

# Entwicklung und Evaluierung einer Notenwender-App für Klaviernoten

Kolja Kirsch, Frank Steinicke, Timo Baumann

Fachbereich Informatik, Universität Hamburg

## Zusammenfassung

Das ständige Umblättern von Noten ist für Musiker ein wiederkehrendes Problem. Dieses wird häufig durch einen Assistenten des Musikers, den sogenannten Notenwender, gelöst. Diese Unterstützung haben Musiker allerdings nur selten während des Übens. In diesem Artikel stellen wir eine Anwendung für mobile Geräte vor, die auf verschiedene Arten das Umblättern von Klavierpartituren unterstützt: Durch Gestenerkennung, durch Erkennung des Spielfortschritts, oder durch eine Kombination aus beidem. In einer Studie mit professionellen Musikern und Klavierschülern wurden diese Arten gegeneinander abgewogen. Die Ergebnisse zeigen auf, dass computer-unterstütztes (insbesondere automatisches) Blättern Vorteile gegenüber herkömmlichem Blättern hat.

## 1 Einleitung

Musik für Tasteninstrumente wird in mindestens zwei Systemen<sup>1</sup> notiert, wodurch die Partituren häufig viele Seiten umfassen. Somit muss während des Spielens mehrfach umgeblättert werden. Da es nicht immer möglich ist, die Noten so zu setzen, dass eine Pause am Ende jeder Seite ist während der problemlos geblättert werden könnte, kann die Blätterbewegung zu einer ungewollten Unterbrechung des Spielflusses führen. Für Soloinstrumente mit nur einem System ist es einfacher die Noten so zu setzen, dass an einer günstigen Stelle geblättert werden kann. Deshalb beschränkt sich die Arbeit im Folgenden auf Klavier und Keyboard als typische Tasteninstrumente.

Beim täglichen Üben blättert der Klavierspieler selber die Notenblätter um; in Aufführungssituationen hat er möglicherweise einen Assistenten, der ihm das Blättern abnimmt. Muss der Klavierspieler selber an einer ungünstigen Stelle blättern, kann er das Problem umgehen, indem er die nächste Seite bis zu einer passenden Stelle auswendig lernt oder, wie bei Korrepetitoren verbreitet, während des Blätterns improvisiert. Mit der

---

<sup>1</sup> Die fünf Linien, die als Raster für die Noten dienen, werden System genannt.

Verbreitung von digital verfügbaren Notenblättern ist es möglich, diese auf Tablets anzuzeigen. Das Problem des Umblätterns bleibt bestehen, die digitale Verarbeitung ermöglicht jedoch neue Lösungsansätze.

In diesem Artikel stellen wir eine Anwendung für mobile Geräte vor, die auf verschiedene Arten das Umblättern von Klavierpartituren ohne Nutzung der Hände unterstützt.

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert. In Abschnitt 2 beschreiben wir verwandte Arbeiten aus dem Bereich des computergestützten Umblätterns, auf deren Basis wir in Abschnitt 3 eine Leitidee entwickeln. Abschnitt 4 beschreibt unseren Bild- und Ton-basierten Ansatz. In Abschnitt 5 beschreiben wir eine Usability-Studie mit professionellen Musikern und Klavierschülern. Die Ergebnisse werden in Abschnitt 6 erläutert. Abschnitt 7 fasst die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

## 2 Verwandte Arbeiten

Mechanische Seitenwender sind häufig unzuverlässig oder benötigen aufwendige Vorbereitung um zuverlässig zu funktionieren (Wohlberg & Schipper 2012). Folglich gibt es bereits einige Versuche, Notenwender in Form von Apps zu implementieren. Die einfachsten davon sind PDF-Reader, die hauptsächlich zum Verwalten und Anzeigen von Noten gedacht sind. Einige Ansätze, die sich mit dem Problem des Blätterns befassen, werden im nächsten Abschnitt vorgestellt. Daraus wird eine Leitidee für die Arten des Umblätterns der neu entwickelten App abgeleitet.

Apps wie iRollMusic<sup>2</sup> und NoteStar<sup>3</sup> scrollen mit einer festgelegten Geschwindigkeit durch die angezeigten Noten. Die Bewegung der Notenzeilen ist problematisch, da sich das Notenbild ständig ändert. Somit ist es schwierig, bestimmte Notenpassagen Layout-abhängig wiederzuerkennen.

Um dieses Problem zu umgehen, erlauben einige Anwendungen eine Benutzereingabe. Meist werden hierfür Pedale verwendet, die über Bluetooth mit dem Tablet verbunden sind. Die durch Betätigung des Pedals generierten Signale können an Apps wie forScore<sup>4</sup> gesendet werden. Über das Pedal kann somit vor- bzw. zurückgeblättert werden (Boyle 2012). Allerdings werden beim Klavierspielen bereits Pedale verwendet, um den Klang zu beeinflussen. Die Verwendung weiterer Pedale erfordert zusätzlichen Aufwand, der ähnliche kognitive und motorische Ressourcen wie das Klavierspielen selbst benötigt und somit im direkten Konflikt mit der Primäraufgabe steht.

Einen anderen Ansatz wählen Systeme, die automatisch ein notwendiges Blättern erkennen. Die iPad-App Tonara<sup>5</sup> kann den Audioinput analysieren, anhand dessen die Position

---

<sup>2</sup> <http://www.irollmusic.com/features/?lang=de> (Abrufdatum: 29. März 2016)

<sup>3</sup> <http://notestarapp.com/de/tour?nav=2> (Abrufdatum: 29. März 2016)

<sup>4</sup> <http://forscore.co/about/> (Abrufdatum: 29. März 2016)

<sup>5</sup> <http://tonara.com/> (Abrufdatum: 29. März 2016)

mehrerer Musiker in der Partitur verfolgen, auf Fehler und Temposchwankungen reagieren und so an der richtigen Stelle umblättern (Shu 2013). *Tonara* funktioniert nur mit Partituren aus dem integrierten Shop. Eine Beeinflussung des Blätterzeitpunktes ist nicht möglich, es kann nur festgelegt werden, wie viele Takte vor Ende der Seite geblättert werden soll. Systeme, die den Audioinput mit einer, aus den Noten generierten, Audiodatei alignieren sind anfällig für starke Temposchwankungen und Fehler des Klavierspielers, können aber immer noch gut genug für die Aufgabe des Umblätterns sein (Arzt et al. 2008). Die Analyse des Audioinputs ist allerdings rechenaufwendig und insbesondere in akustisch komplexen Umgebungen (zum Beispiel bei Begleitung einer Bigband) fehleranfällig.

### 3 Leitidee für das Umblättern

Mit Bezug auf die Recherche zu bereits vorhandenen Ansätzen wurde die folgende Leitidee formuliert:

*Die App soll die/den KlavierspielerIn beim Blättern so unterstützen, dass der zusätzliche Aufwand für sie/ihn minimiert wird. Dazu soll die/der KlavierspielerIn im Mittelpunkt stehen und die Möglichkeit zur Kontrolle behalten (also nicht einfach nach einem Timer geblättert werden).*

Die Anwendung soll dabei robust gegenüber Temposchwankungen und Spielfehlern sein und auch in akustisch anspruchsvollen Situationen zuverlässig funktionieren. Daraus ergeben sich die drei Verfahren (i) *Geste*, (ii) *Spielfluss* und (iii) *Kombination*, die ein unterschiedliches Maß an Interaktion erfordern.

1. *Geste*: Die Anwendung reagiert nur auf eine Eingabe des Klavierspielers. Durch verschiedene Gesten kann der Klavierspieler vor- bzw. zurückblättern. Er hat die volle Kontrolle über das Blättern.
2. *Spielfluss*: Die Anwendung blättert von allein am Ende jedes Notenblattes. Dem Klavierspieler wird zwar alle Arbeit abgenommen, aber auch jegliche Einflussnahme unmöglich gemacht.
3. *Kombination*: Die Anwendung schlägt dem Klavierspieler am Ende jedes Notenblattes vor umzublätern; dieser bestätigt das Blättern durch eine Geste mit dem Kopf. Die App weiß, in welche Richtung geblättert werden muss.

### 4 Technische Realisierung

Die Anwendung wurde für Android in Java programmiert. Im Folgenden werden die wichtigsten Werkzeuge und Konzepte der technischen Umsetzung erläutert.

### Gesten: OpenCV

Für die Bildverarbeitung wird OpenCV für Android (Howse 2015) verwendet. Zur Erkennung von Gesichtern und Merkmalen werden die von OpenCV bereitgestellten Cascade Classifier (Viola 2001) benutzt. Die Erkennung von Merkmalen ist tendenziell unzuverlässig (Zafeiriou et al. 2015). Daher wurden mehrere Arten Gesten zu erkennen im Selbstversuch getestet. Abbildung 1 zeigt die getesteten Gesten. Beim Kopfdrehen (Abb. 1 (a)) ist eine Rotation von mindestens  $45^\circ$  notwendig, um die Rotation zuverlässig zu erkennen. Auch die in Abbildung 1 (b) dargestellte Geste über Bewegungen des Mundes benötigt eine zu starke Bewegung. Letztlich hat sich das Schräglegen des Kopfes (Abb. 1 (c)) als die geeignetste Geste herausgestellt. Die Geste kann subjektiv komfortabler als die anderen beiden durchgeführt werden und wird am zuverlässigsten erkannt.

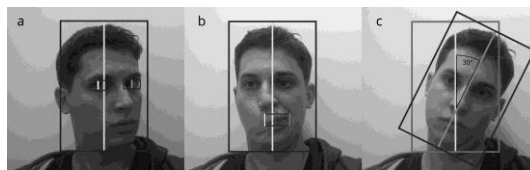


Abbildung 1: Getestete Gesten zum Blättern

### Gespielte Töne: MIDI

Die gespielten Töne werden über das MIDI-Protokoll (MIDI 1996) verarbeitet. Moderne Keyboards und E-Pianos verfügen meist über eine MIDI-Schnittstelle, darüber hinaus sind auch einige akustische Klaviere damit ausgestattet. Über das Protokoll werden Anfang und Ende klingender Töne übermittelt, wodurch sich das Gespielte einfach verarbeiten lässt. Das MIDI-Protokoll bietet somit Vorteile gegenüber einer akustischen Verarbeitung. Zum einen funktioniert die Verarbeitung über das Protokoll auch in akustisch komplexer Umgebung, zum anderen ist sie weniger rechenintensiv, was vor allem für mobile Geräte wichtig ist.

### Noten: MusicXML

Das Format MusicXML ermöglicht den Austausch von Noten zwischen unterschiedlichen Programmen, die meist eigene Formate benutzen. Es bietet einen Standard, um westliche Musik ab dem 17. Jahrhundert zu notieren (Good 2001). Als solcher kann es von jeder gängigen Notationssoftware gelesen und exportiert werden. Zudem lassen sich XML-Dateien leicht verarbeiten. Damit eignet sich dieses Format hervorragend, um die gegebenen Noten einzulesen und automatisch in einen Automaten für den Token Passing Algorithmus zu überführen.

### Synchronisieren: Token Passing

Die gespielten Töne werden mit Hilfe des Token Passing Algorithmus' (Young et al. 1989) einer Position innerhalb der eingelesenen Noten zugeordnet.

Jedes Musikstück wird durch einen endlichen Automaten repräsentiert. Dabei entspricht jede Zählzeit einem Zustand. Zu jedem Zustand  $j$  gehört eine lokale Kostenfunktion  $d_j(t)$ , die

über die Hamming-Distanz zwischen der Menge der in  $j$  erwarteten Töne ( $J_{ET}$ ) und der Menge der aktuell gespielten Töne ( $GT$ ) berechnet wird:

$$d_j(t) = |(J_{ET} \cup GT_t) \setminus (J_{ET} \cap GT_t)|$$

Die Übergangskosten  $p_{ij}$  von Zustand  $i$  zu Zustand  $j$  sind mit 1 für  $j = i$  (bei der Note bleiben), 2 für  $pos(j) = pos(i) + 1$  (eine Note weitergehen) und 5 für  $pos(j) = pos(i) + 2$  (eine Note überspringen) experimentell festgelegt, wobei mit  $pos(i)$  die Einsatzzeit des Zustandes  $i$  gemeint ist. Diese Gewichtung erlaubt es dem System auf falsche Noten, ungeplante Pausen und Korrekturen zu reagieren. Geringere Gewichte bestrafen falsche Noten stärker, höhere können dazu führen, dass richtige Töne zu schlecht bewertet werden.



Abbildung 2: Notenbeispiel

Die Notenfolge aus Abbildung 2 ist in Abbildung 3 als endlicher Automat mit der Initialbelegung dargestellt. Die erwarteten Töne sind als MIDI-Noten angegeben.

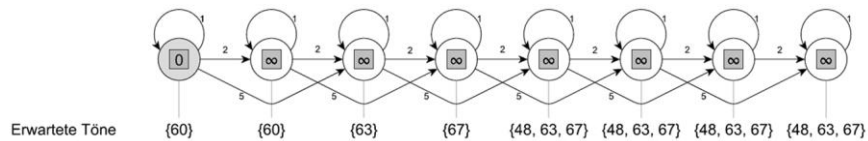


Abbildung 3: Notenbeispiel als endlicher Automat

## 5 Usability-Studie

Die Anwendung wurde in eine Studie durchgeführt auf ihre Gebrauchstauglichkeit untersucht und die verschiedenen Blättermethoden miteinander verglichen. Dabei wurde neben den drei Blättermethoden, bei denen die Partitur auf dem Tablet angezeigt wird, als vierte Bedingung herkömmliches Blättern mit einer ausgedruckten Partitur getestet (im Folgenden *Papier* genannt).

### 5.1 Studiendesign

Jeder Teilnehmer hat jede Blättermethode getestet (*within-subjects design*), wodurch es wichtig wird, Übertragungseffekte zu berücksichtigen. Dazu wurde ein *Incomplete Counterbalanced Measures Design* (Shuttleworth 2009) verwendet, bei dem die Reihenfolge der Bedingungen anhand des *Latin square* in Tabelle 1 variiert wurde.

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| G | S | K | P |
| S | G | P | K |
| K | P | G | S |
| P | K | S | G |

Tabelle 1: Latin Square (G für Geste, S für Spielfluss, K für Kombination und P für Papier)

Als Teststück wurde das *Wiegenlied* von Isidore Philipp (Philipp 1999) neu gesetzt, sodass es sich über drei Seiten erstreckt. Da absehbar war, dass die Probanden ein unterschiedliches Niveau aufweisen würden, wurde neben der Originalversion eine zweite Version des Musikstücks verwendet, bei der die Stimme der linken Hand weggelassen wurde. Die linke Hand war in der Studie hauptsächlich nötig, damit der Klavier- bzw. Keyboardspieler keine Hand zum Blättern frei hatte. Für Anfänger ist die Aufgabe, vom Blatt zu spielen, jedoch so aufwendig, dass das Weglassen der linken Hand sie nicht in die Lage versetzt, flüssig umblättern zu können.

Es macht einen großen Unterschied, ob der Notentext bekannt oder unbekannt ist, im Anwendungsfall sind die Partituren im Regelfall bekannt. Deswegen bekamen alle Probanden die Möglichkeit, das Musikstück einmal anhand einer ausgedruckten Partitur zu üben, bei der es nicht nötig war zu blättern. So wurde sichergestellt, dass der Notentext schon beim ersten Durchgang bekannt war. Außerdem gab dieses Vorgehen vor allem den jüngeren Klavier- und Keyboardschülern, die zum Teil sehr aufgeregt waren, mehr Sicherheit.

Zu jeder Bedingung wurde ein *Raw Task Load Index (Raw TLX)* Fragebogen ausgehändigt, mit dem der Aufwand der jeweiligen Methode erhoben wurde. Die Noten wurden auf einem Nvidia Shield Tablet (8" Bildschirmdiagonale) angezeigt, die Papierform wurde im A5-Format gedruckt. Die Probanden brauchten zwischen 20 und 30 Minuten zum Spielen und Ausfüllen der Fragebögen.

## 5.2 Stichprobe und Demografie

Die Untersuchung wurde an 20 Probanden durchgeführt. Davon waren 5 (25%) weiblich und 15 (75%) männlich. Unter den Teilnehmern der Studie befanden sich einige professionelle Musiker, den Großteil der Probanden machten jedoch Klavier- und Keyboardschüler einer lokalen Jugendmusikschule aus. Entsprechend sieht die Verteilung des Alters aus, siehe Abbildung 4.

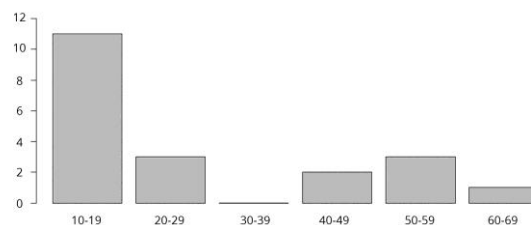


Abbildung 4: Altersverteilung der Probanden

Sieben der Probanden spielten seit weniger als zwei Jahren Klavier bzw. Keyboard, die restlichen 13 spielten seit sechs oder mehr Jahren. Es ließ sich beobachten, dass einige der Anfänger sicherer vom Blatt spielten als Schüler, die schon länger Unterricht hatten. Die Erfahrung wirkt sich anscheinend nicht unmittelbar auf die Fähigkeit aus, vom Blatt spielen zu können. 14 Probanden gaben an, das Problem des Umblätterns beim Spielen zu kennen, 6 hatten noch keine Erfahrungen damit. 14 Probanden besaßen ein Tablet.

## 6 Ergebnisse

Um die Leistung der einzelnen Blättermethoden zu vergleichen, wurde über einen Raw TLX Fragebogen die subjektive Beanspruchung der Probanden durch die Blättermethode abgefragt. Der Raw TLX entspricht dem Nasa Task Load Index (Nasa TLX), wobei die anschließende Gewichtung der sechs Dimensionen weggelassen wird. Laut Hart gibt es keine eindeutigen Hinweise darauf, dass die Gewichtung das Ergebnis verbessert (Hart 2006). Die Probanden bewerten beim Raw TLX ihre wahrgenommene Beanspruchung in den sechs Dimensionen *Geistige Anforderung*, *Körperliche Anforderung*, *Zeitliche Anforderung*, *Eigene Leistung*, *Anstrengung* und *Frustration* auf einer Skala mit 20 Stufen, wobei kleinere Werte einer geringeren Beanspruchung entsprechen. Die Gesamtbeanspruchung wird als Summe der einzelnen Dimensionen bestimmt und liegt zwischen 5 und 100. Die Erklärung der einzelnen Dimensionen wurde an den Kontext angepasst.

### 6.1 Deskriptive Statistiken

Abbildung 5 zeigt die Boxplots des Raw TLX.

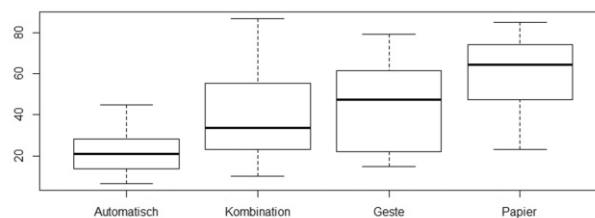


Abbildung 5: Boxplots des TLX

Hier sind schon einige Unterschiede zwischen den Bedingungen erkennbar. Ein Vergleich der Mediane (*Spielfluss*: 20.83, *Kombination*: 33.75, *Geste*: 47.50, *Papier*: 64.17) legt die Vermutung nahe, dass die digitalen Blättermethoden generell besser sind als *Papier*, wobei *Spielfluss* subjektiv weniger aufwendig ist als *Kombination*, die wiederum subjektiv weniger aufwendig ist als *Geste*. Die Werte von *Spielfluss* liegen dichter beieinander als die der anderen drei Bedingungen. Die größeren Streuungen bei *Geste* und *Kombination* sind darauf zurückzuführen, dass beide Blättermethoden mit der Gesichtserkennung arbeiten. Diese war bei schlechter Beleuchtung oder ungünstiger Positionierung der Testperson vor dem Tablet unzuverlässig. Dies führte dazu, dass diese Blättermethoden nicht gleichbleibend gut

funktionierten. Bei *Papier* könnte die größere Streuung am unterschiedlichen Niveau der Probanden liegen. Für Anfänger ist das manuelle Blättern schwieriger als für professionelle Musiker, die dies über Jahre hinweg geübt haben.

## 6.2 Inferentielle Statistiken

In diesem Abschnitt soll überprüft werden, wie gut die Blättermethoden im Vergleich untereinander abschneiden. Da die Werte des TLX als ordinalskaliert angesehen werden können, wurde ein *Friedman Test* durchgeführt, um die Beanspruchung der Probanden bei jeder der vier Bedingungen zu vergleichen. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen bei einem Signifikanzniveau von 5% festgestellt;  $\chi^2 = 20.723, p = 0.0001$ . Ein *Dunn's Test of Multiple Comparisons* mit *Bonferroni Korrektur* der p-Werte (Salkind 2006) zeigt, bei welchen Bedingungen die Unterschiede signifikant sind. Bei einem Signifikanzniveau von 5% zeigt sich Folgendes: *Spielfluss* schneidet signifikant besser ab als alle anderen Blättermethoden ( $p < 0,005$ ). Zwischen *Geste* und *Kombination* ( $p = 1$ ) sowie zwischen *Geste* und *Papier* ( $p = 0,09$ ) konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. *Kombination* wurde signifikant besser bewertet als *Papier* ( $p = 0,025$ ).

Das schlechte Abschneiden von *Papier* verdeutlicht die Problematik des Umblätterns. *Geste* und *Papier* sind sich insofern ähnlich, dass der Klavierspieler selbst tätig werden muss, sei es durch Umblättern per Hand oder durch eine Geste, die offensichtlich keine signifikante Verbesserung ist. Das kann auch daran liegen, dass der Klavierspieler bei *Geste* in seinen Bewegungen eingeschränkt ist, da eine falsche Bewegung zu ungewolltem Blättern führen kann. Das gleiche Problem besteht bei *Kombination*, wobei es nicht ganz so ausgeprägt ist, da die Einschränkung erst am Ende jeder Seite wirksam wird. Bei *Spielfluss* ist der Klavierspieler in seinen Bewegungen nicht eingeschränkt. Je mehr Arbeit die Blättermethode dem Klavierspieler abnehmen kann, desto besser wurde sie bewertet. Obwohl der Klavierspieler keine Einflussnahme auf das automatische Blättern (*Spielfluss*) nehmen kann, wurde diese Methode am besten bewertet. Die Probanden vertrauten anscheinend darauf, dass die App in ihrem Sinne handelt.

## 6.3 Qualitative Beobachtung

Die subjektive Benutzerbefragung ergab vor allem zwei Kritikpunkte. Am häufigsten wurde kritisiert, dass *Spielfluss* zum falschen Zeitpunkt blättern würde. Es wäre besser, wenn der Zeitpunkt einstellbar wäre. Daraufhin wurde dies implementiert und in die Einstellungen mit aufgenommen. Die Benutzer können nun in Halbtaktschritten bis zu zwei Takte im Voraus auswählen, wie früh geblättert werden soll. Des Weiteren wurde vorgeschlagen, die ersten Noten der nächsten Seite auf der vorherigen anzuzeigen. Somit könnte der Stress, den das Blättern verursacht, weiter verringert werden. Bei schwierigen Notenpassagen ist es durchaus üblich, sich am Ende der Seite eine Notiz über den Folgetakt in die Partitur zu schreiben. Darüber hinaus wurde angemerkt, dass das Display des Tablets, vor allem für komplexere Literatur, zu klein wäre. Ein Tablet mit einem größeren Bildschirm, auf dem die Noten im typischen DIN-A4 Format angezeigt werden können, würde dieses Problem beheben.



## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war, eine Anwendung zu entwickeln, die Klavierspieler sowohl in Übungs- als auch in Aufführungssituationen beim Umblättern von digitalen Klavierpartituren unterstützt. Dabei sollten verschiedene Blättermethoden, die einen unterschiedlichen Grad an Interaktion mit der Anwendung erfordern, implementiert werden. Diese sollten anschließend in einer Studie miteinander verglichen werden. Die Anwendung wurde in Form einer Android-App mit den drei Blättermethoden *Geste*, *Spielfluss* und *Kombination* umgesetzt. In einer Studie mit professionellen Musikern und Klavierschülern wurden diese Arten gegeneinander abgewogen. Die Ergebnisse zeigen auf, dass computer-unterstütztes Blättern Vorteile gegenüber herkömmlichen Blättern hat.

In der Zukunft möchten wir noch einige Funktionen zur Anwendung hinzufügen. Dazu gehört vor allem die vollständige Behandlung von musikalischen Zeichen in den Noten, wie Sprunganweisungen oder Triller. Weiterhin könnte es sinnvoll sein, ein besseres visuelles Feedback beim Umblättern zu geben, da einige Probanden den Blättervorgang anfangs nicht sofort erkannt haben. Da sich Musiker oft Notizen auf die Notenblätter schreiben, wäre eine solche Funktion wünschenswert.

Die Verwendung des MIDI-Protokolls schränkt den Anwendungsbereich auf Instrumente mit MIDI-Schnittstelle ein. Um auch andere Instrumente zu unterstützen, wäre es interessant Audiosignale in MIDI-Signale umzuwandeln oder beim Token Passing Algorithmus Audio anstelle von MIDI zu verwenden. Desweiteren wäre ein Vergleich mit ähnlichen Systemen, die alternative Algorithmen zum Verfolgen der Position des Klavierspielers in den Noten nutzen, interessant.

### Literaturverzeichnis

- Arzt, A., Widmer, G., & Dixon, S. (2008, June). Automatic Page Turning for Musicians via Real-Time Machine Listening. In ECAI (pp. 241-245).
- Boyle, K. (2012) iPad pushes sheet music, and page turners, off the stage. The Washington Post Online erhältlich unter [https://www.washingtonpost.com/lifestyle/style/ipad-pushes-sheet-music-and-page-turners-off-the-stage/2012/01/17/gIQANv26DQ\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/lifestyle/style/ipad-pushes-sheet-music-and-page-turners-off-the-stage/2012/01/17/gIQANv26DQ_story.html); abgerufen am 28.03.2016
- Good, M. (2001). MusicXML for notation and analysis. The virtual score: representation, retrieval, restoration, 12, 113-124.
- Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting (Vol. 50, No. 9, pp. 904-908). Sage Publications.
- Howse, J. (2015). Android Application Programming with OpenCV 3. Packt Publishing Ltd.
- Philipp, I. (1999). Wiegenlied. Noten für Klavier. Die Russische Klavierschule Band 1, Seite 27, Stück 54.
- Salkind, N. J. (2006). Encyclopedia of measurement and statistics. Sage Publications.
- Shu, C. (2013) Sheet Music App Tonara Adds Interactive Score Synchronization To Help Musicians And Stage Techs. techcrunch.com Online erhältlich unter <http://techcrunch.com/2013/11/23/tonara-score-sync/>; abgerufen am 28.03.2016

- Shuttleworth, M. (2009). Counterbalanced measures design. Retrieved from Experiment Resources. Accessed 2nd May.
- The complete MIDI 1.0 detailed specification: incorporating all recommended practices. MIDI Manufacturers Association, 1996.
- Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on* (Vol. 1, pp. I-511). IEEE.
- Wolberg, G., & Schipper, I. (2012). Page turning solutions for musicians: A survey. *Work*, 41(1), 37-52.
- Young, S. J., Russell, N. H., & Thornton, J. H. S. (1989). *Token passing: a simple conceptual model for connected speech recognition systems*. Cambridge, UK: Cambridge University Engineering Department.
- Zafeiriou, S., Zhang, C., & Zhang, Z. (2015). A survey on face detection in the wild: past, present and future. *Computer Vision and Image Understanding*, 138, 1-24.