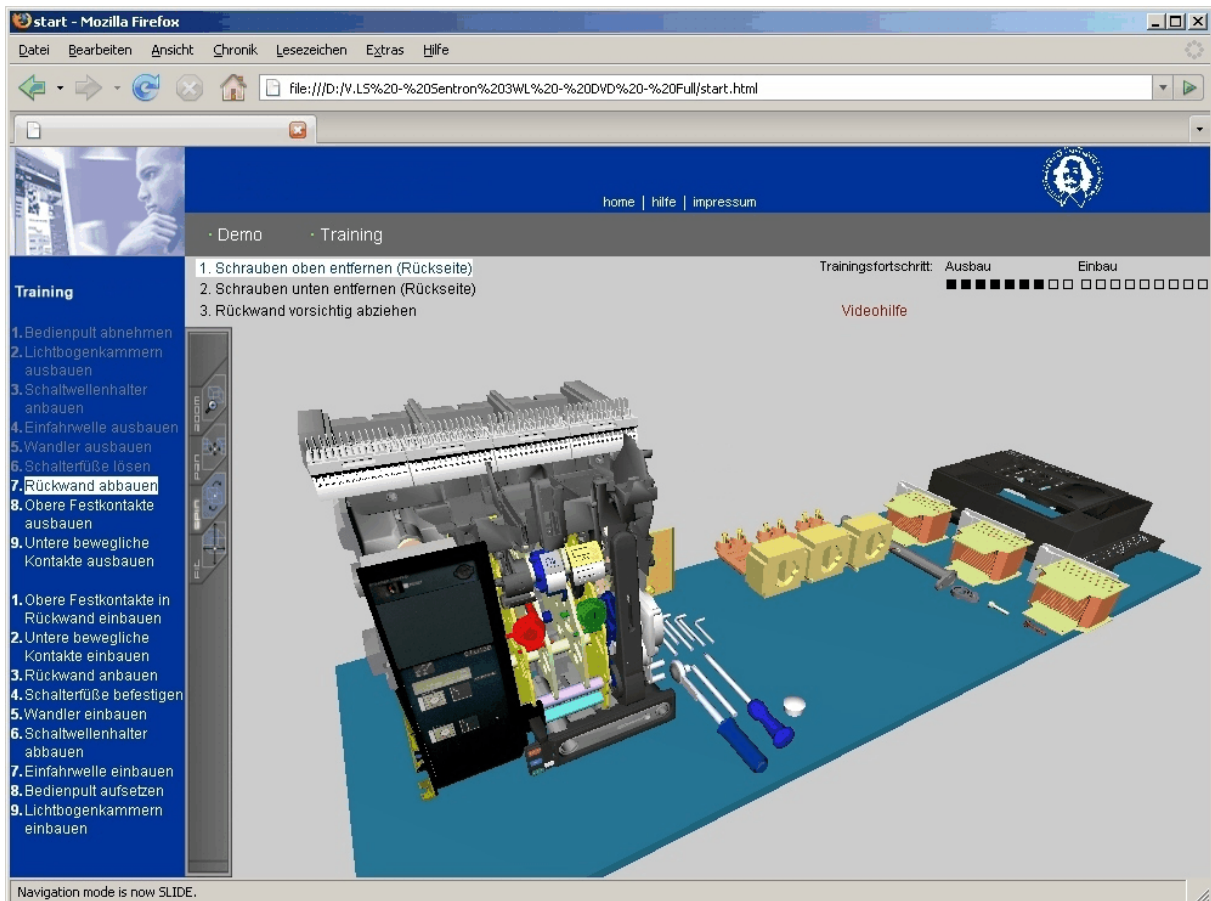


Abb. 40: Trainings-Modus des V.LS Moduls.

Um in der dreidimensionalen Umgebung navigieren zu können, stehen die folgenden Navigationsoptionen „zoom“, „pan“, „spin“ und „fit“ zur Verfügung. Diese sind in die 3D-Szene eingblendet. Der Nutzer klickt auf die jeweilige Navigationsoption und fährt mit dem Mauszeiger im geklickten Zustand über die Szene, dabei wird die jeweilige Funktion ausgeführt:

- Zoom – Mit Hilfe dieser Option können beliebige Objekte in der Szene verkleinert oder vergrößert werden.
- Pan – Hiermit kann die gesamte Szene nach oben, unten, rechts oder links verschoben werden, dadurch ist ein genaues Heranzoomen an die verschiedenen Elemente möglich.
- Spin – Mit dieser Option können alle Objekte gedreht und so aus einem anderen Blickwinkel betrachtet werden.
- Fit – Mit Hilfe dieser Option wird die momentane Ansicht der Szene an die Bildschirmgröße angepasst.

Zusätzlich ist zur Information eine Trainingfortschrittsanzeige eingebaut, die darauf hinweist, wie weit das Training bereits fortgeschritten ist. Dies hat sich als vorteilhaft in der Projektentwicklungsphase bewiesen und Orientierungsschwierigkeiten, die bei dem Lernenden zu Unsicherheiten führen könnten, wurden vermindert. Die Abschätzung der noch folgenden Trainingsschritte ist bis zum Absolvieren des Trainings infolgedessen deutlich erkennbar.

Anhand einer Videohilfe kann die jeweilige Trainingsaktion in einem Kurzfilm erneut mit den zugehörigen Teilschritten nachvollzogen werden. Diese Hilfe steht dem Nutzer jeder Zeit als weitere Option des Trainings zur Verfügung und erhöht den Lernerfolg.

5.3. Virtuelles Labor

Im Rahmen des virtuellen Labors wurde ein virtuelles Modell eines autonomen Brennstoffzellensystems realisiert. Dieses Modell wurde in Form einer grafischen Darstellung erstellt und basiert auf den mathematischen Abhängigkeiten der Prozessgrößen. Die für die Modellierung der Systemkomponenten wesentlichen Gleichungen wurden anhand der Literatur ermittelt oder approximiert. Für eine spätere Weiterentwicklung von Teilmodellen oder für die Integration zusätzlicher Komponentenmodelle wurden die Schnittstellen innerhalb des Systems eindeutig definiert. Der modulare Aufbau des Simulationsprogramms ermöglicht, dass die Komponenten des autonomen Brennstoffzellensystems aus einzelnen Modulen zusammengesetzt werden. Mit dem Modell kann das statische Verhalten der Prozessgrößen für verschiedene Betriebspunkte simuliert werden. Das erstellte Simulationsmodell spiegelt die Funktionen eines realen Brennstoffzellensystems wider.

Für die Simulation des autonomen Brennstoffzellensystems wurde die Software „LabVIEW® 6.1“ verwendet. Diese Software wurde zusammen mit der VRML-Programmiersprache (Virtual Reality Modeling Language) für die Realisierung der grafischen Oberfläche, zur Einstellung und Visualisierung der Simulationsparameter, eingesetzt. Die Systemkomponenten sind als unabhängige Programmteile aufgebaut und ermöglichen somit eine spätere Weiterentwicklung, sowie die Integrierung von neuen Baugruppen in das Gesamtsystem.

Das zur Simulation des Brennstoffzellenstacks verwendete Modell beruht auf einem PEM-Brennstoffzellenstack mit einer elektrischen Nennleistung von 1 kW. Der simulierte Brennstoffzellenstack besteht aus zwölf Zellen mit einer aktiven Fläche von 207 cm² und wird im Dead-end-Betrieb betrieben. Im Dead-end-Betrieb wird die Wasserstoffausgangsseite mit einem Spülventil geschlossen. In dem Brennstoffzellenstack strömt nur die Wasserstoffmenge ein, die die Zellen im Betrieb unmittelbar verbrauchen. Die Nennarbeitstemperatur des Stacks liegt bei 60 °C [58]. Die relative Feuchtigkeit wird während der Simulation für Luft mit 70 % und für Wasserstoff mit 10 % als konstant betrachtet. Die Umgebungstemperatur beträgt 25 °C und wird während der gesamten Simulation als konstant angenommen [58].

5.3.1. Methodische Vorgehensweise beim Erstellen des Systems

Die Simulation des autonomen Brennstoffzellensystems ist als Hauptprogramm in „LabVIEW® 6.1“ implementiert. Das Hauptprogramm besteht aus einem Frontpanel und einem Blockdiagramm. Im Blockdiagramm des Hauptprogramms werden die Module „Last“, „BZ-Stack“, „Spülventil“, „Verbrauch“, „Luftkompressor“, „Kühlmittelpumpe“ und „Wärmetauscher + Lüfter“ als Unterprogramme aufgerufen. Diese Komponentenmodelle werden als getrennte Hauptprogramme erstellt. Durch den modularen Aufbau können die Modelle einzeln getestet werden. Die Fehlersuche sowie die Änderung einer dieser Komponentenmodelle gestalten sich somit erheblich einfacher. Nachdem die Module als Hauptprogramme erstellt und überprüft wurden, können aus ihnen Unterprogramme erzeugt werden. Diese Unterprogramme werden im Blockdiagramm des Simulationshauptprogramms eingesetzt und während des Simulationsablaufs aufgerufen. Die Eingangswerte werden im Frontpanel des Hauptprogramms durch den Bediener eingestellt und zu den Unterprogrammen im Blockdiagramm vermittelt. Die Ausgabewerte werden von den Unterprogrammen aufgerufen und zu den entsprechenden Anzeigeelementen im Frontpanel gesendet.

Der Aufbau der Simulation ist schematisch in Abb. 41 dargestellt.

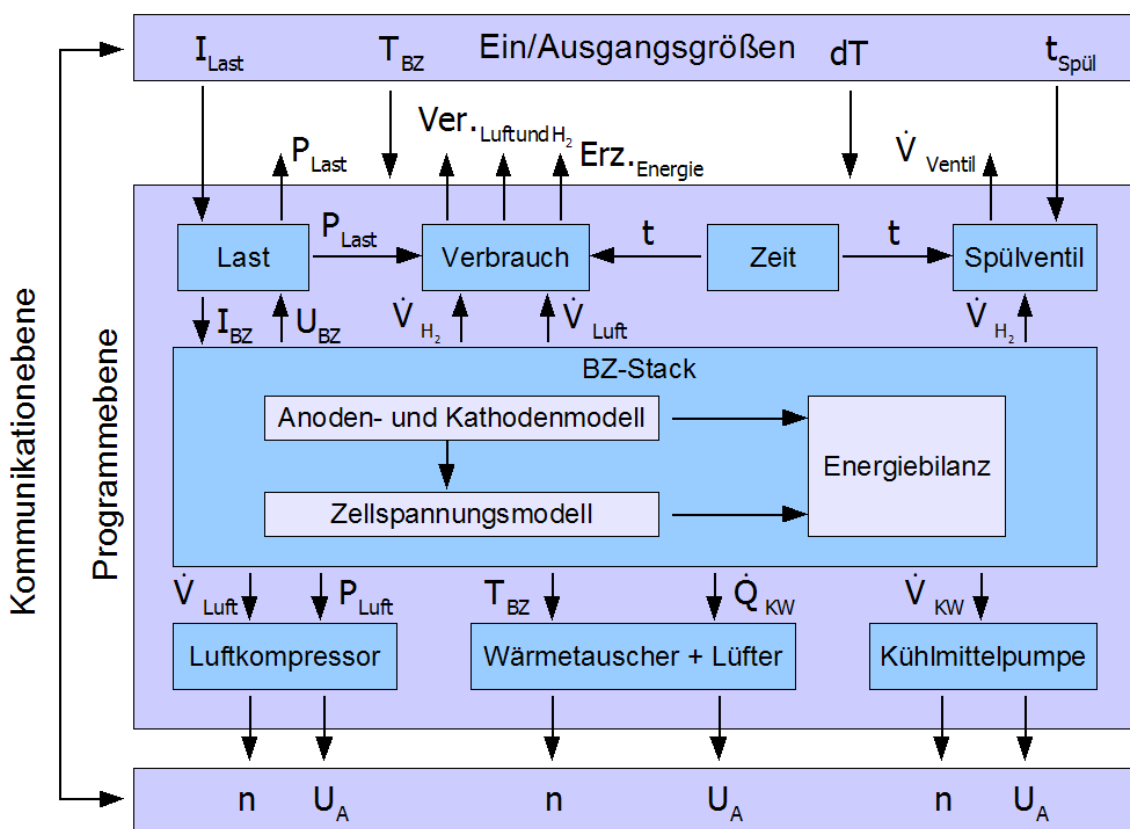


Abb. 41: Aufbau der BZ-Simulation in LabView®.

Wie in Abb. 41 dargestellt, werden die Ausgangsgrößen mancher Module zu Eingangsgrößen anderer Systemkomponenten. Die Modellgrößen, die von der Bedienoberfläche aus in den Simulationsblock hineingehen, werden vom Bediener im Frontpanel des Hauptprogramms mit Hilfe von Schiebereglern und numerischen Eingabeelementen eingestellt. Die Prozessgrößen, die aus dem Simulationsblock zurückkommen, werden im Frontpanel des Hauptprogramms als Anzeigeelemente dargestellt. In den nachfolgenden zwei Abschnitten werden der Aufbau des Frontpanels und der Aufbau eines Unterprogramms beschrieben.

- Das Frontpanel

Das Frontpanel für die Simulation des autonomen Brennstoffzellensystems besitzt zwei Oberflächen. Die erste Paneloberfläche enthält die schematische Darstellung der Brennstoffzellanlage, wie in Abb. 42 dargestellt.

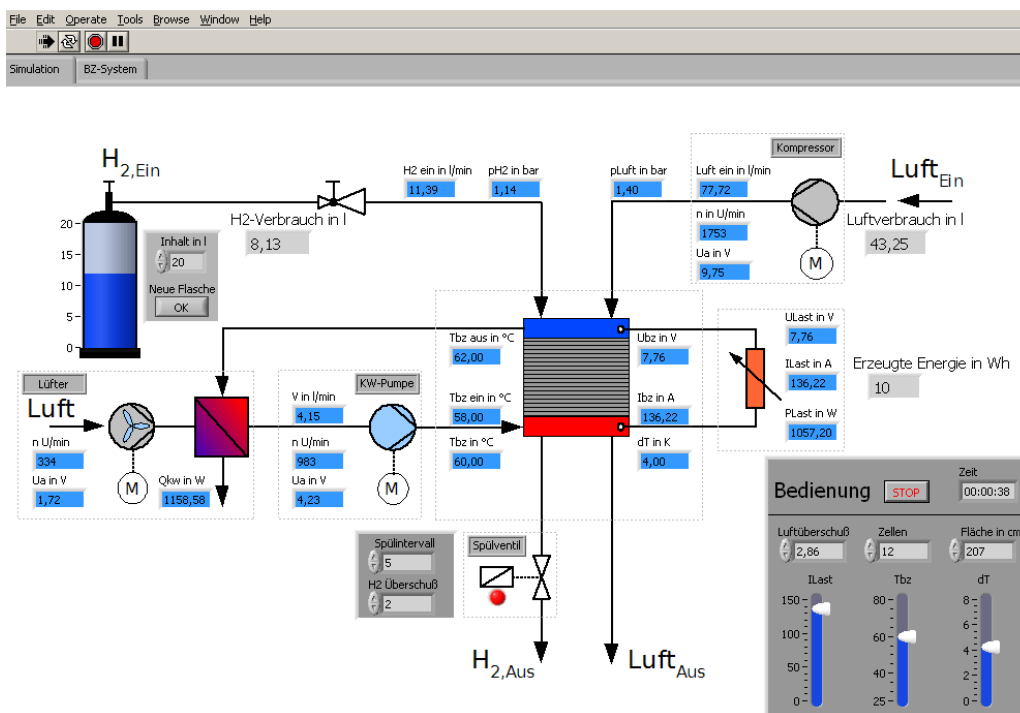


Abb. 42: Frontpaneloberfläche – Simulation.

Das Anlagenschema aus Abb. 42 wurde als Grafik im Frontpanel eingesetzt. An den Systemkomponenten sind die charakteristischen Parameter als numerische Anzeigeelemente abgebildet. Beim Laden des Hauptprogramms mit dem Namen „Simulation“ werden alle Anzeigeelemente auf Null zurückgesetzt. Als Eingabeelemente werden Schieberegler, boolesche Schaltflächen und numerische Eingabefelder verwendet. Für die Eingabelemente werden Anfangswerte vordefiniert, die beim Laden des Hauptprogramms initialisiert werden. In Abb. 42 sind die blau hinterlegten Eingabefelder mit den dazugehörigen Anfangswerten zu erkennen. Die hellgrau gestrichelten Linien markieren die einzelnen Komponenten

des Brennstoffzellensystems und deren Anzeigeelemente. Die Eingabelemente für die Simulation sind in drei dunkelgrauen Bedienflächen eingebracht.

In Tab. 4 sind die Eingangsgrößen der Simulation aufgelistet. Mittels dieser zehn Eingangsgrößen kann der Bediener verschiedene Arbeitspunkte des Brennstoffzellensystems einstellen und die charakteristischen Parameter der Systemkomponenten simulieren.

Tab. 4: Eingangsgrößen des Simulationsprogramms.

Nr.	Bezeichnung	Symbol	Einheit
1	Laststrom	I_{Last}	A
2	Stacktemperatur	T_{BZ}	°C
3	Temperaturspreizung	dT	K
4	Anzahl der Zellen	z	-
5	Aktive Fläche	A_{BZ}	cm ²
6	Luftstöchiometrie	Luftüberschuss	-
7	Wasserstoffstöchiometrie	H ₂ - Überschuss	-
8	Spülintervall	Spülintervall	s
9	Wechsel der H ₂ - Flasche	Neue Flasche	-
10	Inhalt der H ₂ - Flasche	Inhalt	l

Beim Starten des Hauptprogramms werden die eingestellten Eingangswerte eingelesen und zum Blockdiagramm weitergeleitet. Dort wird der Quelltext abgearbeitet und die Ausgabewerte an das Frontpanel zurückgegeben. Die Ausgangsgrößen der Simulation sind in Tab. 5 aufgelistet.

Tab. 5: Ausgangsgrößen des Simulationsprogramms.

Nr.	Bezeichnung	Symbol	Einheit	Nr.	Bezeichnung	Symbol	Einheit
1	Laststrom	I_{Last}	I	16	Luftverbrauch	Luftverbrauch	l
2	Lastspannung	U_{Last}	V	17	Erzeugte Energie	Erzeugte Energie	Wh
3	Leistung	P_{Last}	W	18	Kompressordrehzahl	n	U/min
4	Stackstrom	I_{BZ}	A	19	Kompressorspannung	U_A	V
5	Stackspannung	U_{BZ}	V	20	Kühlmittelvolumenstrom	V_{KW}	l/min
6	Stacktemperatur	T_{BZ}	°C	21	Pumpendrehzahl	n	U/min
7	Temperaturspreizung	dT	K	22	Pumpenspannung	U_A	V
8	Stack Eingangstemperatur	$T_{BZ, ein}$	°C	23	Wärmestrom	Q_{KW}	J/s
9	Stack Ausgangstemperatur	$T_{BZ, aus}$	°C	24	Lüfterdrehzahl	n	U/min
10	Wasserstoffvolumenstrom	$H_{2, ein}$	l/min	25	Lüfterspannung	U_A	V
11	Luftvolumenstrom	$Luft_{ein}$	l/min	26	Spülventil Ein/Aus	-	-
12	Anodendruck	p_{H_2}	bar	27	H ₂ -Flasche leer	-	-
13	Kathodendruck	p_{Luft}	Bar	28	Warndiode Kompressor	-	-
14	Simulationszeit	Zeit	h:min:s	29	Warndiode Kühlmittelpumpe	-	-
15	H ₂ -verbrauch	H ₂ -verbrauch	l	30	Warndiode Lüfter	-	-

Die zweite Frontpaneloberfläche dient zur Visualisierung einer dreidimensionalen Darstellung eines autonomen Brennstoffzellensystems. Neben dem Brennstoffzellenmodell werden die charakteristischen Parameter der Systemkomponenten abgebildet. Die Abb. 43 zeigt den Aufbau der zweiten Frontpaneloberfläche.

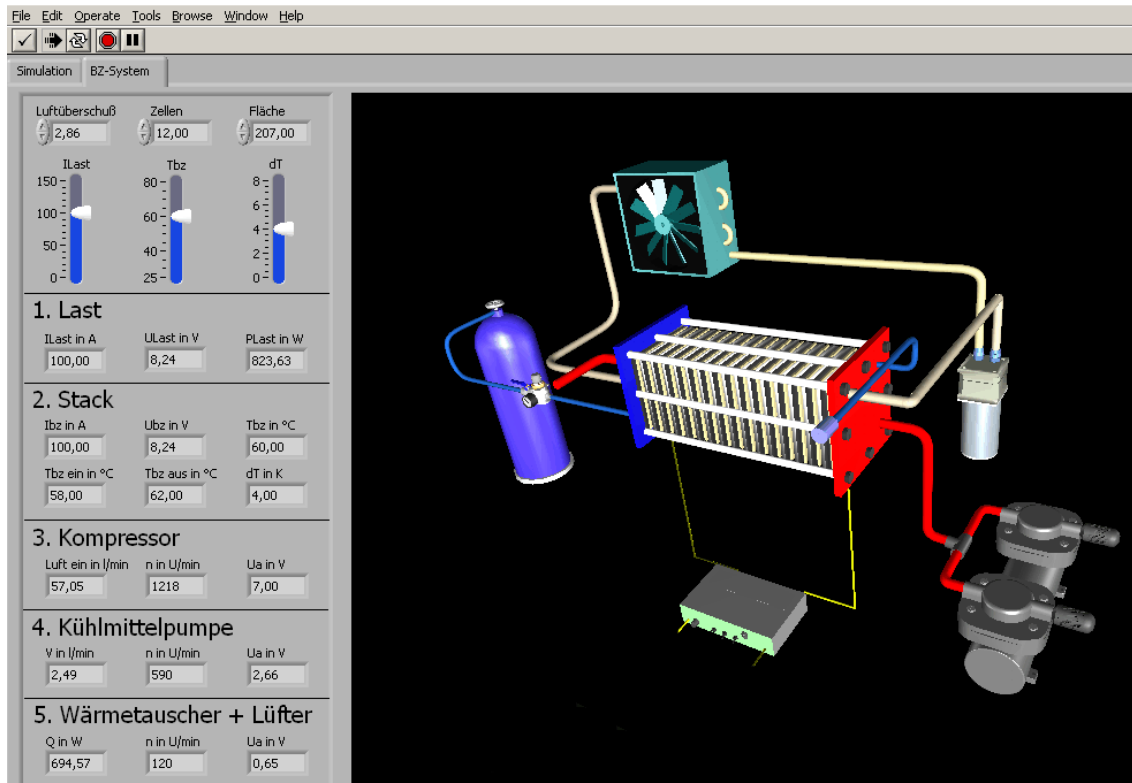


Abb. 43: Frontpaneloberfläche – BZ-System.

Das virtuelle Modell des Systems ist als VRML-Datei (Virtual Reality Modeling Language) erstellt. Für das Abspielen dieser Datei ist die Installation eines Plug-In erforderlich. Das Abspielen in LabVIEW® wird mit Hilfe eines ActiveX-Containers realisiert. In einen ActiveX-Container können zum Beispiel Controls eingefügt werden. Die ActiveX-Controls sind unabhängige kleine Softwaremodule mit Methoden und Eigenschaften, die in einer Autorenumgebung, wie LabVIEW®, eingesetzt werden können. Ein Beispiel für ein solches ActiveX-Control ist der Webbrowser. Nach der Installation des notwendigen Plug-In wird dieser als ActiveX-Container in die LabVIEW® Benutzeroberfläche integriert. In dessen Eigenschaften muss noch der Pfad der gewünschten VRML-Datei angegeben werden. Anschließend wird diese Datei in der LabVIEW® Benutzeroberfläche geöffnet.

- Aufbau eines Unterprogramms

Die Komponenten des autonomen Brennstoffzellensystems sind als einzelne Module aufgebaut. So können später weiterentwickelte Detailmodelle der Baugruppen in das Gesamtsystem integriert werden. Die Schnittstellen zwischen den Baugruppen sind deutlich definiert und ermöglichen durch Einfügen neuer Komponenten die Erweiterung des Systems. Die Systemkomponenten sind, wie in Abb. 45 dargestellt, als Unterprogramm implementiert. Die Erstellung der übrigen Komponentenmodelle erfolgt analog. In Abb. 44 ist das Blockdiagramm des Luftkompressormodells dargestellt.

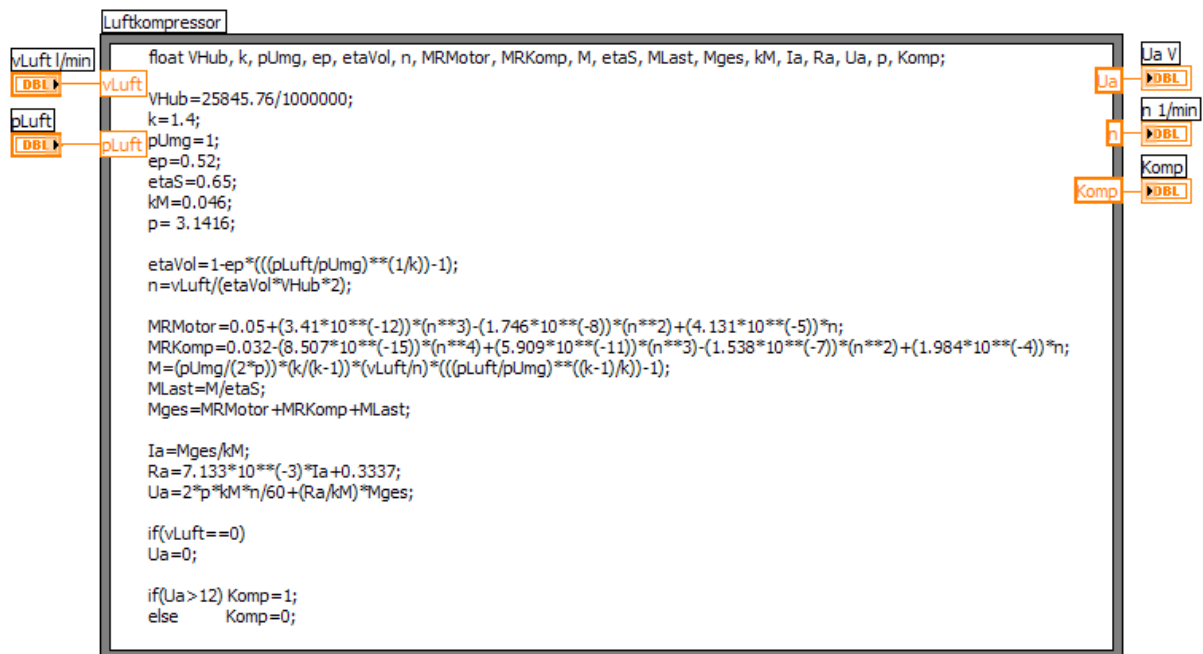


Abb. 44: Blockdiagramm des Luftkompressors.

Für die Realisierung des Programms wird ein Formelknoten verwendet. Der Formelknoten ist eine vereinfachende Darstellung von mathematischen Beziehungen. Somit muss der Anwender nicht auf die zeichenorientierte Schreibweise von mathematischen Zusammenhängen verzichten, obwohl er in einer grafischen Umgebung arbeitet. Mit dem Formelknoten können algebraische Formeln direkt in das Blockdiagramm eingefügt werden, was sich für komplexe Funktionsgleichungen als sehr nützlich erweist. Die mathematischen Formeln und Ausdrücke werden in einer „C“-ähnlichen Syntax im Formelknoten eingegeben.

In Tab. 6 sind die für den Formelknoten zulässigen Operatoren aufgelistet.

Tab. 6: Im Formelknoten verfügbare Operatoren [22].

Operatoren	Beschreibung
!, ~, ++, --	logisches NICHT, Bit - Komplement, Inkrement, Dekrement
**	Exponentiation
*, /, %	Multiplikation, Division, Modulus (Rest)
+, -	Addition, Subtraktion
>>, <<	arithmetisches Schieben nach rechts, links
>, <, >=, <=	größer, kleiner, größer odergleich, kleiner oder gleich
!=, ==	Ungleichheit, Gleichheit
&	bitweise UND
^	bitweise Exklusiv - ODER
	bitweise ODER
&&	Logisches UND
	Logisches ODER
=	Zuweisung

Für das Luftkompressormodell werden die mathematischen Gleichungen in einem Formelknoten eingegeben. Anschließend werden die Eingangs- und Ausgangsanschlüsse erzeugt. Die in dem Formelknoten verwendeten Variablen sowie die Ausgangsvariablen sind als Float-Typ (Gleitkommazahl) definiert. Das Frontpanel des Kompressormodells enthält zwei Eingabeelemente für Luftvolumenstrom und Druck, sowie zwei Anzeigeelemente für die Motordrehzahl und die Ankerspannung. Hinzu kommt der Ausgang für die Hilfsvariable „Komp“, die für die Ankerspannung die Grenzwertüberschreitung überwacht.

LabVIEW® bietet die Möglichkeit Teile des Programms Modul für Modul aufzubauen, indem sie als Unterprogrammen erstellt werden. Das Unterprogramm entspricht einem Unterprogrammaufruf in einer textbasierten Programmiersprache und ist im aufrufenden Blockdiagramm aus einem Symbol und einem Anschlussblock aufgebaut [22]. In Abb. 45 sind das Symbol und der Anschlussblock des Kompressormodells dargestellt.

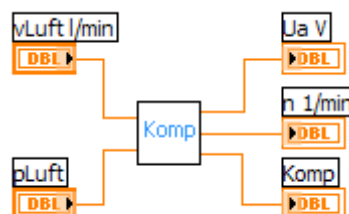


Abb. 45: Beispiel des Kompressorsymbols und des Anschlussblocks.

In Abhängigkeit von der Anzahl der Eingabe- und Anzeigeelemente auf dem Frontpanel entsteht ein Anschlussblock. Der Anschlussblock des Kompressormodells

besitzt fünf Anschlüsse, zwei werden als Datenquelle und drei als Datensenke verwendet. Das Symbol, sowie der Anschlussblock des Kompressormodells, werden im Blockdiagramm der „Simulation“ als Unterprogramm eingesetzt und dort mit den entsprechenden Eingabe- bzw. Ausgabeelementen verbunden. Analog zum Kompressormodell werden die Modelle der restlichen Komponenten erstellt und anschließend im Blockdiagramm der „Simulation“ eingesetzt.

5.3.2. Drehbuch

Ziel eines virtuellen Labors ist die Realisierung eines virtuell nachgebildeten Modells aus einem realen System. Dieses virtuelle Modell soll alle Parameter und Eigenschaften eines realen Systems widerspiegeln. Je genauer das virtuelle Modell ist, desto besser werden diese Eigenschaften des realen Systems wiedergegeben. Insofern ist bei der Erstellung eines virtuellen Labors in erster Linie auf die detailgetreue Darstellung der Realität zu achten.

Während des Entwicklungsprozesses ist auf folgende Aspekte einzugehen:

- Modularer Aufbau des virtuellen Labors,
- Genauigkeit des nachzubildenden Systems,
- Visualisierungsform,
- Plattformunabhängigkeit,
- Erweiterungsmöglichkeiten,
- Zeit- und Ortsunabhängigkeit.

Dieses virtuelle Modell eines realen Systems wurde in Form einer grafischen Darstellung erstellt und basiert auf den mathematischen Abhängigkeiten der Prozessgrößen. Dies ermöglicht dem Lernenden Simulationen mit dem virtuellen System durchzuführen.

In dem virtuellen Labor ist kein vorgegebener Lernweg eingebaut. Der Lernende hat die Möglichkeit, mit dem System zu arbeiten ohne auf eine bestimmte Abfolge zu achten. Zudem kommt einem virtuellen Labor zu Gute, dass das reale System bei Fehlern des Benutzers keinen Schaden nimmt. Weiterhin besteht die Möglichkeit bei dem virtuellen System schnelle Änderungen jeglicher Art vorzunehmen und neue Komponenten anschließen zu können. Dabei kann dessen Arbeitsweise und Wirkung auf das Gesamtsystem simuliert werden.

5.3.3. Anwendung der IT-Plattform

In diesem Abschnitt werden die Eingabelemente auf den beiden Frontpaneloberflächen des Moduls aufgelistet und erläutert. Die „Simulation“ kann auf einem Rechner mit „LabVIEW® 6.1“ oder einer neueren LabVIEW®-Version geladen werden. Für Rechner ohne diese Software wird aus der „Simulation“ eine DLL (Dynamic Link Library oder Shared Library) erstellt. Auf diese Weise können LabVIEW®-Funktionalitäten exportiert werden. Für das Abspielen dieser Anwendungen auf Rechnern ohne LabVIEW®-Software muss eine Run-Time Engine installiert werden. Die Applikation des Moduls befindet sich zusammen mit dem notwendigen Run-Time Engine ebenso auf dem Lernmodul.

Die „Simulation“ oder das „BZ-System“ wird geladen und durch Betätigung der „Run“-Schaltfläche in der Menüleiste (Abb. 46) gestartet.



Abb. 46: Menüleiste der jeweiligen Anwendung.

Der Bediener kann sowohl im „Run“- als auch im „Stop“-Zustand die Einstellung der Schieberegler und der Eingabefelder auf der Frontpaneloberfläche verändern. Die neuen Werte werden im „Run“-Modus eingelesen und zum Blockdiagramm gesendet. Dort werden diese Eingabedaten verarbeitet und anschließend an die Anzeigeelemente im Frontpanel zurück gesendet.

Für die Einstellung der charakteristischen Parameter des Brennstoffzellenstacks sind auf den beiden Frontpaneloberflächen jeweils zwei numerische Eingabefelder vorhanden. Dort kann die Anzahl der Zellen und die Größe der aktiven Oberfläche eingegeben werden. Die restlichen Modellparameter des Brennstoffzellenstacks, wie zum Beispiel die Dicke und Dichte der Membran, sind im „BZ-Stack“-Modul als feste Werte eingesetzt. Die Werte dieser Parameter des simulierten Brennstoffzellenstacks sind in Tab. 7 aufgelistet.

Tab. 7: Eingangsgrößen des Simulationsprogramms.

Modell	Parameter		
BZ-Stack	$P_{\text{Umg}} = 1 \text{ bar}$	$T_{\text{Umg}} = 25 \text{ °C}$	$A_{\text{BZ}} = 207 \text{ cm}^2$
	$z = 12$	$\Phi_{\text{Luft}} = 70 \%$	$\Phi_{\text{H}_2} = 10 \%$
	$F = 96495 \text{ C/mol}$	$M_{\text{Luft}} = 28,953 \text{ g/mol}$	$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$
	$\rho_{\text{Luft}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{\text{H}_2} = 0,089 \text{ kg/m}^3$	$t_{\text{Mem}} = 25 \text{ }\mu\text{m}$
	$i_{\text{Grenz}} = 2,5 \text{ A/cm}^2$	$c_1 = 7,39 \text{ cm}^2 / \text{A}$	$h_0 = 120 \text{ MJ/kg}$
	$c_{\text{pH}_2} = 14280 \text{ J/kgK}$	$c_{\text{pLuft}} = 1010 \text{ J/kgK}$	$c_{\text{pH}_2\text{O}, \text{g}} = 1860 \text{ J/kgK}$
	$c_{\text{pH}_2\text{O}, \text{l}} = 4186 \text{ J/kgK}$	$r_n = 25 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$	
Kompressor	$V_{\text{Hub}} = 25845,76 \text{ mm}^3$	$\kappa = 1,4$	$\varepsilon = 0,52$
	$\eta_s = 0,65$	$kM = 0,046 \text{ Vs}$	$z = 2$
KW-Pumpe	$kM = 0,0372 \text{ Vs}$	$\Delta p = 1,3$	$V_{\text{Hub}} = 0,003 \text{ l}$
	$z = 2$		
Lüfter + Wärmetauscher	$Pr = 0,71$	$l_{\text{ch}} = 0,06 \text{ m}$	$A_{\text{Lüfter}} = 0,03 \text{ m}^2$
	$A_{\text{WT}} = 2,23 \text{ m}^2$	$T_{\text{Umg}} = 25 \text{ °C}$	$kM = 0,046 \text{ Vs}$
	$v = 158,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}^2$	$\lambda = 26 \cdot 10^{-4} \text{ W/mK}$	
Spülventil	$\mu = 0,35 \cdot 10^4$	$r = 1 \text{ mm}$	

5.3.4. Das System VR.Lab

- Die Frontpaneloberfläche – Simulation

Die Einstellung von verschiedenen Arbeitspunkten für das Brennstoffzellensystem erfolgt über Schieberegler und Eingabefelder. In Abb. 47 ist eine Bedienfläche auf der Frontpaneloberfläche – Simulation dargestellt.

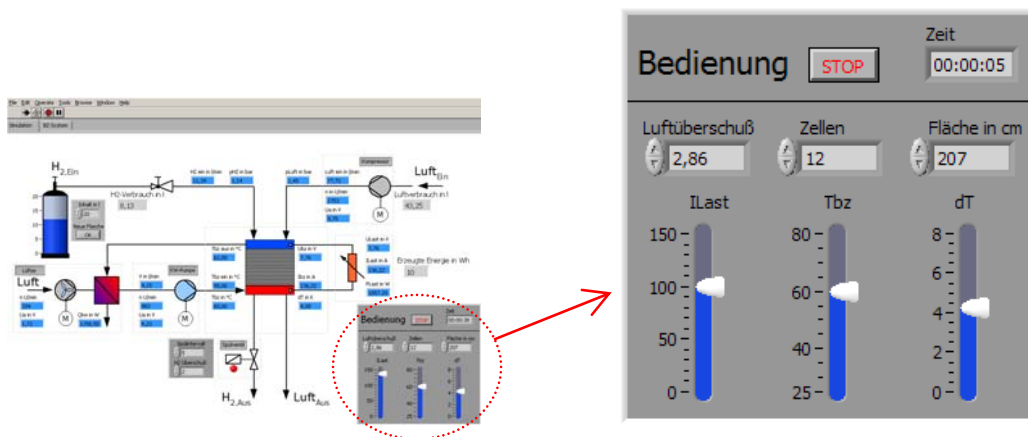


Abb. 47: Bedienfläche auf der Frontpaneloberfläche – Simulation.

Der Bediener kann auf dieser Bedienfläche die Einstellung des Laststroms in einem Bereich von 0 bis 150 A vornehmen. Die Umgebungstemperatur wird während der Simulation mit einem Wert von 25 °C als konstant angenommen. Deshalb kann die Stacktemperatur mit Hilfe des Schiebereglers in einem Bereich von 25 bis 80 °C eingestellt werden. Für die Temperaturpreizung über den Brennstoffzellenstack können Werte zwischen 0 und 8 K eingestellt werden.

Die Werte für die gewünschte Luftstöchiometrie, sowie die Anzahl der Zellen und die Größe der aktiven Fläche können in den entsprechenden Eingabefeldern eingetragen werden.

In der Bedienfläche in Abb. 47, befinden sich eine „Stop“-Schaltfläche sowie eine Anzeige für die abgelaufene Simulationszeit. Die Simulation kann also mit Hilfe der „Stop“-Schaltfläche in der Bedienfläche oder durch Betätigung der „Stop“-Schaltfläche in der Menüleiste des „VR.Lab“ (Abb. 46) beendet werden.

Die während des Spülvorgangs ablaufende Wasserstoffstöchiometrie wird in einer zusätzlichen Bedienfläche neben dem Spülventil eingetragen. Dort kann auch das Spülintervall eingestellt werden (Abb. 48). Der Zustand des Spülventils wird durch eine Leuchtdiode neben dem Ventilsymbol angezeigt. Leuchtet die Diode grün ist

das Ventil geöffnet und der Druck, sowie der Wasserstoffvolumenstrom am Anodeneingang, ändern sich entsprechend der Durchflusskennlinie des Ventils und der eingestellten Wasserstoffstöchiometrie.

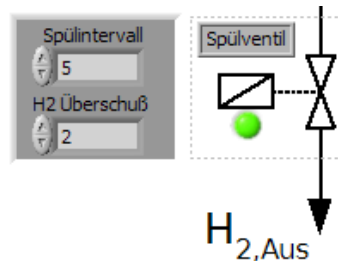


Abb. 48: Bedienfläche für das Spülventil.

Die Darstellung der Wasserstoffflasche wird von einem eigenen Bedienfeld begleitet. Wenn die Anzeige für den Inhalt der Wasserstoffflasche unter 0,25 Liter sinkt, bleibt die Simulation in einer Warteschleife stehen. Sobald das Simulationsprogramm die Warteschleife erreicht hat, erscheint unter dem Bedienfläche eine blinkende Leuchtdiode. Die Leuchtdiode markiert den leeren Zustand der Wasserstoffflasche und soll den Bediener darauf aufmerksam machen, dass die Flasche gewechselt werden muss, um die Simulation fortzusetzen. In Abb. 49 sind die leere Wasserstoffflasche und die zugehörige Bedienfläche dargestellt.

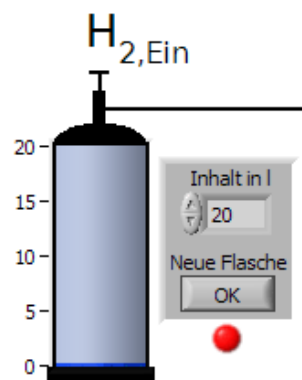


Abb. 49: Bedienfläche der Wasserstoffflasche.

Die Simulation befindet sich solange im Wartezustand, bis der Bediener die Schaltfläche mit der Aufschrift „Neue Flasche“ rechts in der Bedienfläche betätigt. Nach der Betätigung dieser Schaltfläche wird eine volle Wasserstoffflasche dargestellt und die blinkende Leuchtdiode verschwindet im Hintergrund. Der Inhalt

einer vollen Wasserstoffflasche wird beim Start der Simulation mit einem Wert von 20l angenommen. Der Bediener kann diesen Wert während der Simulation verändern. Dafür befindet sich in der Bedienfläche der Wasserstoffflasche ein Eingabefeld für den Inhalt der Flasche. Wird dieser Wert während der Simulation zum Beispiel auf 30 l erhöht, verändert sich dementsprechend die Skalierung links an der Wasserstoffflasche. Nach dem Flaschenwechsel wird der Inhalt der neuen Wasserstoffflasche 30 l betragen.

Für die Schieberegler und die Eingabefelder aus Abb. 47, 48 und 49 werden Startwerte vordefiniert. Deshalb befinden sich die Schieberegler beim ersten Ladevorgang des „VR.Lab“ in einer Position, die den vordefinierten Werten der Eingangsgrößen entspricht. Die Eingabefelder enthalten auch die zugeordneten Anfangswerte. Falls der Bediener diese Werte nicht verändert, werden sie beim Start der Simulation übernommen. In Tab. 8 sind die vordefinierten Werte der Eingangsgrößen aufgelistet.

Tab. 8: Im Formelknoten verfügbare Operatoren.

Eingangsgröße	Symbol	Startwert	Einheit
Laststrom	I_{Last}	100	A
Stacktemperatur	T_{BZ}	60	°C
Temperaturspreizung	dT	4	K
Anzahl der Zellen	z	12	-
Aktive Fläche	A_{BZ}	207	cm ²
Luftstöchiometrie	Luftüberschuss	2,86	-
Wasserstoffstöchiometrie während des Spülvorgangs	H ₂ - Überschuss	2	-
Zeitabstand zwischen zwei Spülzyklen	Spülintervall	5	s
Inhalt der Wasserstoffflasche	Inhalt	20	l

Die Startwerte der Simulation können bei Bedarf geändert werden. Wenn sich das Simulationsprogramm nicht im „Run“-Zustand befindet, können die gewünschten Anfangswerte in den Eingabefeldern eingetragen oder an den Schieberegler eingestellt werden. Durch Rechtsklick auf die Eingabefläche oder den Schieberegler erscheint das Optionsfenster aus Abb. 50. Dort werden die Menüpunkte „Datenoperationen“ und „Aktuellen Wert als Standard“ angewählt. Anschließend werden diese gespeichert und bei einem neuen Ladevorgang des „VR.Lab“ übernommen.

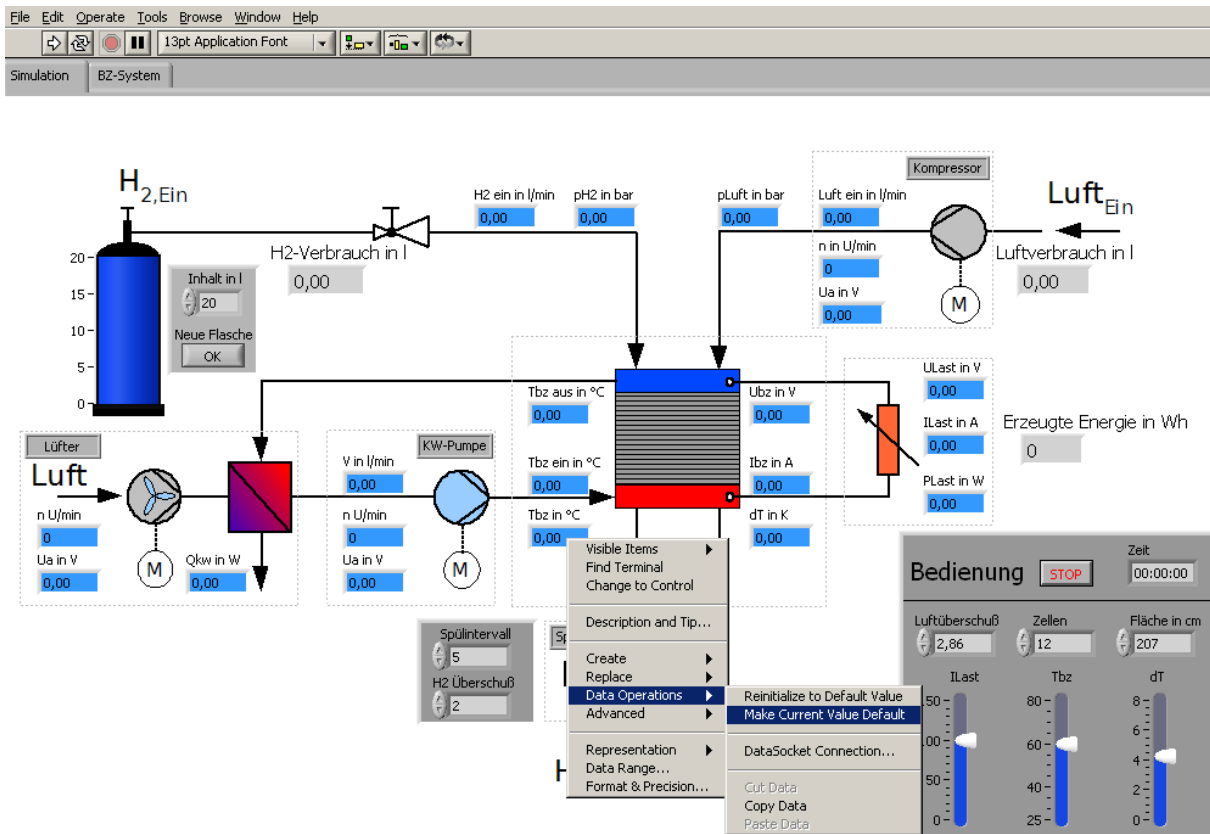


Abb. 50: Vorgehensweise für die Änderung der Simulationsanfangswerte.

Der Bediener hat die Möglichkeit, Informationen über die in der Simulation verwendeten Modellierungsansätze des Luftkompressors, der Kühlmittelpumpe, des Spülventils sowie des Wärmetauschers und Lüfters aufzurufen. Dafür können während der Simulation die grauen Schaltflächen mit der Aufschrift „Lüfter“, „KW-Pumpe“, „Spülventil“ oder „Kompressor“ betätigt werden. Die Simulationszeit bleibt stehen und im Vordergrund erscheint eine neue Oberfläche mit Informationen über die verwendeten Modellgleichungen sowie die Modelleingangs- und Modellausgangsgrößen der angewählten Komponente.

Die Informationsoberflächen sind als untergeordnete Panelloberflächen innerhalb der Frontpaneloberfläche – Simulation eingefügt. Die Modellannahmen der oben erwähnten Komponenten sind als Grafik in den entsprechenden Panelloberflächen integriert. Für diese Oberflächen werden Eigenschaftsknoten erzeugt und im Blockdiagramm verbunden. Die Informationsoberfläche wird durch Betätigung der „Close“-Schaltfläche wieder unsichtbar und die Simulation wird gleichzeitig fortgesetzt. Als Beispiel ist in Abb. 51 das Informationsfenster des Spülventilmodells dargestellt.

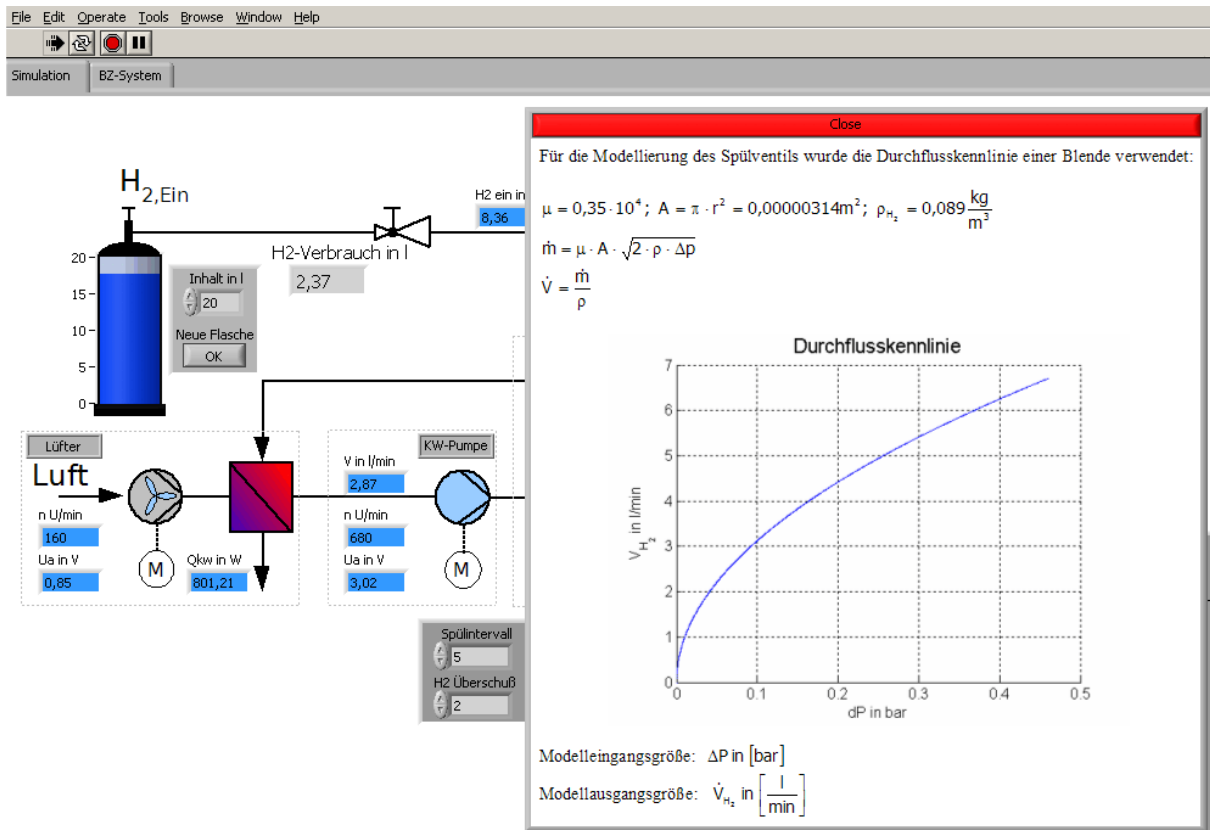


Abb. 51: Informationsfenster für das Spülventilmodell.

- Die Frontpaneloberfläche – BZ-System

Auf der zweiten Frontpaneloberfläche sind die Bedienelemente ähnlich wie in der Bedienfläche aus der Abb. 52 aufgebaut. Auf dieser Frontpaneloberfläche ist ein Player für eine dreidimensionale Grafik integriert. Die Grafik präsentiert ein autonomes Brennstoffzellensystem in einer 3D-Darstellung. Die Bedienelemente reduzieren sich hier auf drei Schieberegler für den Laststrom, die Stacktemperatur und die Temperaturspreizung sowie drei numerische Eingabefelder für die Luftstöchiometrie, die Anzahl der Zellen und die aktive Oberfläche der Zellen. Die Eingabe- und Anzeigeelemente der zweiten Frontpaneloberfläche sind in Abb. 52 dargestellt. Der Pfad für die VRML-Datei (Virtual Reality Modeling Language) muss beim ersten Start der Simulation auf einem anderen Rechner, falls der Pfad des Zielordners nicht identisch geblieben ist, erneut eingegeben werden.

Im „Stop“-Zustand der Simulation wird durch Rechtsklick auf die Playeroberfläche die Eigenschaftsfläche des ActiveX-Containers geöffnet. Der Player „BlaxxunCC 3D“ wird ausgewählt und seine Eigenschaftsflächen geöffnet. In dem Fenster wird der Pfad für die VRML-Datei angegeben. Anschließend muss die Simulation gespeichert und geschlossen werden. Beim nächsten Ladevorgang werden die Einstellungen

übernommen und auf der Frontpaneloberfläche erscheint das dreidimensionale Modell des autonomen Brennstoffzellensystems.

Das virtuelle Modell kann mit der Maus bewegt werden, allerdings funktionieren die Bedioptionen des Players im „Stop“-Zustand nur eingeschränkt. Bei einer Maus mit drei Tasten kann im „Stop“-Zustand die mittlere Taste für den Aufruf des Bedienmenüs verwendet werden. Dieses Bedienmenü bietet nur Optionen für die Bewegung des 3D-Modells. Im „Run“-Modus kann der Bediener durch Rechtsklick auf das 3D-Modell auch ein Bedienmenü für den Player öffnen. In der Abb. 52 sind die dreidimensionale Darstellung sowie das Bedienmenü des Players abgebildet.

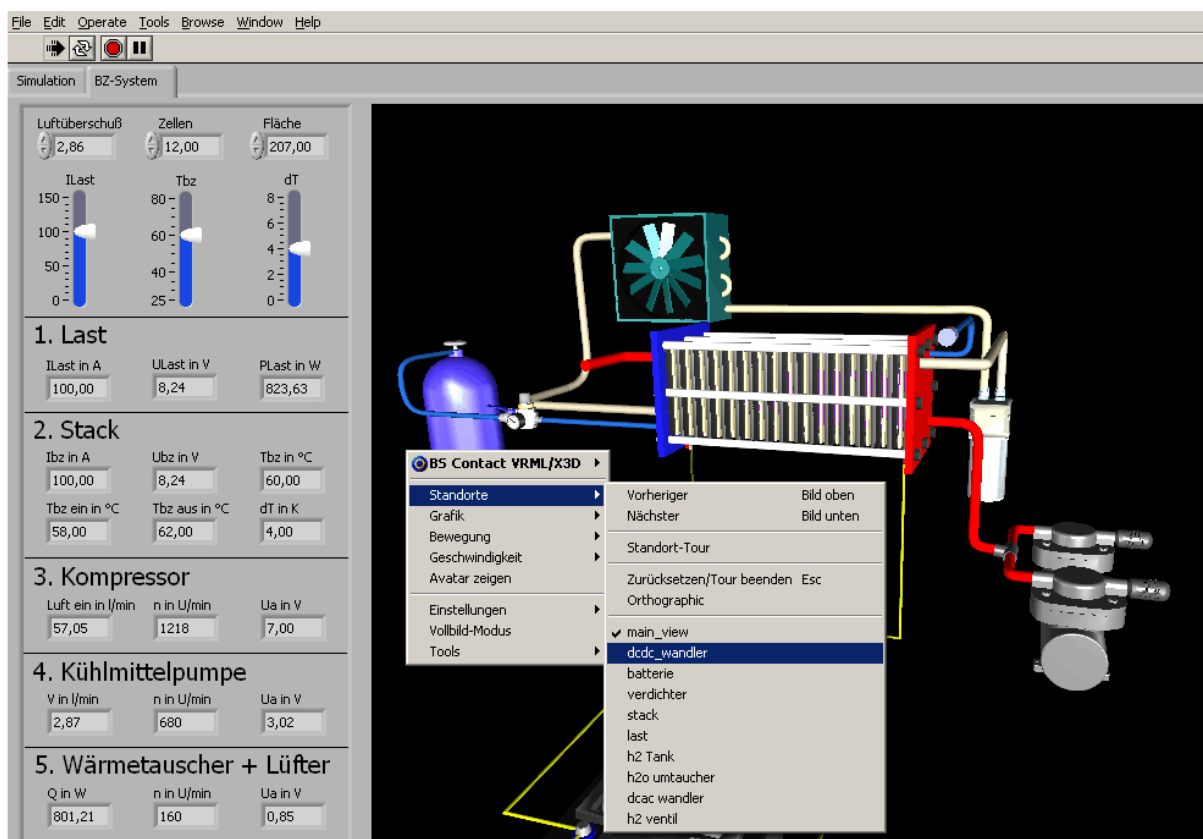


Abb. 52: Bedienmenü des 3D-Modells.

Ein Benutzerhandbuch für den „BS Contact VRML“-Player kann unter der Option „Hilfe-Online Manual“ im Bedienmenü aufgerufen werden.

6. Akzeptanz

Um die Akzeptanz, der in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Lern- und Trainingsmodule, bei den Nutzern zu überprüfen, wurde eine Umfrage durchgeführt. Ziel dieser Befragung war es, ein Nutzerfeld verschiedener Altersgruppen nach dem Lern-Training-Vorgang über die angewendeten Lernmodule zu befragen. Dies ist notwendig, um die Akzeptanz der vorgestellten multimedialen Lernmodule und dessen Verbesserung abschätzen zu können [32],[34], wobei die Umfrage nicht als repräsentativ im Sinne der Statistik bezeichnet werden kann.

Die Umfrage wurde unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- jedem Teilnehmer stand ein eigener Rechnerplatz zur Verfügung,
- während des Lernprozesses betreute eine Tutor die Teilnehmer und stand bei Fragen oder Problemen zur Seite,
- alle Teilnehmer waren an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik immatrikuliert. Die Teilnehmer, die über 50 Jahre waren, nahmen an einem Seniorenstudium namens „Studieren ab 50“ teil. Dieses Studium ist eine Form der wissenschaftlichen Weiterbildung Erwachsener. Die weiteren Teilnehmer waren als reguläre Studenten an der Universität angemeldet.

In Abb. 53 ist schematisch die Aufteilung der Teilnehmer in die Kriterien Geschlecht, Ater und Nationalität dargestellt.

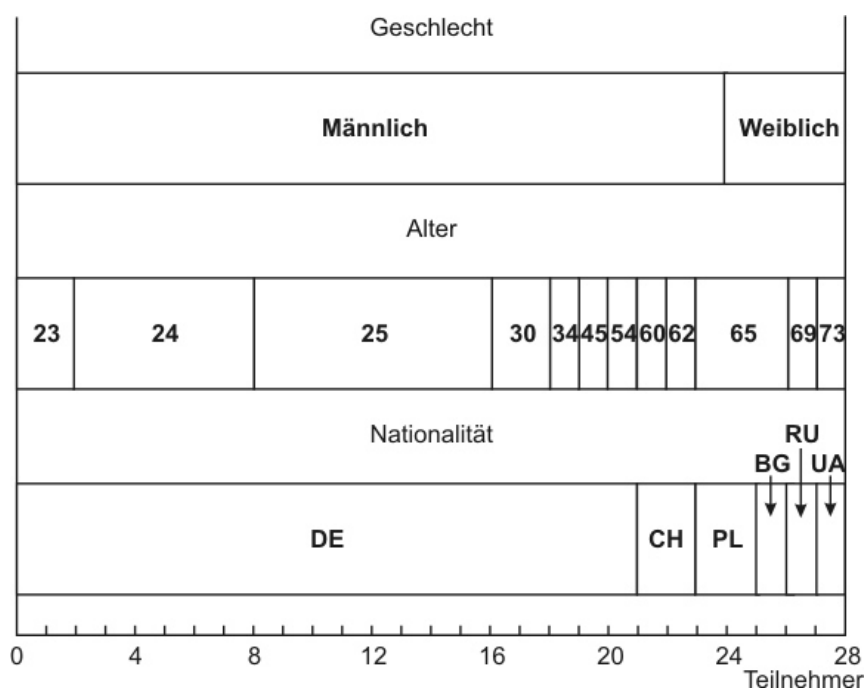


Abb. 53: Demografische Profile und statistische Daten der Umfrage.

Für die Ergebnisse der Umfrage war eine möglichst große Altersgruppe der Befragten bedeutend. Das Teilnehmeralter variierte zwischen 23 und 73 Jahren, das entspricht einer Differenz von 50 Jahren. Durch den Altersunterschied können die verschiedenen Nutzergruppen abgedeckt werden. Um dies zu verstärken, kamen die Teilnehmer aus 6 verschiedenen Nationen mit unterschiedlichen kulturellen Hintergründen.

Die Befragung fand während der regulären Vorlesungszeit statt, parallel zu den Vorlesungen an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Die Fragebögen sind zu Beginn an die Studenten verteilt und am Ende der Veranstaltung zur Auswertung eingesammelt worden. Die Teilnehmer sind über die Anonymität der Daten und Informationen aufgeklärt worden. Die zu untersuchenden Daten werden nur zur Erforschung der Akzeptanz der vorgestellten multimedialen Lernmaterialien und dessen Verbesserung verwendet.

28 Teilnehmer (24 Männer und 4 Frauen) haben während eines Hochschulseesters an der Umfrage teilgenommen. Die Beteiligung an der Befragung war freiwillig.

Die Fragen können in drei verschiedene Gruppen untergliedert werden.

- Fragen zur Motivation und zur Bereitschaft der Teilnehmer,
- Fragen zur Effektivität, Struktur und Gestaltung der Lernmodule,
- Fragen zum Nutzungsgrad und zur Auswirkung von dreidimensionalen Objekten.

Die ersten Fragen richten sich an die Motivation und die Beweggründe der Teilnehmer bei der Nutzung neuer Lernmethoden und können der ersten Fragengruppe zugeordnet werden. Abb. 54 zeigt schematisch die Ergebnisse dieser Fragengruppe.

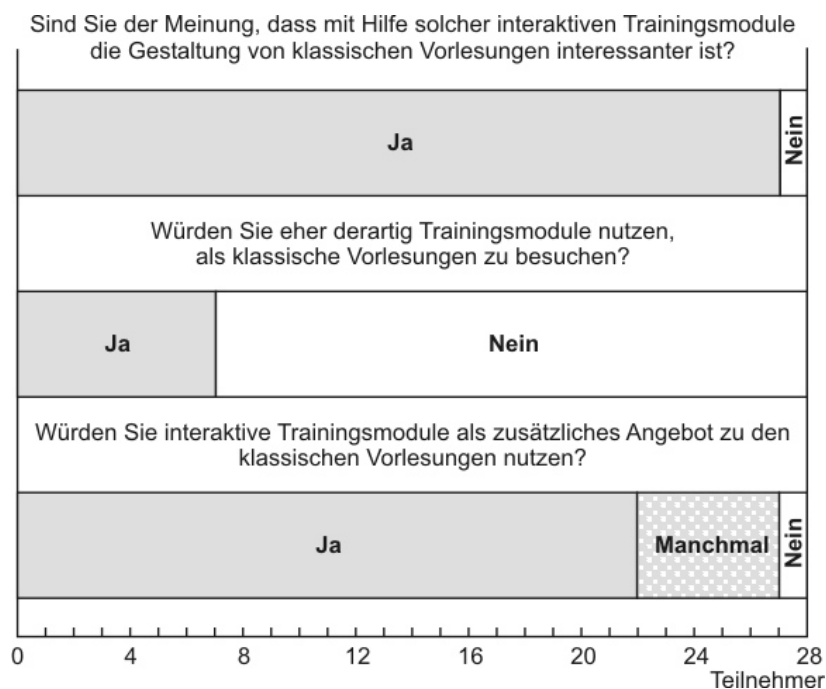


Abb. 54: Umfrageergebnisse zur Fragegruppe 1.

Die Antworten der ersten Frage zeigen bei dieser Fragegruppe, dass alle Befragten über sehr großes Interesse und Bereitschaft an der Nutzung solcher interaktiven Lernmodule verfügen. Fast alle Teilnehmer (25 bzw. 96,4%) antworteten, dass die Nutzung von interaktiven Lernmodulen die Möglichkeit zu einer besseren Gestaltung bietet und das Interesse steigert. Dies kann festgestellt werden unabhängig von der Anwendung der zu präsentierenden und zu lernenden Inhalte, zum Beispiel bei der klassischen Vorlesung. Nur ein Teilnehmer bestätigt diese Aussage nicht.

Bei der zweiten Frage kommt es zu einer sehr interessanten Feststellung. Wird die Frage gestellt, ob die Teilnehmer eher mit Hilfe solcher Lernmodule lernen wollen, anstatt klassische Vorlesungen zu besuchen, antworteten nur 7 Teilnehmer bzw. 25% mit „Ja“, während alle anderen 75% (21 Teilnehmer) die Antwort „Nein“ gaben.

Diese zwei Fragen führen zu der Feststellung, dass die meisten Studierenden solche interaktiven Lernmodule haben wollen und nutzen werden, aber nur als Zusatz (als eine Alternative) zu den klassischen Vorlesungen. Sie sind nicht bereit, auf diese zu verzichten. Eine Mensch-Mensch-Kommunikation kann nicht durch die Mensch-Maschine-Kommunikation (siehe Kapitel 3.4) ersetzt werden, da der soziale Faktor fehlt.

Diese Feststellung kann auch durch die letzte Frage nach zusätzlicher Nutzung interaktiver Trainingsmodule belegt werden (Abb. 54). Dort antworteten 22 Teilnehmer bzw. 78,6%, dass sie solche Lernmodule gern als zusätzliche Lernmöglichkeit zu den klassischen Vorlesungen in Anspruch nehmen werden. Fünf Teilnehmer (17,9%)

gaben eine mögliche Nutzung dieser Lernmodule an und ein Teilnehmer (3,5%) möchte diese optionale Möglichkeit nicht nutzen.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die meisten Teilnehmer eine Kombination aus klassischen Vorlesungen und zusätzlichen interaktiven netzbasierten Lernmodulen, als eine sehr gute Alternative wahrnehmen. Der Kontakt mit dem Dozenten (Professoren), während der regulären Vorlesungszeit, in Kombination mit den zeit- und ortsunabhängigen Lernmodulen, zur Vorbereitung und Wiederholung der Lernmaterialien ist eine gute Verknüpfung.

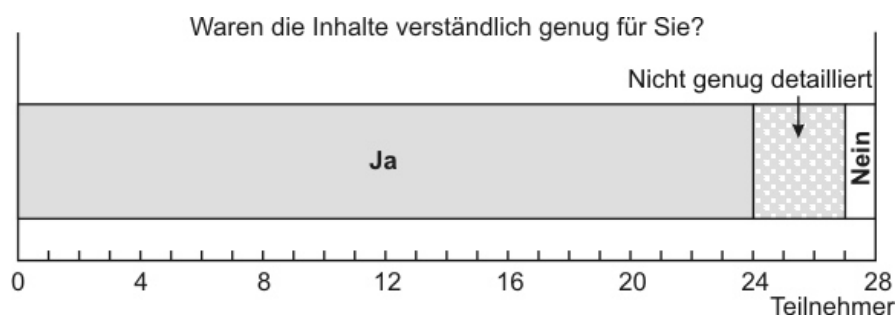


Abb. 55: Umfrageergebnisse zur Fragengruppe 2.

Die nächste Fragestellung zielt auf die Effektivität, Struktur und Gestaltung der benutzten Lernmodule. Die Ergebnisse sind in Abb. 55 zu sehen. Diese Frage wird der zweiten Fragengruppe zugeordnet. Dort antworteten 24 bzw. 85,8% der Befragten, dass sie den angebotenen Lerninhalt verständlich und detailliert genug finden. Nur drei Teilnehmer bzw. 10,7% wünschen sich noch mehr detaillierte Informationen, ein Teilnehmer (3,5%) fand den angebotenen Inhalt unverständlich und nicht ausreichend detailliert.

Die Befragung spiegelt ein sehr gutes Ergebnis wider, und offenbart, dass eine durchdachte Planungsphase in der Gestaltung und Strukturierung der Lernmodule zu Beginn der Entwicklung bedeutend ist. Die Planungsphase startet mit der grafische Präsentation der Lerninhalte und beinhaltet die Navigation, die Übersichtlichkeit, die Struktur des Lerninhalts und die angewendete Lernmethode (siehe Kapitel 2). Die Lerninhalte sollen motivierend und attraktiv wirken. Dadurch sollen das Lerninteresse und die Neugier für den Lernstoff, bei der Bearbeitung der Lernmodule, beim Nutzer geweckt werden. Dazu gehören die Vorbereitung und sorgfältige Erstellung der Drehbücher des jeweiligen Lernmoduls unter Berücksichtigung derer Schwerpunkte (siehe Kapiteln 5.1.2, 5.2.2, 5.3.2).

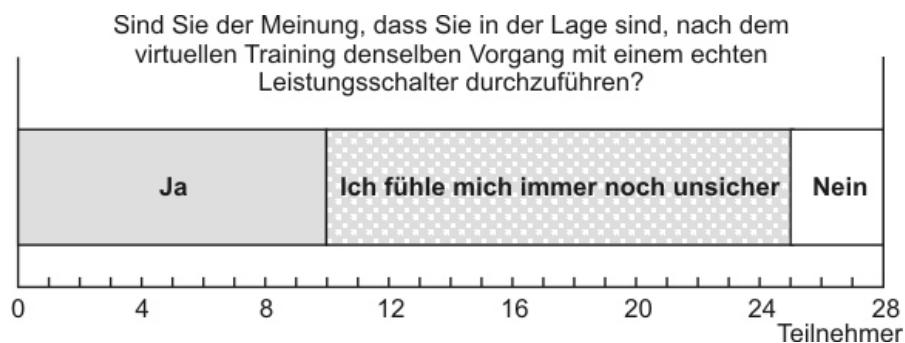


Abb. 56: Umfrageergebnisse zur Fragengruppe 3.

Die letzte Frage (Abb. 56) des Fragebogens war an der Implementierung und Auswirkung, bei der Nutzung von dreidimensionalen Objekten in den Lernmodulen, orientiert. Die Teilnehmer wurden gebeten zwei Wartungsaufgaben (Austausch der Hauptkontakte und Hochrüsten des Schalters auf ein kommunikationsfähiges Gerät) aus dem Trainingsmodul V.LS (Virtueller Leistungsschalter) durchzuführen (siehe Kapitel 5.3). Anschließend sollten sie angeben, ob sie sich in der Lage fühlen, dieselben Vorgänge an einem realen Leistungsschalter zu wiederholen. Auf diese Frage antworteten 35,8% bzw. zehn Teilnehmer, dass sie sich sicher genug fühlen, diese Aufgabe zu bewältigen. Andererseits gaben 53,5% bzw. 15 Teilnehmer an, sich unsicher zu fühlen. Drei Teilnehmer (10,7%) antworteten, dass Sie nicht fähig sind, die beiden Wartungsaufgaben erneut durchzuführen.

Eine mögliche Erklärung dieser Ergebnisse ist, dass Nutzer mit höherem visuellen, räumlichen Vermögen, dreidimensionale virtuelle Modelle besser bearbeiten können. Solche Nutzer haben mehr Zeit, die relevanten Inhalte zu bearbeiten, während die übrigen Nutzer mit der Navigation des Systems beschäftigt sind. Dieser Nachteil kann durch die Nutzung von Navigationswerkzeugen minimiert werden. Die Navigationswerkzeuge ermöglichen das Anzeigen und Ausblenden von Objekte mit verschiedener Relevanz zu der momentanen Aufgabe. Diese Optionen werden durch einen Mausklick oder durch die Nutzerposition in der virtuellen Umgebung aufgerufen. Somit ist es möglich, die Aufmerksamkeit der Nutzer auf die momentan relevante Information (z.B. benötigte Schraubendreher) oder das Objekt (z.B. Maschinenteil) zu fokussieren und den Lernerfolg zu steigern.

Weiterhin ist eine Wiederholung der gelernten Vorgänge auf einer realen Baugruppe (in diesem Fall ein Leistungsschalter) notwendig. Diese Aussage wird von den Antworten der Teilnehmer, die sich immer noch unsicher fühlen, bestätigt. Um diese psychologische Barriere zu brechen, ist eine Kombination aus virtuellem Training und wiederholtem Training auf realen Baugruppen notwendig.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der stetig steigenden allgemeinen Vernetzung ist der Erwerb von Wissen zeit- und ortsunabhängig geworden, wodurch computergestützte Technologien zur Wissensvermittlung an Bedeutung gewonnen haben. Die starke Verbreitung des Internets als Informationsquelle ermöglichte erst diese Entwicklung.

Die Anwendung, lehrgestützter Techniken, wie der Virtual-Reality-Technik, erleichtern den Lernprozess im Bereich der Elektrotechnik. Einige neue Elemente wie z.B. VR-Labore (Virtual Reality) vergrößern bei geeigneten mathematisch genauen Modellen den Wissenserwerb und erhöhen die Attraktivität des Technikstudiums.

In dieser Dissertation sind die Probleme des rechnergestützten Lernens am Beispiel der Regenerativen Energien behandelt worden. Es sind ausgewählte Bereiche des rechnergestützten Lernens an drei Beispielen untersucht und durchgeführt worden. Die Beispiele sind:

- Regenerative Energien – Multimedial (RegEn – M) – Ein modular aufgebautes Lernsystem,
- Virtuelles Labor,
- Virtuelles Training.

Diese drei Themenbeispiele sind systematisch erarbeitet worden. Zunächst sind die Szenarien erstellt und geeignete Techniken ausgewählt worden. Auf diesen Ansatzpunkt basierend sind Lernapplikationen entwickelt, implementiert und getestet worden. Die Akzeptanz ist durch reale Anwendung in der Lehre überprüft und verifiziert worden.

Das System RegEn - M beinhaltet folgende Lernmodule, die im Multimedialabor am Lehrstuhl Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen (LENA) implementiert worden sind:

- Allgemeine Grundlagen der Energieerzeugung aus regenerativen Energiequellen und ihre Potentiale,
- Wind als Energiequelle,
- Photovoltaische Energieerzeugung,
- Brennstoffzelle.

Das virtuelle Labor ist auf der Basis des realen Brennstoffzellenlabors des Lehrstuhls aufgebaut. Die virtuellen Modelle zur Visualisierung werden ergänzt durch implementierte, quasi dynamische, mathematische Modelle zur Simulation unterschiedlicher Betriebszustände.

Das virtuelle Training basiert auf CAD-Daten eines Leistungsschalters und ist in der Kooperation mit dem Produzenten entwickelt und in der Praxis erfolgreich eingesetzt worden.

In mehrjährigen Anwendungen sind die Akzeptanz und die Vorteile der in dieser Arbeit erstellten Lehr- und Lerntechniken untersucht worden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Anwendung von Virtual-Reality-Techniken die herkömmlichen Formen des Lehrens und Lernens bereichern und ergänzen können.

Zukünftig ist eine verstärkte Entwicklung der Präsentationsmöglichkeiten des Wissens durch den Einsatz von dreidimensionalen Lernräumen gegeben, wodurch nicht nur das System virtuell repräsentiert werden könnte, sondern auch die gesamte Lernumgebung des Systems. Der Lernende könnte sich in der virtuellen Umgebung real bewegen und somit virtuell das System bedienen.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die in dieser Arbeit realisierten Lernmodule zu erweitern und den neuesten Wissensstand weiterhin zu erhalten. Die Nutzung von virtuellen Laboren erweist sich als sehr hilfreich, folgende virtuelle Labore können in die bereits bestehende Lernbasisplattform eingebunden werden: Photovoltaik, Windkraft, Elektrische Netze und Leitwartezentrale.

8. Literaturverzeichnis

- [1] J. Svajger, V. Valencic: Discovering Electricity by Computer-Based Experiments. IEEE Transaction on Education, Vol. 46, No. 4, November 2003
- [2] B. Bruns, P. Gajewski: Multimediales Lernen im Netz. ISBN: 3-540-42477-6, Springer Verlag, Berlin, 3. Auflage, 2002
- [3] H. Blankertz: Theorien und Modelle der Didaktik. ISBN-10: 3779901862, ISBN-13: 978-3779901860, Juventa Verlag, 14. Auflage, Weinheim, 2000
- [4] K. Kohl: Didaktische Modelle für die Computergestützte und virtuelle Lehre. E-Learning, NMB-Projekt in den Ingenieurswissenschaften, Dessau: Hochschule Anhalt (FH), 1. Auflage, 2003
- [5] R. Schulmeister: Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik – Design. ISBN-10: 3486258648, ISBN-13: 978-3486258646, Wissenschaftsverlag GmbH, 3. korrigierte Auflage, Oldenburg, 2007
- [6] P. Baumgartner, M.-H. Häfele: Auswahl von Lernplattformen. Studienverlag Ges.m.b.H., Innsbruck, 2003
- [7] M. König: E-Learning und Management von technischem Wissen in einer webbasierten Informationsumgebung. Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau, Dissertation, 2001
- [8] C. Thimm (Hrsg.): Netz-Bildung Lehren und Lernen mit neuen Medien in Wissenschaft und Wirtschaft. Europäischer Verlag der Wissenschaft, ISBN: 3-631-52108-1, Band 5, 2005
- [9] A. Holzinger: Basiswissen Multimedia – Technologische Grundlagen multimediale Informationssysteme. ISBN: 3-8023-1914-1, Band 1, Vogel Verlag, 2. Auflage, Würzburg, 2002
- [10] A. Holzinger: Basiswissen Multimedia – Kognitive Grundlagen multimediale Informationssysteme. ISBN: 3-8023-1857-9, Band 2, Vogel Verlag, 1. Auflage, Würzburg, 2001
- [11] R. Steinmetz: Multimedia-Technologie – Einführung und Grundlagen. ISBN: 3-540-56724-0, Springer Verlag, 1. Auflage, Berlin, 1995
- [12] R. Pickhardt: Grundlagen und Anwendung der Steuertechnik – Petri Netze, SPS, Planung. Vieweg Verlag, 1. Auflage, 2000

-
- [13] F. Lehner: Einführung in Multimedia – Grundlagen, Technologien und Anwendungsbeispiele. ISBN: 3-409-11870-5, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1.Auflage, 2001
- [14] K. Schweighofer: Computer Based Training. Linz, Universitätsverlag Rudolf Trauner, 1992
- [15] W. Effelsberg: Quo vadis, alma mater? Stand und Zukunft der virtuellen Lehre an unseren Hochschulen. In: E-Learning, NMB-Projekt in den Ingenieurwissenschaften. Pinkau, Gerke. Dessau: Hochschule Anhalt (FH), 1.Auflage, 2003
- [16] T. Jechle: Formen des Telelernens. Tele Akademie der Fachhochschule Furtwangen, 2. Studienmodul Tele-Tutor Training, 2002
- [17] D. Euler: Didaktik des Computergestützten Lernens. Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH, 1.Auflage, Nürnberg, 1992
- [18] R. S. Schiffmann, G. Heinrich, Y. Heinrich: Multimedia-Projektmanagement – Von der Idee zum Projekt. ISBN: 3-540-64784-8, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1999
- [19] L. J. Issing, G. Stärk: Studieren mit Multimedia und Internet – Ende der traditionellen Hochschule oder Innovationsanschub? ISBN-10: 3830911033, ISBN-13: 978-3830911036, Waxmann Verlag, Münster, 2002
- [20] J. H. Kloss, R. Rockwell, K. Szabo, M. Duchrow: VRML97 – Der internationale Standard für interaktive 3D-Welten im World Wide Web. Bonn GmbH Verlag, 1.Auflage, 1998
- [21] U. Hinze: Computergestütztes kooperatives Lernen. ISBN-10: 3830914229, ISBN-13: 978-3830914228, Waxmann Verlag, 1.Auflage, 2004
- [22] J. Rahrmann, A. Hagedstedt: LabVIEW: das Grundlagenbuch. ISBN: 3-8273-2051-8, Addison-Wesley Verlag, 4.Auflage, München, 2004
- [23] W. Reisig: Systementwurf mit Netzen. ISBN-10: 3540137866, ISBN-13: 978-3540137863, Springer Verlag, 1.Auflage, Berlin, 1998
- [24] Z. Styczynski: Expertensysteme in der Energieversorgung. Vorlesungsbegleitender Umdruck, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, 2000
- [25] C. Leder: Visualisierungskonzepte für die Prozesslenkung elektrischer Energieübertragungssysteme. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Universität Dortmund, Dortmund, Dissertation, 2002

- [26] A. Riegert: Blendet Learning in Führungsverhaltenstraining – Unterstützung von Lernerfolg und Lerntransfer durch computergestütztes, kooperatives Lernen. ISBN: 3-86618-050-0, Rainer Hampp Verlag, München und Mering, Band 15, 2006
- [27] J.N. Coleman: Effectiveness of Computer-Aided Learning as a Direct Replacement for Lecturing in Degree-Level Electronics. IEEE Transactions on Education, Vol. 41, No. 3, August 1998
- [28] F. de Coulon, E. Forte, J. M. Rivera: KIRCHHOFF: An Educational Software for Learning the Basic Principles and Methodology in Electrical Circuits Modelling. IEEE Transactions on Education, Vol. 36, No. 1, February 1993
- [29] J. Petersen, G.-B. Reinert: Lehren und Lernen im Umfeld neuer Technologien. ISBN: 3-631-46910-1, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main, Band 24, 1994
- [30] T. Smieja: Entwicklung und Realisierung einer 3D-virtuellen Lehrveranstaltung im Fach Alternative Energiequellen. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Magdeburg, 2004
- [31] A. Kwasnica: Entwicklung und Implementierung einer Lernumgebung im Bereich der Windenergienutzung mit 3D-Visualisierungstechniken. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Magdeburg, 2006
- [32] S. Kirchhoff, S. Kuhnt, P. Lipp, S. Schlawin: Fragebogen – Datenbasis, Konstruktion, Auswertung. ISBN: 3-8100-3680-3, Leske + Budrich Verlag, Opladen, 3.Auflage, 2003
- [33] B. Gamböck: Geht es auch ohne Lernplattform. E-Learning spezial, Zeitschrift: Wirtschaft und Weiterbildung, pp. 54 – 57, Jan. 2002
- [34] M. Bühner: Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. Pearson Studium, ISBN-10: 3-8273-7193-7, München, 2.Auflage, 2006
- [35] R. Schulmeister: Lernplattform für das virtuelle Lernen – Evaluation und Didaktik. ISBN: 3-486-27573-9, Oldenburg Verlag München Wien, 2.Auflage, 2005
- [36] E. Handschin, J. Brosda, A. L'Abbate, C. Leder, M. Trovato: Visualization for a corrective congestion management based on FACTS-devices. Proceeding of IEEE Bologna Power Tech, Bologna, Italy, 2003

-
- [37] H. Gudjons, R. Winkel: Didaktische Theorien. ISBN-10: 3925836357, ISBN-13: 978-3925836350, Bergmann + Helbig Verlag, Hamburg, 2002
- [38] J. Foley, D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola, I. Poupyrev: User Interfaces – Theory and Practice. ISBN: 0-201-75867-9, Addison-Wesley Verlag, 2005
- [39] N. Birbaumer, D. Frey, J. Kuhl: Psychologie des Lernens und der Instruktion. ISBN-10: 3801705382, ISBN-13: 978-3801705381, Enzyklopädie der Psychologie, Hofgrefe Verlag, Band 2, Göttingen, 1996
- [40] E. Handschin, Th. Stephanblome: Einbindung von dezentralen Energiesystemen in elektrischen Netzen. 5. Fachkongress Zukunftsenergien, Essen, 2001
- [41] A. Popescu: Erstellung eines virtuellen Modelle eines autonomen Brennstoffzellensystems mit quasi statischem Verhalten der Prozessgrößen. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Magdeburg, 2006
- [42] J. Haubrock: Entwicklung und Realisierung einer webbasierten Lehrveranstaltung im Fach Alternative Energiequellen für Studenten des Landes Sachsen-Anhalt. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Magdeburg, 2004
- [43] A. Aumayr, R. Bitsch, W. Feldmann: Dezentrale Energieversorgungskonzepte optimieren Ressourcen. etz, H. 3-4, pp. 20-23, 1999
- [44] C. Sourkounis, J. Wenske, H.-P. Beck: Regenerative Quellen zur dezentralen Stromversorgung. Erneubaren Energien, pp. 28-30, 1999
- [45] K. Lipiec: Realisierung eines virtuellen Brennstoffzellenmodells mit 3D-Visualisierungstechniken. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Magdeburg, 2007
- [46] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi (Hrsg.):Energie Daten 2002, Nationale und Internationale Entwicklung, Zahlen und Fakten. Berlin, 2002
- [47] E. Handschin, W. Horenkamp, T. Wiesner: Technisch-wirtschaftliche Aspekte für dezentrale Energieversorgung in Niederspannungsnetz. Elektrotechnik und Informationstechnik e&i 117, H. 7/8, pp. 456-460, 2000

-
- [48] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi (Hrsg.): Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Berlin, 2001
- [49] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung. Berlin, 2000
- [50] B. Hadzi-Kostova, J. Haubrock, A. Lebioda, A. Orths, Z. Styczynski: Teaching Renewable Energy Using E-Learning System RegEn – M (Renewable Energy Multimedial), ED-MEDIA, Lugano, Switzerland, 2004
- [51] E. Handschin, F. Neise, H. Neumann, R. Schultz: Optimal Operation of dispersed generation under uncertainty using mathematical programming. Proceedings of the 15. PSCC –Konferenz, Liege, 2005
- [52] B. Hadzi-Kostova, Z. Styczynski: Teaching Renewable Energy Using Multimedia. Proceedings of the PSCE, New York, 2004
- [53] A. Angelov, J. Haubrock, B. Hadzi-Kostova, Z. Styczynski, P. Schweizer-Ries: Learning about renewables using VRML-technology. Proceedings of the IEEE PowerTech 2005, ISBN: 5-93208-034-0, St.Petersburg, Russia, 2005
- [54] Z. Styczynski: Elektrische Energiesysteme. Vorlesungsbegleitender Umdruck, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, 2003
- [55] G. Heideck: Ein autonomes Brennstoffzellensystem – Optimierungsansätze. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, ISSN: 1612-2526, ISBN: 3-929757-94-X, Dissertation, Magdeburg, 2006
- [56] H. M. Selim: Critical success factors for e-learning acceptance – Confirmatory factor models. Elsevier Verlag, Computers & Education, 2005
- [57] R. Däßler, H. Palm: Virtuelle Informationsräume mit VRML – Informationen recherchieren und präsentieren in 3D. ISBN-10: 3920993780, ISBN-13: 978-3920993782, Dpunkt Verlag, 1.Auflage, Heidelberg, 1998
- [58] D. Heinze: Untersuchung eines PEM-Brennstoffzellenstacks unter dem Aspekt der Messdatenerfassung, -auswertung anschließender Simulation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit (unveröffentlicht), Magdeburg, 2004
- [59] P. Schweizer-Ries: Nutzung von Solarstromanlagen - ein umweltpsychologisches Thema. Magdeburger Wissenschaftsjournal, Nr. 1, pp. 27-34, 2004

- [60] P. Schweizer-Ries, S. Baasch, J. Jagszent: Energy sustainable communities: social and psychological aspects. Nineteenth European photovoltaic solar energy conference, pp. 3238-3240, Paris, France, 2004
- [61] E. Handschin, F. Neise, H. Neumann, R. Schultz: Optimal operation of dispersed generation under uncertainty using mathematical programming. Electrical Power & Energy Systems, 2006
- [62] P. Schweizer-Ries, C. Casper-Villalobos: Utilizing social knowledge to convert PV systems into sustainable energy communities. From PV technology to energy solutions - PV in Europe, International conference, pp. 1234-1237 Rome, Italy, 2002
- [63] R. Becker, E. Handschin: Simulationstool zur Integration von Brennstoffzellen in Wärmenetze. VDI Berichte 1874, pp. 263-265, Düsseldorf, 2005
- [64] E. Handschin, C. Leder: Automatic decision support with a new visualization concept for power systems. Proceedings of the Porto Power Tech, Porto, Portugal, 2001
- [65] A. N. Angelov, Z. Styczynski: Computer-aided 3D Virtual Training in Power System Education, Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, ISBN: 1-4244-1298-6, ISSN: 1932-5517, Tampa, Florida, USA, 2007
- [66] A. N. Angelov, T. Smieja, Z. Styczynski, C. Gast, K. Königbauer, P. Brich, G. Hengstebeck, N. Plewinski: Teaching technical personnel using new 3D training modules. Proceedings of the ICEE 2006, Book ISBN: 1-58874-648-8, CD ISBN: 1-58874-649-6, San Juan, Puerto Rico, USA, 2006
- [67] A. N. Angelov, Z. Styczynski, A. Orths, E. Blümel: Anwendung von VRML-Technologie für die Virtuellen Experimente mit einer Brennstoffzelle. 8.IFF-Wissenschaftstage, pp.165-168, ISBN 3-8167-6849-0, Magdeburg, Germany, 2005
- [68] A. N. Angelov, H. Friedrich, Z. Styczynski, G. Wollenberg: Teaching Electrical Engineering using E-Learning Methods at the Otto-von-Guericke-University Magdeburg. Proceedings of the ICEE 2005, Volume 2, pp. 628-632, ISSN: 1562-3580, Gliwice, Poland, 2005
- [69] T. Smieja, A. N. Angelov, Z. Styczynski: Anwendung von Virtual Reality Technologie im Bereich Elektrotechnik. 9.IFF-Wissenschaftstage, pp. 251-258, ISBN-10: 3-8167-7124-6, ISBN-13: 978-3-8167-7124-1, Magdeburg, Germany, 2006

- [70] T. Smieja, A. N. Angelov, Z. Styczynski: Learning about Fuel Cell System using 3D Technology at the Otto-von-Guericke-University. Modern Electric Power System, pp.134-137, ISBN-13: 978-83-921315-2-6, Wroclaw, Poland, 2006
- [71] A. N. Angelov, T. Smieja, Z. Styczynski: Acceptance of 3D Visualizations Methods for Learning and Training in the Area of Electrical Engineering. Proceedings of the ICEE 2007, CD ISBN: 978-972-8055-14-1, Coimbra, Portugal, 2007
- [72] A. N. Angelov, T. Smieja, Z. Styczynski: New Training Programs in Power Engineering using VRML Visualization Methods. Proceedings of the 19th CIRED Conference & Exhibition, Vienna, Austria, 2007
- [73] A. N. Angelov (editor): Technischer Bericht. Modelle und Module des E-Learning Systems RegEn – M. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, DVD, Magdeburg, 2007

9. Anhang

A. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Kopplung zwischen klassischen Lehrmethoden und E-Learning.....	7
Abb. 2:	Beispielkomponenten medialen Designs [23].....	8
Abb. 3:	Formen der tutoriellen Betreuung im Kursverlauf.....	9
Abb. 4:	Beispiel zur Umsetzung der Einführungsseiten aus dem Modul der Windenergie.....	11
Abb. 5:	Entdeckendes Lernen am Beispiel des Lernmoduls Brennstoffzelle....	12
Abb. 6:	Beispiel einer Wissenskontrolle.....	12
Abb. 7:	Virtuelles Seminar, Programm- und Datenblattdownload.....	13
Abb. 8:	Übersicht des unterschiedlichen Einsatzes von Medien [10].....	15
Abb. 9:	Informationsübertragung zwischen Menschen [13].....	17
Abb. 10:	Beispiel einer nicht-linearen Informationsverkettung verschiedener Medien.....	17
Abb. 11:	Hypermedia als Schnittmenge von Hypertext und Multimedia [7].....	18
Abb. 12:	Beispiele verschiedener Medientypen [13].....	19
Abb. 13:	Mensch-Mensch-Kommunikation [9].....	23
Abb. 14:	Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation [9].....	24
Abb. 15:	Mensch-Maschine-Kommunikation [9].....	24
Abb. 16:	Virtuelle Repräsentation eines Leistungsschalters.....	30
Abb. 17:	Beispiel eines Rechnernetzwerkes [7].....	33
Abb. 18:	Weitergabe multimedialer Objekte mittels eines Browsers [7].....	34
Abb. 19:	Logo der netzbasierten Lehrveranstaltung RegEn – Multimedial.....	41
Abb. 20:	Beispiel Startseiten des Lernsystems RegEn – Multimedia.....	43
Abb. 21:	Vertiefung bei dem Lernmodul „Photovoltaik“.....	43

Abb. 22:	Wirkungsgrade verschiedener PV-Solarzellen aus dem Modul „Photovoltaik“.....	44
Abb. 23:	Virtuelle Simulation mit MATLAB® aus dem Lernmodul „Wind als Energiequelle“.....	46
Abb. 24:	Virtuelles Seminar, Lehrmodul „Wind als Energiequelle“.....	47
Abb. 25:	Beispiel einer Testseite aus dem Lernmodul „Photovoltaik“.....	49
Abb. 26:	Testseite im Lernmodul „Photovoltaik“ bei mehrfach falsch beantworteten Fragen.....	49
Abb. 27:	Hierarchiestruktur des Moduls „Brennstoffzelle“ [42].....	51
Abb. 28:	Hierarchiestruktur des Moduls „Wind als Energiequelle“ [42].....	52
Abb. 29:	Reale und virtuelle Gestaltungsfaktoren für ein Virtual-Reality-System [20].....	55
Abb. 30:	Schematischer Ablauf des V.LS (Virtueller Leistungsschalter) Trainingsmoduls.....	57
Abb. 31:	Beispiel des vorgegebenen Lernwegs im Trainingszenario „Hochrüsten der Schalter auf ein kommunikationsfähiges Gerät“.....	58
Abb. 32:	Startseite des RegEn - VL Moduls.....	60
Abb. 33:	Physikalische Grundlagen der Energienutzung.....	61
Abb. 34:	Konstruktiver Aufbau der Windkraftanlage im Bereich des 3D-Moduls.....	62
Abb. 35:	3D-Modell und detaillierte Beschreibung des Funktionsprinzips des Azimutlagers einer Windkraftanlage.....	63
Abb. 36:	Beispiel der Innenansicht der Windkraftanlage.....	64
Abb. 37:	Beispiel von Rechenaufgaben im virtuellen Labor des Lernmoduls....	65
Abb. 38:	Startseite des V.LS Moduls.....	66
Abb. 39:	Demo-Modus des V.LS Moduls.....	68
Abb. 40:	Trainings-Modus des V.LS Moduls.....	69
Abb. 41:	Aufbau der BZ-Simulation in LabView®.....	72
Abb. 42:	Frontpaneloberfläche – Simulation.....	73
Abb. 43:	Frontpaneloberfläche – BZ-System.....	75

Abb. 44:	Blockdiagramm des Luftkompressors.....	76
Abb. 45:	Beispiel des Kompressorsymbols und des Anschlussblocks.....	77
Abb. 46:	Menüleiste der jeweiligen Anwendung.....	79
Abb. 47:	Bedienfläche auf der Frontpaneloberfläche – Simulation.....	81
Abb. 48:	Bedienfläche für das Spülventil.....	82
Abb. 49:	Bedienfläche der Wasserstoffflasche.....	82
Abb. 50:	Vorgehensweise für die Änderung der Simulationsanfangswerte.....	84
Abb. 51:	Informationsfenster für das Spülventilmodell.....	85
Abb. 52:	Bedienmenü des 3D-Modells.....	86
Abb. 53:	Demografische Profile und statistische Daten der Umfrage.....	87
Abb. 54:	Umfrageergebnisse zur Fragengruppe 1.....	89
Abb. 55:	Umfrageergebnisse zur Fragengruppe 2.....	90
Abb. 56:	Umfrageergebnisse zur Fragengruppe 3.....	91

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Vor- und Nachteile der verschiedenen Lerntechniken [14],[17].....	26
Tab. 2:	Sequenzierung der Lehrmodule.....	36
Tab. 3:	Ansteigende Lernziele der Lehrmodule Wind und Brennstoffzelle.....	38
Tab. 4:	Eingangsgrößen des Simulationsprogramms.....	74
Tab. 5:	Ausgangsgrößen des Simulationsprogramms.....	74
Tab. 6:	Im Formelknoten verfügbare Operatoren [22].....	77
Tab. 7:	Eingangsgrößen des Simulationsprogramms.....	80
Tab. 8:	Im Formelknoten verfügbare Operatoren.....	83

B. Abkürzungen

BMP	Windows Bitmap
BZ	Brennstoffzelle
CBT	Computer Based Training
CD	Compact Disc
DLL	Dynamic Link Library
DVD	Digital Versatile Disc
EPS	Encapsulated Post Script
FDD	Floppy Disc Drive
GIF	Graphics Interchange Format
HDD	Hard Disc Drive
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IP	Internet Protocol
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAN	Local Area Network
PEM	Proton Exchange Membrane
PNG	Portable Network Graphics
PS	Post Script
RegEn – M	Regenerative Energien – Multimedial
RegEn – VL	Regenerative Energien – Virtuelles Labor
TIF	Tagged Image File Format
V.LS	Virtueller Leistungsschalter
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language
WAN	Wide Area Network
WBT	Web Based Training
WMF	Windows Media File
WWW	World Wide Web