

# Verwendung von Spaced-Repetition-Algorithmen in mobilen Lernspielen

Florian Schimanke, Robert Mertens

Fachbereich Informatik  
Hochschule Weserbergland  
Am Stockhof 2  
31785 Hameln  
schimanke@hsw-hameln.de  
mertens@hsw-hameln.de

Oliver Vornberger

Fachbereich Mathematik/Informatik  
Universität Osnabrück  
Albrechtstraße 28  
49069 Osnabrück  
oliver@uos.de

**Abstract:** Lernspiele werden allgemein als guter Ansatz gesehen, Lerninhalte auf eine motivierende Art und Weise zu vermitteln. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die Verfestigung von Lerninhalten in der Regel durch das Wiederholen von Inhalten geschieht. Während also Lernspiele das Wiederholen von Inhalten für den Lernenden angenehmer gestalten, bleibt die Frage, zu welchem Zeitpunkt und in welchen Abständen ein bestimmter Inhalt gelernt werden sollte, um ein optimales Verhältnis zwischen Lernleistung und Effizienz zu ermöglichen. Eine Antwort hierauf liefert der Ansatz der „Spaced Repetitions“, der für die Wiederholungen bestimmte Intervalle vorsieht, die auf den bisherigen Ergebnissen der Lernenden basieren. In diesem Paper verknüpfen wir das Prinzip der „Spaced Repetitions“ mit dem motivierenden Ansatz von Lernspielen, präsentieren einen Prototyp zur Umsetzung und zeigen Probleme und Lösungsperspektiven bei der Verknüpfung der beiden Ansätze auf.

## 1 Einleitung

Die Verbreitung von mobilen Geräten wie Smartphones oder Tablets nimmt auch Einfluss auf das Lernen. Analog zum Einsatzbereich der Geräte wird auch dieses mobil. Hierbei sind die Besonderheiten im Umgang mit mobilen Geräten zu berücksichtigen. Meist werden mobile Applikationen („Apps“) nur kurz genutzt, dafür aber häufig. So spielen Nutzer beispielsweise in der Pause oder im Bus, um Wartezeiten zu überbrücken. Der spielerische Umgang mit den sogenannten Lifestyle-Geräten öffnet auch die Tür für einen mobilen Einsatz von Lernspielen. Diese können auf diese Weise jederzeit und an jedem Ort genutzt werden. Lernspiele bieten darüber hinaus den Vorteil, dass sie das oftmals langweilig wirkende Wiederholen von Lerninhalten in einer für den Lernenden angenehmen Weise präsentieren [Ge03]. Während so die Lernmotivation gesteigert werden kann, besteht weiterhin die Frage, welche Lerninhalte zu welchem Zeitpunkt gelernt werden sollten, um ein möglichst gutes Verhältnis zwischen Lernaufwand und Lernertrag zu erzielen. Die Antwort darauf liefert der Ansatz der Spaced Repetitions, welcher besagt, dass zwischen zwei Wiederholungen desselben Lerninhalts eine bestimmte Zeitspanne liegen sollte, die sich an der bisherigen Anzahl an Wiederholungen und dem Grad der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse beim Lernenden orientiert [Pi67]. Diese Zeitspanne lässt sich mit verschiedenen Algorithmen berechnen,

die an lernpsychologische Modelle angelehnt sind. Besonders im Kontext von Spaced Repetition Lernspielen, in denen Nutzer immer wieder kleinere Aufgaben lösen müssen, bieten sich daher mobile Lernspiele an.

Während Spaced-Repetition-Algorithmen bereits in Szenarien wie dem Lernen mit Lernkarten, vor allem beim Lernen von Vokabeln eingesetzt werden [KB08], gab es bislang keine Bestrebungen, dieses Konzept auch in (mobilen) Lernspielen zu nutzen. Viele Vertreter dieses Genres testen lediglich das Wissen, leiten jedoch keinerlei Schlussfolgerungen aus der Entwicklung beim Lernenden ab. Zwar sind Lernspiele der dritten Generation bereits in der Lage, sich an das Verhalten der Lernenden anzupassen [Gr07], sie zielen dabei jedoch nicht auf den Lernfortschritt in Bezug auf den Spacing Effect ab. Unser Ansatz ist es nun, die motivierende Wirkung von Lernspielen mit der Optimierung des Spaced-Repetition-Konzepts zu kombinieren. Hierzu eignen sich vor allem Lernspiele auf mobilen Geräten, da diese den Lernenden in die Lage versetzen, überall zu dem von dem zugrundeliegenden Algorithmus berechneten Zeitpunkt zu lernen, um so ein optimales Lernergebnis zu erzielen. Ist der von dem Algorithmus ermittelte Zeitpunkt für eine Wiederholung eines bestimmten Inhalts erreicht, erinnert eine Meldung auf dem Gerät die Lernenden daran, dass es Zeit ist, diesen Inhalt zu lernen. Da die Lernenden mobile Geräte wie Smartphones heutzutage ohnehin stets bei sich tragen, können sie jederzeit und überall auf diese Meldung reagieren. Dabei kommt es jedoch weniger auf den genau richtigen Augenblick, als mehr auf den richtigen Tag zum Lernen an. Aus diesem Grunde erlaubt es die Meldung, sich auch zu einem späteren Zeitpunkt am selben Tag noch einmal an das fällige Lernen erinnern zu lassen.

## 2 Das Spaced-Repetitions-Konzept

Das Spaced-Repetitions-Konzept basiert auf den Forschungen von Hermann Ebbinghaus zum sogenannten „Spacing Effect“ [Eb85]. Ohne stetige Wiederholungen von Inhalten werden diese in der Regel innerhalb einer bestimmten Zeitspanne wieder vergessen. Während die Reproduzierbarkeit eines Inhalts unmittelbar nach dem Lernen noch bei ca. 100% liegt, beläuft sich dieser Wert nach nur 20 Minuten bereits auf nur noch 60%, nach neun Stunden gar auf bereits unter 40%. Ebbinghaus hat dieses Phänomen in der Formel  $R = e^{(-t/S)}$  festgehalten, wobei  $R$  die Reproduzierbarkeit darstellt,  $S$  die relative Stärke des Gedächtnisses und  $t$  die Zeit. In Abbildung 1 stellt die durchgezogene Linie die sogenannte Vergessenskurve dar. Mit jeder Wiederholung des Inhalts beginnt diese Kurve von Neuem und wird dabei mit steigender Anzahl an Wiederholungen immer flacher, wie an den gepunkteten Linien zu erkennen ist.

Am weitesten verbreitet ist die Verwendung von Spaced Repetitions beim Lernen mit Lernkarten [KB08], wobei häufig mehrere Wiederholungen ein und derselben Karte mit der Zeit zum gewünschten Lerneffekt führen. Die Inhalte der Karten werden dabei meist in Themen oder Schwierigkeitsgrade kategorisiert. Als Lernansatz unterscheidet man hier zwischen „massed repetitions“ und „spaced repetitions“, wobei massed repetitions bedeutet, dass die Lernkarten nacheinander in relativ kurzer Zeit gelernt werden, während das Lernen bei spaced repetitions über einen längeren Zeitraum erfolgt und die Wiederholungen in berechenbaren Intervallen stattfinden. Letzteres sorgt für bessere und nachhaltigere Lernerfolge [Pi67]. Während massed repetitions lediglich einen kurzzeitigen Effekt bieten, haben Studien ergeben, dass sich spaced repetitions für 90% der Teilnehmer effektiver auf das Langzeitlernen auswirken [Ko09]. Um diesen Effekt

zu nutzen, sollten die Intervalle zwischen den Lerneinheiten eines bestimmten Inhalts, wie in Abbildung 1 dargestellt, größer werden, je besser die Lernenden sich diesen merken können. Auf diese Weise fällt es ihnen leichter, sich stärker auf die Dinge zu konzentrieren, die sie nicht so gut behalten, als auf diejenigen, die ihnen leichter fallen zu lernen.

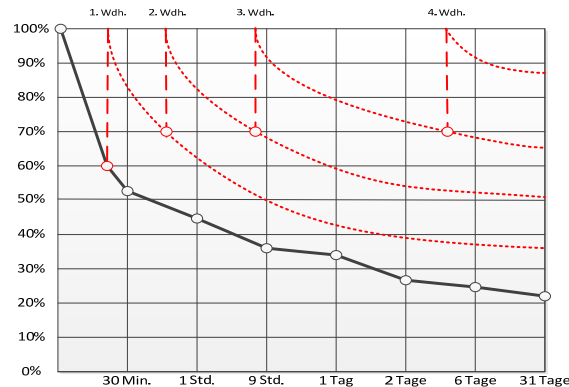


Abbildung 1: Abflachung der Vergessenskurve durch Wiederholungen nach [Eb85] (schwarze Linie) und Schlussfolgerungen von [Pa07] (rote Linien)

Problematisch ist dabei, dass die Lernenden selbst entscheiden müssen, welche Inhalte sie nach diesem Konzept zu welchem Zeitpunkt lernen sollten. Unterstützend sollten daher Algorithmen zum Einsatz kommen, die die Ermittlung der zu einem bestimmten Zeitpunkt zu lernenden Inhalte auf Basis verschiedener Kriterien übernehmen.

Der bekannteste und am weitesten verbreitete Vertreter dieser Algorithmen ist der SuperMemo-Algorithmus<sup>1</sup> (SM) von Piotr Woźniak [Wo94], der inzwischen in verschiedenen Versionen verfügbar ist. Die weiteste Verbreitung hat dabei der SM2-Algorithmus erfahren. Dieser verwendet eine Skala von 0 bis 5 zur Bewertung der Leistung durch den Lernenden („Quality of Response“). Nach jeder Antwort geben die Lernenden damit an, wie gut sie den jeweiligen Lerninhalt reproduzieren konnten, wobei eine 0 bedeutet, dass der Inhalt komplett vergessen wurde und eine 5, dass er sofort und ohne Nachdenken wiedergegeben werden konnte. Die Werte dazwischen stellen entsprechende Abstufungen dar. Dabei gilt, dass Inhalte mit einer höheren Bewertung in längeren Intervallen wiederholt werden, als Inhalte mit einer niedrigen Bewertung. Da die Inhalte jedoch nach jeder Wiederholung neu bewertet werden, kann sich dies im Laufe der Zeit immer wieder an den jeweils aktuellen Lernstand des Lernenden anpassen. Dabei bezieht der SM2-Algorithmus auch die Anzahl der bereits absolvierten Wiederholungen für jeden Lerninhalt in seine Berechnung mit ein. Sobald der Lernende den Inhalt mit einer 2 oder höher bewertet, signalisiert dies den Übergang vom Kurz- zum Langzeitlernen, was bedeutet, dass der Lernende glaubt, den Inhalt mindestens einen oder zwei Tage behalten zu können.

Je höher also der vom Lernenden angegebene Wert ist, desto weiter terminiert SM2 die nächste Wiederholung in die Zukunft. Ist dieser Wert zu nah an der letzten

<sup>1</sup> <http://www.supermemo.com/>

Wiederholung, kann der Lernende den Wert erhöhen und die nächste Wiederholung erneut weiter in die Zukunft verschieben und umgekehrt. Eine fortlaufende Bewertung von 5 würde das Intervall stetig weiter erhöhen. Ist der Lernende der Meinung, dass der Algorithmus das richtige Intervall berechnet, sollte er fortlaufend eine 4 vergeben.

### 3 Spaced-Repetitions in mobilen Lernspielen

Während sich das Spaced-Repetitions-Konzept beim Lernen mit Lernkarten bereits bewährt hat, soll dieser Ansatz nun auch auf mobile Lernspiele übertragen werden. Diese bieten dem Lernenden die perfekte Möglichkeit, im genau richtigen Moment zu lernen, da sie immer und überall verfüg- und nutzbar sind. Für die Übertragung und Erprobung des Konzepts haben wir einen Lernspiel-Prototyp entwickelt, der den Spacing Effect nutzt, um eine neue Sprache zu erlernen. Für die Berechnung der Intervalle kommt dabei der SM2-Algorithmus zum Einsatz.

Das Lernspiel „Wo ist mein Geschenk?“ dient zum Erlernen verschiedener Vokabeln der portugiesischen Sprache. Die Wahl fiel auf Portugiesisch, da keiner der Probanden Vorkenntnisse in dieser Sprache besaß und der Fokus somit komplett auf dem Konzept liegen konnte. Auf dem Bildschirm wird an einer bestimmten Position ein Geschenk versteckt und eine zugehörige Aufgabe nach dem Muster „Mein Geschenk ist links vom Tisch“ gestellt. Der Lernende muss dann das Geschenk an der korrekten Position finden. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 2 dargestellt.

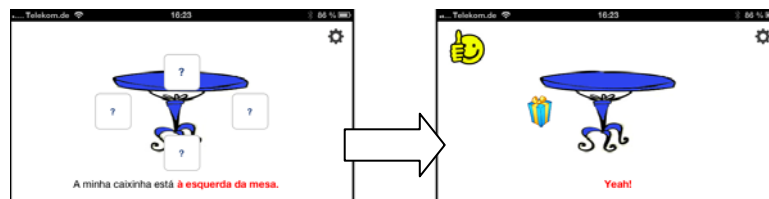


Abbildung 2: Beispiel-Aufgabe für den Prototyp „Wo ist mein Geschenk?“

Basierend auf den Antworten des Lernenden wird der Wert für die „Quality of Response“ in- bzw. dekrementiert. Dies geschieht nicht für atomare Inhalte, wie links oder rechts, sondern auf Basis von Kategorien, wie in diesem Falle Richtungen. Weitere Kategorien in diesem Prototyp sind Farben und Formen. Beim ersten Start des Spiels werden von SM2 vorgegebene Standard-Werte verwendet. Erst ab der dritten Wiederholung greifen gemäß den Definitionen von SM2 dann die ermittelten Werte zur Leistung des Lernenden für die Berechnung des Intervalls. Für die künftige Weiterentwicklung des Konzepts soll vor allem die Bewertung der Antworten und damit die „Quality of Response“ im Sinne von SM2 weiter verbessert und weg vom bloßen In- bzw. Dekrementieren geführt werden, wovon wir uns eine genauere Einbeziehung des tatsächlichen Lernstandes des jeweiligen Lernenden versprechen.

Während die Anzahl von Lernkarten, für die der SM2-Algorithmus ursprünglich entwickelt wurde, in der Regel relativ groß ist, kann es bei Lernspielen vorkommen, dass die Lerninhalte vergleichsweise wenig sind. Dies liegt vor allem daran, dass die Inhalte auf Lernkarten in einer atomaren Form (z.B. einzelne Vokabeln) vorliegen, was bei Lernspielen, je nach Themengebiet, nicht notwendigerweise gegeben ist. Hinzu kommt



## 4 Untersuchung des Nutzerverhaltens

Für eine erste Erhebung zu der Art und Weise wie die Lernenden das Spiel nutzen, wurden fünf Probanden untersucht, was nach [Ni92] für diese Art der Evaluation ausreichend ist. Dabei bestätigten sich unsere Erwartungen, wonach die Lernenden dazu tendieren, das Spiel mehrere Runden nacheinander zu spielen, statt nach der ersten Runde auf die nächste terminierte Wiederholung zu warten. Ohne den FS-Algorithmus hätte dies zu einer Verwässerung der Algorithmus-Daten geführt, was die Wirksamkeit des Spaced-Repetition-Konzepts unterwandert hätte. Als Resultat würden die aus dem Kurzzeitgedächtnis gespeisten Antworten nicht den eigentlichen Lernstand im Sinne eines nachhaltigen Wissensaufbaus darstellen. Die Werte aus denen der SM2-Algorithmus die nächste Wiederholung terminieren würde, wären damit verfälscht und die nächste terminierte Wiederholung läge zu weit in der Zukunft (Abbildung 4).

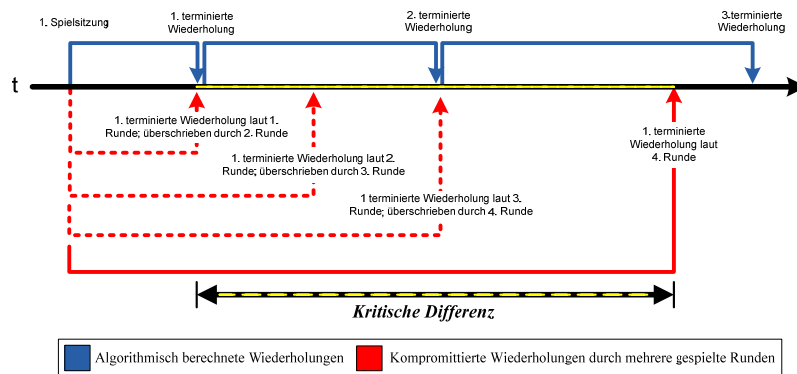


Abbildung 4: Reguläre Wiederholungen vs. kompromittierte Wiederholungen

Oberhalb des Zeitstrahls sind die vom Algorithmus berechneten, regulären Wiederholungen dargestellt. Entscheidet sich der Lernende dazu, mehrere Runden des Spiels (in diesem Falle vier) direkt nacheinander zu spielen, würden lediglich die Ergebnisse der letzten Runde für die Berechnung der nächsten Wiederholung verwendet, was diese deutlich weiter hinauszögern würde, als nach dem Spaced-Repetition-Konzept beabsichtigt. Damit würde ohne das Vorhandensein des FS-Algorithmus die Arbeitsweise von SM 2 kompromittiert.

Die Untersuchung zeigt außerdem, dass die Lernenden in der Regel auch die anderen Kategorien spielen, wenn nur die Wiederholung einer bestimmten Kategorie anstand, wie Abbildung 5 darstellt. Wurde die Terminierung einer Wiederholung erreicht, machte ein Pop-Up auf dem Gerät der Lernenden diese hierauf aufmerksam. Wie ebenfalls in Abbildung 5 zu erkennen ist, führte dies bei allen Probanden dazu, dass diese das Spiel dann auch tatsächlich gespielt haben. Hierbei handelt es sich weniger um eine Frage des richtigen Augenblicks, als mehr um eine Frage des richtigen Tages. Aus diesem Grund enthält das Pop-Up die Option, sich später am selben Tag noch einmal an das Lernen erinnern zu lassen. Zwei der Probanden haben das Spiel aus eigenem Antrieb, also ohne die Anzeige einer Erinnerung, bereits vor der nächsten Terminierung und damit außerhalb der regulären Spaced-Repetition-Intervalle gespielt. Dieselben beiden

Probanden starteten das Spiel erneut nach der eigentlichen Terminierung ohne eine erneute Erinnerung und damit aus eigenem Antrieb heraus. Auch hier wurden jeweils mehrere Kategorien in einer Sitzung gespielt.

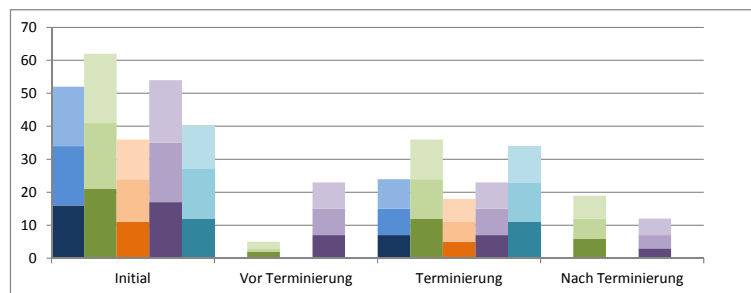


Abbildung 5: Nutzung des Prototyp-Lernspiels  
(jede Säule steht für einen Nutzer und die drei verfügbaren Inhaltskategorien)

## 5 Der Konflikt zwischen Motivation und Spaced-Repetitions

Wie eingangs erwähnt, stellen Lernspiele eine Möglichkeit dar, Lerninhalte auf eine motivierende Art und Weise darzustellen. Grundsätzlich sollten Lernspiele daher immer so gestaltet sein, dass sie die Motivation sie zu nutzen beim Lernenden erhöhen. Allerdings haben die anschließenden Kapitel gezeigt, dass zu viel Motivation durchaus auch im Konflikt zur eigentlichen Idee des Spaced-Repetition-Konzepts stehen kann. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Lernenden das Spiel so anziehend und motivierend finden, dass sie sich beim Spielen nicht an die algorithmisch berechneten Intervalle halten, sondern das Spiel aus eigenem Antrieb heraus starten, wenn ihnen danach ist. In diesem Fall würden sich die Lernenden durch das vielfache Wiederholen der Inhalte diese im Kurzzeitgedächtnis ablegen, was eine korrekte Berechnung der Intervalle im Sinne des Spaced-Repetition-Ansatzes unmöglich machen würde. Diese Wiederholungen sollten im Sinne einer guten Gestaltung von Spielen nicht gänzlich verhindert werden. Allerdings sollte beim Design darauf geachtet werden, die Lernenden mit verschiedenen Mitteln dazu zu motivieren, das Spiel ausschließlich oder zumindest größtenteils zu den berechneten Zeitpunkten zu spielen. Dies kann beispielsweise durch Zuhilfenahme eines Belohnungssystems geschehen, welches nur dann greift, wenn auch wirklich eine Wiederholung des jeweiligen Inhalts ansteht. Ein Beispiel hierfür wäre eine kurs- oder gar hochschulweite Rangliste, in der man nur nach oben klettern kann, wenn man das Lernspiel zu den berechneten Intervallen spielt. In jedem Fall sollte der Lernende beispielsweise durch die Anzeige von Pop-Ups darüber informiert werden, wenn aktuell keine Spielsitzung terminiert ist und daher die erzielten Ergebnisse auch nicht im Rahmen des Belohnungssystems gewertet werden.

Eine andere Variante wäre, die Inhalte, die außerhalb der Intervalle präsentiert werden, so zu gestalten, dass sie nicht dem aktuellen Lernstand des Lernenden entsprechen, also deutlich zu schwer oder deutlich zu einfach sind. Hierdurch liefe man allerdings Gefahr, dass man den Lernenden demotiviert das Spiel überhaupt zu nutzen, weswegen die Variante mit dem Belohnungssystem zu bevorzugen ist.

Hinsichtlich der Motivation ist dahingehend zu unterscheiden, dass die Lernenden auf der einen Seite generell dazu motiviert werden sollten das Lernspiel zu nutzen, auf der anderen Seite die Motivation aber so gesteuert werden sollte, dass dies nur zu den durch den Algorithmus berechneten Zeitpunkten geschieht.

## 6 Fazit und Ausblick

Es hat sich herausgestellt, dass der Einsatz des Spaced-Repetitions-Konzepts auch in Lernspielen möglich ist. Dies trifft besonders auf mobile Lernspiele zu, da diese jederzeit und an jedem Ort genutzt werden können, was der exakten Terminierung von Wiederholungen zugutekommt. Dabei geht es weniger darum, das Spiel in exakt dem Moment der Erinnerung zu spielen, als mehr darum, es an jenem Tag zu nutzen. Allerdings sind die aktuellen Algorithmen allesamt zeitbasiert und müssen für die Verwendung in mobilen Lernspielen von einem rundenbasierten Hilfs-Algorithmus unterstützt werden, um die Werte zur Berechnung der Intervalle nicht zu kompromittieren. Darüber hinaus sollte beim Design des Spiels das Konfliktfeld zwischen Motivation und dem Spaced-Repetition-Konzept bedacht werden. Mithilfe eines gut durchdachten Belohnungssystems können die Lernenden in diesem Sinne beispielsweise zum Lernen zu den berechneten Zeitpunkten animiert werden.

Für das weitere Vorgehen sind zudem verschiedene offengelegte Probleme zu bearbeiten. So wird die „Quality of Response“ aktuell lediglich durch falsche und richtige Antworten in- und dekrementiert. Hier wird für die weitere Entwicklung ein differenzierterer Ansatz angedacht. Ein entsprechendes Design des Lernspiels sollte zudem dazu führen, dass die Lernenden das Spiel nur zu den durch den Algorithmus ermittelten Zeitpunkten nutzt. Zudem sollen die Möglichkeiten des Spaced-Repetitions-Konzept künftig im Rahmen einer Meta-App weiteren Inhalts-Apps zur Verfügung gestellt werden, wobei sämtliche Berechnungen in der Meta-App stattfinden.

## Literaturverzeichnis

- [Eb85] Ebbinghaus, H: Memory: A Contribution to Experimental Psychology (pp. 373 – 380). New York: Dover.
- [Ge03] Gee, J.P.: What Video Games Have to Teach us About Learning and Literacy. New York: Palgrave/Macmillan.
- [Gr07] Gros, Begoña: Digital Games in Education: The Design of Games-Based Learning Environments. *Journal of Research on Technology in Education*, 2007, 40(1), pp. 23-38.
- [KB08] Kornell, N.; Bjork, R.A.: Optimizing self-regulated study: The benefits and costs of dropping flashcards. In: *Memory* (Vol. 16(2)), pp. 125-136.
- [Ko09] Kornell, N.: Optimizing learning using flashcards: Spacing is more effective than cramming. *Applied Cognitive Psychology* (Vol. 23, pp.1297-1317). Wiley InterScience.
- [Ni92] Nielsen, J.: Finding usability problems through heuristic evaluation. In: *Proceedings of the SIGCHI 1992*. Monterey, CA, USA. (pp. 373 – 380).
- [Pa07] Paul, K.: *Study Smarter, Not Harder*. Self-Counsel Press.
- [Pi67] Pimsleur, P.: A Memory Schedule. In: *The Modern Language Journal* (Vol. 51(2)), pp. 73-75). Blackwell Publishing.
- [Sch13] Schimanke, F.; Mertens, R.; Vornberger, O.: What to learn next? Content selection support in mobile game-based learning. Präsentiert auf der AACE E-Learn, Las Vegas.
- [Wo94] Wozniak, P.A.: <http://www.supermemo.com/english/princip.htm>. Aufruf: 08.03.2014.