

Implementierung und Evaluierung eines tutoriell betreuten elektronischen Biochemie-Praktikumsversuchs "Polymerase-Kettenreaktion (PCR)" im vorklinischen Studienabschnitt

Implementation and Evaluation of a Tutor-Supported Computer-Based Practical Biochemistry Course "Polymerase Chain Reaction (PCR)" in Preclinical Education

Abstract

Background: The polymerase chain reaction (PCR) is an example of a technology that for many medical students is not easy to understand. We investigated whether a tutor-supported e-learning teaching unit is suitable to teach undergraduate medical students the PCR.

Methods: We developed a computer-based practical course (attendance is compulsory) that uses an open source-based system as a learning platform. The students learned to search in scientific medical databases to find PCR-relevant data. In addition, they learned the essential features of the PCR with the aid of embedded textual information and audiovisual animations. To check that the learning objectives were fulfilled, the students had to solve medical-related PCR tasks on the computer.

Results: In total, 311 students went through the course. They were satisfied with the e-learning teaching unit and evaluated it very positively, independently of their prior knowledge concerning the PCR. Students with low levels of computer skills did not feel over-challenged.

Conclusion: Our results show that a computer-based practical training course is an excellent option for teaching undergraduate medical students complex technologies that could otherwise only be taught in a laboratory at great expense of time and effort.

Keywords: computer-based learning, e-learning, biochemistry, PubMed, polymerase chain reaction, practical training course

Klaus-Dietrich Kröncke¹
Thomas Becher¹

¹ Universitätsklinikum
Düsseldorf, Institut für
Biochemie und
Molekularbiologie I,
Düsseldorf, Deutschland

Zusammenfassung

Zielsetzung: Es sollte untersucht werden, ob ein E-Learning Praktikumsversuch geeignet ist, Medizin-Studierenden der Vorklinik die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) begreiflich zu machen.

Methodik: Ein Computer-basierter Praktikumsversuch wurde entwickelt, der sowohl das Recherchieren in wissenschaftlich-medizinischen Datenbanken zum Auffinden von PCR-relevanten Informationen beinhaltet als auch Selbstlerneinheiten über die PCR. Als Lernzielkontrollen dienten Aufgaben aus der medizinischen PCR-Diagnostik. Die Akzeptanz der Lehrveranstaltung bei den Studierenden wurde mit einem Fragebogen ermittelt, der 19 Items enthielt.

Ergebnisse: 311 Studierende absolvierten den tutoriell begleiteten PCR-Praktikumsversuch im WS 2006/7 erfolgreich, davon nahmen 310 Studierende an der Evaluierung teil. Der E-Learning-Versuch wurde von den Studierenden unabhängig von ihren PCR-Vorkenntnissen gut angenommen und sehr positiv bewertet. Befürchtungen, Studierende mit eher geringen Computererfahrungen würden sich überfordert fühlen, bewahrheiteten sich nicht.

Schlussfolgerung: Ein tutoriell begleiteter Praktikumsversuch am Computer bietet sehr gute Möglichkeiten, um Medizin-Studierenden in der Vorklinik Techniken begreiflich zu machen, die mittels Praktikumsversuch im Labor nur mit sehr großem Aufwand durchführbar wären.

Schlüsselwörter: Computer-basiertes Lernen, E-Learning, Biochemie, PubMed, Polymerase-Kettenreaktion, Praktikum

Einleitung

Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) hat sich zu einer der wichtigsten Methoden der molekular-medizinischen Diagnostik entwickelt. Erfahrungen an der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf haben gezeigt, dass die PCR-Technik und ihre Anwendung Medizin-Studierenden in einer Frontal-Vorlesung kaum verständlich gemacht werden kann. Sowohl in den Biochemie-Seminaren als auch in den mündlichen Prüfungen des 1. Staatsexamens waren oft große Wissenslücken bzw. Verständnisdefizite bezüglich der PCR zu bemerken. Überlegungen, einen PCR-Laborversuch in das Biochemie-Praktikum der Mediziner-Ausbildung aufzunehmen wurden verworfen, da die praktische Durchführung einer PCR mit anschließender elektrophoretischer Auftrennung der erhaltenen PCR-Produkte recht langwierig ist und so gut wie keine didaktischen Möglichkeiten der Veranschaulichung bietet („black-box“-Versuch). Die Methode ist zudem sehr teuer und erfordert eine Laborerfahrung, welche Medizin-Studierende im vorklinischen Studienabschnitt in der Regel nicht besitzen.

Bisher gibt es unterschiedliche Ansätze, E-Learning in der Studierenden-Ausbildung [1], [2] bzw. in der Ausbildung von Medizin-Studierenden [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9] zu etablieren. Meistens handelt es sich um Lernprogramme oder online-Lehrprogramme (siehe [9] und darin enthaltene Links, <http://www.merlot.org/merlot/index.htm>). Hinweise auf E-Learning Praktikumsversuche oder gar auf Computer-basierte Praktikumsversuche für Medizin-Studierende wurden dagegen weder in der MERLOT-Datenbank (<http://www.merlot.org/merlot/index.htm>), noch in PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>) gefunden. Lediglich eine Website wurde gefunden, die eine Lerneinheit „Principles of PCR/RT-PCR“ enthält mit einer Rubrik „PCR-Troubleshooting“ [10]. Diese englischsprachige Website richtet sich an Medizin- und Biochemie-Studierende, Forscher sowie Medizinisch-technischen Assistenten, hat jedoch keinen Praktikumscharakter und enthält keine praktischen Beispiele oder gar zu lösende PCR-Aufgaben.

Ziel war daher die Entwicklung eines Computer-basierten Praktikumsversuchs, der es Studierenden der Medizin ermöglichen soll, die einzelnen Schritte der PCR-Technik sowie die praktische Anwendung der PCR in der medizinischen Diagnostik zu verstehen.

Methoden

Technische Vorarbeiten

Als Lern-Management-System wurde die Open-Source Software „Dokeos“ (<http://www.dokeos.com>) eingesetzt, welche u.a. Möglichkeiten zur Visualisierung von Übungsmodulen und zur Integration von Multimedia-Objekten bietet. Weitere Vorteile sind die einfache Konfiguration und die systematische Darstellung der Lerninhalte mittels Lernpfad. Zur Installation von „Dokeos“ wurde ein Linux-Server mit Datenbank (MySQL), ein Web-Server (Apache, PHP-Unterstützung) und PHPMyAdmin zur Datenbank-Administration installiert. Außerdem wurde ein DHCP-Dienst zur automatischen Vergabe von IP-Adressen an die Clients sowie das Programm Webmin zur Fernadministration des Servers konfiguriert. Der Zeitaufwand für Installation und Grundkonfiguration betrug etwa 6 Stunden, für die Eingabe der Lerninhalte und Aufgaben etwa 10 Stunden.

Die Kosten für die Anschaffungen (Server, 9 Laptops, 16 Kopfhörer, diverse Anschlusskabel) betrugen etwa 6700.- EURO. Es wurden preiswerte Laptops mit 1,4 GHz Prozessor ausgewählt, auf denen als Betriebssystem Windows XP Home und als weitere Software Adobe Acrobat-Reader installiert wurden. Als Web-Browser wurde der Internet Explorer benutzt. Um zu verhindern, dass die Studierenden Aufgaben per e-Mail verbreiten, wurde auf dem Server ein Proxyserver installiert, der nach vorgegebenen Regeln filtert, welche Websites für die Studierenden erreichbar sind. Der Proxyserver wurde so konfiguriert, dass alle bekannten e-Mail bzw. Web-Mail Services gesperrt, alle anderen Web-Inhalte jedoch ohne Filter erreichbar waren.

Aufbau des Praktikumsversuchs

Bis zu 16 Studierende nahmen jeweils an einem Praktikumsversuch teil, der immer von einem Dozenten und einem technischen Assistenten betreut wurde. Je zwei Studierende (2er-Teams) arbeiteten an einem Laptop. Die Aufgaben, welche von den Dozenten des Instituts für Biochemie und Molekularbiologie I erarbeitet worden waren, wurden nach dem Zufallsprinzip zugeteilt, damit nicht alle 2er-Teams die gleichen Aufgaben erhielten und Abschreiben von Lösungen beim Nachbarteam unmöglich war. Für die Beschreibungen von Erkrankungen wurde auf Informationen aus Lehrbüchern [11], [12], elektronischen Datenbanken (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)

entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=omim) oder Homepages von Selbsthilfe-Organisationen zurückgegriffen. Die Fotos der PCR-Gele wurden aus Lehrbüchern oder Publikationen eingescannt oder von Dozenten zur Verfügung gestellt.

Ablauf des Praktikumsversuchs

Der Praktikumsversuch war in 5 Abschnitte aufgeteilt, die Einführungen in diese Abschnitte erfolgten durch den Dozenten mittels kurzer Powerpoint-Präsentation. Da ein Praktikumsversuch ohne Kontrollen von vielen Studierenden erfahrungsgemäß nicht sehr ernst genommen wird, wurden sowohl die Möglichkeit einer formativen Selbstprüfung als auch Lernzielkontrollen eingebaut. Die Lösungen der Aufgaben wurden von den Studierenden schriftlich auf ausgeteilten Antwortzetteln dokumentiert. Erst wenn alle 2er-Teams die richtigen Lösungen der jeweiligen Abschnitte dokumentiert hatten und diese vom Dozenten/Assistenten kontrolliert worden waren, wurde die nächste Aufgabe angegangen (summative Pass/Fail Entscheidungen).

A) Literatur-Recherche (ca. 30 Min):

Um zu lernen, wie man in einer wissenschaftlichen Datenbank recherchiert, suchten die 2er-Teams medizinisch relevante Literaturzitate in PubMed (Beispiele für Aufgaben siehe Supplement 1, Punkt A). Sie mussten jeweils 2 von 40 zur Verfügung stehenden Aufgaben lösen.

B) Suche nach Aminosäuresequenzen von Proteinen (ca. 20 Min):

Die 2er-Teams suchten kurze Aminosäuresequenzen krankheitsrelevanter Proteine in PubMed (Beispiele für Aufgaben siehe Supplement 1, Punkt B) und mussten jeweils 1 von 40 Aufgaben lösen.

C) PCR-Selbstlerneinheit und freiwillige Lernkontrolle (ca. 30 Min):

Nach einer kurzen Pause (u.a., um die 2er-Teams zeitlich zu synchronisieren) folgte die PCR-Selbstlerneinheit, in der sich die Studierenden anhand von elektronischem Text sowie einer audio-visuellen Flash-Animation [13] selbstständig mit der PCR-Technik vertraut machen sollten. Die Flash-Animation ist in 11 Schritte unterteilt, die aktiv abgerufen werden müssen und einzeln beliebig oft wiederholt werden können. Zur Selbstüberprüfung des Erlernten konnten anschließend freiwillig 5 nach dem Zufallsprinzip zugeteilte MC-Fragen zur PCR beantwortet werden. Die Studierenden erhielten die Lösungen und Auswertungen automatisch auf ihrem PC und konnten so ihr Wissen selbstständig überprüfen (formative Selbstprüfung).

D) Primer-Design (ca. 20 Min):

Die 2er-Teams suchten in PubMed die RNA-Sequenzen bestimmter krankheitsrelevanter Gentranskripte. Diese Sequenzen wurden in ein im Internet abrufbares Freeware-Programm („Primer3“ http://frodo.wi.mit.edu/cgi-bin/primer3/primer3_www.cgi) kopiert. Nach Eingabe einer vorgegebenen Primerlänge (20 Basenpaare) bzw. Produktgröße (400-500 Basenpaare) generiert dieses Programm Nukleotid-Sequenzen, die als Primer für eine

PCR zur spezifischen DNA-Amplifizierung des entsprechenden Gens benutzt werden können (Beispiele für Aufgaben siehe Supplement 1, Punkt C). Die 2er-Teams mussten jeweils 1 von 23 zur Verfügung stehenden Aufgaben lösen.

E) Molekularbiologische Diagnostik mittels PCR (ca. 30 Min):

Zur Überprüfung des theoretisch erworbenen Wissens wurden zum Schluss praktische Aufgaben mit klinischem Bezug gestellt. Die 2er-Teams mussten je 1 Aufgabe aus den Bereichen „Forensik/Vaterschaftstest“ und „pränatale PCR-Diagnostik monogener Erberkrankungen“ lösen. Insgesamt standen 13 Aufgaben zur Verfügung (Beispiele für Aufgaben siehe Supplement 1, Punkt D + E).

Der Praktikumsversuch dauerte insgesamt etwa 2,5 h und galt als bestanden, wenn die 2er-Teams alle 6 zugeordneten Aufgaben richtig gelöst hatten.

Evaluation

Erstellung und Auswertung der Evaluationsbögen wurde mittels Software-Programm (<http://www.eleva.de/eleva/>) durchgeführt. Neben vorgegebenen Antwortoptionen zu den Fragen gab es zusätzlich die Möglichkeit von Freitext-Kommentaren (siehe Supplement 2). Die Evaluierung durch die Studierenden erfolgte anonym und freiwillig am Schluss eines jeden PCR-Praktikumsversuchs. Um Gruppeneffekte zu vermeiden, füllten die Studierenden die Fragebögen direkt nach dem Lösen ihrer letzten Praktikums-Aufgabe aus und warfen sie beim Verlassen des Praktikumsraumes in einen bereitstehenden Kasten. Nach Beendigung aller PCR-Praktikumsversuche erfolgte eine anonyme Evaluierung durch die beteiligten Dozenten/Assistenten (siehe Supplement 2). Signifikanzen p wurden mittels t-Test (2-seitig) berechnet.

Ergebnisse

Evaluation durch die Studierenden

Im Wintersemester 2006/07 absolvierten 311 Studierende in 22 Gruppen den PCR-Praktikumsversuch erfolgreich, davon nahmen 310 Studierende (99,7 %) an der Evaluation teil. Insgesamt wurde die Lehrveranstaltung von den Studierenden überaus positiv beurteilt (siehe Abbildung 1). Sowohl das Niveau der Lernzielkontrollen als auch die Anforderungen im Praktikum empfanden jeweils 81 % der Studierenden als „genau richtig“ und nur jeweils 6 % als „eher zu hoch“. Insgesamt wurde dem Praktikumsversuch die „Schulnote“ $1,9 \pm 0,7$ gegeben, wobei über 86 % der Studierenden die Noten 1 oder 2 vergaben. Diese Note war hoch signifikant ($p < 0,0001$) besser als die Note $3,5 \pm 1,3$, welche die Studierenden bei einer online-Evaluation am Ende des Semesters dem gesamten Biochemie-Praktikum gaben.

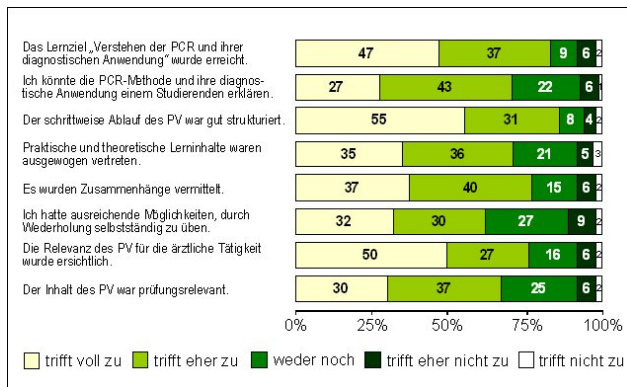


Abbildung 1: Ergebnisse der Studierendenbefragung (n = 310) zum PCR-Praktikumsversuch (PV). Evaluierungsfragebogen siehe Supplement 2.

Die häufigsten Freitext-Kommentare lobten die gute Betreuung durch die Dozenten (11 % aller Praktikums Teilnehmer), die Möglichkeit, selbstständig zu arbeiten (9,7 %), die gute Strukturierung des Versuchs (8,7 %), die angenehme Lernatmosphäre (8,4 %) sowie die klinischen Bezüge (6,5 %). Am häufigsten beklagt wurde die englische Sprache der PCR-Animation (1,9 % der Praktikums Teilnehmer), der häufigste Verbesserungsvorschlag (2,9 %) war der Wunsch nach mehr Fall- bzw. Anwendungsbeispielen.

Die Zufriedenheit der Studierenden mit dem Praktikumsversuch war Dozenten-unabhängig (siehe Abbildung 2). Auch zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Notengebung an unterschiedlichen Praktikumsstagen. Dies deutet darauf hin, dass bei den Dozenten, die zwischen 4 und 7 Praktikumsversuche betreuten, keine „Abnutzungserscheinungen“ auftraten. Die Noten für den PCR-Praktikumsversuch wurden auch unabhängig von den selbsteingeschätzten PCR-Vorkenntnissen vergeben (siehe Abbildung 3).

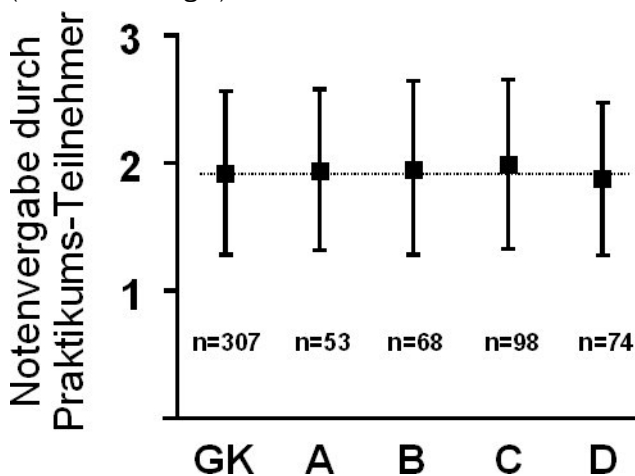


Abbildung 2: Mittelwerte ± Standardabweichungen der von den Studierenden vergebenen Noten für den PCR-Praktikumsversuch aufgetrennt nach den Dozenten A-D, die 4-7 Praktikumsversuche betreuten. Die gestrichelte Linie gibt den Durchschnittsnotenwert aller Studierenden an (GK = Gesamtkollektiv).

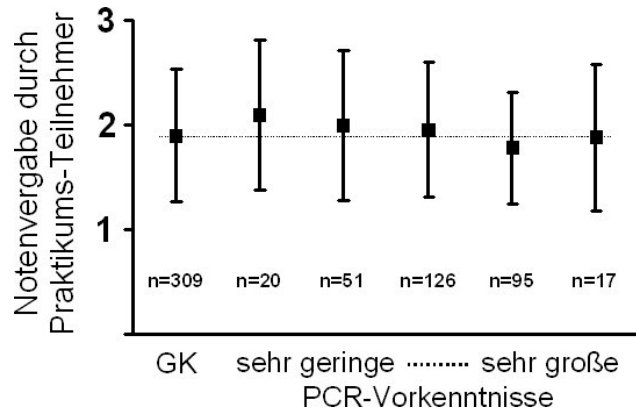


Abbildung 3: Mittelwerte ± Standardabweichungen der von den Studierenden vergebenen Noten für den PCR-Praktikumsversuch aufgetrennt nach der Selbsteinschätzung der PCR-Vorkenntnisse der Studierenden (sehr geringe bis sehr große PCR-Vorkenntnisse). Die gestrichelte Linie gibt den Durchschnittsnotenwert aller Studierenden an (GK = Gesamtkollektiv).

Die Mehrheit der Studierenden (77,4 %) schätzten ihre eigenen Computerkenntnisse als sehr gut bis befriedigend ein. Über 99 % der Studierenden bejahten die Frage, ob ihre Computerkenntnisse zur Lösung der Praktikums-Aufgaben ausreichend waren. Abbildung 4 zeigt, dass Studierende, die ihrer Selbsteinschätzung nach sehr gute Computerkenntnisse besaßen, dem Praktikumsversuch signifikant bessere Noten ($1,5 \pm 0,6$) gaben als der Durchschnitt aller Studierenden. Studierende, die ihre Computerkenntnisse mit ausreichend bezeichneten, vergaben die schlechtesten Gesamtnoten ($2,2 \pm 0,6$).

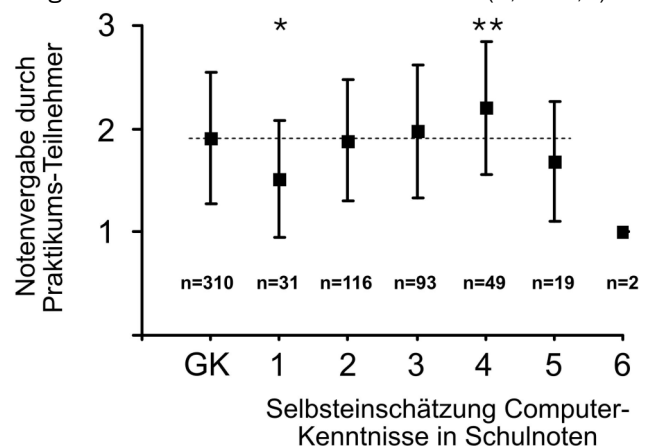


Abbildung 4: Mittelwerte ± Standardabweichungen der von den Studierenden vergebenen Noten für den PCR-Praktikumsversuch aufgetrennt nach Selbsteinschätzung der Computerkenntnisse der Studierenden (Schulnoten 1 bis 6). Die gestrichelte Linie gibt den Durchschnittsnotenwert aller Studierenden an (GK=Gesamtkollektiv). *p<0,0001, **p<0,005

Evaluation durch die Betreuer

Die Dozenten und Assistenten (n = 7) bewerteten die Lehrveranstaltung überwiegend sehr positiv (siehe Abbildung 5). Alle Betreuer waren einhellig der Meinung, dass

das Niveau der Lernziele sowie die Anforderungen im Praktikumsversuch „genau richtig“ waren.

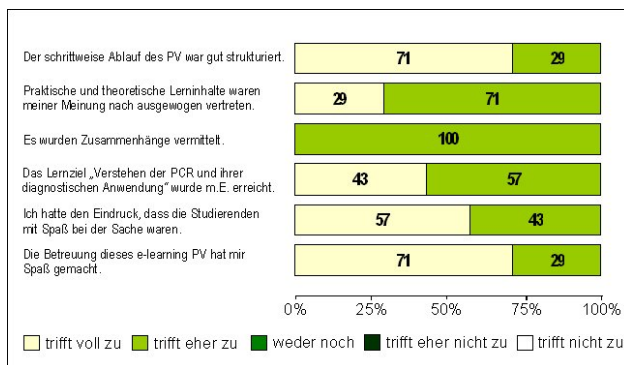


Abbildung 5: Ergebnisse der Betreuerbefragung (n = 7) zum PCR-Praktikumsversuch (PV).

Diskussion

Verglichen mit traditionellem Lernen hat virtuelles Lernen für die Lernenden oft eine Einschränkung der Kommunikations- und Interaktionsmöglichkeiten zur Folge. Um dies zu vermeiden, wurde der E-Learning Praktikumsversuch als Präsenzveranstaltung konzipiert und darauf geachtet, dass die Studierenden verschiedene aktivierende Methoden anwendeten (selbstständige Suche nach Informationen in wissenschaftlich-medizinischen Datenbanken, Selbstlerneinheiten mittels elektronischem Text und audio-visueller Flash-Animation, Beantwortung von MC-Fragen zur selbstständigen formativen Wissensüberprüfung, aktives Lösen von 6 Aufgaben). Die Betreuung durch zwei anwesende Lehrpersonen war notwendig, um Fragen der 2er-Teams sofort zu beantworten. Der Betreuungsaufwand (1 Dozent und 1 Assistent für etwa 2,5 h) ist vergleichbar mit der Betreuung von Laborversuchen im Biochemie-Praktikum (Einführung durch Dozenten ca. 45 Min, 1-2 h Laborbetreuung durch eine wissenschaftliche Hilfskraft und einen Assistenten).

Alle Studierende bestanden den PCR-Praktikumsversuch, was auf zu leichte Aufgaben hinweisen könnte. Die Evaluierung ergab jedoch, dass mehr als 80 % der Studierenden sowie alle Betreuer die Anforderungen des Praktikumsversuchs als angemessen empfanden. In einigen Fällen kamen die Studierenden bei den Datenbank-Recherchen zu anderen als den vorgegebenen Lösungen. War dies nachvollziehbar, wurde es akzeptiert, die vorgegebene Lösung wurde mit den 2er-Teams aber ebenfalls diskutiert. Ein Lerneffekt für die Studierenden war hierbei, dass auch das Auffinden von „exakten“ Informationen mittels Recherche in wissenschaftlich-medizinischen Datenbanken sehr stark von der Wahl der Suchbegriffe abhängt. Die Lösungen der PCR-Aufgaben dagegen sind eindeutig, und es wurde Wert darauf gelegt, dass diese Lösungen selbstständig erarbeitet wurden. Wurden dennoch falsche Ergebnisse präsentiert, wurden die Studierenden aufgefordert, nachzubessern. In sehr seltenen Fällen wurde die Lösung gemeinsam mit dem Dozenten an der Tafel erarbeitet.

Über ein Drittel der Studierenden gab an, dass sie vor dem Praktikum schon große (31 %) bzw. sehr große (6 %) PCR-Vorkenntnisse gehabt hätten. Die Zufriedenheit mit dem PCR-Versuch war jedoch unabhängig von den PCR-Vorkenntnissen (siehe Abbildung 3). Dies deutet darauf hin, dass auch Studierende mit großen PCR-Vorkenntnissen in diesem Praktikumsversuch noch etwas Neues gelernt hatten, möglicherweise die Anwendung der PCR in der Medizin.

Untersuchungen in Österreich haben gezeigt, dass Studienanfänger der Jahre 2003-2005 zu 96 % Computer-Erfahrungen hatten, zu 94 % via e-Mail kommunizierten und dass 97 % das Internet mindestens mehrere Male im Monat nutzten [14]. Unsere Evaluation bestätigt dies: nur 6,8 % bescheinigten sich selbst mangelhafte bzw. ungenügende Computerkenntnisse. Befürchtungen, dass diese Studierenden sich im Praktikumsversuch überfordert gefühlt hatten, bestätigten sich nicht, da auch diese Studierenden dem PCR-Praktikumsversuch gute Noten gaben (siehe Abbildung 4).

Der Mehrwert dieses tutoriell betreuten E-learning-Versuchs gegenüber einem konventionellen Laborversuch liegt unserer Meinung nach darin, dass verschiedene didaktische Methoden eingesetzt werden können, dass die Studierenden zu zweit arbeiten und diskutieren, ihr Arbeits- bzw. Lerntempo selbst bestimmen können und mehrere Aufgaben mit klinischer Relevanz lösen müssen. Die Frage, ob der Computer-basierte PCR-Praktikumsversuch zu einem besseren und reproduzierbaren Verständnis der PCR-Methode geführt hat, könnte durch einen geeigneten Eingangstest kurz vor sowie mit demselben Test sofort im Anschluss an den Praktikumsversuch beantwortet werden. Eine Nachhaltigkeit dieses Verständnisses, z.B. bezüglich späterer Prüfungsergebnisse, ist wegen vieler Störgrößen allerdings nur sehr schwer messbar [15].

Schlussfolgerungen

Insgesamt haben Durchführung und Evaluierung gezeigt, dass ein Computer-basierter Praktikumsversuch sehr gute Möglichkeiten bietet, um Medizin-Studierenden in der Vorklinik Techniken begreiflich zu machen, die während eines Praktikumsversuchs im Labor nur mit sehr großem Aufwand durchführbar wären. Voraussetzungen für einen von den Studierenden gut angenommenen E-Learning Praktikumsversuch sind unserer Meinung nach

- die Präsenz von Betreuern,
- eine gute Strukturierung des Versuchs,
- unterstützende Visualisierungen,
- definierte Lernzielkontrollen in Form medizinisch relevanter Aufgaben.

Da als Lernplattform eine Open-Source Software benutzt wird, die kostenfrei auf jedem Server installiert werden kann, ist der Transfer des von uns entwickelten PCR-Praktikumsversuchs an andere Medizinische Fakultäten im deutschsprachigen Raum einfach zu bewerkstelligen.

Nach Installation der Lernplattform müssen nur Lerninhalte und Aufgaben eingegeben werden, welche sogar eigenen Bedürfnissen angepasst werden können. Die guten Erfahrungen mit dem Computer-basierten Praktikumsversuch haben uns ermutigt, die Entwicklung weiterer E-Learning Praktikumsversuche in Angriff zu nehmen.

Danksagung

Wir danken der Studiendekanin, Frau Prof. Dr. Sibylle Soboll, sowie dem Leiter des Instituts für Biochemie und Molekularbiologie I, Herrn Prof. Dr. Helmut Sies, für die Beschaffung der Hardware und für ihre Unterstützung des Projekts. Den Dozenten des Instituts für Biochemie und Molekularbiologie I danken wir für die Bereitstellung diverser Praktikumsaufgaben, Frau Dr. Judith de Bruin für ihre Hilfe bei der Evaluation, Herrn Dr. Thomas Rottloff für hilfreiche Diskussionen und Herrn Norbert Mester für seine Hilfe bei der Auswertung der Evaluationsfragebögen.

Anhänge

Verfügbar unter

<http://www.egms.de/en/journals/zma/2008-25/zma000574.shtml>

1. Anhang 1.pdf (107.447 KB)
Supplement 1
2. Anhang 2.pdf (634.224 KB)
Supplement 2

Literatur

1. McKimm J, Jollie C, Cantillon P. ABC of learning and teaching: Web based learning. *BMJ*. 2003;326(7394):870-873.
2. Huang C. Virtual labs: E-learning for tomorrow. *PLoS Biology*. 2004;2(6):e157.
3. Schultze-Mosgau S, Zielinski T, Lochner J. Web-based, virtual course units as a didactic concept for medical teaching. *Med Teach*. 2004;26(4):336-342.
4. Fischer MR, Aulinger B, Kopp V. Implementierung von Computerlernfällen in das Curriculum der Inneren Medizin. *GMS Z Med Ausbild*. 2005;22(1):Doc12.
5. Tiebel M, Dieterich P, Tiebel O, Hesse R, Kunath H, Dieter P (2005) E-Learning an der Medizinischen Fakultät Dresden. Bedarf, aktueller Stand und Perspektiven. *GMS Z Med Ausbild*. 2005;22(4):Doc216.
6. Schäfer C, Siegert M, Schunk A, Schneider S, Glowalla U, Koolman J. Biochemie/Molekularbiologie für Mediziner. Eine Einführung mit Vorlesung, Seminar und Multimedia-Elementen. *GMS Z Med Ausbild*. 2005;22(4):Doc217.
7. Boeker M, Klar R. E-Learning in der ärztlichen Aus- und Weiterbildung. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz*. 2006;49(5):405-411.
8. Ruiz JG, Mintzer MJ, Leipzig RM. The impact of e-learning in medical education. *Acad Med*. 2006;81(3):207-212.
9. Colman A, Sticherling M, Stöpel C, Emmrich F. Computer-assisted learning in medicine. How to create a novel software for immunology. *Arch Dermatol Res*. 2006;298(1):1-6.
10. Oliver J, Conde P, Pisano E, Rodríguez-Cuenca S, Roca P. Using the web to aid biochemists and microbiologists: an example of computer-based learning using PCR as an example. *Med Inform*. 2002;27(2):99-109.
11. Duntze W. 25 Fälle Biochemie. München: Elsevier, Urban & Fischer Verlag; 2004.
12. Löffler G, Petrides P. Biochemie & Pathobiochemie. Berlin: Springer-Verlag; 2003.
13. Voet D, Voet JG. Lehrbuch der Biochemie. swf-Datei "PCR/Mutagenesis", CD Biochemical Interactions Vers. 2.0 (2001). Weinheim: Wiley-VCH Verlag; 2002.
14. Link TM, Marz R. Computer literacy and attitudes towards e-learning among first year medical students. *BMC Med Educ*. 2006;6,34.
15. Fischer MR. E-Learning in der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung. Stand und Perspektiven. *Med Klin*. 2003;98(10):594-597.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. rer. nat. Klaus-Dietrich Kröncke
Universitätsklinikum Düsseldorf, Institut für Biochemie und Molekularbiologie I, Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf, Deutschland, Tel.: 0211/81-15695, Fax: 0211/81-13029
kroencke@uni-duesseldorf.de

Bitte zitieren als

Kröncke KD, Becher T. Implementierung und Evaluierung eines tutoriell betreuten elektronischen Biochemie-Praktikumsversuchs "Polymerase-Kettenreaktion (PCR)" im vorklinischen Studienabschnitt. *GMS Z Med Ausbild*. 2008;25(3):Doc90.

Artikel online frei zugänglich unter

<http://www.egms.de/en/journals/zma/2008-25/zma000574.shtml>

Eingereicht: 17.09.2007

Überarbeitet: 14.03.2008

Angenommen: 27.03.2008

Veröffentlicht: 15.08.2008

Copyright

©2008 Kröncke et al. Dieser Artikel ist ein Open Access-Artikel und steht unter den Creative Commons Lizenzbedingungen (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.de>). Er darf vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, vorausgesetzt dass Autor und Quelle genannt werden.