

# Automatisierte Augmentierung von Lernobjekten in einer semantischen Interpretationsschicht der HyLOS Plattform\*

Michael Engelhardt<sup>1</sup>, Arne Hildebrand<sup>1</sup> und Thomas C. Schmidt<sup>2,1</sup>  
{engelh, hilde, schmidt}@fhtw-berlin.de

<sup>1</sup>FHTW Berlin, Hochschulrechenzentrum, Treskowallee 8, 10318 Berlin

<sup>2</sup>HAW Hamburg, FB Elektrotechnik und Informatik, Berliner Tor 7, 20099 Hamburg

**Abstract:** IEEE LOM Lernobjekte etablieren sich weithin als standardisierte Grundbausteine für das eLearning Content Management. Dekoriert mit einem aussagefähigen Metadatensatz und strukturiert durch benannte Relationen, können Lernobjekte in hypermedialen Anwendungen vielfältig und an den Lernenden angepasst präsentiert werden. Das Hypermedia Learning Object System HyLOS, welches wir in dieser Arbeit vorstellen, ist eine solche lernobjektverarbeitende Plattform.

HyLOS hält eine Editorenumgebung zur teilautomatisierten und auch zur vollständigen, manuellen Metadatenbearbeitung im Autorenkontext bereit, doch bleibt die Erstellung wohlannotierter und –strukturierter Lernobjekte aufwändig. In dieser Arbeit stellen wir deshalb unsere Erweiterungen zur automatischen Lernobjekt–Akquise und Augmentierung vor. Aus vorlesungsbegleitenden Aufnahmen erstellen wir zunächst Basisobjekte, welche sodann analysiert und automatisch klassifiziert werden. Eine semantische Verarbeitungsschicht verknüpft schließlich die annotierten Objekte und webt so ein dichtes inhaltliches Netz von autonomen Wissenskernen.

**Keywords:** Educational Content Management, LOM, E-Learning Objects, Semantic Web, Automated Content Classification

## 1 Einleitung

Im Kontext des computergestützten Lernens hat sich der IEEE LOM Standard (Learning Object Metadata) [LOM02] zur Annotation von eLearning Objekten etabliert. Lernobjekte sind selbstkonsistente, atomare Wissenseinheiten, die sowohl den Inhalt als auch die beschreibenden Metadaten kapseln, wobei der Inhalt selbst wieder ein Lernobjekt darstellen kann. Die so entstehende selbstähnliche hierarchische Struktur von Lernobjekten erlaubt den Aufbau von navigierbaren Wissensbäumen. Der LOM Standard umfasst eine reichhaltige Menge an Meta-Eigenschaften, die neben der technischen, didaktischen und inhaltlichen Beschreibung von Objekten auch qualifizierte Benennung von Relationen zu anderen Wissensbausteinen beinhalten. LOM ist zudem Bestandteil des SCORM (Shara-

---

\*Die hier vorgestellten Arbeiten wurden teilweise durch das EFRE Programm der Europäischen Union im Projekt **E-Train** und durch das EUMIDIS Programm der Europäischen Union im Projekt **Odiseame** gefördert.

ble Content Object Reference Model) [ADL04], einem standardisierten Austauschformat für Lernobjekte.

LOM Lernobjekte, auch eLearning Objects (eLOs) genannt, bieten durch ihre vielfach auf kontrollierten Vokabularen basierenden Metadatensätze und vor allem durch ihre umfangreichen Relationen eine gute Grundlage für die automatisierte Verarbeitung und hypermediale Präsentation in Online-Lernsystemen. Trotzdem ist die Anzahl der Anwendungen, die von dem LOM-basierten eLO Konzept profitieren und dieses vollständig implementieren, gering. Vorhandene Ansätze begrenzen häufig die Menge der verarbeitbaren Metadaten stark und reduzieren die hypermedialen Fähigkeiten des Online-Mediums auf die Linearität eines Buches.

Das Hypermedia Learning Object System (HyLOS), welches wir im Folgenden vorstellen und diskutieren, bildet unsere experimentelle Plattformentwicklung, welche dem didaktischen Content Management Ansatz der E-Learning Objekte gem. IEEE LOM [LOM02] konsequent folgt [EKR<sup>+</sup>03], [SE05]. Für Autoren von eLearning Objects hält HyLOS hochstehende Autorenwerkzeuge und ein flexibles Content Management bereit. Mächtige Retrievaloperationen und eine Präsentationsschicht variabler Zugangsstrukturen bieten einen vollständig hypermedialen, wahlweise instruktivistischen oder konstruktivistischen Lernzugang. HyLOS basiert auf der allgemeineren Entwicklungsplattform Media Information Repository (MIR), einem offenen Hypermediasystem, welches die Standards XML, JNDI und Corba unterstützt [FKRS01].

Der Schwerpunkt unserer aktuellen Aktivitäten sowie dieser Darstellung liegt in der Teilautomatisierung eines praxisfähigen eLO Managements. Segmentierte und klassifizierte Lernobjekte schnell und mühelos aus dem Lehrbetrieb zu gewinnen, bildet das Ziel unseres Projekts zur automatisierten Vorlesungsaufzeichnung. Wird ein neues Lernobjekt einem Repository wie unserem Media Object Repository hinzugefügt, können potentiell zu jedem der bereits Vorhandenen semantische Relationen richtig werden. Das automatische Identifizieren und Einfügen von Verknüpfungen zwischen den Inhaltsbausteinen ist die Aufgabe unseres ontologischen Evaluation Layers, welcher jedes neue Objekt in das navigierbare Beziehungsgeflecht des Objektbestandes aufnimmt.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt: Im anschließenden zweiten Kapitel präsentieren wir das Hypermedia Learning Object System HyLOS und seine verteilte Autoren Umgebung. Kapitel drei widmet sich den technischen Aspekten der automatischen Vorlesungsaufzeichnung und klassifizierten Inhaltsakquise in eLOs. Unsere semantischen Konzepte und Verfahren zur Augmentierung der Objekte im HyLOS Learning Repository diskutieren wir im vierten Kapitel. Kapitel fünf schließt dann mit der Zusammenfassung und einem Ausblick.

## **2 Das Hypermedia Learning Object System HyLOS**

Mit dem Einzug hypermedialer Systeme in die Lehre muss ein Paradigmenwechsel in der Gestaltung von Lehrinhalten einhergehen: Linear geprägte Gliederungen treten in den Hintergrund zugunsten von komplex vernetzten Strukturen. Zugriffswege auf bereitgestellte

Inhalte sind demnach nicht mehr monostrukturell definiert, so dass jeder Inhaltsbaustein inhaltlich abgeschlossen und in sich konsistent sein muss. Hierfür ist es notwendig, alle inhaltlich–externen Bezüge durch Hyperreferenzen auszudrücken. Die Idee der selbstkonsistenten Inhalte wird vom Konzept der Lernobjekte vitalisiert, die in Verbindung mit ihren Metadaten definiert werden.

Das Hypermedia Learning Object System (HyLOS) [HyL05] basiert auf einem eLearning Object Informationsmodell, das Inhalte, Metadaten und Relationen zwischen Lernobjekten konform zum IEEE LOM Standard verarbeitet. HyLOS ist ein adaptives eLearning Content Management System zur simultanen Unterstützung eines selbstexplorativen als auch eines instruktionsgeführten Lernens. In seiner Realisierung verfolgt es die Trennung von Struktur, Inhalt und Gestaltung durch konsequente Nutzung der XML Technologien. HyLOS verfolgt einen neuen Ansatz, Hyperreferenzen kontextuell und kohärent zu verarbeiten. In [ES03] wird der Übergang von einem inhaltlich ausdruckslosen Linkmodell hin zu einem semantischen Modell von Verweisen aufgezeigt. Die Kodierung inhaltstragender Eigenschaften innerhalb von (dekorierenden) Ankern und Verweisen erlaubt die Selektion und Gruppierung von Hyperreferenzen anhand inhaltlicher Kriterien. Solcherlei Gruppierungen zu Verweiskontexten entstehen durch semantische Selektionskriterien. Als neue Abstraktionsebene ermöglichen Verweiskontexte sowohl Autoren als auch Lernenden mit wechselnden Verweisschemen auf denselben Inhalten zu interagieren. Autoren können in Verweiskontexten ihre Konzepte der Inhaltsverknüpfung niederlegen und dem Lernenden als Mittel der gezielten Interaktion und Navigation zur Verfügung stellen. Verweiskontexte sind somit ein geeignetes Mittel, einheitliche Verweisschemen in einer selbsterklärenden und konsistenten Weise, einer bereits von Landow in seiner grundlegenden Arbeit [Lan91] geforderten Verweiserhetorik, zu definieren.

Dem Anwender steht eine Java/Swing basierte Autorenumgebung (Abb. 1) zur Erzeugung und zum Bearbeiten von LOM konformen Lernobjekten zur Verfügung. Die Autorenumgebung unterteilt sich in zwei generelle Module, ein Metadatenmodul und ein Modul zur Inhaltseingabe. Texte und Tabellen können direkt innerhalb der Autorenumgebung in einem XML–WYSIWYG Editor bearbeitet werden, für Rich Media Elemente stehen formularbasierte Editoren zur Paramaterjustierung zur Verfügung.

Der LOM Standard hat ein international akzeptiertes und facettenreiches Vokabular zum Aufbau strukturierter Metadaten etabliert. Trotzdem vereinfachen viele der gegenwärtigen Autorenanwendungen die Menge der zu erfassenden Metadaten. Generell wird die Reichhaltigkeit der LOM Daten als ein Problem bei der Inhaltsproduktion wahrgenommen. Die HyLOS Autorenumgebung mit ihrem Metadatenmodul verfolgt den Ansatz, die Anzahl der notwendigen Eigenschaften zu reduzieren, um dem Autor eine effektive, ungestörte Inhaltseingabe zu ermöglichen. Gleichzeitig bildet HyLOS den LOM Standard vollständig ab und ermöglicht zusätzlich das Bearbeiten der gesamten Metadatenmenge. Grundsätzlich lassen sich drei unterschiedliche Bearbeitungsmodi unterscheiden, so ist es für den Autor jederzeit möglich, den kompletten LOM Metadatensatz zu bearbeiten. Ein Großteil der einzugebenden Daten kann jedoch automatisiert gewonnen werden. Hierauf aufbauend wird ein optimierter Editiervorgang entworfen, dessen Daten sich in drei Verarbeitungskategorien unterteilen lassen:

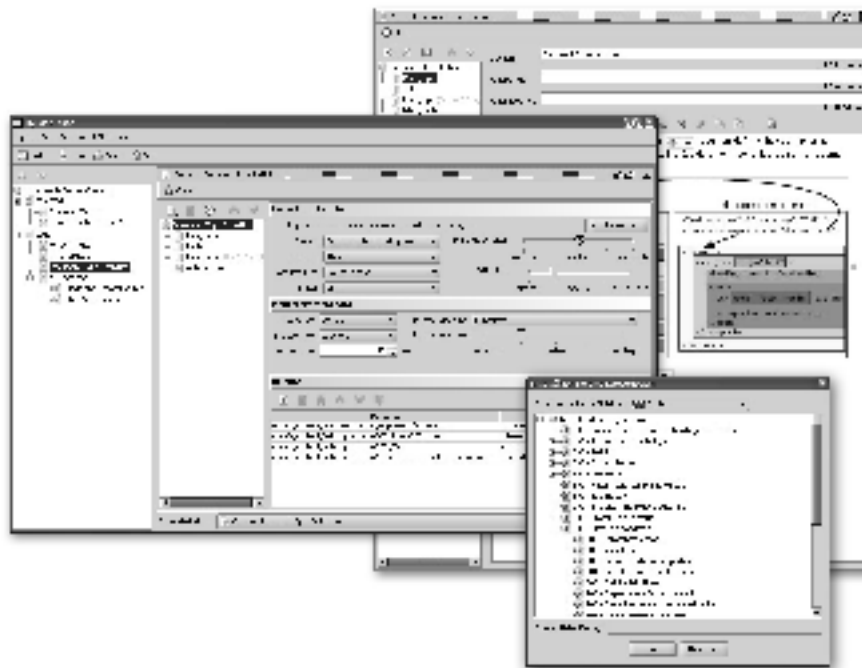


Abbildung 1: HyLOS Autorenumgebung mit Inhaltseditor, Metadatenmodul sowie Klassifikationswerkzeug.

- *Notwendige, manuell* einzugebende Metadaten sind alle Daten, die die spätere pädagogische Nutzung des Lernobjektes umfassen bzw. das Lernobjekt als ganzes beschreiben. Diese Daten sind im wesentlichen Bestandteil der „General“ bzw. „Educational“ Abschnitte.
- *Automatisiert* bestimmbare Metadaten wie beispielsweise technische oder generelle Gegebenheiten (z.B. MIME-Type, Autor etc.), die von der Autorenumgebung automatisch generiert werden können.
- *Optionale manuell* einzugebende Metadaten, die zur Prozessierung nicht zwingend notwendig sind.

Die Annotation der Lernobjekte mit Metadaten bildet die Grundlage für die im Folgenden beschriebenen semantischen Prozessierungen. Metadaten im Allgemeinen sind das Fundament, auf dem die Technologien des semantischen Webs aufbauen. Dabei ist die Standardisierung von Vokabularen von entscheidender Bedeutung für den maschinengesteuerten Austausch und die Prozessierung von Informationen.



Abbildung 2: Prozessablauf

### 3 Aufzeichnung und Klassifizierung von Lernobjekten

#### 3.1 Aufzeichnung und Aufbereitung von Vorlesungsinhalten

Eine audiovisuelle Medienausstattung mit digitaler Kopplung, wie sie heute weitgehend zum Infrastrukturstandard in Hochschulhörsälen zählt, ermöglicht einen synchronen Medienmitschnitt während einer Vorlesung. Dieses vielfach praktizierte Verfahren zur Erstellung von onlinefähigen Lehrmaterialien wollen wir mit dem Ziel einsetzen, wohlsegmentierte und annotierte Lernobjekte automatisch zu erzeugen. Unser Fokus gilt hierbei den eingesetzten Lehrmaterialien sowie der Aufnahme und Analyse der gesprochenen Sprache. Unsere Lösung koppelt sich an ein eigenentwickeltes Mediensteuerungssystem (MSS) [ZS01], bleibt jedoch unabhängig davon mit jedem anderen digital verarbeitenden Mediensteuerungssystem gültig.

Bei der Aufzeichnung einer Vorlesung werden die präsentierten Medien erfasst und in einzelne Lernobjekte aufgeteilt. Die aufgezeichneten Inhalte umfassen dargestellte Präsentationsfolien oder PDF-Dokumente, visualisierte Gegenstände sowie ggf. Videosequenzen. Durch die heute übliche Verwendung von Mikrofonen zur Verstärkung des Referenten steht die verbale Präsentation in guter Audioqualität zur Verfügung. Mit Hilfe des MSS werden die zu erfassenden Daten kontinuierlich, parallel und zeitsynchron aufgezeichnet. Die resultierenden Daten bestehen aus Grafiken und Audio-, ggf. auch Videosequenzen.

Durch die folgende Aufteilung einer aufgezeichneten Vorlesung in einzelne Lernobjekte wird eine inhaltliche Gruppierung vorgenommen. Einen Folienwechsel oder die Präsentation eines neuen Mediums sehen wir hier als geeignete Segmentierungspunkte an. Die Zerlegung erfolgt durch Vereinzelung der aufgezeichneten Präsentationsteile. Die verbale Präsentation kann jedoch nicht hart am Folienwechsel aufgetrennt werden. Sie wird an zeitnahen, signifikanten Sprachpausen geschnitten, um den Redefluss zu erhalten. Dabei wird zuerst nach größeren Sprachpausen ( $> 1 - 2 s$ ) in der Nähe (bis  $15 s$ ) des Folienwechsels gesucht. Wird keine geeignete Sprachpause gefunden, wird an einer kurzen ( $< 0,5 - 1 s$ ) Pause im Redefluss, z.B. am Satzende, in unmittelbarer Nähe des Medienwechsels ( $< 5 s$ ) getrennt.

Zur Aufbereitung der segmentierten Daten werden Folien, die als Powerpoint-Präsentation (PPT) oder PDF-Dokument vorliegen, in ein internes XML-Format überführt. Für eine Zuordnung der Folientexte zum Lernobjekt werden die erfassten Grafiken mit den einzelnen

Folien verglichen. Bei der Analyse der Quelldokumente lassen sich auch der Titel des Lernobjektes sowie der generelle Kontext anhand der persönlichen Klassifizierung des Autors ermitteln. Komplex aufgebaute Folien werden analog zu anderen grafischen Darstellungen als Bilder abgelegt. Wir nehmen eine Komprimierung der erfassten Daten vor, um die zu verarbeitende Datenmenge zu reduzieren. Verlustbehaftete Verfahren erzeugen hohe Kompressionsraten bei für die Präsentation im Web akzeptablen Qualitätsverlusten. Deshalb werden einzelne Grafiken im PNG-Format abgelegt. Für die Verdichtung aufgezeichneter Videosequenzen werden wir künftig das H.264 Komprimierungsverfahren unterstützen. Die Audiosequenzen werden nach ihrer Zerlegung im freien, auf Sprachkomprimierung optimierten Ogg Speex Format [SPC03] kodiert.

Die so entstandenen semantisch sinnvollen Einheiten werden, durch Aggregation der einzelnen zusammengehörenden Teile, in ein eLO überführt und im weiteren in unserem Lernsystem HyLOS abgelegt. Wie in Abbildung 2 dargestellt kann nach der im Folgenden beschriebenen Klassifizierung und semantischen Analyse die aufgezeichnete Vorlesung in verschiedenen Ausgabeformaten abgerufen werden, wobei das Ausgabeformat die Möglichkeiten zur Darstellung einzelner Teile des Lernobjektes einschränkt.

### 3.2 Sprachanalyse und Schlüsselwörterkennung

Die kontinuierlich aufgezeichneten Daten besitzen nach der Segmentierung keine für die semantische Auswertung notwendigen Metadaten. Deshalb sollen im folgenden Schritt die entstandenen Lernobjekte mit Schlagwörtern angereichert werden. Hierfür werden alle nutzbaren Quellen zur Analyse des Inhaltes herangezogen, im Besonderen der in den Folien enthaltene Text sowie die in der aufgezeichneten Sprache enthaltenen Informationen.

Ist eine ausreichende zusammenhängende Textmenge vorhanden, werden zur Selektion von Schlüsselwörtern in den Texten erfolgreich statistische Verfahren des Information Retrieval (IR) angewandt. Da Präsentationsfolien jedoch geringe Textmengen enthalten, bleiben diese statischen Verfahren unbrauchbar. Anstelle von Worthäufigkeitsverteilungstests verfolgen wir deshalb den Ansatz, die aufgezeichneten Materialien gegen kontrollierte Schlüsselwortvokabulare zu testen. Dieses Vorgehen lässt zudem eine symbiotische Kombination mit Techniken zur automatisierten, untrainierten Spracherkennung zu, welche wir zur Analyse der Vortragsaufzeichnungen aus den Lehrveranstaltungen einsetzen.

Im Lehralltag muss davon ausgegangen werden, dass die Spracherkennung nicht auf den Sprecher trainiert werden kann. Eine kontinuierliche Spracherkennung von verwertbarer Qualität bildet dann einen schwierigen Prozess. Heutige Spracherkennungssysteme können aber, bei eingeschränktem Vokabular, auch sprecherunabhängig Schlüsselwörter erkennen<sup>1</sup>. Durch präzise Eingrenzung der zu erkennenden Schlagwörter können auch in diesem Umfeld gute Erkennungsraten erzielt werden.

Das Problem bei dem Aufbau kontrollierter Vokabulare besteht darin, eine repräsentative Schlagwortliste zu finden, die klein genug ist, um erfolgreich sprecherunabhängige

---

<sup>1</sup>Diese Verfahren werden insbesondere zur Sprachsteuerung in Telefonie-Anwendungen verwendet.

Spracherkennung durchführen zu können, aber auch allgemein genug, um das Lernobjekt uneingeschränkt mit passenden Schlüsselwörtern zu versehen. Deshalb soll hier ein Verfahren vorgestellt werden, welches kontextbasiert Vokabulare für die Sprachanalyse und die im Weiteren beschriebene Klassifizierung zusammenstellt.

Voraussetzung für ein adaptives Verfahren zur Bildung von Vokabularen bildet eine Menge bereits vorhandener Lernobjekte oder anderer Dokumente, die mit Schlüsselwörtern versehen sind oder durch Extraktionsverfahren bestimmt werden können. Neue, mit Schlüsselwörtern versehene Lernobjekte können nach einer manuellen Verifizierung das Ergebnis weiter verfeinern, indem diese in die Trainingsmenge aufgenommen werden. Analog zu dem von Maly, Zubair und Anan vorgestellten Algorithmus [MZA01] werden die Keywords klassifizierter Lernobjekte verwendet, um Knoten eines Taxonomiebaumes mit repräsentativen Schlüsselwörtern zu versehen. Mit der hierarchische Struktur der Taxonomie werden die Schlüsselwörter vom Allgemeinen hin zum Speziellen absteigend angeordnet.

Zur Erzeugung der angepassten Vokabulare werden, von den Blättern aufsteigend, die einzelnen Schlüsselwortlisten jeder traversierten Ebene des Taxonomiebaumes zusammengefügt und in einem Wörterbuch mit einem Verweis auf jedes entsprechende Vorkommen innerhalb des Baumes abgelegt. Gleichzeitig wird eine Normalisierung des Baumes vorgenommen, so dass jedes Schlüsselwort mit seinen vollständigen Referenzen nur einmal im Wörterbuch vorkommt. Dieser Vorgang resultiert in großen Vokabularen bei allgemeiner und zu kleinen Vokabularen bei spezialisierter Klassifizierung. Aus dem Wörtbuch können nun (Teil-)Wortlisten erzeugt werden, die dem Spracherkennungssystem als Parameter zur Prozessierung übergeben werden.

Nach Evaluation verschiedener Spracherkennungssysteme setzen wir das Philips Speech SDK<sup>2</sup> zur Erkennung der dynamisch angepassten, möglichst eingeschränkten Vokabulare ein. Das SDK bietet die Möglichkeit nutzerspezifische Vokabulare dynamisch zu aktivieren, wobei das Java Speech Grammar Format (JSGF) [JSG98] zur Definition dieser dient. JSGF bietet die Möglichkeit zur Bildung von Token als Zusammenfassung von Synonymen. Durch diese Token werden bei der Sprachanalyse die einzelnen Flexionsformen eines Schlüsselwortes auf die Normalform zurückgeführt. Die Flexionsformen selbst werden über den Webservice des Projektes „Deutscher Wortschatz“ der Universität Leipzig<sup>3</sup> bestimmt und automatisch dem Vokabular hinzugefügt.

Bei der Analyse des SDK konnten selbst bei untrainierter Spracherkennung gute Erkennungsraten erreicht werden. Aufgrund des dynamischen Sprachmodells liefert das SDK bei gleichen Ausgangsbedingungen leicht unterschiedliche, jedoch ähnlich gute Resultate. So konnte bei einer Analyse eines gesprochenen Textes dreiminütiger Länge mit 16 markierten Schlüsselwörtern die nicht zum Standard-Vokabular gehören, ein durchschnittlicher *Recall*<sup>4</sup> von 80 Prozent bei einer *Precision*<sup>5</sup> von 75 Prozent erreicht werden.

Erste Untersuchungen des Laufzeitverhaltens (vergl. Abbildung 3) einer prototypischen Implementierung der Prozesskette zeigen, dass das Laufzeitverhalten sich linear zu der Menge der zu erkennenden Schlüsselwörter verhält. Der initiale Startwert begründet sich

<sup>2</sup>Philips Speech SDK: <http://www.speechrecognition.philips.com/index.asp?id=521>

<sup>3</sup>Projekt „Deutscher Wortschatz“ der Universität Leipzig: <http://wortschatz.uni-leipzig.de/WebServices/>

<sup>4</sup>Recall = richtig gefundene Elemente / insgesamt relevante Elemente

<sup>5</sup>Precision = richtig gefundene Elementen / Gesamt-Trefferanzahl

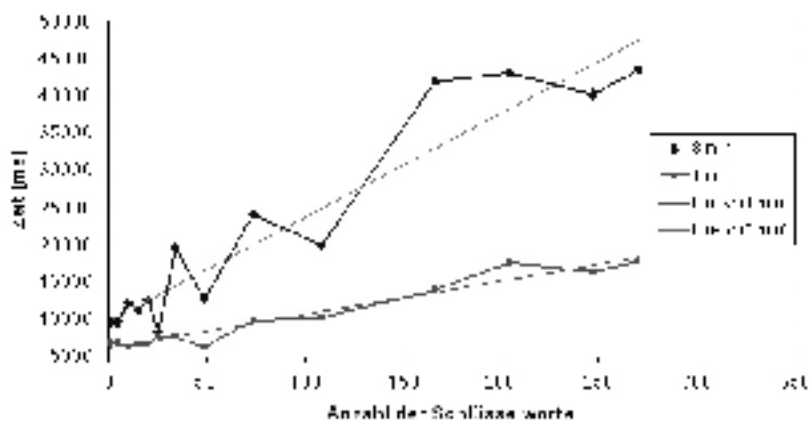


Abbildung 3: Laufzeitverhalten

auf der Instanziierung der Sprach-Engine sowie der Aktivierung der dynamischen Vokabulare. Die Laufzeit ist ebenfalls von der Länge der zu prozessierenden Sprachsequenz abhängig. Bei Vokabularen, die mehr als 50 Wörter umfassen, zeigt sich bei manuellen Untersuchungen, dass keine ausreichende Qualität bei der Spracherkennung erreicht werden kann.

Deshalb erfolgt eine Segmentierung der Wortliste des Wörterbuches in Teillisten von bis zu 50 phonetisch disjunkten Schlüsselwörtern, die nacheinander prozessiert werden. Als naiver Ansatz wird eine Aufteilung nach Anfangsbuchstaben und Wortlängen verwendet. Die vom Spracherkennungssystem erkannten Worte werden in der folgenden Klassifizierung, unter Verwendung des bereits erzeugten Wörterbuches, innerhalb der Taxonomie identifiziert und die dadurch selektierten Knoten dem Lernobjekt zugeordnet.

### 3.3 Klassifizierung der Lernobjekte

Zur Klassifizierung werden im Lernsystem HyLOS weithin verbreitete Taxonomien wie die Dewey Decimal Classification (DDC) [DDC05] und das ACM Computing Classification System (CCS) [ACM98] verwendet. Die zur automatischen Klassifizierung der Lernobjekte verwendete Taxonomie ist die auf den Informatikbereich spezialisierte ACM CCS, wobei das im Folgenden beschriebene Klassifizierungsverfahren auch für andere Taxonomien anwendbar ist.

Zur automatisierten Prozessierung werden wie oben beschrieben zuerst Synonyme zu den einzelnen Taxonomieknoten zugeordnet. Unsere aufgezeichneten Daten sind nach den bisher beschriebenen Aufbereitungen zu Lernobjekten geworden, die mit Schlüsselwörtern versehen sind. Durch einen Klassifizierer werden diese neuen Lernobjekte nun über ihre Keywords den Taxonomieklassen zugeordnet.



Während der Klassifizierung wird, ausgehend von den obersten Kategorien der Taxonomie, rekursiv anhand jeweils größter Ähnlichkeit der Wortvektoren absteigend, die Taxonomie nach signifikanten Knoten durchsucht. Bei der Berechnung der Ähnlichkeit wird zwischen Traversierung und Klassifizierung unterschieden. Die einfachste Art der Messung von Ähnlichkeit stellt die Berechnung der Mächtigkeit der Schnittmenge aus gefundenen und klassifizierenden Schlüsselwörtern dar [vR79]. Die Ähnlichkeitsberechnung für die Traversierung verwendet die rekursiv kumulierten Schlagworte als Menge der relevanten Schlüsselwörter, um zu beurteilen, wie viele Treffer in dem betrachteten Teilbaum zu finden sind. Zur Beurteilung, ob ein eLO zu einer bestimmten Kategorie zugeordnet werden kann, wird zur Bildung des Ähnlichkeitsmaßes die Schnittmenge von Treffern und Wortliste des Taxonomieknotens verwendet. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird eine Normalisierung der Ähnlichkeitskoeffizienten vorgenommen. Diese basiert immer auf der verwendeten Menge klassifizierender Begriffe.

Über zwei getrennte Schwellwerte wird im Folgenden entschieden, ob ein Lernobjekt zu einer Klasse der Taxonomie assoziiert und ob ein rekursives Absteigen zur weiteren Subklassifizierung durchgeführt wird. Ist eine Klassifizierung vorgenommen, wird diese im „Classification“-Teil des Metadatensatzes des Lernobjektes abgelegt. Das Verfahren konvergiert, wenn keine weiteren Subtraversierungen durchgeführt werden oder die Blätter der Taxonomie erreicht sind.

Durch die zeitsynchrone Aufzeichnung der Lehrmaterialien und der Sprache des Referenten entstehen nach Vereinzelung der präsentierten Medien LOM-konforme Lernobjekte. Durch eine Analyse der textuellen Inhalte sowie der aufgezeichneten Sprache sind Lernobjekte mit einem Metadatensatz entstanden, der für die folgende Inhaltsanreicherung Informationen zu Titel, Autor, Keywords und Klassifizierungen enthält.

## **4 Inhaltsaugumentierung von Lernobjekten**

### **4.1 Qualifizierte Interobjektrelationen**

Der Forderung an ein Autorensystem, Autoren in der Erstellung von Inhalten zu unterstützen und diesen Prozess nicht durch Eingabevorschriften für Metadaten zu stören, steht der Wunsch nach reichhaltig annotierten Lernobjekten entgegen. Deren Metadaten können nicht nur zur gezielten Suche und Filterung von Inhalten anhand bestimmter Anwenderkriterien genutzt werden, sondern darüber hinaus als Grundlage zum Auffinden weiterer passender Inhalte dienen (Inhaltsaugumentierung). Im vorangegangenen Kapitel wurde bereits ein Mechanismus zur automatisierten Verschlagwortung und Klassifizierung von eLOs vorgestellt. Hiervon ausgehend werden wir im Folgenden ein Verfahren zur semi-manuellen Verknüpfung von Lernobjekten durch Inhaltsaugumentierung vorstellen.

Problematisch ist die automatisierte Auswahl qualitativ und kontextuell stimmiger Inhalte. Eine schlagwortbasierte Volltextsuche ist quantitativ erfolgsversprechend, lässt aber die Kontextvarianz von Fachbegriffen unbeachtet, so dass qualitativ viele zum Kontext des aktuellen eLOs divergente Treffer zu erwarten sind. Gezieltere Suchoperationen können auf

Basis der vorhandenen Klassifizierungen der Lernobjekte vorgenommen werden. Eingordnet in eine Taxonomie definieren sie Verhältnisse zu anderen Knoten, die prinzipiell in die LOM „*Relation*“ Sektion übertragbar sind. Hierbei ist der unterschiedliche semantische Informationsgehalt der Beziehungen zu unterscheiden und in der Ergebnismenge auf die LOM „*Relation*“ Qualifikatoren abzubilden. Diese umfassen sechs paarweise-inverse Bezeichner (s. Tabelle 1), von denen sich aber nur das Tupel („*has Part*“, „*is Part Of*“) direkt aus der Hierarchiebeziehung innerhalb der Taxonomie gewinnen lässt.

Is part of	Is version of	Is format of	Is referenced by	Is based on	Is required by
Has part	Has version	Has format	References	Is basis for	requires

Tabelle 1: Qualifizierte Bezeichner für Relationen

Das HyLOS System verfolgt den Ansatz der taxonomiebasierten Suche. Exemplarisch dient das ACM CCS als Grundlage, das zur maschinellen Verarbeitbarkeit, unter Beibehaltung des semantischen Informationsgehalts durch Verwendung des SKOS [MB05] Schemas, in eine Ontologie transformiert wird. Die SKOS Eigenschaften `skos:broader` und `skos:narrower` bilden die Hierarchiebeziehung der Taxonomie korrespondierend zu den LOM Relationsbeschreibungen „*is Part Of*“ bzw. „*has Part*“. Diese Transformation ist die Grundlage, um den Autoren Vorschläge für Interobjektverknüpfungen zu unterbreiten. Hierfür werden die Klassifizierungen des zu bearbeitenden Lernobjektes aus den Metadaten des LOM „*Classification*“ Abschnitts ausgelesen und innerhalb der Ontologie lokalisiert. Für diese Position innerhalb der Ontologie werden die Eltern- bzw. Kindknoten und deren assoziierte Lernobjekte ermittelt. Die so aufgefundenen Lernobjekte fügt das HyLOS System der Ergebnismenge mit den entsprechenden Relationsqualifikatoren hinzu und präsentierte sie dem Autor zur inhaltlichen Überprüfung.

Um weitere qualifizierte Relationen über die Hierarchiebeziehung hinaus zu ermitteln, wird auf bereits im System niedergelegte Relationen von Lernobjekten innerhalb desselben Klassifikationsknoten zurückgegriffen. Den Autoren wird vorgeschlagen, qualifizierte Verknüpfungen analog zu den gefundenen Relationen zu erstellen. Um mit wachsender Größe des Repositories die Anzahl der Vorschläge dennoch überschaubar zu halten, werden den Inhaltsproduzenten Such- und Filteroperationen auf der Vorschlagsmenge angeboten, so dass gezielt Anwendungsbeispiele wählbar werden.

## 4.2 Schlussfolgerungen auf Relationsbasis

Ausgehend von den benannten Verknüpfungen zwischen eLOs innerhalb der „*Relation*“ Sektion ist eine automatisierte Bestimmung von verwandten Inhalten möglich. Die formal qualifizierten Relationen des LOM Schemas werden mittels OWL [OWL04] in einer Lernobjektontologie konserviert und – soweit anwendbar – um die Eigenschaft der Transitivität ergänzt. Es entsteht ein Modell von Klassen zur Beschreibung von Lernobjekten, dessen Instanzen konkrete eLOs sind. Es ergibt sich ein gerichteter Graph, bestehend aus der Ontologiedefinition und den entsprechenden Dateninstanzen, der das gesammelte Wissen über Beziehungen zwischen Lernobjekten repräsentiert. Innerhalb von HyLOS setzen

wir das JENA Framework [JEN05] zur Prozessierung und Evaluation von Ontologien ein. Wird in der konstruktivistischen Sicht ein Lernobjekt selektiert, so werden auf Grundlage des Graphens alle Relationen des Lernobjektes ausgewertet und dem Lernenden angeboten. Zusätzlich wird das Regelwerk durch zusätzliche Folgerungsvorschriften ergänzt, wie zum Beispiel:

- $A$  is based on  $B \wedge C$  has part  $B \implies A$  is based on  $C$
- $A$  requires  $B \wedge B$  is based on  $C \implies A$  is based on  $C$

Ein solcher *Ontological Evaluation Layer (OEL)* erlaubt HyLOS, dem Lernenden verwandte Inhalte vorzuschlagen, wie sie in den Metadaten der Lernobjekthierarchie niedergelegt sind. Zusätzlich können diese Inhaltsvorschläge in Abhängigkeit der spezifischen Lernsituation der Nutzer, beispielsweise nach Schwierigkeitsgrad oder Materialientyp gefiltert werden. Im Gegensatz zu konventionellen Suchanfragen ermöglicht das Vorschlagen von Inhalten auf Basis eines Ontological Evaluation Layers eine weitaus themenbezogenere, automatisierte Auswahl entsprechender Inhalte.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Paper diskutierten wir die automatisierte Lernobjekt-Akquise und Augmentierung basierend auf vorlesungsbegleitenden Aufzeichnungen. Die resultierenden IEEE LOM konformen, selbstkonsistenten eLOs werden durch einen Klassifizierer mit Schlagworten versehen und in eine Taxonomie eingeordnet. Eine semantische Prozessebene ermittelt verwandte Lernobjekte und bietet sie Autoren zur semi-manuellen Verknüpfung an. Die auf den Semantic Web Technologien aufbauende Laufzeitschicht der HyLOS Lernumgebung verwendet die qualifizierten Relationen zur anwenderbezogenen Inhaltsaugmentierung.

Kommende Arbeiten werden sich auf die Optimierung der Schlussfolgerungsmechanismen und die Integration von Web Services Schnittstellen konzentrieren.

## Literatur

- [ACM98] ACM Computing Classification System, 1998. <http://www.acm.org/class/1998/>.
- [ADL04] ADL Technical Team. Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004 2nd Edition, 2004.
- [DDC05] Dewey Decimal Classification System, 2005. <http://www.oclc.org/dewey/>.
- [EKR<sup>+</sup>03] Michael Engelhardt, Andreas Kárpáti, Torsten Rack, Ivette Schmidt und Thomas C. Schmidt. Hypermedia Learning Objects System – On the Way to a Semantic Educational Web. In Michael E. Auer und Ursula Auer, Hrsg., *Proceedings of the International Workshop "Interactive Computer aided Learning" ICL 2003. Learning Objects and Reusability of Content*. Kassel University Press, 2003.

- [ES03] Michael Engelhardt und Thomas C. Schmidt. Semantic Linking – a Context-Based Approach to Interactivity in Hypermedia. In Robert Tolksdorf und Rainer Eckstein, Hrsg., *Berliner XML Tage 2003 – Tagungsband*, Seiten 55–66, Humboldt Universität zu Berlin, February 2003.
- [FKRS01] Björn Feustel, Andreas Kárpáti, Torsten Rack und Thomas C. Schmidt. An Environment for Processing Compound Media Streams. *Informatica*, 25(2):201 – 209, July 2001.
- [HyL05] The HyLOs Homepage, 2005. <http://hylos.fhtw-berlin.de>.
- [JEN05] Jena – A Semantic Web Framework for Java, 2005. <http://jena.sourceforge.net/>.
- [JSG98] Java Speech Grammar Format Specification. Bericht 1.0, Sun Microsystems Inc., 901 San Antonio Road, Palo Alto, California 94303 U.S.A., 10 1998. <http://java.sun.com/products/java-media/speech/forDevelopers/JSGF.pdf>.
- [Lan91] George P. Landow. The rhetoric of hypermedia: some rules for authors. Seiten 81–103, 1991.
- [LOM02] Learning Object Meta-Data. Draft Standard 1484.12.1, IEEE, July 2002. <http://ltsc.ieee.org/wg12/20020612-Final-LOM-Draft.html>.
- [MB05] Alistair Miles und Dan Brickley. SKOS Core Vocabulary Specification. W3C Editor’s Working Draft, World Wide Web Consortium, 2005. <http://www.w3.org/2004/02/skos/core/spec/>.
- [MZA01] Kurt Maly, Mohammad Zubair und Hesham Anan. An Automated Classification System and Associated Digital Library Services. In *NDDL*, Seiten 113–126. ICEIS Press, 2001.
- [OWL04] OWL Web Ontology Language: Semantics and Abstract Syntax. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, February 2004. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-semantics-20040210/>.
- [SE05] Thomas C. Schmidt und Michael Engelhardt. Educational Content Management. In F. J. García et. al, Hrsg., *Educational Virtual Spaces*. Ariel International, 2005. to appear.
- [SPC03] Speex - a free codec for free speech, 2003. <http://www.speex.org>.
- [vR79] C. J. van Rijsbergen. *Information Retrieval*, Kapitel 3. Department of Computing Science, University of Glasgow, 2. Auflage, 1979.
- [ZS01] Stefan Zech und Thomas C. Schmidt. The Distributed Lecture Hall, 2001. Poster auf der ICL2001, Villach 2001.