

Stefan Iske

EMPIRISCHE BILDUNGSFORSCHUNG ONLINE: ZUR ANALYSE VON E-LEARNINGPROZESSEN MITTELS OPTIMAL-MATCHING

Seit den Arbeiten der frühen Hypertext-Pioniere Bush (1945), Engelbart (1963) und Nelson (1965) und besonders seit dem Entwurf des WWW durch Berners-Lee/Cailliau (1990) wird das Potenzial der Hypertext-Konzeption diskutiert und vor allem in dessen nicht-linearer Grundstruktur verortet. Aus dieser nicht-linearen Grundstruktur wird eine besondere Form der Nutzung abgeleitet, die zusammenfassend mit der Metapher der „Navigation“ umschrieben wird.

Dies öffnet den Raum für eine Vielzahl von Hypothesen über Lernprozesse, die auf der Navigation in solchen nicht-linearen Strukturen beruhen. Aus zeitlicher Perspektive handelt es sich bei der explorativen Navigation in Online-Lernumgebungen um das *lineare Entfalten* eines *nicht-linearen Hypertextes* (vgl. Kuhlen 1991, S. 33). Genau dieses *Entfalten* betont die Kennzeichnung von Hypertexten als *Pull-Medium*. Dabei entsteht durch die Auswahl konkreter Verknüpfungen aus einer Vielzahl möglicher Verknüpfungen ein sequenzieller Nutzungspfad. Hypertextuelle Lernumgebungen werden daher auch als *multisequenziell* bzw. *multi-linear* bezeichnet (vgl. Landow 1997). Handelt es sich bei einem Hypertext um eine Lernumgebung und zielt die Nutzung auf Lernen, kann der Prozess der Navigation als E-Learning interpretiert werden.

Der Vielfalt von Hypothesen über Navigationsprozesse – und speziell über Prozesse des E-Learning – steht jedoch ein Mangel an Methoden zu deren empirischer Analyse gegenüber. Daher werden in der Regel die Resultate von E-Learning Prozessen analysiert (vgl. Iske/Swertz 2005). Die Analyse der Navigation in Online-Umgebungen aus *Prozessperspektive* stellt hingegen einen blinden Fleck in der gegenwärtigen Forschung dar. Wie sehen jedoch die konkreten Navigationsprozesse von Nutzern in hypertextuellen Lernumgebungen aus? Auf welcher methodologischen Grundlage können Navigationsprozesse in Online-Lernumgebungen analysiert werden? Wie können Navigationsprozesse miteinander verglichen werden? Wie können Muster, Regelmäßigkeiten und Strukturen identifiziert werden?

Im Kern zielen diese Fragen auf eine Methodologie der Analyse von Sequenzen, speziell auf die Analyse von Navigationssequenzen. Um eine Antwort auf die obigen Fragen zu skizzieren, wird zunächst mit dem „Optimal-Matching“-Verfahren eine Methode zur Analyse von Navigationssequenzen beschrieben

STEFAN ISKE

(vgl. Abbildung 1). Darüber hinaus wird der Prozess der explorativen Navigation aus pädagogischer Perspektive als *Autodidaktik* interpretiert. Abschließend wird das Potential der vorgeschlagenen Methode anhand der Analyse von Navigationsprozessen in einer Online-Lernumgebungen skizziert.

Die vorgeschlagene Methodologie der Analyse von Sequenzen des E-Learning schließt an die frühen Arbeiten Norbert Meders zur Prozessanalyse von Unterricht (vgl. Meder 1977) sowie zur empirischen Analyse von Lehr- und Lernprozessen (vgl. Meder 1982) an. Diese Forschungen sind auf Grundmuster und Grundstrukturen des Unterrichtsverlaufs ausgerichtet und analysieren Unterricht als Sequenz von Interaktionen: „Prozeßanalyse ist die Analyse der zeitlichen Abfolge von Ereignissen“ (Meder 1977, S. 21). Jedoch verschiebt sich im folgenden der Gegenstandsbereich der Analyse vom Schulunterricht auf den Bereich des E-Learning und die Methodologie von der Analyse von Häufigkeitsmatrizen auf die die Analyse von Distanzmatrixen.

Analyse von Navigationssequenzen

Unter einer „Sequenz“ versteht man allgemein eine Abfolge oder Reihenfolge von Elementen. Als Prototyp einer Sequenz in den Naturwissenschaften – insbesondere in der Molekularbiologie – gilt die DNA als Träger des menschlichen Erbgutes.¹ Als Prototyp einer Sequenz in der Soziologie kann der Lebenslauf bezeichnet werden, wie er in der Lebenslaufsforschung analysiert wird (vgl. Erzberger 2001; Sackmann/Wingens 2001). Den Prototyp einer Sequenz im Kontext von Online-Lernumgebungen stellt der Prozess der Navigation in einer hypertextuellen Lernumgebung dar. Diese Navigationssequenz basiert auf der zeitlichen Abfolge besuchter Seiten als Elemente der Navigationssequenz. In technischer Hinsicht basieren die Navigationssequenzen auf den aufgezeichneten Logdaten der Nutzung der Lernumgebung: Aufbauend auf diesen Logdaten als elektronischen Prozessdaten (vgl. Bergmann/Meyer 2000) können die Navigationsprozesse von Nutzern in einer Lernumgebung als Sequenz rekonstruiert werden. Diese Navigationssequenzen bilden dann den Ausgangspunkt der Sequenzanalyse mittels Optimal-Matching.

Ein spezieller Algorithmus der Sequenzanalyse ist das Optimal-Matching Verfahren², das im Bereich der Sozialwissenschaften ein relativ junges methodisches Vorgehen darstellt. Übergeordnetes Ziel des Optimal-Matching Verfahrens ist die Analyse einer großen Anzahl komplexer und oftmals sehr langer Sequenzen, um *Muster, Strukturen und Regelmäßigkeiten* zu identifizieren. Der Transfer dieser Methode aus dem Bereich der Naturwissenschaften (vgl. Kruskal 1999) in den sozialwissenschaftlichen Bereich und speziell in den Bereich der Soziologie geht auf Andrew Abbott (vgl. Abbott/Forrest 1986) zurück, dessen Forschungen seit Ende der 1980er Jahre in methodischer Hinsicht „Pioniercharakter“ (Aisenbrey 200, S 43, vgl. auch Halpin/Chan 1998) zukommt.³ In der pädagogisch-di-

daktischen Forschung und speziell bei der Analyse von E-Learningprozessen findet die Sequenzanalyse mittels Optimal-Matching bislang keine Verwendung.

Sequenzanalyse mittels Optimal-Matching

Den Ausgangspunkt des Optimal-Matching Verfahrens bildet die Frage nach der Bestimmung der Ähnlichkeit von Sequenzen: Wie kann festgestellt werden, ob und wie stark sich Sequenzen ähneln? Mit der *Hamming-* und der *Levenshtein-Distanz* werden im Folgenden zwei grundlegend unterschiedliche Antworten skizziert.

Das Konzept der *Hamming-Distanz* (vgl. Hamming 1950) stammt aus dem Bereich der elektronischen Datenübertragung und stellt dort eine weit verbreitete Methode zur Kontrolle von Übertragungsfehlern dar. Die gesendete und die empfangene Datensequenz werden bei diesem Vorgehen Position für Position hinsichtlich identischer Elemente verglichen. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist eine Maßzahl, die als Hamming-Distanz bezeichnet wird. Der Grad der Ähnlichkeit zweier Sequenzen steigt mit der Anzahl identischer Elemente in der gleichen Position. Bei einer maximalen Ähnlichkeit besteht eine Übereinstimmung der Elemente in jeder Position der zu vergleichenden Sequenzen (d. h. die Sequenzen sind identisch); bei einer maximalen Unähnlichkeit besteht keine Übereinstimmung von Elementen an keiner Position. Die Bestimmung der Hamming-Distanz stößt dort an Grenzen, wo sie über die Kontrolle von Übertragungsfehlern hinaus in Bereichen angewandt wird, in denen nicht von einer inhärenten Korrespondenz als Entsprechung der Positionen ausgegangen werden kann oder Sequenzen unterschiedlicher Länge miteinander verglichen werden. Für eine Analyse von Navigationssequenzen sind daher differenziertere Verfahren des Sequenzvergleichs erforderlich.

Den Kern der Optimal-Matching Analyse zum Identifizieren von Mustern, Regelmäßigkeiten und Strukturen in Sequenzen bildet der paarweise Vergleich aller Sequenzen eines Datensatzes. Die Distanz zweier Sequenzen als Grad der Unähnlichkeit wird dabei bestimmt in Abhängigkeit der Anzahl der Transformationschritte⁴, die erforderlich sind, um eine Ausgangssequenz in eine Zielsequenz zu überführen und somit eine Übereinstimmung („alignment“⁵) herzustellen. Je weniger Operationen benötigt werden, um eine Ausgangssequenz in eine Zielsequenz zu transformieren, umso ähnlicher sind sich die Sequenzen. Die Transformationen beruhen dabei auf den grundlegenden Operationen des *Löschens* („deletion“), *Einfügens* („insertion“) und *Austauschens* („substitution“) von Elementen. Dieses Verfahren wird als „Optimal Matching“ bezeichnet und beruht auf zwei Prozessen (vgl. Kruskal 1999): Auf der Bestimmung der erforderlichen Transformationsoperationen („alignment analysis“), um eine Quellsequenz in die Zielsequenz zu überführen; sowie auf der Ermittlung der geringsten Anzahl der dazu notwendigen Operationen („optimum analysis“). Die geringste Anzahl der erforderlichen Operationen zu Herstellung des „alignments“ dient

dann als Maßzahl für den Grad der Unähnlichkeit (bzw. Distanz) zwischen Sequenzen und wird als *Levenshtein-Distanz* bezeichnet (vgl. Levenshtein 1966).

Im Folgenden wird die Bestimmung der Levenshtein-Distanz beispielhaft am paarweisen Vergleich dreier Sequenzen verdeutlicht (vgl. Abbildung 2, Beispielsequenzen). In Abbildung 3 ist der paarweise Vergleich der Sequenz 1 mit der Sequenz 2 dargestellt: Zunächst wird in der Ausgangssequenz das erste Element „A“ gelöscht („deletion“). Danach wird ein Element „A“ eingefügt („insertion“). Es sind also minimal zwei Operationen notwendig, um eine Übereinstimmung mit der Ausgangs- mit der Zielsequenz herzustellen. In Abbildung 4 ist der paarweise Vergleich der Sequenz 1 mit der Sequenz 3 dargestellt: An die erste Position der Ausgangssequenz wird das Element „G“ eingefügt („insertion“). Damit verschieben sich alle folgenden Positionen. Es ist also minimal eine Operation notwendig, um eine Übereinstimmung („alignment“) mit der Zielsequenz herzustellen. Im Gegensatz zum Hamming-Algorithmus, der für diesen Fall eine maximale Unähnlichkeit feststellt, ist der Optimal-Matching Algorithmus aufgrund der grundlegenden Operationen in der Lage, Regelmäßigkeiten innerhalb der zu vergleichenden Sequenzen zu identifizieren: in diesem Beispiel sind die Ausgangs- und die Zielsequenz gegeneinander verschoben. In Abbildung 5 ist der paarweise Vergleich der Sequenz 2 mit der Sequenz 3 dargestellt: In der Ausgangssequenz wird zunächst ein Element „G“ eingefügt („insertion“). Danach wird das Element „B“ gelöscht („deletion“) und ein Element „B“ eingefügt („insertion“). Es sind also minimal drei Operationen notwendig, um eine Übereinstimmung mit der Zielsequenz herzustellen.

Das Ergebnis des paarweisen Vergleichs aller Sequenzen des Datensatzes wird in Form einer Distanz-Matrix dokumentiert, in der die Levenshtein-Distanz für jeden paarweisen Sequenzvergleich enthalten ist.⁶ Die Levenshtein-Distanzmatrix als Ergebnis der Optimal-Matching Analyse bildet dann den Ausgangspunkt für sowohl explorativ-heuristische als auch konfirmatorische Forschungsstrategien (vgl. Kruskal 1999, S. 31). Bei beiden Strategien wird direkt auf die Levenshtein-Distanzmatrix zugegriffen, jedoch auf unterschiedliche Weise.

Bei einer *konfirmatorischen* Forschungsstrategie können theoretische Modelle als prototypische Sequenzen bzw. Referenzsequenzen empirischen Sequenzen gegenüber gestellt werden (vgl. Chan 1995, Erzberger 2001). So kann das empirische Vorhandensein theoretischer Sequenzen (z. B. didaktischer Muster) überprüft werden.

Bei der *explorativ-heuristischen* Forschungsstrategie werden Sequenzen als empirisch erhobene Daten ohne die Verwendung theoretischer Modelle analysiert. In einem ersten Schritt werden Sequenzen unter dem Gesichtspunkt der Distanz verglichen, um in einem zweiten Schritt mit Hilfe von Methoden der Clusteranalyse zu homogenen Gruppen ähnlicher Sequenzen zusammengefasst zu werden. Mit Erzberger (2001) kann die explorativ-heuristische Sequenzanalyse als fallorientierte Analysestrategie gekennzeichnet werden, bei der Sequenzen als Gesamtverläufe bzw. *Verlaufsgeschichten* in ihrer Vielfalt und Komplexität zum Gegenstand der Forschung werden. Die „Zusammenschau aller Verläufe läßt

dann Ordnung entstehen“ (Erzberger 2001, S. 36), d. h. erst in der Gesamtschau einer hinreichend großen Anzahl von Sequenzen werden Muster und Regelmäßigkeiten überhaupt erst erkennbar (vgl. Abbott 1990). Die Navigationsanalyse als heuristisch-exploratives Verfahren ermöglicht es, „typische Muster, die sich aus der Empirie ergeben, theoretisch aber nicht ‚vorgedacht‘ wurden“ (Aisenbrey 2000, S. 15) zu identifizieren (Abbildung 6 visualisiert die Typisierung ähnlicher Sequenzen auf Grundlage einer Optimal-Matching Analyse). Muster in empirischen Sequenzen, die theoretisch nicht ‚vorgedacht‘ wurden, können durch eine konfirmatorische Analyse nicht identifiziert werden und treten lediglich als Abweichungen auf, ohne Gegenstand detaillierterer Analyse zu werden.

Navigation als autodidaktisches Handeln

Der explorative Navigationsprozess als *lineares Entfalten* einer *nicht-linearen Lernumgebung* kann analog zu Meder (1995, 1997, 2006) als *autodidaktisches Handeln* interpretiert werden, als Steuerung des didaktischen Prozesses durch den Lernenden. Während in der Diskussion um die *Selbststeuerung* von Lernprozessen vor allem räumliche und zeitliche Aspekte im Vordergrund stehen (vgl. Brinkmann 2000), betont der Begriff der *Autodidaktik* über Entscheidungen der Auswahl der *Inhalte* hinaus vor allem Entscheidungen über den Lernweg.

Mit dem Konzept der *Autodidaktik* schließt Meder an die Arbeiten von Richard Hönigswald (1913, 1927) an, der in systematisch-philosophischer Perspektive *Didaktik* als die Abbildung von Bedeutungsbeziehungen in die Zeit definiert: Bedeutungsbeziehungen sind zunächst einmal sachlogische Beziehungen, die als solche keine zeitliche Struktur aufweisen. Zum Zweck der Überlieferung müssen jedoch diese sachlogischen Beziehungen in eine zeitlichen Struktur überführt werden, in die Zeit des Lehrens und des Lernens. Verdeutlicht werden kann dies am Beispiel der Unterrichtsplanung: Ein Lehrender führt zunächst eine Sachanalyse durch, um den Unterrichtsgegenstand als Struktur von Bedeutungen und deren Beziehungen zu erschließen. Dieser Unterrichtsgegenstand ist in der Regel sachlogisch strukturiert und vieldimensional. In einer anschließenden Verlaufsanalyse konzipiert der Lehrende eine Abfolge des unterrichtlichen Vorgehens. Diese Unterrichtsplanung als konkretes Vorgehen in der Unterrichtssituation ist immer zeitlich strukturiert und zielt auf die angemessenste und geeignetste Reihenfolge und Form der Behandlung der Inhalte, um bei einer spezifischen Zielgruppe Lernen zu ermöglichen. Zusammenfassend lässt sich der Gegenstand der *Didaktik* als Übersetzen von Raumgestalten in Zeitgestalten verstehen.

Der Gegenstand der *Autodidaktik* ist der Prozess des Übersetzens von Zeitgestalten in Raumgestalten. Während *Didaktik* die Perspektive des Lehrenden als Organisator eines Lehrprozesses hervorhebt, betont der Begriff der *Autodidaktik* die Perspektive des explorativ Lernenden und des konkreten Lernprozesses. Hinsichtlich der Navigation in Online-Lernumgebungen bedeutet *Autodidaktik* dem-

STEFAN ISKE

nach, dass Lernende selbst die didaktischen Entscheidungen der Abbildung treffen können – und treffen müssen. Dies erfordert ein Wissen um das eigene Lernen und um spezifische Strategien, z. B. in Form von *Metaregeln*. Da es sich bei diesem autodidaktischen Handeln um eine anspruchsvolle und komplexe Tätigkeit handelt (vgl. Iske 2002), wird der Lernende in der Regel durch eine didaktische Strukturierung der Lernumgebung bei diesem Abbildungs- bzw. Lernprozess unterstützt. Um im obigen Bild zu bleiben: Lernende eignen sich Wissen an, indem sie ausgehend von ihrem zeitlich-linearen Navigationsprozess ein nicht-lineares mentales Modell des Gegenstandsbereichs (der Bedeutungsbeziehung) entwickeln, das gerade nicht zeitlich-linear sondern sachlogisch strukturiert ist.

Fazit und Ausblick

Den Ausgangspunkt dieses Artikels bildeten Fragen zur Methodologie der Analyse von Navigationsprozessen. Mit der skizzierten konfirmatorischen sowie explorativ-heuristischen Analyse von Navigationssequenzen auf Grundlage des Optimal-Matching Verfahrens werden Navigationsprozesse und speziell Prozesse des E-Learning zunächst überhaupt erst einmal Gegenstand empirischer Forschung. Insbesondere werden Hypothesen über Navigationsverläufe und über deren Effekte empirisch überprüfbar. Generell setzt die Analyse *sequenzierter* Verlaufsdaten im Rahmen der Navigationsanalyse genau an dem Punkt an, an dem die Analyse *aggregierter* Logdaten in Form von Häufigkeiten endet: Der Navigationsverlauf als Sequenz wird zum Ausgangspunkt und zur Analyseeinheit. Dabei kann eine sehr große Anzahl von Sequenzen analysiert werden, sowohl was die Sequenzlänge als auch die Anzahl unterschiedlicher Elemente der Sequenzen betrifft. Darüber hinaus kann die vorherrschende Fokussierung auf das Resultat von E-Learningprozessen aufgebrochen werden, bei der das Endprodukt von Navigationsprozessen im Zentrum der Analyse steht. Diese Resultatfokussierung bei gleichzeitigem Ausblenden der Prozessperspektive ist aus pädagogischer Sicht unbefriedigend, da gerade Bildungs- und Lernprozesse den grundlegenden Gegenstandsbereich der Pädagogik bilden und Kenntnis über den Ablauf von Prozessen des E-Learning vielfältige Anknüpfungspunkte für pädagogisches Handeln erwarten lässt, was die didaktische Konzeption von Online-Lernumgebungen wie auch die Unterstützung von Lernenden betrifft. Dabei zielt die Analyse von E-Learningprozessen mittels Optimal-Matching auf den Kern einer Didaktik als Handlungswissenschaft, die die konkret-empirische Abbildung von Raumgestalten in Zeitgestalten (Didaktik) bzw. die Abbildung von Zeitgestalten in Raumgestalten (Autodidaktik) analysiert und hinsichtlich Adäquatheit und alternativer Möglichkeiten reflektiert (vgl. Meder 2003). Gerade Hypertext als grundlegende Technologie von Online-Lernumgebungen stellt ja einen radikalen medialen Strukturwandel dar, in dem bestehende Prozesse der Abbildung zur Disposition stehen. Das skizzierte Vorgehen zur Analyse von Navigationssequen-

zen ermöglicht die differenzierte Analyse der konkreten Prozesse der Aneignung Lernender in Online-Lernumgebungen. Aus Lernerperspektive ist dieses lineare Entfalten einer nicht-linearen, hypermedialen Lernumgebung von besonderer Bedeutung, da *autodidaktische Handeln* rekonstruierbar wird: auf der Ebene der Mikronavigation wird die Aneignung eines Themas fokussiert, auf der Ebene der Makronavigation die Aneignung eines Gegenstandsbereichs. Somit können insbesondere Strategien und Metaregeln der Navigation in hypertextuellen Lernumgebungen analysiert werden. Auf dieser Grundlage können dann beispielsweise theoretische Modelle der Navigation durch ein induktives Vorgehen entwickelt werden.

Die grundlegende Leistungsfähigkeit und das analytische Potenzial der differenzierten Analyse von Prozessen des E-Learning auf Grundlage einer explorativ-heuristischen Sequenzanalyse mittels Optimal-Matching wurde an anderer Stelle gezeigt (vgl. Iske 2007). Auf Grundlage der Analyse der Mikronavigation in einer Online-Lernumgebung, die auf der Web-Didaktik (vgl. Meder 2006) basiert, wurden ca. 1600 Navigationssequenzen mit ca. 4700 Elementen analysiert. Dabei wurden spezifische Muster und Strukturen der Navigation identifiziert, die sowohl in formaler als auch in inhaltlich-didaktischer Hinsicht als Navigationsstrategien interpretiert werden können, z. B. lineare Navigationsmustern der „Erkundung“ und der „Auseinandersetzung“, sowie nicht-lineare Muster der direkten und gezielte Navigation: Diese können als „erklärungs-fokussierte“, „beispielfokussierte“, „aufgabenfokussierte“ und „testfokussierte“ Navigationsstrategien bezeichnet werden. Neben den linearen und nicht-linearen Navigationsmustern wird auch die Fokussierung des Navigationsprozesses auf spezifische dominierende Elemente erkennbar, z. B. auch in Form von Strukturen, in denen spezifische Elemente gerade *nicht* enthalten sind. Neben spezifischen Mustern, Regelmäßigkeiten und Strukturen wird auf Grundlage der Optimal-Matching Analyse gerade auch die Vielfalt konkreter empirischer Navigationsverläufe deutlich. Diese große Heterogenität empirischer Navigationssequenzen kann dabei als Hinweis auf die Qualität der analysierten Lernumgebung interpretiert werden: Die Lernumgebung ist konzeptionell und praktisch in der Lage, eine Vielzahl unterschiedlicher Navigationssequenzen und unterschiedlicher Navigationsmuster abzubilden und ermöglicht somit autodidaktische Vielfalt.

Das analytische Potenzial von Verfahren der Analyse von Sequenzen im Bereich des E-Learning kann auch an der Diskussion um „Learning Design Patterns“ und um „Social Navigation“ verdeutlicht werden. Im Kontext der Standardisierungsbestrebungen im E-Learning, vor allem im Kontext des IMS Global Learning Consortiums gewinnt die Identifizierung von „Learning Design Patterns“ bzw. „Pedagogical Patterns“ zur Konzeption von E-Learning Angeboten zunehmend an Bedeutung und stellt nach Koper (2006) eine zentrale Herausforderung an die Forschung dar: „The idea of learning design patterns and the possibility to recognise them automatically with pattern detection algorithms is a new field of work that is worthwhile to elaborate in future“ (vgl. Koper 2006). Generell wird zur Identifizierung pädagogischer Muster ein deduktives von ei-

STEFAN ISKE

nem induktivem Vorgehen unterschieden (vgl. Brouns u. a. 2005): Während beim deduktiven Vorgehen Muster von Experten entwickelt werden (vgl. Instructional Design, Reigeluth 1999) basiert das induktive Vorgehen auf der Analyse der didaktischen Struktur bestehender Online-Kurse, um pädagogische Muster zu identifizieren und zu extrahieren. Das Potenzial der Sequenzanalyse mittels Optimal-Matching ist besonders im Bereich dieses induktiven Vorgehens zu verorten: dabei kann der induktive Ansatz auf die Analyse von Muster empirischer Navigationsprozesse in hypermedialen Online-Lernumgebungen ausgeweitet werden.

Einen weiteren Anknüpfungspunkt stellt der Ansatz der „Social Navigation“ dar (vgl. Dourish/Chalmers 1994; Höök/Benyon/Munro 2003). Den Ausgangspunkt und das Ziel dieser Forschungsperspektive fasst Dieberger (2003, S. 293-294) folgendermaßen zusammen: „Although many people may access an information system at the same time, most systems maintain the illusion of a dedicated resource and the only indication of a large number of users simultaneously accessing a system might be an unusually slow response time. [...] A goal of social navigation is to utilise information about other people’s behaviour for our own navigational decisions“. Dieses Nutzen von Informationen über den Navigationsprozess anderer Nutzer kann dabei direkt oder auch indirekt stattfinden. Direkte soziale Navigation setzt die Kopräsenz der Nutzer in der Lernumgebung voraus und besteht in einem direkten Kontakt, wohingegen indirekte soziale Navigation auf Informationen über die Interaktion anderer Nutzer der Lernumgebung beruht (z. B. besonders effektive oder attraktive Wege, viel- oder wenig genutzte Bereiche). Für die Konzeption dieser indirekten sozialen Navigation stellt die Sequenzanalyse mittels Optimal-Matching ein besonders Potential dar, weil Navigationssequenzen als Verläufe in die Konzeption der indirekten sozialen Navigation einbezogen werden können.

Anmerkungen

- 1 Vgl. Human Genome Project [www.genome.gov]
- 2 Der Begriff „Optimal-Matching Analyse“ wird als Sammelbegriff für Verfahren verwendet, die auf Grundlage der Levenshtein-Distanz und der Operationen Austauschen („substitution“) und Einfügen („insertion“) sowie Löschen („deletion“) unter Verwendung iterativer Prozeduren (Algorithmen) die Distanz von Sequenzen bestimmen. Der Begriff der „Sequenzanalyse“ wird verwendet für die übergeordnete Methodologie, der Begriff „Optimal Matching“ für einen konkreten Algorithmus zur deren Umsetzung. Die Spezifizierung des Optimal-Matching Verfahrens auf Grundlage der Gewichtung von Operationen durch Kosten kann im Rahmen dieses Artikels nicht ausgeführt werden.
- 3 Eine softwaretechnische Umsetzung findet der OM-Algorithmus in dem Programm „Transition Data Analysis“ (TDA) von Götz Rohwer und Ulrich Pötter; [http://www.stat.ruhr-uni-bochum.de/tman.html]

- 4 In diesem Artikel werden die Begriffe „Transformation“ und „Operation“ synonym verwendet. Diese (Bearbeitungs)Operationen werden auch als „Edit-Operations“ bezeichnet. Die Levenshtein-Distanz wird auch synonym als „Edit-Distance“ bezeichnet.
- 5 Aus diesem Grund wird die Methode des „Optimal Matching“ auch als „Sequence Alignment Method“ bezeichnet.
- 6 An dieser Stelle zeigt sich die Rechenintensität des Optimal-Matching Verfahrens, besonders bei einer großen Anzahl sowie langen Sequenzen: Ein Vergleich von 100 Sequenzen beruht auf 4950 paarweisen Sequenzvergleichen ($100 * 99 / 2 = 9900 / 2 = 4950$), die in die Levenshtein-Distanzmatrix eingetragen werden.

Abbildungen

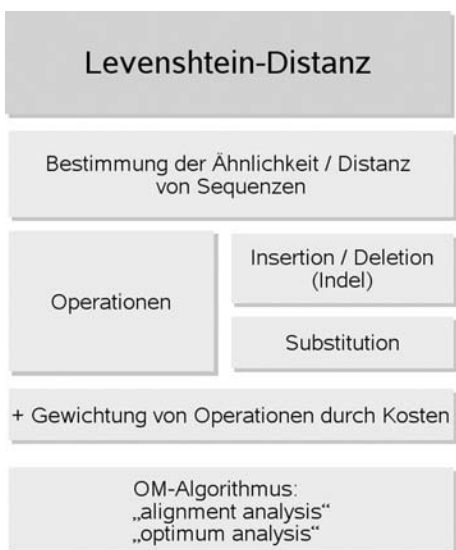


Abbildung 1

Sequenz 1:	A	B	C	D	E	F	
Sequenz 2:	B	A	C	D	E	F	
Sequenz 3:	G	A	B	C	D	E	F

Abbildung 2: Beispielsequenzen

Sequenz 1:	A	B	C	D	E	F
Sequenz 2:	B	A	C	D	E	F

Ein Pfeil zeigt von einem 'A' über Sequenz 1 auf ein 'A' in Sequenz 2.

Abbildung 3: Vergleich Sequenz 1 und 2

STEFAN ISKE

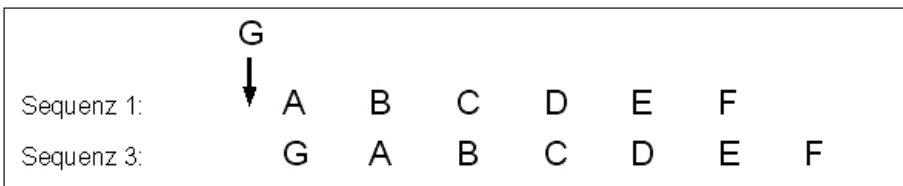


Abbildung 4: Vergleich Sequenz 1 und 3

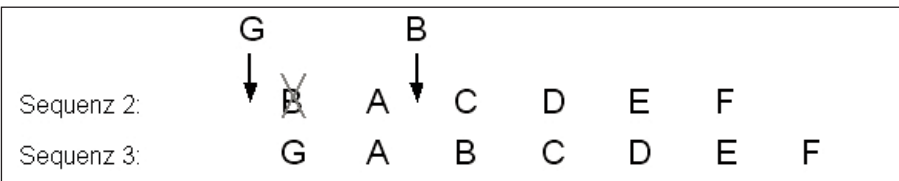


Abbildung 5: Vergleich Sequenz 2 und 3

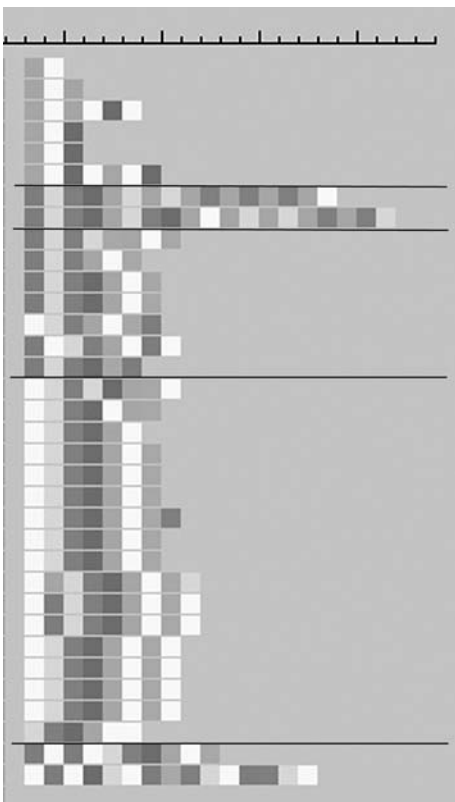


Abbildung 6: Graphische Darstellung der Gruppierung ähnlicher Sequenzen als Ergebnis einer explorativ-heuristischen Sequenzanalyse (Auszug).

Literatur

- ABBOTT, A./FORREST, J. (1986): Optimal Matching Methods for Historical Sequences. *Journal of Interdisciplinary History*, 16, 3. S. 471-494.
- ABBOTT, A./HRYCAK, A. (1990): Measuring Resemblance in Sequence Data: An Optimal Matching Analysis of Musicians' Careers. *The American Journal of Sociology*, 96, 1. S. 144-185.
- AISENBREY, S. (2000): Optimal Matching Analyse: Anwendungen in den Sozialwissenschaften. Opladen.
- BERGMANN, J./MEIER, CH. (2000): Elektronische Prozessdaten und ihre Analyse. In: Flick, U. / Kardorff, E. von / Steinke, I. (Hg.): *Qualitative Forschung: Ein Handbuch*. Reinbek, S. 429-437.
- BERNERS-LEE, T./CAILLIAU, R. (1990): WorldWideWeb: Proposal for a HyperText Project. URL: <http://www.w3.org/Proposal.html>, Download vom 04.08.2006
- BRINKMANN, D. (2000): Moderne Lernformen und Lerntechniken in der Erwachsenenbildung: Formen selbstgesteuerten Lernens. Inst. für Freizeitwissenschaft und Kulturarbeit (IFKA): Bielefeld.
- BROUNS, F./KOPER, R./MANDERVELD, J./BRUGGEN, J. VAN/SLOER, P./ROSMALLEN, P. VAN/TATTERSALL, C./VOGTEN, H. (2005): A first exploration of an inductive analysis approach for detecting learning design patterns. *Journal of Interactive Media in Education*, 3.
- BUSH, V. (1945): As we may think. *Atlantic Monthly*, 176, 1. S. 641-649.
- CHAN, T. W. (1995): Optimal Matching Analysis: A methodological note on studying career mobility. *Work and Occupation*, 4, S. 467-490.
- DIEBERGER, A. (2003): Social Connotations of Space in the Design for Virtual Communities and Social Navigation. In: Höök, K. / Benyon, D. (Hg.): *Designing Information Spaces: The Social Navigation Approach*. London.
- DOURISH, P./CHALMERS, M. (1994): Running out of space: Models of information navigation. Short paper presented at HCI'94 (Glasgow, Scotland).
- ENGELBART, D. C. (1963): A Conceptual Framework for the Augmentation of Man's Intellect. In: P. W. Howerton (Hg.): *Vistas in Information Handling*. Washington, D.C.: Spartan Books. S. 1-29.
- ERZBERGER, CH./PREIN, G. (1997): Optimal-Matching-Technik: Ein Analyseverfahren zur Vergleichbarkeit und Ordnung individuell differenter Lebensverläufe. *ZUMA-Nachrichten*, S. 40, 21.
- ERZBERGER, CH. (2001): Sequenzmusteranalyse als fallorientierte Analysestrategie. In: R. Sackmann; M. Wingens (Hg.): *Strukturen des Lebenslaufs: Übergang – Sequenz – Verlauf*. Weinheim. S. 135-162.
- HALPIN, B./CHAN, T. W. (1998): Class Careers as Sequences: An Optimal Matching Analysis of Work-Life Histories. *European Sociological Review*, 17, 2. S. 119-144.

STEFAN ISKE

- HAMMING, R. W. (1950): Error-Detecting and Error-Correcting. *Bell System Technical Journal*, 2. S. 147-160.
- HÖNIGSWALD, R. (1913): *Studien zur Theorie pädagogischer Grundbegriffe: eine kritische Untersuchung*. Stuttgart.
- HÖNIGSWALD, R. (1927): *Über die Grundlagen der Pädagogik: ein Beitrag zur Frage des pädagogischen Universitäts-Unterrichts*. München. (2).
- HÖÖK, K./BENYON, D./MUNRO, A. J. (2003): *Designing Information Spaces: The Social Navigation Approach*. London.
- ISKE, S. (2002): *Vernetztes Wissen: Hypertext-Strategien im Internet*. Bielefeld.
- ISKE, S./SWERTZ, CH. (2005): *Methodologische Fragen der Verwendung von Bild-, Ton- und Textdaten zur Navigationsanalyse*. URL: www.medienpaed.com/04-1/iske_swertz04-1.pdf
- ISKE, S. (2007): *Navigationsanalyse. Methodologie der Analyse von Prozessen der Online-Navigation mittels Optimal-Matching*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- KOPER, R. (2006): *Current Research in Learning Design*. *Educational Technology & Society*, 9, 1. S. 13-22.
- KRÄMER, S. (1988): *Symbolische Maschinen: die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß*. Darmstadt.
- KRUSKAL, J. B. (1999): *An overview of sequence comparison*. In: Sankoff, D. / Kruskal, J. (Hg.): *Time warps, string edits, and macromolecules: the theory and practice of sequence comparison*. Stanford, California: CSLI. S. 1-44.
- KUHLEN, R. (1991): *Hypertext. Ein nicht-lineares Medium zwischen Buch und Wissensbank*. Berlin.
- LANDOW, G. P. (1997): *Hypertext 2.0: Hypertext – the convergence of contemporary critical theory and technology*. Johns Hopkins Univ. Press: Baltimore.
- LEVENSHTEIN, V. I. (1966): *Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals*. *Cybernetics and Control Theory*, 10, 8. S. 707-710.
- MEDER, N. (1977): *Ansätze zur Prozeßanalyse des Unterrichts*. In: Grzesik, Jürgen (Hg.): *Funktionale Analyse von Lehrhandlungen*. Opladen, S. 21-75.
- MEDER, N. (1982): *Interaktionsanalyse*. In: Grzesik, Jürgen / Fleischhauer, Peter / Meder, Norbert: *Interaktions- und Leistungstypen im Literaturunterricht: eine handlungstheoretische Feldstudie unterrichtlicher Komplexität*. Opladen.
- MEDER, N. (1995): *Didaktische Überlegungen zu einem veränderten Unterricht durch den Einsatz neuer Technologien*. In: Lauffer, Jürgen / Vollkmer, Ingrid (Hg.): *Kommunikative Kompetenz in einer sich verändernden Medienwelt*. Opladen, S. 48-63.
- MEDER, N. (1997): *Die Abbildung von Sachverhalten in die Zeit*. In: Schmiedt-Kowarzik, W. (Hg.): *Erkennen – Monas – Sprache*. Internationales Richard-Hönigswald-Symposium. Kassel 1995. Würzburg, S. 277-289.

ZUR ANALYSE VON E-LEARNINGPROZESSEN MITTELS OPTIMAL-MATCHING

- MEDER, N. (2003): Grundlagen zu einer Theorie der Didaktik. In: Schlüter, Anne (Hg.): Aktuelles und Querliegendes zur Didaktik und Curriculumentwicklung. (Festschrift für Werner Habel), S. 34-47,
- MEDER, N. (2006): Web-Didaktik: eine neue Didaktik webbasierten vernetzten Lernens. Bielefeld.
- NELSON, TH. (1965): Complex information processing: a file structure for the complex, changing and the indeterminate. In: Association for Computing Machinery (ACM): Proceedings of the 1965 20th national conference. Cleveland, Ohio, United States. S. 84-100.
- SACKMANN, R./WINGENS, M./HEINZ, W. R. (2001): Strukturen des Lebenslaufs: Übergang – Sequenz – Verlauf. Weinheim.
- REIGELUTH, CH. M. (1999): Instructional-Design Theories and Models. A New Paradigm of Instructional Theory. Volume II. Hillsdale: Lawrence Earlbaum.

