

LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Department "Institut für Informatik"  
Lehr- und Forschungseinheit Medieninformatik  
Prof. Dr. Heinrich Hußmann

**An Evaluation of the Influence of External Factors on Authentication Performance  
and Memorability**

Emanuel von Zezschwitz  
zezschwitz@cip.ifi.lmu.de

Bearbeitungszeitraum: 15.12.2009 bis 11.06.2010  
Betreuer: Dipl. Medieninformatiker Alexander De Luca  
Verantw. Hochschullehrer: Prof. Dr. Heinrich Hußmann



## **Zusammenfassung**

In einer siebenwöchigen Onlinestudie wurde die Performance des Taschenrechner-, Zeilen- und Zufallslayouts mit der Performance des Telefonlayouts verglichen. Ziel war es, den Einfluss des numerischen Tastaturlayouts auf die Performance der Authentifizierung und die Erinnerbarkeit der PIN zu untersuchen. In einer zweiten Studie wurde der Lernprozess auf einem Zufallslayout mit dem Lernprozess auf einem Telefonlayout verglichen.

Teilnehmer authentifizierten sich in unregelmäßigen Abständen an einem simulierten Geldautomaten. Das Testsystem erfasste die Nutzerinteraktionen sowie deren Zeitaufwand und Fehlerrate. Erstmals wurde die Orientierungsphase vor der PIN-Eingabe in die Analyse einbezogen. Die quantitativen Daten wurden anhand zweier Teilnehmerbefragungen durch qualitative Daten gestützt.

Es konnte gezeigt werden, dass ungewohnte Tastaturlayouts einen signifikanten Einfluss auf die Authentifizierungszeit haben. Außerdem konnten auf die Fehlerrate und die Erinnerbarkeit der PIN Einflüsse nachgewiesen werden. Da die Teilnehmer an das Telefonlayout gewöhnt waren, führte dieses zu der besten Performance und unterstützte die Erinnerbarkeit der PIN. Die Nutzung des Zufallslayouts führte zu der schlechtesten Performance. Es wurde gezeigt, dass der negative Einfluss auf die Performance und die Erinnerbarkeit umso stärker ist, je weiter das verwendete Layout von einem gewohnten Layout abweicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass der konsistente Einsatz eines Tastaturlayouts die Performance signifikant verbessern kann. Da vor allem die Analyse der Orientierungszeit viel zu den Ergebnissen beigetragen hat, sollte diese auch bei zukünftige Arbeiten berücksichtigt werden.

## **Abstract**

In a seven-week online study the performance of the calculator, line and random layout was compared with the performance of the telephone layout. The goal was to investigate the influence of numeric keyboard layouts on authentication performance and memorability. In addition, a second study was carried out to compare the learning process on a random layout with the learning process on a telephone layout.

Participants authenticated at irregular intervals in a simulated ATM. The test system recorded the user interactions, the time and the error rate. For the first time the orientation phase before entering a PIN has been involved in the analysis. The quantitative data was firmied by two questionnaires.

It was shown that unfamiliar keyboard layouts have a significant effect on the authentication time. Effects were also detected on the error rate and the memorability of the PIN. Since the participants were used to the telephone layout, this led to the best performance and supported the memorability of the PIN. The use of a random layout led to the worst performance. It was shown that the negative impact on the performance and the memorability is even worse, the more a layout differs from the usual layout.

The results suggest that the consistent use of a single keyboard layout can improve performance significantly. Since the analysis of the orientation time has contributed much to the outcomes, it should also be considered in future studies.



# Aufgabenstellung

## **Thema: An Evaluation of the Influence of External Factors on Authentication Performance and Memorability**

### **Ziel:**

Geldautomaten sind ein beliebtes Ziel für Angriffe. Dabei wird versucht durch alle möglichen Tricks an die PIN und die Geldkarte der Nutzer zu kommen, um damit Geld von den Konten der Nutzer zu stehlen. In der Wissenschaft wird darauf reagiert, indem neue Authentifizierungsverfahren entwickelt werden, welche schwerer oder unmöglich zu beobachten sind. Als Mittel der Sicherung wird häufig auf Randomisierung zurückgegriffen. Dies führt allerdings zu einem Mangel an Konsistenz, der die Performanz des Systems negativ beeinflussen kann.

Obwohl die meisten Geldautomaten sich an Standards zur Bedienung halten, gibt es immer noch Fälle, in denen Nutzer plötzlich mit ungewohnten Tastaturlayouts oder Eingabeformen konfrontiert werden. Anhand dieser Beispiele soll in der Diplomarbeit anhand einer Langzeitstudie untersucht werden, wie sehr sich Gewöhnungseffekte, Konsistenz und Layout wirklich auf die Performanz von Authentifizierungssystemen auswirken. Zusätzlich soll untersucht werden, auf was bei der Zeitmessung von Authentifizierungssystemen geachtet werden muss, um diese "fair" durchzuführen und vergleichbar zu machen.

### **Teilaufgaben:**

Im Rahmen der Arbeit sind folgende Teilaufgaben zu lösen:

- Literaturrecherche zum Thema Authentifizierung an Geldautomaten und Keypad Layouts
- Konzeption der Nutzerstudie
- Implementierung der Studiensoftware
- Schriftliche Ausarbeitung
- Antritts- und Abschlussvortrag

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, alle Zitate als solche kenntlich gemacht sowie alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben habe.

München, 11. Juni 2010

.....



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziel der Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Relevante Arbeiten</b>	<b>7</b>
2.1	Tastaturlayouts . . . . .	7
2.1.1	Entwicklung des Telefonlayouts . . . . .	7
2.1.2	Präferenz und Performance . . . . .	8
2.1.3	Erinnerbarkeit . . . . .	11
2.2	Richtlinien . . . . .	14
2.2.1	National . . . . .	14
2.2.2	International . . . . .	15
2.3	Einordnung der Arbeit . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Hauptstudie</b>	<b>19</b>
3.1	Hypothesen . . . . .	19
3.2	Methode . . . . .	19
3.3	Design . . . . .	20
3.3.1	Unabhängige Variablen . . . . .	20
3.3.2	Abhängige Variablen . . . . .	21
3.4	Teilnehmer . . . . .	23
3.5	Aufbau und Geräte . . . . .	25
3.5.1	Praktischer Versuch . . . . .	25
3.5.2	Nutzerbefragung . . . . .	29
3.6	Prozedur . . . . .	29
3.6.1	Testablauf . . . . .	29
3.6.2	Testverteilung . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Nachstudie</b>	<b>31</b>
4.1	Hypothesen . . . . .	31
4.2	Design . . . . .	31
4.3	Teilnehmer . . . . .	31
4.4	Prozedur . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>33</b>
5.1	Lernprozess . . . . .	33
5.1.1	Allgemeine Analyse . . . . .	33
5.1.2	Layoutspezifische Analyse . . . . .	35
5.1.3	Telefon- versus Zufallslayout . . . . .	38
5.2	Zeitaufwand . . . . .	43
5.2.1	Durchschnitt und Streuung . . . . .	43
5.2.2	Vergleich der Layouts . . . . .	48
5.3	Fehler und Korrekturen . . . . .	54
5.3.1	Fehlerrate . . . . .	54
5.3.2	Korrektur- und Abbruchrate . . . . .	58
5.4	Erinnerbarkeit . . . . .	60
5.4.1	PIN-Einsicht . . . . .	60
5.4.2	Fehler- und Korrekturanalyse . . . . .	60
5.5	Teilnehmerbefragung . . . . .	65
5.5.1	Teilnehmerfeld . . . . .	65

5.5.2	Zeitaufwand . . . . .	66
5.5.3	Fehlerrate . . . . .	67
5.5.4	Erinnerbarkeit . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>71</b>
6.1	Diskussion . . . . .	71
6.2	Zukünftige Arbeit . . . . .	73
	<b>Anhang</b>	<b>75</b>
	<b>Literatur</b>	<b>95</b>



## Abbildungsverzeichnis

1.1	Standardlayout, Gill . . . . .	2
1.2	Taschenrechnerlayout . . . . .	3
1.3	Zeilenlayout . . . . .	3
1.4	Geldautomat mit Touchscreen . . . . .	4
2.1	Die fünf von Deininger untersuchten Tastaturlayouts . . . . .	8
2.2	Telefonlayout und Zeilenlayout, Goodman . . . . .	10
2.3	Telefonlayout und Zufallslayout, Ryu . . . . .	11
2.4	Nutzerpräferenzen für numerische 4*3 Layouts, Rinck . . . . .	12
2.5	Standardlayouts: ITU-T E.161, EBS 100, EMV2000 . . . . .	16
3.1	Alter und Geschlecht: Trainiert . . . . .	24
3.2	Alter und Geschlecht: Untrainiert . . . . .	24
3.3	Keypad-Simulation: sequentieller Ablauf . . . . .	25
3.4	Keypad-Simulation: Zeilenlayout . . . . .	26
3.5	Struktur der Webseite . . . . .	27
3.6	Datenbankstruktur . . . . .	28
4.1	Alter und Geschlecht: Nachstudie . . . . .	32
5.1	Allgemeiner Lernprozess . . . . .	34
5.2	Spezifischer Lernprozess: Orientierungszeit und Standardfehler . . . . .	36
5.3	Spezifischer Lernprozess: Eingabezeit und Standardfehler . . . . .	37
5.4	Spezifischer Lernprozess: Laufzeit und Standardfehler . . . . .	37
5.5	Telefon- versus Zufallslayout: Orientierungszeit . . . . .	39
5.6	Telefon- versus Zufallslayout: Eingabezeit . . . . .	40
5.7	Telefon- versus Zufallslayout: Laufzeit . . . . .	41
5.8	Telefonlayout: Zeit und Standardfehler . . . . .	44
5.9	Taschenrechnerlayout: Zeit und Standardfehler . . . . .	45
5.10	Zeilenlayout: Zeit und Standardfehler . . . . .	46
5.11	Zufallslayout: Zeit und Standardfehler . . . . .	47
5.12	Zeitaufwand: Orientierungszeit . . . . .	49
5.13	Zeitaufwand: Eingabezeit . . . . .	50
5.14	Zeitaufwand: Laufzeit . . . . .	51
5.15	Zeitaufwand: Sitzungszeit . . . . .	52
5.16	Fehlerrate der Hauptstudie . . . . .	54
5.17	Fehlerrate: Layouts . . . . .	55
5.18	Fehlerrate: Teilnehmer . . . . .	56
5.19	Fehlerrate: Telefonlayout . . . . .	56
5.20	Fehlerrate: alternative Layouts . . . . .	57
5.21	Korrektur- und Abbruchrate der Hauptstudie . . . . .	58
5.22	Erinnerbarkeit: Fehlermatrizen . . . . .	61
5.23	Erinnerbarkeit: quantitative Analyse . . . . .	64
5.24	Nutzerbefragung: Zeitaufwand . . . . .	66
5.25	Nutzerbefragung: Fehlerrate . . . . .	67
5.26	Nutzerbefragung: Erinnerbarkeit . . . . .	69



## 1 Einleitung

Dieses Kapitel führt in das Thema der Arbeit ein und formuliert grundsätzliche Ziele der Studie. Im letzten Abschnitt wird ein Überblick über den Inhalt der einzelnen Kapitel gegeben.

### 1.1 Motivation

Der heutige Alltag ist durch eine Vielzahl an Authentifizierungen geprägt. Das Mobiltelefon, der Bankautomat sowie elektronische Türschlösser und Webseiten verlangen bestimmte Nutzereingaben als Identitätsnachweis oder zur Autorisierung. Dabei lässt sich eine Authentifizierung auf verschiedenen Wegen realisieren, welche auch in Kombinationen auftreten können. Diese lassen sich in die folgenden drei Kategorien unterteilen:

- Authentifizierung durch den Nachweis einer exklusiven Information, zum Beispiel eines Passwortes.
- Authentifizierung durch den Besitz eines Objekts, zum Beispiel eines Schlüssels.
- Authentifizierung durch vorhandene Merkmale, welche das Subjekt selbst aufweist, zum Beispiel einen Fingerabdruck.

Während für den Zugang zu physischen Objekten meist ein Schlüssel als Nachweis dient, verlangen vor allem öffentliche Terminals und Mobiltelefone den Nachweis einer exklusiven Information. Diese liegt meist in Form eines numerischen Passwortes, genannt PIN (Personal Identification Number), vor. Geldausgabeautomaten<sup>1</sup> bilden den größten Teil öffentlicher Terminals und werden auf Grund der Möglichkeit, zeitunabhängig Bargeld zu beschaffen, von einem Großteil der Bevölkerung regelmäßig genutzt. Sie stellen daher das optimale Untersuchungsobjekt dar, um Einflüsse auf Authentifizierungsvorgänge zu analysieren.

Der größte Teil wissenschaftlicher Arbeiten, welche sich mit Authentifizierungseinflüssen beschäftigen, wird mit dem Ziel durchgeführt, neue Methoden und Mechanismen zu evaluieren. Diese neuen Mechanismen entstehen oft mit der Absicht, die Gefahr des Schultersurfens<sup>2</sup> zu verringern [9][33][47] oder die Merkbarkeit der geforderten Informationen zu verbessern [11]. Somit stehen Sicherheitsaspekte und Aspekte der Benutzerfreundlichkeit im Fokus der Betrachtungen.

Der Authentifizierungsmechanismus bereits laufender Terminals, die sogenannte Standardauthentifizierung per PIN, wird meist nur zu Vergleichszwecken herangezogen. Jedoch gibt es auch bei dieser Methode Faktoren, welche einen Einfluss auf die Authentifizierung nehmen können. Diese Faktoren sind nicht durch den Authentifizierungsmechanismus, sondern durch äußere Gegebenheiten bedingt und werden daher als externe Faktoren definiert.

Bisher gibt es nur wenige Arbeiten, welche den Einfluss dieser externen Faktoren auf die Standardauthentifizierung untersuchen. Alle bekannten Arbeiten beziehen sich bei ihrer Analyse auf die Bedürfnisse spezieller Bevölkerungsgruppen. Dabei stehen vor allem ältere oder körperlich benachteiligte Menschen im Vordergrund. Hatta und Liyama [23] untersuchten 1991 Interaktionsprobleme älterer Menschen an Geldautomaten und fanden heraus, dass vor allem der sequentielle Ablauf der Transaktion oft nicht nachvollzogen werden konnte. Auch taten sich ältere Personen schwer damit, die textuellen Anweisungen des Systems zu verstehen und umzusetzen. Rogers et al. [45] sprachen sich nach strukturierten Interviews mit älteren Menschen für eine verbesserte Beleuchtung und eine entspiegelte Scheibe aus und definierten hierdurch weitere externe Faktoren.

---

<sup>1</sup>Der erste deutsche Bankautomat mit Onlinezugang wurde 1977 von der Stadtparkasse München in Betrieb genommen [52]. 31 Jahre später gab es in Deutschland bereits 55.500 Geldautomaten [24].

<sup>2</sup>Schultersurfen bezeichnet Vorgänge, in welchen durch Beobachtung fremde Informationen abgegriffen werden.

Manzke et al. [36] untersuchten 1998 die Benutzerfreundlichkeit von Bankautomaten für blinde Personen und machten fehlende Konsistenz zum Grundproblem vieler Automaten. Dieser Mangel äußere sich vor allem durch unterschiedliche Tastenanordnungen.

Der 1997 von John Gill veröffentlichte Leitfaden für Designer [48] öffentlicher Terminals fasst weitere externe Faktoren zusammen. Neben der Position und dem Standort müsse besonders bei der Umsetzung der Bildschirmanweisungen auf eine angemessene Größe und gute Verständlichkeit geachtet werden. Besonderen Handlungsbedarf sieht auch Gill bei der Konsistenz der verschiedenen numerischen Anordnungen und schreibt “[a] prime example of inconsistency is the lack of a single standard relating to the layout of numeric keypads” [48, S.6]. Inzwischen wurden einige nationale [2][16] und internationale [14][13] Richtlinien verabschiedet, welche die konsistente Umsetzung eines Layouts für alle öffentlichen Terminals vorschlagen. Da deren Umsetzung jedoch freiwillig ist, werden bereits aufgestellte Terminals meist nicht angepasst.

Das empfohlene Standardlayout [48] für die numerische Tastatur eines öffentlichen Terminals ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Es handelt sich um eine 3\*3-Matrix mit einer ausgelagerten Null. Die übrigen Ziffern sind in aufsteigender Reihenfolge von links nach rechts und von oben nach unten positioniert. Das Layout entspricht dem Standardlayout eines Tastentelefon [30] und wird daher im folgenden Telefonlayout genannt.

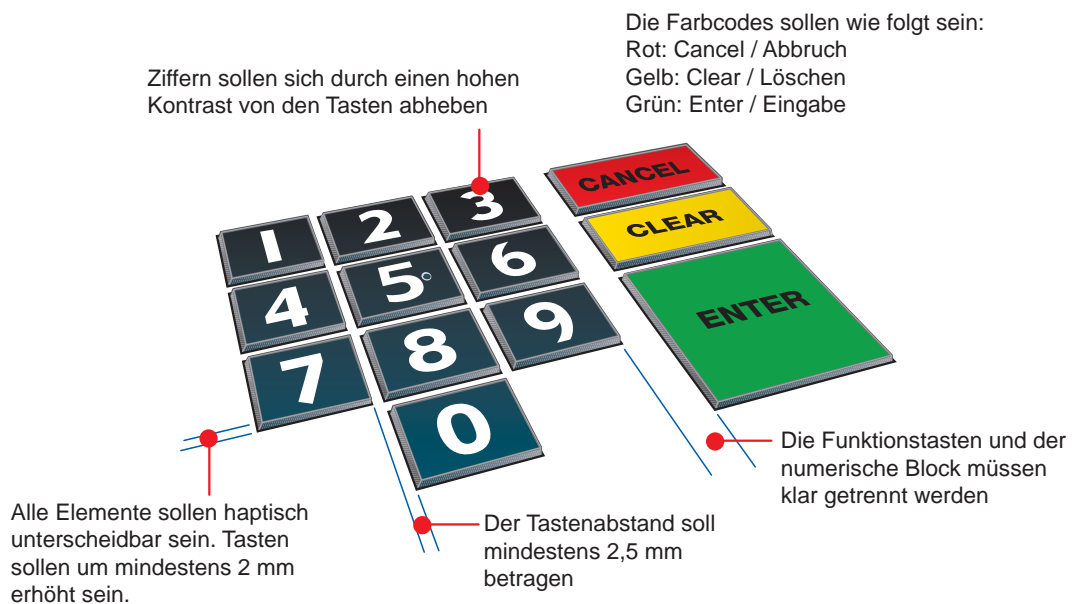


Abbildung 1.1: Standardlayout nach J. Gill [48, S.18]

Während die meisten numerischen Tastaturen deutscher Terminals inzwischen dem Telefonlayout entsprechen, trifft man vor allem außerhalb Europas auf alternative Anordnungen.

Hierzu zählt eine Anordnung, welche der Anordnung auf Taschenrechnern, Ziffernblöcken von Computertastaturen und Kassensystemen entspricht. Bei dieser Anordnung ist im Vergleich zum Telefonlayout die erste und letzte Zeile der 3\*3-Matrix vertauscht. Die Null kann bei diesem Layout sowohl unter der Eins als auch unter der Zwei positioniert werden. Die im Folgenden Taschenrechnerlayout genannte Anordnung ist Abbildung 1.2 zu entnehmen.

Eine weitere Anordnung, welche vor allem im asiatischen Raum vorzufinden ist, ordnet die Ziffern analog zum oberen Bereich einer Computertastatur linear an. Die Null kann bei diesem Layout sowohl an erster als auch an zehnter Position platziert sein. Ein Beispiel dieser, im Folgenden Zeilenlayout genannten, Tastaturanordnung wird in Abbildung 1.3 gegeben.

<sup>3</sup>Quelle: <http://tripmagazine.tripcentre.org/files/2007/07/tastiera-bancomat-cinese.jpg>



Abbildung 1.2: Taschenrechnerlayout<sup>3</sup>



Abbildung 1.3: Zeilenlayout<sup>4</sup>

Ein weiterer Typ öffentlicher Terminals verzichtet gänzlich auf physische Tastaturen und regelt alle Eingaben durch eine auf einem Touchscreen implementierte Bildschirmtastatur (Abbildung 1.4). Bei dieser Variante der Interaktion ist neben den bereits beschriebenen Layouts vor allem aus Sicherheitsgründen auch der Einsatz einer zufälligen Tastatur denkbar. Obwohl bisher kein System im laufenden Betrieb bekannt ist, werden zufällige Tastaturlayouts wegen ihrer möglichen Relevanz bei zukünftigen Systemen in die Analyse mit aufgenommen.



Abbildung 1.4: Geldautomat mit Touchscreen<sup>5</sup>

Die Grundannahme dieser Arbeit ist, dass Personen an ein bestimmtes Tastaturlayout gewöhnt sind. Durch die Inkonsistenz der Anwendung einer ungewohnten Tastaturanordnung ist daher mit einem negativen Einfluss auf die Performance der Authentifizierung und auf die Erinnerbarkeit der PIN zu rechnen. Dieser Einfluss ist nicht auf bestimmte Gesellschaftsgruppen beschränkt sondern ergibt sich aus den Mechanismen der menschlichen Reizverarbeitung. Um diesen vermuteten Einfluss erklären zu können, wird zunächst die visuelle und motorische Wahrnehmung des Menschen betrachtet.

Sowohl das motorische als auch das visuelle Gedächtnis ist analog zum gesamten menschlichen Gedächtnissystem in sensorische Register, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis aufzuteilen [42][1]. Die visuellen sensorischen Register können für sehr kurze Zeit (ca. 200-400ms) [21] sehr große Datenmengen speichern und diese parallel (präattentiv) verarbeiten. Erst durch Fokussierung werden Informationen an das visuelle Kurzzeitgedächtnis weitergeleitet, welches die aufgenommenen Reize für mehrere Sekunden speichern kann und sequentiell verarbeitet [42]. Auf Grund der sequentiellen Verarbeitung haben komplexere visuelle Muster längere Reaktionszeiten zur Folge [42]. Durch eine wiederholte Wahrnehmung und gezieltes Üben gehen Informationen vom visuellen Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis über [54]. Der Detailgrad der gespeicherten Daten verringert sich sowohl beim Übergang der sensorischen Register in das Kurzzeitgedächtnis als auch beim Übergang vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis. Die durch das sensorische Gedächtnis empfangenen Reize werden mit bereits im Langzeitgedächtnis vor-

<sup>4</sup>Quelle: <http://www.flickr.com/photos/chocogato/3850825632>

<sup>5</sup>Quelle: <http://www.flickr.com/photos/what20/2821475654>

handenen Informationen verknüpft. Bereits bekannte Muster können durch diesen Mechanismus schneller verarbeitet werden, da die sequentielle Erfassung weitestgehend ausbleibt. Auf Grund des verminderten Detailgrades der bereits vorhandenen Informationen kann es bei vermeintlich bekannten Reizen zum Phänomen der Veränderungsblindheit (Change Blindness) kommen [50]. Unterschiede im Bild werden dabei vom Gehirn nicht wahrgenommen.

Die Verarbeitung motorischer Reize entspricht weitestgehend den Vorgängen des visuellen Gedächtnisses [1]. Das motorische Langzeitgedächtnis ist jedoch besonders resistent gegenüber langen Zeitspannen. So beherrschen Personen, welche einen bestimmten Bewegungsablauf erlernt haben, diesen auch noch nach zwei Jahren [20] und können etwaige Qualitätsverluste der Ausführung bereits durch zwei Wiederholungen wieder ausgleichen. Eine weitere Eigenschaft des motorischen Gedächtnisses ist, dass Positionen besser gespeichert werden können als Distanzen [25].

Personen, welche an ein bestimmtes Tastaturlayout gewöhnt sind, haben dessen Anordnung im visuellen und motorischen Langzeitgedächtnis gespeichert. Das Layout muss daher nicht mehr sequentiell erfasst werden und führt zu kurzen Interaktionszeiten und zu einer geringen Fehlerrate. Auf Grund der sequentiellen visuellen Verarbeitung ungewohnter oder gar unbekannter Tastaturlayouts ist davon auszugehen, dass durch die Nutzung dieser Layouts die Performance negativ beeinflusst wird. Auch das Phänomen der Veränderungsblindheit kann bei numerischen Tastaturen auftreten und zur Eingabe einer falschen PIN führen.

Der vermutete Einfluss auf die Erinnerbarkeit der PIN wird dadurch begründet, dass viele Menschen sich die PIN anhand der visuellen und motorischen Eingabemuster des gewohnten Layouts einprägen. Da das veränderte Eingabemuster eines alternativen Tastaturlayouts die visuelle und motorische Herleitung der PIN nicht mehr zulässt, können ungewohnte Layouts einen negativen Einfluss auf die Erinnerbarkeit haben.

Diese Arbeit soll Aufschluss darüber geben, wie stark sich das Layout einer numerischen Tastatur tatsächlich auf die Performance und Erinnerbarkeit der PIN auswirkt und ob der konsistente Einsatz eines Layouts die Performance verbessern kann. Im nächsten Abschnitt wird das Ziel der Arbeit genau definiert.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss ungewohnter Tastaturlayouts auf die Performance und die Erinnerbarkeit der PIN zu überprüfen. Es wird angenommen, dass die Teilnehmer der Studie an das Telefonlayout gewöhnt sind. Daher wird dieses mit den Einflüssen des Taschenrechner-, Zeilen- und Zufallslayouts verglichen.

Anhand zweier Langzeitstudien sollen sowohl quantitative als auch qualitative Daten erhoben werden. Da die visuelle Wahrnehmung des Menschen darauf schließen lässt, dass sich das verwendete Layout bereits vor der tatsächlichen Eingabe der PIN auf die Authentifizierung auswirkt, soll diese Orientierungsphase, in welcher der Teilnehmer das Tastaturlayout visuell erfasst, differenziert betrachtet werden. Die Analyse der erfassten Daten soll Aufschluss darüber geben, wie wichtig der konsistente Einsatz eines Tastaturlayouts ist und ob die Anwendung verschiedener Layouts einen signifikanten externen Faktor der Authentifizierung darstellen.

Es werden zunächst relevante Arbeiten aus dem Bereich der Tastaturlayouts vorgestellt und dadurch gezeigt, dass es bisher keine Erkenntnisse über den Einfluss des Tastaturlayouts auf die Authentifizierung gibt. Nach einer detaillierten Beschreibung des Aufbaus und der Durchführung der Nutzerstudien werden die Ergebnisse der Arbeit beschrieben.

Die Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert, auf deren Inhalt im Folgenden kurz eingegangen wird:

**Kapitel 1** beschreibt die Motivation zur Durchführung der Arbeit und definiert deren Ziel.

**Kapitel 2** beschreibt den aktuellen Forschungsstand. Es wird auf relevante wissenschaftliche Arbeiten aus dem Bereich der numerischen Tastaturen und des visuellen und motorischen Gedächtnisses eingegangen. Des Weiteren wird ein Überblick über nationale und internationale Richtlinien für die Anordnung numerischer Tastaturen an öffentlichen Terminals gegeben.

**Kapitel 3** beschreibt den strukturellen und technischen Aufbau der Hauptstudie. Es stellt das Design, die Hypothesen, die Prozedur sowie die verwendete Technik vor.

**Kapitel 4** beschreibt den strukturellen und technischen Aufbau der Nachstudie. Es wird auf die Unterschiede im Vergleich zur Hauptstudie eingegangen.

**Kapitel 5** beschreibt die Ergebnisse beider Benutzerstudien. Es wird auf den Lernprozess, den Zeitaufwand, die Fehlerrate sowie den Einfluss auf die Erinnerbarkeit eingegangen. Das Kapitel schließt mit den Ergebnissen der Teilnehmerbefragung ab.

**Kapitel 6** fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen. Der letzte Abschnitt gibt einen Ausblick sowie Empfehlungen für zukünftige Arbeiten.



### 2 Relevante Arbeiten

Dieses Kapitel ordnet die vorliegende Arbeit in den Gesamtkontext wissenschaftlicher Untersuchungen ein. Es werden relevante Arbeiten aus dem Bereich der numerischen Tastaturlayouts sowie nationale und internationale Richtlinien vorgestellt.

#### 2.1 Tastaturlayouts

Bisher gibt es nur eine geringe Anzahl an Arbeiten, welche den Einfluss numerischer Tastaturlayouts auf die Performance und Erinnerbarkeit untersuchen. In allen bekannten Arbeiten dient das Telefonlayout als Referenz gegen welches alternative Anordnungen evaluiert werden.

Auf Grund dieser wissenschaftlichen Sonderstellung wird zunächst auf die Entwicklung des Telefonlayouts eingegangen, bevor weitere vergleichende Performance- und Erinnerbarkeitsanalysen vorgestellt werden.

##### 2.1.1 Entwicklung des Telefonlayouts

Die erste wissenschaftliche Arbeit, welche sich mit numerischen Anordnungen befasst, stammt aus dem Jahr 1955. Die Firma Bell Telephone Laboratories entwickelte zu jener Zeit das Tastentelefon, welches das Drehscheibentelefon ablösen sollte. Lutz und Chapanis [35] wurden damit beauftragt, das bevorzugte Tastaturlayout eines solchen Telefons herauszufinden. Es wurde eine Präferenzanalyse durchgeführt, in welcher Testpersonen verschiedene unbeschriftete Layouts ihrem ästhetischen Empfinden nach mit Ziffern versehen sollten.

Den 300 Teilnehmern wurde jeweils ein 2\*5, ein 5\*2 sowie vier 3\*3+1 Layouts vorgelegt. Die 3\*3+1 Vorlagen unterschieden sich durch die Position des ausgelagerten Feldes, welches jeweils mittig an einer der vier Seiten platziert war.

Lutz und Chapanis konnten zeigen, dass die meisten Testpersonen die Ziffern 1-9 entsprechend ihrer Leserichtung in aufsteigender Reihenfolge von links nach rechts und von oben nach unten anordneten. Das 3\*3+1 Format wurde signifikant öfter gewählt als beide andere Formate. Insgesamt entschieden sich 55% der Teilnehmer für das heutige Telefonlayout, lediglich 14% hielten die Anordnung eines Taschenrechners für ein natürliches Design. Die Null wurde in beiden Fällen nach unten ausgelagert.

Fünf Jahre später knüpfte Deininger [10] ebenfalls im Auftrag der Bell Telephone Laboratories an die Präferenzanalyse von Lutz und Chapanis an, indem er eine Performanceanalyse unterschiedlicher Tastaturlayouts durchführte.

Durch eine Vorstudie wurden aus 16 Tastaturlayouts die vier besten Anordnungen ermittelt. Dabei handelte es sich um das heutige Telefonlayout, ein 5\*2, ein 2\*5 und ein um 90 Grad gedrehtes Drehscheibenlayout. Die vier Layouts wurden zusammen mit dem Drehscheibenlayout anhand eines universellen Tastentelephons mit umsteckbaren Tasten verglichen. Abbildung 2.1 zeigt die Originalzeichnungen der getesteten Layouts. Deininger konnte weder auf die Geschwindigkeit, noch auf die Fehlerrate signifikante Einflüsse nachweisen. Daraus schloss er, dass jedes der Layouts für ein Tastentelefon geeignet sei. Da sich in einer weiteren Studie herausstellte, dass sich der Tastenabstand einer 3\*3+1 Anordnung am effektivsten verringern ließ, ohne negative Auswirkungen auf die Performance zur Folge zu haben und auf Grund der Ergebnisse von Lutz und Chapanis [35] entschied sich Bell Telephone Laboratories für den Einsatz des 3\*3+1 Layouts.

Das von Bell Telephone Laboratories entwickelte Telefonlayout ist inzwischen der Standard für Tastentelefone [30]. Im nächsten Abschnitt werden Arbeiten vorgestellt, welche alternative Anordnungen mit diesem Layout vergleichen.

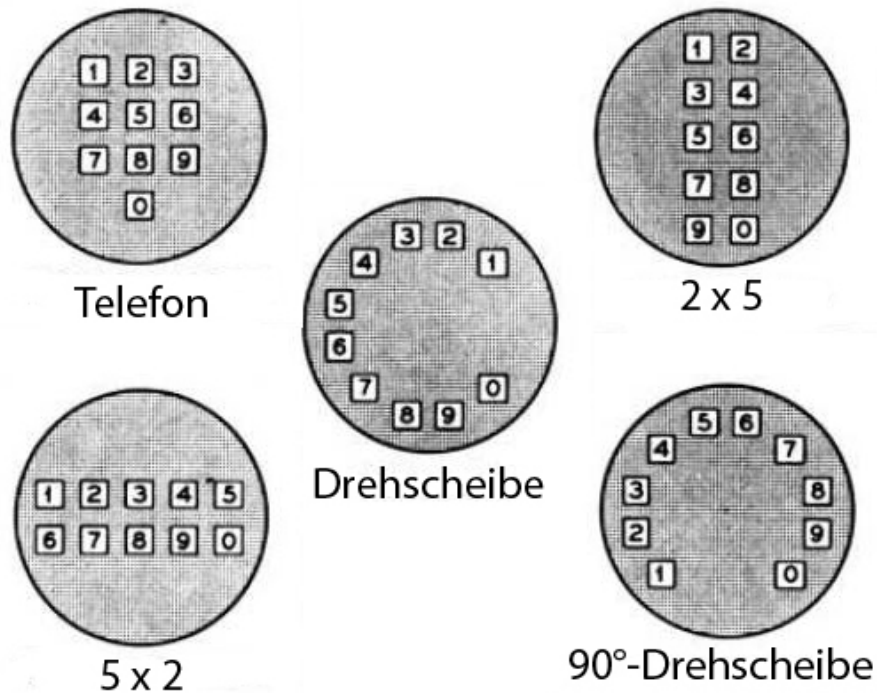


Abbildung 2.1: Die fünf von Deininger untersuchten Tastaturlayouts. [10, S.1000]

### 2.1.2 Präferenz und Performance

Auf der Suche nach alternativen Anordnungen wurden das Taschenrechner-, Zeilen- und Zufallslayout mit dem Telefonlayout verglichen. Dieser Abschnitt stellt die wichtigsten Studien vor.

#### Taschenrechnerlayout

Conrad und Hull [8] führten 1968 den ersten Direktvergleich zwischen dem Taschenrechner- und dem Telefonlayout durch. Eine mit 90 Hausfrauen über vier Tage verteilte Studie sollte zeigen, welches der beiden Layouts für die Dateneingabe besser geeignet sei.

Die Testpersonen hatten bisher mit keinem der beiden Layouts Erfahrungen gesammelt. Jede Teilnehmerin musste pro Testtag jeweils 30 Minuten eine Liste mit achtstelligen Ziffernfolgen in ein Kassensystem übertragen. Dabei wurde jede Ziffernkombination nur einmal abgefragt. Für den Vergleich der Layouts wurden drei gleichstarke Gruppen gebildet. Dabei nutzte jeweils eine Gruppe ausschließlich eines der beiden Layouts. Die dritte Gruppe wechselte alle zehn Eingaben zwischen den Anordnungen ab.

Die Geschwindigkeitsanalyse zeigte keine signifikanten Effekte der Tastaturanordnung. Jedoch waren die Eingaben der alternierenden Gruppe signifikant langsamer als die Eingaben der Testpersonen, welche ausschließlich ein Layout genutzt hatten. Auch der Lernerfolg der alternierenden Gruppe fiel deutlich schwächer aus.

Die Analyse der Fehler- und Korrekturrate zeigte, dass die Nutzer des Telefonlayouts signifikant weniger Fehler machten und gemachte Fehler signifikant häufiger erkannten als Teilnehmer der anderen beiden Gruppen.

Die Autoren schlossen aus den Beobachtungen, dass das Telefonlayout die effizientere numerische Anordnung sei, da es gegenüber dem Taschenrechnerlayout zwar nur geringe Geschwindigkeits-

vorteile, jedoch eine signifikant geringere Fehlerrate zeige. Diesen Effekt führten Conrad und Hull darauf zurück, dass das Telefonlayout den menschlichen Erwartungen der Anordnung von Zahlen auf einer Tastatur besser entspreche<sup>6</sup>. Auf Grund der schlechten Performance der alternierenden Gruppe empfahlen Conrad und Hull den konsistenten Einsatz eines einzigen Layouts. Hierbei müsse auf Grund der vorliegenden Ergebnisse das Telefonlayout angestrebt werden.

Straub und Granaas führten 1993 einen aufgabenspezifischen Vergleich zwischen dem Taschenrechner- und dem Telefonlayout durch. Ziel war es, herauszufinden, ob die Wahl des bevorzugten Layouts von der gestellten Aufgabe abhängt.

100 Testpersonen sollten sich bei acht verschiedenen Szenarien für jeweils eines der Layouts entscheiden. Jeweils zwei der acht Aufgaben waren stark an das Telefonlayout (z.B. Eingabe einer Telefonnummer) beziehungsweise stark an das Taschenrechnerlayout (z.B. mathematische Berechnung) gebunden. Die übrigen vier Aufgaben wurden als unabhängig eingestuft (z.B. Einzeleingaben).

Es konnten signifikante aufgabenspezifische Effekte nachgewiesen werden: So wählten beispielsweise 82% der Nutzer das Telefonlayout, um eine Telefonnummer einzugeben, jedoch nur 50%, um eine mathematische Berechnung durchzuführen [34].

Da die Autoren davon ausgingen, dass die Präferenz auch einen Einfluss auf die Performance habe, forderten sie, dass die Auswahl der numerischen Anordnung von der jeweiligen Aufgabe abhängig gemacht werde.

Marteniuk et al. [37] führten 1996 in Bezug auf Straub und Granaas [55] eine aufgabenspezifische Performanceanalyse der beiden Layouts durch. In ihrer Studie änderten sie zusätzlich die Position der Null, welche sowohl über als auch unter dem Ziffernblock platziert wurde.

Als Eingabedaten dienten Ziffernkombinationen der Länge vier und sieben. Einige der siebenstelligen Zahlenkombinationen waren dem Standardformat amerikanischer Telefonnummern entsprechend durch Bindestriche getrennt. Die Teilnehmer sollten pro Datentyp (vierstellig, siebenstellig, Telefonnummer) jeweils 10 Trainings- und 20 Testeingaben tätigen.

Die Autoren konnten keine signifikanten Interaktionseffekte zwischen der Tastaturanordnung und der gestellten Aufgabe nachweisen. Sie fanden jedoch heraus, dass der Zeitaufwand maßgeblich durch die Positionierung der Null beeinflusst wurde. Die Positionierung der Null unter dem Zahlenfeld führte verglichen mit einer oberen Positionierung zu signifikanten Geschwindigkeitsvorteilen. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass es keine aufgabenspezifischen Unterschiede zwischen den Layouts gebe und beide Layouts unter der Prämisse, dass die Null unter den übrigen Tasten positioniert werde, gleichermaßen geeignet seien.

### **Zeilenlayout**

Die einzige bekannte Performanceanalyse zwischen einem Zeilen- und einem Telefonlayout wurde 1985 durchgeführt. Goodman et al. [22] evaluierten zwei minimale Tastaturlayouts für ein Telidonsystem<sup>7</sup>. Abbildung 2.2 zeigt die beiden Eingabegeräte, welche neben den Zifferntasten zusätzliche Steuertasten bereitstellten.

Die Studie war in drei Experimente unterteilt. In einem ersten Durchgang wurden aufgabenspezifische Interaktionen mit dem Telidonsystem getestet. Nach dem Testlauf sollte jeder Teilnehmer die Layouts auf einer Skala von 0 bis 10 bewerten.

68% der Teilnehmer bevorzugten dabei das Telefonlayout. Auf der Zufriedenheitsskala von 0 bis 10 wurde dieses mit 7, das Zeilenlayout mit 6 bewertet. Es zeigte sich, dass vor allem Nutzer, welche bereits Erfahrungen mit Taschenrechnern, öffentlichen Terminals und Computern gemacht hatten, das Telefonlayout präferierten. Eine durchgeführte Performanceanalyse zeigte weder für

<sup>6</sup>Begründet mit den Ergebnissen von Lutz et al. [35].

<sup>7</sup>Telidon war ein kanadischer Videotex / Teletext Service.

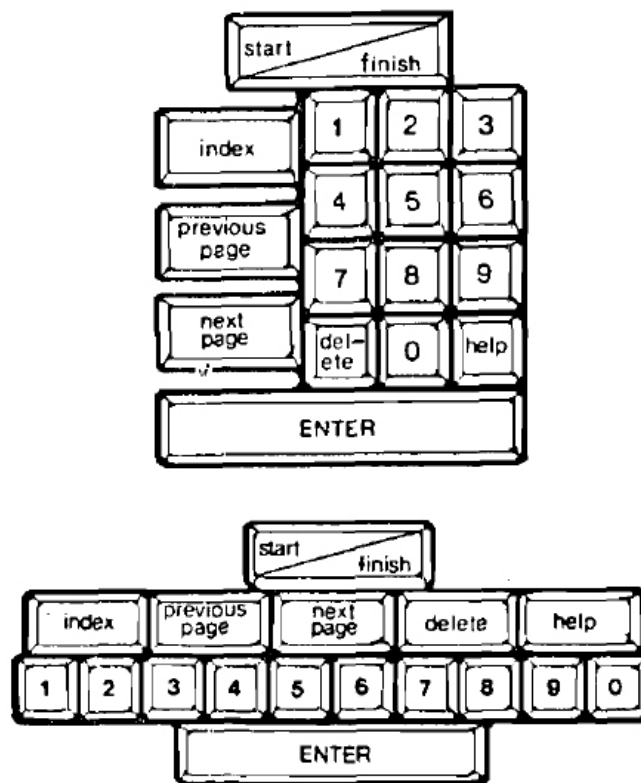


Abbildung 2.2: Telefonlayout (oben) und Zeilenlayout (unten), Goodman [22, S.192]

den Zeitaufwand noch für die Fehlerrate signifikante Unterschiede.

Da vermutet wurde, dass die Performance von der Datenstruktur des Teldionsystems beeinflusst wurde und deswegen keine signifikanten Unterschiede gefunden werden konnten, bestand das zweite Experiment aus einer unspezifischen Aufgabe. Diese bestand darin, von einer vorher festgelegten Startposition schnellstmöglich eine bestimmte Taste zu drücken. Nach dem Durchlauf wurde das Telefonlayout nur noch von 47% der Teilnehmer präferiert. Eine Performanceanalyse ergab jedoch auch in diesem Experiment keine signifikanten Unterschiede.

Im letzten Experiment sollten die Vorlieben der Nutzer ohne vorherige Interaktion geprüft werden. Dazu wurden beide Layouts nebeneinander platziert. Testpersonen sollten nun ein Gerät auswählen, um mit dem Teletext zu interagieren. 53% der Teilnehmer entschieden sich für das Zeilenlayout, 47% für das Telefonlayout.

Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass vor allem eine längere Interaktionszeit die Präferenz stärker zu einem Telefonlayout verschiebe und sprachen sich daher ebenfalls für eine aufgabenspezifische Auswahl des Layouts aus.

### Zufallslayout

Ryu et al. [49] führten 2010 die erste allgemeine Analyse der Benutzerfreundlichkeit randomisierter Tastaturen durch. In dem Versuch gaben 50 Personen jeweils 20 PINs auf einem Telefon- und 40 PINs auf einem Zufallslayout ein. 25 Testpersonen gaben vierstellige PINs, die restlichen 25 Teilnehmer achtstellige PINs ein.

Die Tastaturen wurden auf einem Touchscreen dargestellt und die PINs zufällig generiert. Abbildung 2.3 zeigt die im Versuch verwendeten Eingabemasken.

Die Analyse des Zeitaufwandes ergab, dass Eingaben auf dem randomisierten Tastaturlayout für PINs beider Längen signifikant mehr Zeit in Anspruch nahmen. Ein Vergleich der ersten 20 rando-

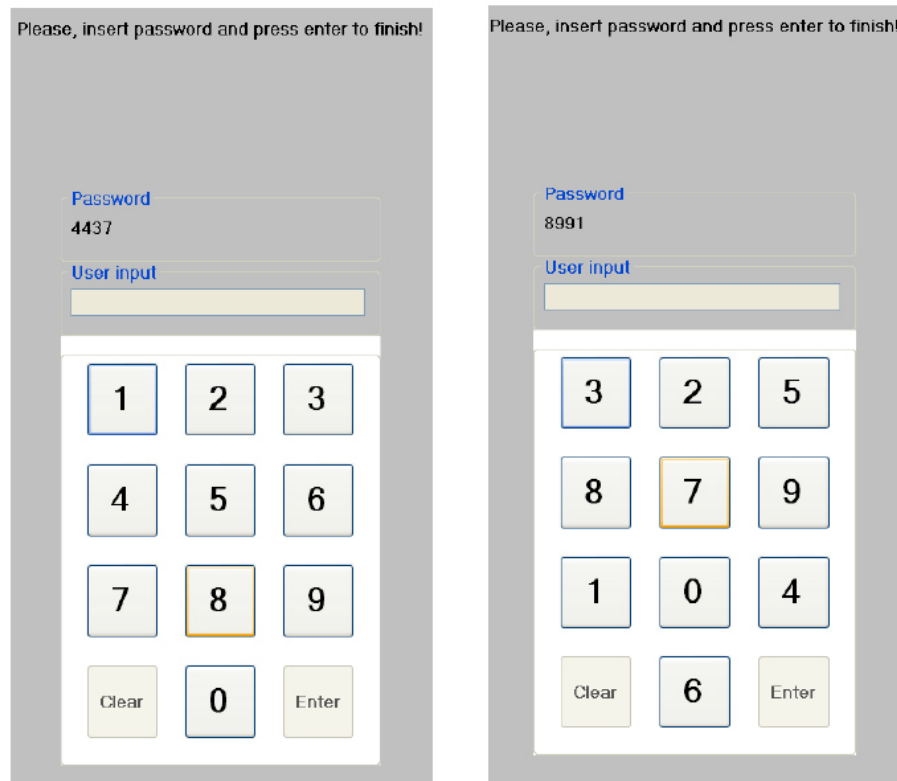


Abbildung 2.3: Telefonlayout (links), Zufallslayout (rechts), Ryu [49, S.67]

misierten Durchläufe mit den letzten 20 Eingaben sollte den Lerneffekt überprüfen. Dieser konnte weder für acht- noch für vierstellige PIN-Eingaben festgestellt werden.

Die Fehleranalyse der vierstelligen Eingaben ergab keine signifikanten Effekte, jedoch konnte gezeigt werden, dass das Telefonlayout geringfügig mehr Fehler verursachte als das Zufallslayout. Bei der Analyse der achtstelligen Eingaben konnte eine signifikant höhere Fehlerrate für das Zufallslayout nachgewiesen werden. Die Autoren überprüften zusätzlich Interaktionseffekte. Eine Analyse der PIN-Länge und des Tastaturtyps ergab, dass der Zeitaufwand für die Eingabe auf dem Zufallslayout mit steigender PIN-Länge schneller anwächst als auf dem Telefonlayout.

Auf Grund des erhöhten Zeitaufwands und der höheren Fehlerrate bei der Verwendung längerer PINs, empfahlen die Autoren den Gebrauch randomisierter Tastaturen nur für möglichst kurze Ziffernkombinationen.

### 2.1.3 Erinnerungbarkeit

Es sind nur zwei Arbeiten aus dem Bereich der Gedächtnisforschung bekannt, welche auf numerische Tastaturen eingehen. Dieser Abschnitt stellt die durchgeführten Arbeiten vor.

#### Visuelles Gedächtnis

Rinck [43] untersuchte 1999 anhand numerischer Keypads, wie detailliert Menschen das Layout einer Telefontastatur und eines Taschenrechners aus ihrer Erinnerung abrufen können. Ziel war es, herauszufinden, welches der beiden Layouts stärker im Gedächtnis verankert ist.

In einem ersten Experiment wurde 186 Personen eine leere 4\*3 Matrix vorgelegt. Eine Hälfte der Teilnehmer sollte das Telefon-, die andere Hälfte das Taschenrechnerlayout einzeichnen. Zusätzlich sollten die Teilnehmer angeben, wann sie zuletzt ein Gerät mit dem jeweiligen Layout genutzt hatten.

Die freie Wiedergabe der Layouts fiel den Testpersonen schwer. Nur 38% aller Versuche waren erfolgreich. 49% der erfolgreichen Versuche fielen auf das Telefon-, 27% auf das Taschenrechnerlayout. Zudem wurde festgestellt, dass Testpersonen der Taschenrechnergruppe signifikant öfter das Telefonlayout aufzeichneten als es andersherum der Fall war.

Die Teilnehmerbefragung ergab, dass 28% der Telefongruppe das Layout motorisch hergeleitet hatten. Sie hatten bekannte Telefonnummern virtuell auf dem Papier eingegeben. Für das Taschenrechnerlayout gaben nur 14% der Nutzer an, eine motorisch motivierte Strategie verfolgt zu haben. Jedoch gaben 51% der Taschenrechnergruppe an, sich das Layout bildlich vorgestellt zu haben. Diese visuelle Strategie verfolgten nur 30% der Telefongruppe.

Die Analyse der letzten Nutzung sowie der Nutzungshäufigkeit brachte keine Erklärung für das bessere Abschneiden des Telefonlayouts. In einem zweiten Versuch sollte daher überprüft werden, ob das visuelle Schema des Telefonlayouts dem menschlichen Empfinden besser entspreche und daher leichter wiederzugeben sei.

Hierzu wurden, ähnlich dem Experiment von Lutz und Chapanis [35], 243 Personen gebeten, das ihrer Meinung nach optimale numerische Layout in eine leere 4\*3 Matrix einzutragen. 29% der Teilnehmer zeichneten das Telefonlayout, 10% der Teilnehmer entschieden sich für das Taschenrechnerlayout. Somit entschieden sich 61% für ein anderes Layout. Die neun meist erstellten Designs sind Abbildung 2.4 zu entnehmen. Da das Telefonlayout am häufigsten gezeichnet wurde, schloss Rinck, dass es dem internen visuellen Schema der menschlichen Wahrnehmung am besten entspreche. Die relativ hohe Erfolgsquote der freien Wiedergabe führte er daher auf eine Kombination aus erinnernder und schematischer Konstruktion zurück.

In einem weiteren Experiment sollten 120 Teilnehmer aus 12 verschiedenen Layouts das Telefon- und das Taschenrechnerlayout wählen. 52% der Teilnehmer wählten das richtige Telefonlayout. 37% der Teilnehmer fanden das richtige Taschenrechnerlayout heraus. Die Erfolgsquote bei einer unterstützten Wiedergabe war somit nur geringfügig besser als die Erfolgsquote der freien Wiedergabe.

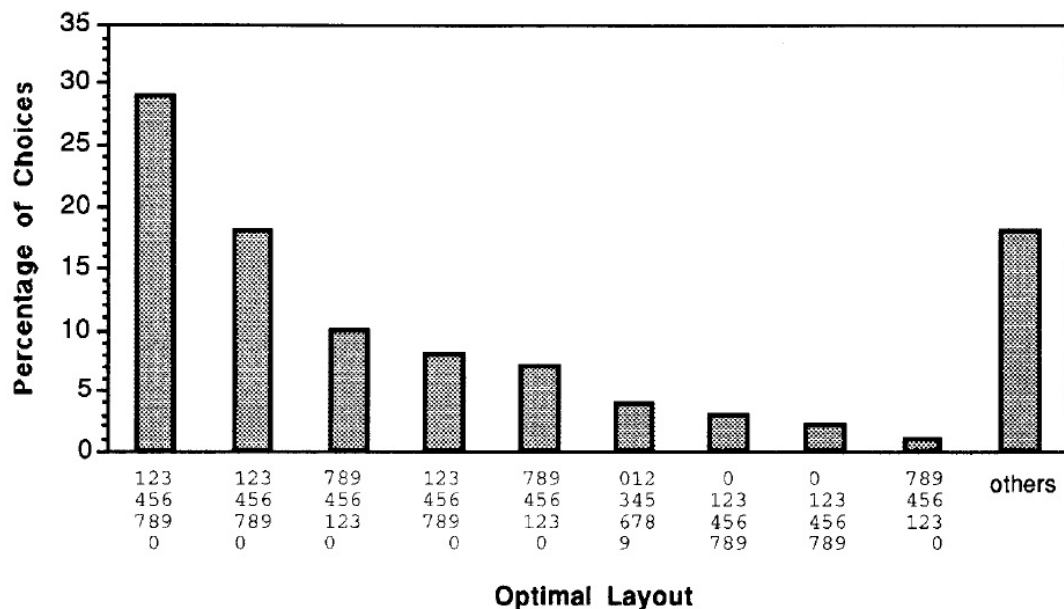


Abbildung 2.4: Nutzerpräferenzen für numerische 4\*3 Layouts, Rinck [43, S.339]

### Motorisches Gedächtnis

Die einzige bekannte Arbeit, welche den Einfluss des Tastaturlayouts auf das motorische Gedächtnis untersucht, stammt aus dem Jahr 1966. Damals verglich Conrad [7] das Telefonlayout mit einer Anordnung, welche sich möglichst stark von internen Schemata numerischer Anordnungen unterscheiden sollte. Der Aufbau der beiden Tastaturen (Telefonlayout links, Testlayout rechts) war wie folgt [7, S. 354]:

1	2	3		5	2	4
4	5	6		9	0	7
7	8	9		3	6	1
	0				8	

Zur Analyse des Einflusses der Layouts auf das Kurzzeitgedächtnis wurde den Teilnehmern jeweils drei Sekunden lang eine achtstellige Ziffernkombination präsentiert, welche darauf hin unter Gebrauch des jeweiligen Layouts wiedergegeben werden sollte. Die beiden Layouts wurden an zwei verschiedenen Tagen getestet.

95% der Teilnehmer machten unter Benutzung des Telefonlayouts schnellere Eingaben. Die Zeitmessung ergab einen Durchschnittswert von 6,25 Sekunden für das Telefonlayout und 7,14 Sekunden für das Testlayout. Die Nutzung des Telefonlayouts führte ebenfalls zu weniger Fehlern. Ein beobachteter Fehler muss jedoch nicht durch Erinnerungsprobleme entstehen, sondern kann auch durch das versehentliche Betätigen der falschen Taste begründet sein. Um die Fehlerquelle analysieren zu können, erstellte Conrad Fehlermatrizen. Die horizontale Achse dieser Matrizen gibt den erwarteten Wert an. Der eingegebene Wert wird durch die vertikale Achse beschrieben. Die Fehlermatrix für das alternative Testlayout ist in Tabelle 2.1 dargestellt. Die Analyse der Rangkorrelation der Werte der einzelnen Zellen sowie der Position der jeweiligen Werte auf den Tastaturen zeigte, dass die Fehler signifikant mit der jeweiligen Ziffer korrelierten. Eine Korrelation der Tastenpositionen bestand nicht. Conrad schloss daraus, dass die gemachten Fehler hauptsächlich auf Erinnerungsprobleme zurückzuführen seien, da die Falscheingaben des Alternativlayouts sonst stärker mit den jeweiligen Positionen auf dem Telefonlayout korrelieren hätten müssen.

Conrad leitete aus den Ergebnissen ab, dass die Nutzung eines Layouts, welches der menschlichen Empfindung widerspricht, mehr Zeit für das Auffinden der richtigen Tasten in Anspruch nehme und die Wiedergabe der im Kurzzeitgedächtnis gespeicherten Informationen negativ beeinflusse.

Tabelle 2.1: Fehlermatrix des Testlayouts (Nutzereingabe / Erwartete Eingabe), [7, S. 355]

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
<b>1</b>		7	8	6	12	1	5	7	9	10
<b>2</b>	7		10	13	11	9	6	9	2	6
<b>3</b>	9	19		13	14	5	3	5	7	10
<b>4</b>	6	7	11		20	4	10	3	5	13
<b>5</b>	13	4	9	14		5	11	12	10	5
<b>6</b>	4	9	9	12	8		4	6	5	5
<b>7</b>	12	10	4	6	15	5		14	10	5
<b>8</b>	8	12	9	3	7	5	8		3	18
<b>9</b>	6	6	7	7	12	8	8	14		6
<b>0</b>	22	16	11	15	17	8	10	12	12	

## 2.2 Richtlinien

Dieser Abschnitt stellt nationale und internationale Richtlinien für das Tastaturlayout öffentlicher Terminals und Geldautomaten vor.

### 2.2.1 National

Einige Länder haben nationale Richtlinien verabschiedet, um vor allem behinderten Menschen den Zugang zu öffentlichen Terminals zu erleichtern. Eine Vorreiterrolle nahm Australien ein, welches bereits 1990 einen Standard verabschiedete. Als weitere Beispiele werden die USA und Deutschland vorgestellt.

#### Australien

Der erste Versuch, das Design von Geldautomaten zu standardisieren, wurde 1990 in Australien unternommen. Die Australian Bankers Association (ABA) verabschiedete das Dokument "Automatic Teller Machines - User Access. AS3769-1990" [53]. Der Standard wurde entwickelt, um den Zugang zu Geldautomaten für behinderte und ältere Menschen zu erleichtern. Im Jahr 2002 [2] wurde das Dokument überarbeitet und eine Passage mit konkreten Empfehlungen zum Aufbau des Keypads eingefügt. Diese Empfehlungen lauten [2, S. 21]:

The keypad shall...

- be telephone-style with the number 1 at the top left and the number 5 in the centre;
- have the number 5 marked with a raised dot;
- have the number 0 located beneath the number 8;
- have numeric keys separated by at least 3.2 mm;
- have function keys to the right of the numeric keys and separated from numeric keys by at least three times the distance between numeric keys;
- have a surface that minimises glare.

Every key press shall be acknowledged visually, audibly, and by tactile registration.

Australien beruft sich in seinem Standard direkt auf die Empfehlungen John Gills [48], dessen Leitfaden für das Design öffentlicher Terminals bereits in der Einleitung (Abschnitt 1.1) angesprochen wurde. Der Überblick über weitere Richtlinien wird zeigen, dass die meisten Empfehlungen sehr konsistent sind.

#### Vereinigte Staaten von Amerika

Auch in den Vereinigten Staaten von Amerika ist der Aufbau öffentlicher Terminals durch einen Standard geregelt. Die Zuständigkeit obliegt dem US Architectural & Transportation Barriers Compliance Board. Dieses veröffentlichte 1991 die "Americans with Disabilities Act Accessibility Guidelines (ADAAG) for Buildings and Facilities". Das Dokument beschreibt den Aufbau der Kontrolleinheit von Geldautomaten sehr generell [59, S. 58]:

Controls and operating mechanisms shall be operable with one hand and shall not require tight grasping, pinching, or twisting of the wrist. The force required to activate controls shall be no greater than 5 lbf (22.2 N).



Obwohl bereits 1999 das ADAAG Review Advisory Committee die Empfehlung ausgab, konkrete Richtlinien bezüglich der Anordnung einer numerischen Tastatur in den Standard aufzunehmen [58] und dabei das Telefonlayout vorschlug, wurde der Standard bis heute nicht konkretisiert.

### Deutschland

In Deutschland wurde der Aufbau der numerischen Tastatur an Bankautomaten im Jahr 2007 [16] durch den Zentralen Kreditausschuss (ZKA) geregelt. In der "Vereinbarung über das Deutsche Geldautomaten-System" heißt es (zitiert in [16, S. 5]):

(..) Zur PIN-Eingabe ist gemäß [EBS 100] eine Zehnertastatur mit internationaler Anordnung der Tasten (analog Telefontastatur in vier Zeilen mit je drei Tasten: erste (oberste) Zeile "1", "2" und "3", zweite Zeile "4", "5" und "6", dritte Zeile "7", "8" und "9", vierte Zeile "\*" -Taste, "0" und "#"-Taste) vorzusehen. Die Zifferntasten "2" bis "9" sind zusätzlich gemäß [EBS 100] mit Buchstaben zu beschriften(..). Die Zifferntaste "5" ist durch einen erhabenen Punkt zu kennzeichnen. Minus-Zeichen und Plus-Zeichen für Lautstärke- oder Betragswahl sind auf die "\*" -Taste ( "-" ) und auf die "#"-Taste ( "+" ) als Beschriftung und als erhabenes Zeichen aufzubringen. Die Eingabe einer persönlichen Geheimzahl (PIN) ist so zu gestalten, dass PINs bis zu einer Länge von 12 Stellen eingegeben werden können und die Eingabe mit der Bestätigungstaste abgeschlossen wird.

Weitere nationale Standards wurden inzwischen von Großbritannien [17], Kanada [5] und der Republik Korea [56] veröffentlicht. Da jedoch auch die großen internationalen Standardisierungsorganisationen und die Industrie inzwischen Richtlinien veröffentlicht haben, verlieren die nationalen Empfehlungen zunehmend an Relevanz. So hat Deutschland streng genommen keinen eigenen Standard, sondern beruft sich wie oben beschrieben, auf den 2004 veröffentlichten europäischen Standard EBS 100 [14]. Dieser und weitere internationale Richtlinien werden im nächsten Abschnitt erläutert.

#### 2.2.2 International

Die internationalen Richtlinien sind sehr konsistent. In diesem Abschnitt werden zunächst die internationalen Telefonstandards ITU-T E.161 [30] und ISO/IEC 9995 [26] beschrieben. Diese sind relevant, da sie von den internationalen Standards für öffentliche Terminals referenziert werden. Als Beispiele internationaler Richtlinien werden der europäische EBS 100-Standard [14] und die Industrierichtlinie EMV2000 [13] vorgestellt.

#### ITU-T E.161, ISO/IEC 9995-4/8

Die Internationale Fernmeldeunion (ITU), welche eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen ist und sich ausschließlich mit technischen Aspekten der Telekommunikation beschäftigt, ist Mitglied der World Standards Cooperation (WSC). Der WSC gehören neben der ITU die Internationale Organisation für Normung (ISO) und die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) an [29]. Die Durchsetzung der von der World Standards Cooperation (WSC) veröffentlichten Standards ist für die über 160 [28] Mitgliedstaaten freiwillig. Auf Grund der hohen Mitgliederanzahl finden die Empfehlungen jedoch allgemein eine sehr hohe Akzeptanz.

In der Empfehlung ITU-T E.161 [30], welche 2001 von der ITU veröffentlicht wurde, wird das Standardlayout für Tastentelefone beschrieben. Die Empfehlung steht im Konsens zum ISO/IEC 9995 Standard, welcher 2002 von der ISO in Zusammenarbeit mit der IEC veröffentlicht wurde [26].

<sup>8</sup>Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Telephone-keypad.svg>

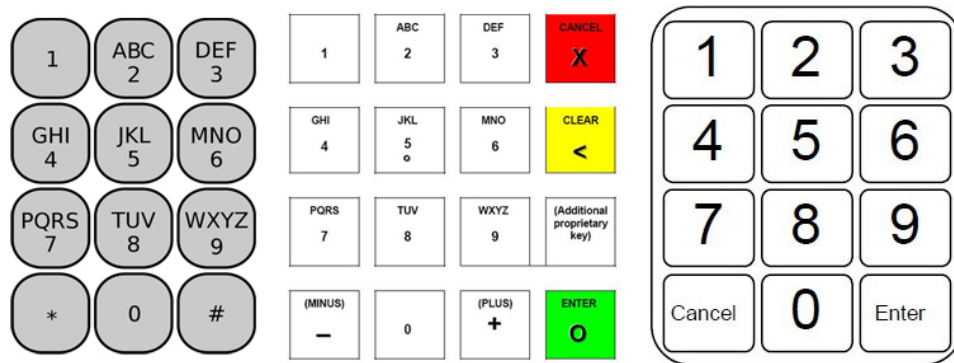


Abbildung 2.5: ITU-T E.161<sup>8</sup>, EBS 100 [14], EMV2000 [13, S.20] (v.l.n.r.)

Das Layout einer Telefontastatur ist gemäß ITU-T E.161 und ISO/IEC 9995-4/8 wie folgt aufzubauen [26][30]:

- Die Zifferntasten sind mit 1,2,3 in der ersten Zeile aufsteigend anzuordnen. Die Null wird unter der Acht mittig platziert.
- Die Zuordnung von Buchstaben auf die Zifferntasten ist festgelegt. Die genaue Zuordnung ist Abbildung 2.5 zu entnehmen.
- Die Sterntaste ist links der Null, die Rautetaste rechts der Null zu platzieren. Das Vorhandensein beider Tasten ist optional.
- Die Fünf ist mit einer fühlbaren Markierung zu versehen.

### EBS 100

Das European Committee for Banking Standards (ECBS) entstand 1992 durch den Zusammenschluss der Banking Federation of the European Union (EBF), der European Savings Banks Group (ESBG) und der European Association of Co-operative Banks (EACB). Bis 2006 wurden Standards für den europäischen Bankenmarkt erstellt. 2006 ging das ECBS in der European Payments Council (EPC) auf [15]. Der wichtigste Standard hinsichtlich der Anordnung einer numerischen Tastatur ist der EBS 100 Standard aus dem Jahr 2004. Laut der EBS 100 Richtlinie sind die Zifferntasten gemäß dem Standardlayout eines Tastentelefon (ISO/IEC 9995-4/8) [26] anzuordnen.

Die Funktionstasten können laut EBS 100 Richtlinie sowohl rechts neben dem numerischen Block als auch darunter platziert werden. Diese sind zusätzlich mit den haptisch ertastbaren Symbolen “x”, “<” und “o” sowie mit den Farben Rot, Gelb und Grün zu versehen. Das Standardlayout gemäß EBS 100 ist Abbildung 2.5 zu entnehmen.

### EMV 2000

Eine weitere wichtige Richtlinie ist der EMV2000 Standard [13], welcher in der Version 4.0 im Jahr 2000 von Europay International (heute MasterCard Europe), MasterCard und VISA veröffentlicht wurde. Die drei Firmen stellen die größten Zahlungskarten-Organisationen dar, weshalb dem Industriestandard eine hohe Relevanz zukommt. Der EMV2000 geht konkret auf den Aufbau numerischer Tastaturen ein [13, S.20]:

If the terminal supports PIN entry, a separate key pad may be present for PIN entry or the same key pad may be used for both PIN entry and entry of other transaction-related data. The PIN pad shall comprise the numeric and “Enter” and “Cancel” command keys. If necessary, the command key for “Clear” may also be present.

The numeric layout of the PIN pad shall comply with ISO 9564 (..), except for cardholder-controlled terminals such as personal computers(PCs), where the keyboard may contain a numeric key pad in a different format for PIN entry. (..) The key for “5” should have a tactile identifier (for example, a notch or raised dot) to indicate to those whose sight is impaired that this is the central key from which all others may be deduced.

Der EMV2000 Standard verweist auf den ISO 9564-Standard [27]. Hierbei handelt es sich um den im Jahr 1991 veröffentlichten Standard der Internationalen Organisation für Normung (ISO), welcher Normen für PIN Management und Sicherheit beschreibt und ebenfalls eine Anordnung im Telefonlayout empfiehlt. Das Tastaturlayout des EMV2000/ISO-9564 Standards ist in Abbildung 2.5 dargestellt. Auch die Anordnung und Farbgebung der Steuertasten wird durch den EMV 2000 Standard geregelt. Diese ist mit den Aussagen der übrigen Standards konform.

## Übersicht

Tabelle 2.2 zeigt alle relevanten Standards in der Übersicht. Bis auf die USA und Südkorea empfehlen alle Dokumente den Einsatz des Telefonlayouts. Vor allem durch die Empfehlungen der internationalen Standardisierungsorganisationen ist davon auszugehen, dass sich das Telefonlayout im Laufe der nächsten Jahre weiter durchsetzen wird. Da es sich bei allen genannten Standards um freiwillige Empfehlungen handelt, werden bereits in Betrieb genommene Geldautomaten jedoch meist nicht angepasst.

Tabelle 2.2: Wichtige Standards zu numerischen Tastaturlayouts

Organisation	Titel	Region	Anordnung
Australian Bankers Association	Industry Standard - Automatic Teller Machines (ATM) [2]	Australien	Telefon
European Committee for Banking Standards	EBS100 [14]	Europa	Telefon
Internationale Organisation f. Normung	ISO/IEC 9995-4 [26]	International	Telefon
Internationale Organisation f. Normung	ISO 9564-1 [27]	International	Telefon
Internationale Fernmeldeunion	ITU-T E. 161 [30]	International	Telefon
MasterCard (Europe), VISA	EMV2000 [13]	International	Telefon
Telecommunications Technology Association	KICS.KO-09.0040 [56]	Republik Korea	Keine Aussage
US Architectural & Transportation Barriers Compliance Board	ADA, Accessibility Guidelines [59]	USA	Keine Aussage

### 2.3 Einordnung der Arbeit

Die bisher durchgeführten Studien zeigen, dass der Aufbau des numerischen Tastaturlayouts einen Einfluss auf die Performance hat. Das Telefonlayout kann sich in allen Performanceanalysen gegen die anderen Layouts durchsetzen [8][55][37][22][49]. Signifikante Zeitunterschiede konnten jedoch nur im Vergleich mit dem Zufallslayout festgestellt werden [49]. Das Ausbleiben signifikanter Ergebnisse kann darin begründet sein, dass bisher nur die Eingabezeiten gemessen wurden. Der menschliche Wahrnehmungsprozess deutet jedoch darauf hin, dass relevante Einflüsse des Layouts bereits vor der ersten Eingabe, nämlich in der Phase der visuellen Erfassung des gegebenen Layouts, zu beobachten sind.

Der Performancevorteil des Telefonlayouts scheint vor allem darin begründet zu sein, dass der Aufbau der Tastatur weitestgehend den menschlichen Idealvorstellung entspricht [7][8][43]. Die aufgabenspezifischen Analysen [55][37] zeigen keine Interaktionseffekte. Es wird jedoch bezweifelt, dass die verwendete Methodik der Studien geeignet war, um spezifische Effekte nachweisen zu können.

Keine der vorliegenden Studien stellt einen Zusammenhang zu Authentifizierungsvorgängen her. Dies ist in einigen Studien dadurch begründet, dass sie in einer Zeit durchgeführt wurden, in der der Alltag noch nicht durch Authentifizierungen per PIN geprägt war. Doch auch neuere Studien stellen keinen Zusammenhang zum Umgang mit Geldautomaten und ähnlichen Systemen her. So kommt es, dass alle Studien blockweise durchgeführt wurden und die Aufgabe immer darin bestand, zufällig generierte Ziffernkombinationen abzulesen und in ein Testsystem zu übertragen. Dies mag für einen direkten Performancevergleich verschiedener Layouts ausreichend erscheinen, vernachlässigt jedoch relevante Aspekte des Alltags. Einzig Ryu et al. weisen auf den Nachteil ihrer Studie hin [49, S.74]:

The use of a randomly generated PIN for each trial might have reduced external validity of the study, because most people use familiar PINs that they have already memorized.

In der Tat gibt es bisher keine Arbeit, welche den Einfluss des Layouts unter Verwendung einer zuvor gemerkten PIN untersucht. Deshalb gibt es bisher auch keine Erkenntnisse darüber, welchen Einfluss das Layout auf die Erinnerbarkeit hat.

Einzig Conrad [7] hat bisher einen Vergleich unter dem Aspekt der Erinnerbarkeit durchgeführt. Doch auch in dieser Studie wurden zufällig generierte PINs genutzt, so dass lediglich die Wirkung auf das Kurzzeitgedächtnis untersucht werden konnte.

Bezüglich des Lernprozesses gibt es bis heute ebenfalls nur wenige Erkenntnisse. Die längste bisher durchgeführte Studie umfasste vier Tage [8]. Bereits dieser kurze Beobachtungszeitraum zeigte jedoch, dass der konsistente Einsatz eines Layouts zu besseren Trainings- und Eingabeleistungen führt.

Die vorliegende Arbeit schließt die Lücken der bisherigen wissenschaftlichen Betrachtungen. Es wird eine Langzeitstudie durchgeführt, bei welcher ein Geldautomat simuliert wird. Jeder Teilnehmer bekommt eine PIN zugewiesen, welche über den gesamten Testzeitraum konstant bleibt. Die Studie vereint alle relevanten Layouts. Es werden das Telefon-, Taschenrechner-, Zeilen- und Zufallslayout verglichen. Der Testzeitraum umfasst insgesamt acht Wochen. In einer Woche finden pro Teilnehmer durchschnittlich zwei bis drei Eingaben statt. Durch das Design der Studie sollen robuste Aussagen über den Einfluss unbekannter Layouts auf die Performance, Erinnerbarkeit und den Lernprozess möglich sein. Des Weiteren wird die Wichtigkeit des konsistenten Einsatzes eines Layouts überprüft. Im Gegensatz zu den genannten Arbeiten ist die Orientierungsphase vor der PIN-Eingabe ein essentieller Teil der Bewertung des Einflusses auf die Performance.

## 3 Hauptstudie

Dieses Kapitel beschreibt den technischen und strukturellen Aufbau der durchgeführten Hauptstudie. Die Studie untersucht den Einfluss verschiedener Tastaturlayouts auf die Performance und Erinnerbarkeit. Der Aufbau der Nachstudie, welche den Lernprozess eines Telefonlayouts mit dem eines Zufallslayouts vergleicht, wird in Kapitel 4 beschrieben.

### 3.1 Hypothesen

Durch die Benutzerstudie sollen folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Der Einsatz eines ungewohnten Tastaturlayouts<sup>9</sup> ...
  - (a) wirkt sich negativ auf die Erinnerbarkeit der PIN aus
  - (b) wirkt sich negativ auf die Eingabegeschwindigkeit aus
  - (c) wirkt sich negativ auf die Fehlerrate aus
2. Die Teilnehmer der Studie sind an das Telefonlayout gewöhnt. Der negative Einfluss alternativer Layouts ist desto stärker, je größer der Unterschied zum gewohnten Layout ist. Dies führt zu ...
  - (a) geringen Effekten beim Einsatz des Taschenrechnerlayouts
  - (b) mittleren Effekten beim Einsatz des Zeilenlayouts
  - (c) starken Effekten beim Einsatz des Zufallslayouts
3. Trainierte Teilnehmer verursachen im Vergleich zu untrainierten Teilnehmern ...
  - (a) geringere Fehlerraten auf dem Telefonlayout
  - (b) geringere Authentifizierungszeiten auf dem Telefonlayout
  - (c) ähnliche Fehlerraten auf alternativen Layouts
  - (d) ähnliche Authentifizierungszeiten auf alternativen Layouts

### 3.2 Methode

Anhand eines simulierten Keypads, welches in eine Website eingebettet ist, wird via Internet eine Langzeitstudie durchgeführt. Jeder Teilnehmer bekommt eine PIN zugewiesen. Unter Benutzung dieser PIN sollen sich die Teilnehmer in unregelmäßigen Abständen an der Simulation authentifizieren. In den meisten Fällen kommt das gewohnte Telefonlayout zum Einsatz. An bestimmten Tagen werden alternative ungewohnte Layouts getestet. Die Teilnehmer wissen nicht, welches Layout an welchem Tag getestet wird.

Das Teilnehmerfeld wird abhängig der Erfahrung mit Geldautomaten in zwei Hälften geteilt. Teilnehmer, welche der erfahrenen Hälfte angehören, nehmen vor Beginn der Studie an einer einwöchigen Trainingsphase teil. Die Trainingsphase gibt den erfahrenen Teilnehmern die Möglichkeit, die Eingabemuster der zugewiesenen PIN zu verinnerlichen. Trainierte Teilnehmer haben hierdurch auch in der Studie mehr Übung im Umgang mit der PIN als untrainierte Teilnehmer. Das System erfasst neben den Nutzereingaben und dem verursachten Zeitaufwand auch, ob sich ein Nutzer seine PIN erneut anzeigen lässt. Zu Beginn und zum Ende der Studie wird eine Teilnehmerbefragung durchgeführt.

---

<sup>9</sup>Ein Tastaturlayout ist ungewohnt, wenn dessen Aufbau und die spezifischen Eingabemuster der PIN nicht im Langzeitgedächtnis verankert sind.

### 3.3 Design

Die Studie wird im “repeated measures within participants longitudinal design” durchgeführt. Jedes Layout wird von jedem Teilnehmer in gleichem Umfang getestet. Um unerwünschte Trainingseffekte bei einzelnen Layouts zu vermeiden, wird die Reihenfolge der numerischen Anordnungen auf die Teilnehmer gleich verteilt. Im Studiendesign der Testphase wird nicht zwischen erfahrenen und unerfahrenen Nutzern unterschieden.

Der Vorteil des Designs ist, dass der Einfluss der Zusammensetzung des Teilnehmerfeldes geringer ist, als es bei zwei Gruppen der Fall wäre. Zusätzlich können mit der gleichen Teilnehmeranzahl mehr Daten erhoben werden.

Das Design birgt jedoch die Gefahr, dass Teilnehmer aus terminlichen und anderen Gründen verhindert sind und nicht an allen Tests teilnehmen können. Daher wird ein Kompromiss zwischen der Ausfallquote und der Datenvalidität geschlossen.

Teilnehmer können verpasste Testläufe zu einem späteren Zeitpunkt nachholen. Dies ist jedoch höchstens dreimal möglich, um signifikante Einflüsse auf die erhobenen Daten zu verhindern.

Im Folgenden werden die Variablen und deren Ausprägungen definiert.

#### 3.3.1 Unabhängige Variablen

Als einzige unabhängige Variable wird das Tastaturlayout definiert.

Diese Variable hat vier Ausprägungen:

##### 1. Telefonlayout

Das Telefonlayout besteht aus einer 3\*3+1 Ziffernmatrix. Die Ziffern sind beginnend mit der Eins aufsteigend von oben nach unten angeordnet. Die Null befindet sich unter der Acht.

1	2	3
4	5	6
7	8	9
	0	

##### 2. Taschenrechnerlayout

Das Taschenrechnerlayout ähnelt dem Telefonlayout. Lediglich die erste und letzte Zeile der 3\*3-Matrix sind vertauscht.

7	8	9
4	5	6
1	2	3
	0	

##### 3. Zeilenlayout

Das Zeilenlayout entspricht der Anordnung auf einer Computertastatur. Die Ziffern Eins bis Neun sind in aufsteigender Reihenfolge platziert, die Null befindet sich auf Position Zehn.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

#### 4. Zufallslayout

Das Zufallslayout ist wie das Taschenrechner- und Telefonlayout aufgebaut. Die Zuordnung der Ziffern erfolgt jedoch in jedem Lauf zufällig.

2	7	0
9	1	4
6	8	3
	5	

### 3.3.2 Abhängige Variablen

Für die Bewertung der Eingabepformance und des Einflusses auf die Erinnerbarkeit der PIN werden der Zeitaufwand, die Fehlerrate, Korrekturen und erneut eingesehene PINs erfasst.

#### 1. Zeitaufwand

Der Zeitaufwand ist ein wichtiger Aspekt für die Bewertung der Authentifizierungsperformance. Zur Bewertung des Zeitaufwands werden die Zeitstempel aller Aktionen erfasst. Die Zeiten werden kategorisch in die folgenden Dimensionen unterteilt:

##### (a) Orientierung

Die Orientierungszeit beginnt mit dem Erscheinen des Tastenfeldes und endet mit dem ersten Tastendruck. Diese Zeit wird vom Nutzer benötigt um das Tastaturlayout visuell zu erfassen und sich auf die Anordnung einzustellen. Hat ein Teilnehmer Probleme mit der Erinnerbarkeit, so kann sich dies ebenfalls auf die Orientierungszeit auswirken.

##### (b) Eingabe

Die Eingabezeit beginnt mit dem ersten Tastendruck und endet mit der letzten Betätigung einer Zifferntaste. Diese Zeit wird vom Nutzer benötigt um die PIN einzugeben und wird durch Korrekturen beeinflusst.

##### (c) Lauf

Die Laufzeit beginnt mit dem Erscheinen des Tastenfeldes und endet mit der Bestätigung der Eingabe. Die Zeit ergibt sich somit aus der Summe von Orientierungs-, Eingabezeit und der Bestätigung durch "Enter".

##### (d) Sitzung

Die Sitzungszeit beschreibt den Zeitaufwand einer gesamten Authentifizierung. Dabei kann eine Sitzung aus maximal drei Läufen bestehen. Die Zeit ergibt sich somit aus der Summe der Zeiten einzelner Läufe.

#### 2. Fehlerrate

Die Fehlerrate ist ein wichtiger Aspekt in der Bewertung der Benutzerfreundlichkeit eines Tastaturlayouts, da sich aus ihr direkte Schlüsse auf die Schwierigkeit der Nutzung ableiten lassen. Neben der quantitativen Analyse lassen sich aus den erfassten Fehlern auch qualitative Ergebnisse ableiten, welche einen Hinweis auf deren Ursprung geben. Die Fehlerrate wird in folgenden Dimensionen betrachtet:

##### (a) Art (qualitative Fehleranalyse):

###### - Flüchtigkeit

Flüchtigkeitsfehler entstehen, wenn ein Nutzer die Änderung des Tastaturlayouts nicht bemerkt und deshalb die falsche Taste drückt. Dieser Fehler ist auf das Phänomen der Veränderungsblindheit zurückzuführen.

- Erinnerung  
Erinnerungsfehler können entstehen, wenn ein Nutzer von einer falschen PIN ausgeht oder sich nicht mehr an seine PIN erinnern kann.
- Bedienung  
Bedienungsfehler werden durch mangelnde Zielgenauigkeit oder einen falschen sequentiellen Ablauf verursacht.

(b) Wirkung (quantitative Fehleranalyse):

- Einfach  
Eine Falscheingabe wird im zweiten Lauf korrigiert. Die Authentifizierung kann erfolgreich abgeschlossen werden.
- Doppel  
Eine Falscheingabe wird im dritten Lauf korrigiert. Die Authentifizierung kann erfolgreich beendet werden.
- Dreifach (kritisch)  
Eine Falscheingabe kann auch im dritten Lauf nicht korrigiert werden. Der Fehler wird als kritisch eingestuft, da er im Alltag zu einem Einzug der Kundenkarte führen würde.

### 3. Korrekturen

Korrekturen geben weiteren Aufschluss über die Benutzerfreundlichkeit eines Tastaturlayouts und beschreiben zudem den Anteil erkannter Fehler.

- (a) Löschen (Clear)  
Die Anzahl der Löschungen während einer Sitzung.
- (b) Abbrechen (Cancel)  
Die Anzahl der Abbrüche während einer Sitzung.

### 4. Erinnerung

Der Einfluss auf die Erinnerung der PIN wird an folgenden Größen gemessen:

- (a) PIN-Einsicht  
Die Anzahl der eingesehenen PINs.
- (b) Feedback  
Informationen, welche von den Nutzern während der Testphase und in den Fragebögen bereitgestellt werden
- (c) Fehler  
Die Anzahl erinnerungsbedingter Fehler.



### 3.4 Teilnehmer

Die Teilnehmer werden über das studentische Forum “die-informatiker.net” sowie über das soziale Netzwerk “Facebook.com” gesucht. Als Motivation werden unter allen Teilnehmern, welche die Studie erfolgreich beenden, zwei Spielkonsolen verlost. Dabei handelt es sich um eine Nintendo Wii und eine X-Box 360 Arcade von Microsoft. Es wird angenommen, dass die Chance auf einen großen Sachpreis motivierender wirkt als die gleichmäßige Verteilung des finanziellen Gegenwertes unter allen Teilnehmern.

Von ursprünglich 66 Teilnehmern beenden 60 Teilnehmer die Studie erfolgreich. Sechs Teilnehmer werden auf Grund zu vieler Versäumnisse ausgeschlossen. Das Durchschnittsalter der 60 Teilnehmer beträgt 24 Jahre (SD: 3,06). Der jüngste Teilnehmer ist 14, der älteste 33 Jahre alt. Das Teilnehmerfeld setzt sich aus 37 (61,7%) Männern und 23 (38,3%) Frauen zusammen. Die Teilnehmer sind überdurchschnittlich hoch gebildet. 55 von 60 Teilnehmern haben mindestens die allgemeine Hochschulreife erreicht.

Als Indikatoren für die Einteilung der Nutzer in trainierte und untrainierte Personen dienen die Häufigkeit der Geldautomatennutzung sowie die Anzahl und Nutzungsfrequenz eigener PINs. Die Daten werden aus der Erstbefragung abgeleitet, welche im Abschnitt 3.5.2 beschrieben wird. Die trainierte Gruppe hebt im Median zweimal in der Woche Geld per EC-Karte ab. Das ist signifikant öfter als die Teilnehmer der untrainierten Gruppe, welche nur dreimal im Monat Geld abheben. Auch die Anzahl der regelmäßig verwendeten PINs ist bei der trainierten Gruppe höher. Sie verwenden im Durchschnitt 3,28 (SD: 1,58) PINs regelmäßig. Der untrainierte Teil macht durchschnittlich von 3,03 (SD: 1,83) PINs Gebrauch. Der Median der Nutzungshäufigkeit ist bei beiden Gruppen gleich. Trainierte und untrainierte Personen authentifizieren sich einige Male in der Woche per PIN. Die trainierte Gruppe tendiert jedoch zur täglichen Nutzung, während untrainierte Personen eine Tendenz zur wöchentlichen Nutzung aufweisen.

In der Gruppe der erfahrenen Nutzer werden vier, in der anderen Gruppe zwei Ausfälle verzeichnet. Somit können 29 Fälle der trainierten und 31 Fälle der untrainierten Gruppe verwertet werden. Dieses Verhältnis ist im statistischen Rahmen ausgewogen. Die Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen die Alters- und Geschlechterverteilung beider Gruppen. Die trainierte Gruppe ist im Durchschnitt 25 Jahre (SD: 2,41), die untrainierte Gruppe ist im Durchschnitt 24 Jahre (SD: 3,50) alt. Der Frauenanteil der trainierten Gruppe beträgt 27,6%, der Frauenanteil der untrainierten Gruppe 48,4%.

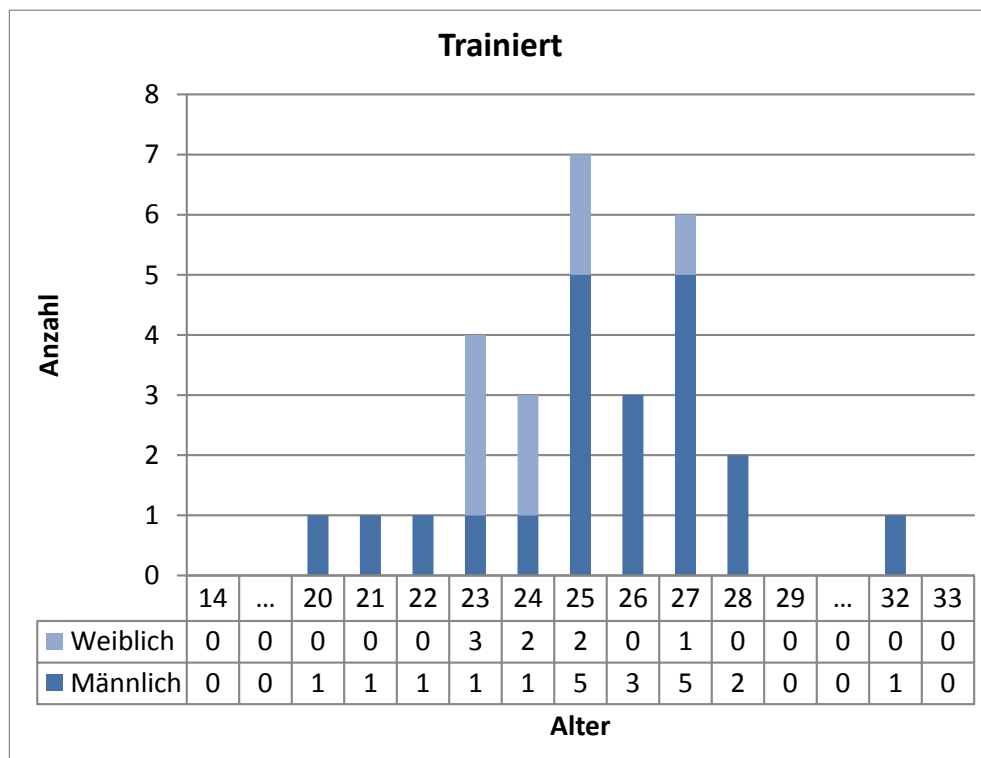


Abbildung 3.1: Alter und Geschlecht: Trainiert

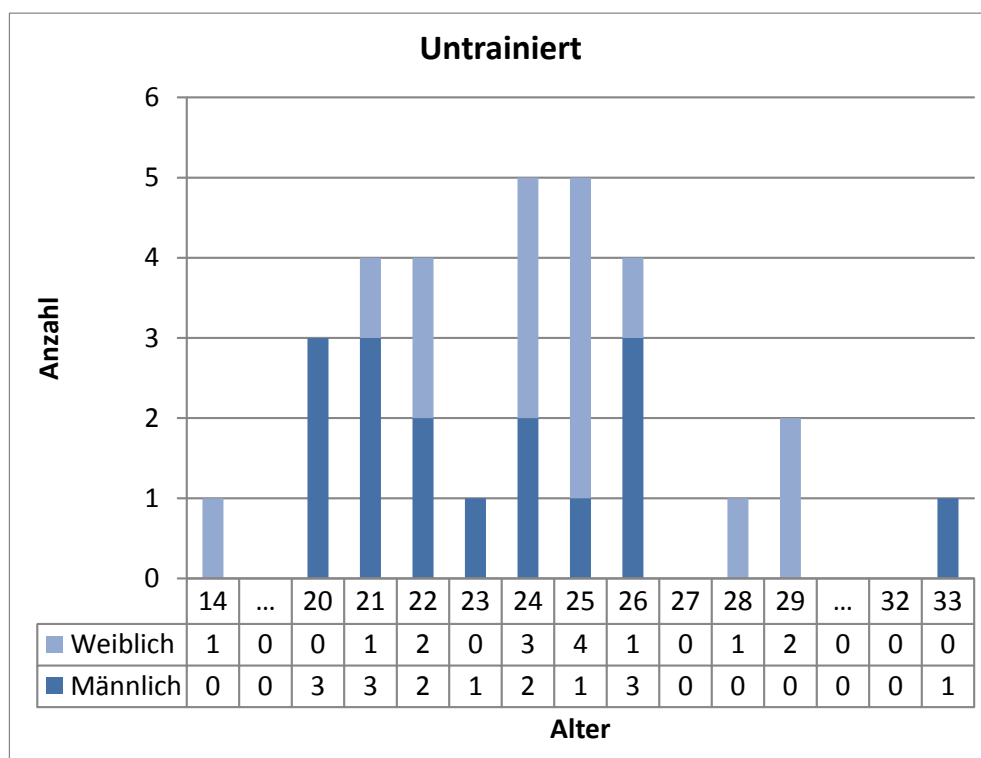


Abbildung 3.2: Alter und Geschlecht: Untrainiert

### 3.5 Aufbau und Geräte

Dieser Abschnitt beschreibt den technischen Aufbau der Testumgebung. Diese setzt sich aus der Onlineplattform für den praktischen Versuch und den Fragebögen für die Nutzerbefragung zusammen.

#### 3.5.1 Praktischer Versuch

Das zentrale Element der Studie bildet die Simulation des numerischen Tastenfeldes. Dieses ist in eine Webseite eingebettet und wird über eine MySQL Datenbank gesteuert. Die einzelnen Elemente werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

#### Simulation des Tastenfeldes

Das numerische Tastenfeld wird in Adobe Flash CS4 implementiert. Der Adobe Flash Player ist frei verfügbar und durch die starke Zunahme von Flashvideos inzwischen weit verbreitet. Daher kann eine große Akzeptanz im Teilnehmerfeld vorausgesetzt werden. Die Simulation besteht aus einem Startbildschirm, einem Ladebildschirm und dem numerischen Tastenfeld. Auf dem Startbildschirm hat der Teilnehmer die Möglichkeit, seine PIN einzusehen. Nach Betätigung der Taste "Testlauf starten" erscheint vier Sekunden ein Ladebalken. Diese Zeit soll dem Nutzer die Möglichkeit geben, sich für die Eingabe bereit zu machen. Das Tastenfeld stellt die numerische Tastatur im vorgegebenen Layout sowie die Funktionstasten dar. Die Funktionstasten sind dem internationalen Farbcode [14] entsprechend mit den Farben Rot (Abbrechen), Gelb (Löschen) und Grün (Bestätigen) gekennzeichnet. Die drei Bildschirme sind in der Reihenfolge ihres Erscheinens in Abbildung 3.3 dargestellt.

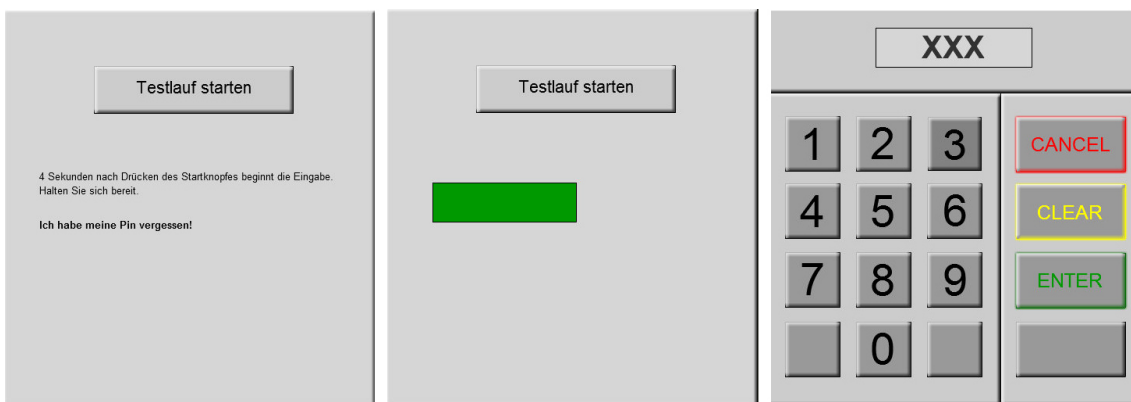


Abbildung 3.3: Keypad-Simulation: sequentieller Ablauf

Die Tasten der Simulation können ausschließlich durch ein Zeigegerät betätigt werden. Die Simulation kann somit per Maus, Touchpad, Touchscreen und ähnlichen Geräten gesteuert werden. Auf die Eingabe per Tastatur wird bewusst verzichtet, da die spezifische Tastenbelegung der jeweils genutzten Tastatur einen unkontrollierbaren Einfluss auf die Performance nehmen würde.

Eingaben werden durch ein "X" in der Eingabemaske und das Verdunkeln der jeweiligen Taste visualisiert. Signaltöne werden nicht ausgegeben, da die Umgebung des jeweiligen Teilnehmers nicht beeinflussbar ist und somit nicht ausgeschlossen werden kann, dass einige Nutzer die Tests ohne Tonausgabe durchführen. Die Signaltöne würden somit eine weitere externe Variable darstellen.

Das Layout des numerischen Tastenfeldes wird nach der jeweiligen Vorgabe dynamisch aufgebaut. Die Zuordnung der Tasten des zufälligen Layouts wird mit Hilfe einer durch die Flash-Methode "Math.random" generierten Pseudozufallszahl<sup>10</sup> realisiert. Abbildung 3.4 zeigt die Umsetzung des Zeilenlayouts, Abbildung 3.3 stellt das Telefonlayout dar. Taschenrechner- und Zufallslayout sind identisch aufgebaut und unterscheiden sich lediglich durch die Beschriftung der Tasten. Die erfassten Nutzereingaben und Zeiten werden einem PHP - Skript übergeben, welches die Daten verarbeitet.

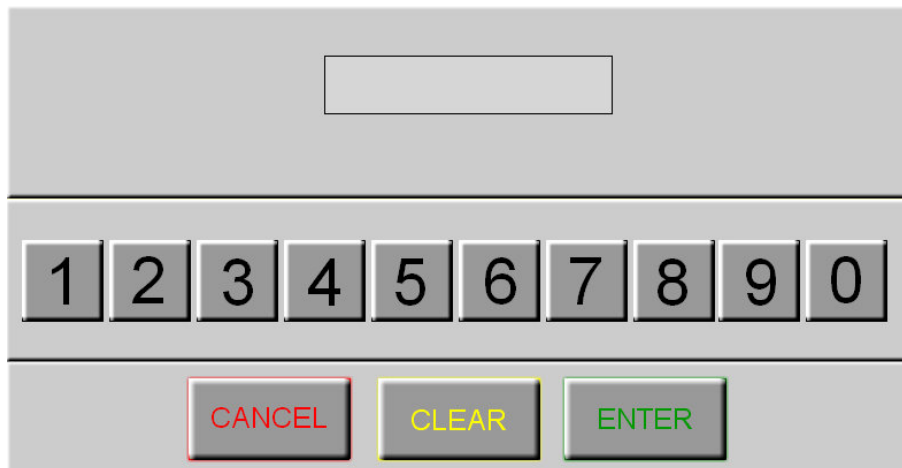


Abbildung 3.4: Keypad-Simulation: Zeilenlayout

<sup>10</sup>Es handelt sich um eine Pseudozufallszahl, da die interne Berechnung nicht bekannt ist.

**Webseite**

Die Webseite, welche unter [www.pinpad.informat-x.de](http://www.pinpad.informat-x.de) erreichbar ist, bietet den visuellen und strukturellen Rahmen für die Flashanimation und ist für die Steuerung der Testläufe verantwortlich. Der strukturelle Aufbau der Webseite ist in Abbildung 3.5 aufgezeigt.

Die Webseite wird in PHP implementiert. PHP wird unter der PHP-Lizenz frei vertrieben.

Nach der erfolgreichen Anmeldung werden die Nutzerdaten in eine zehnmünütige PHP-Session geladen. Ist ein Nutzer erfolgreich angemeldet, so kann er den geplanten Test starten. Der Zugriff auf die Flashanimation ist nur möglich, wenn tatsächlich ein Test geplant ist und dieser noch nicht absolviert wurde. Hierdurch wird unterbunden, dass einige Teilnehmer den Test öfter absolvieren als andere. Die von der Flashanimation empfangenen Daten werden in einer Datenbank gesichert. Nachdem die Authentifizierung beendet ist, besteht die Möglichkeit, dem Testleiter über eine HTML-Form eine Nachricht zukommen zu lassen.

Weitere PHP-Skripte ermöglichen einen automatisierten E-Mail Versand und nehmen Dienste der Datenbankpflege wahr. Diese Skripte werden durch die Unterstützung des Services cronjob.de automatisch ausgeführt und sind in Abbildung 3.5 nicht dargestellt.

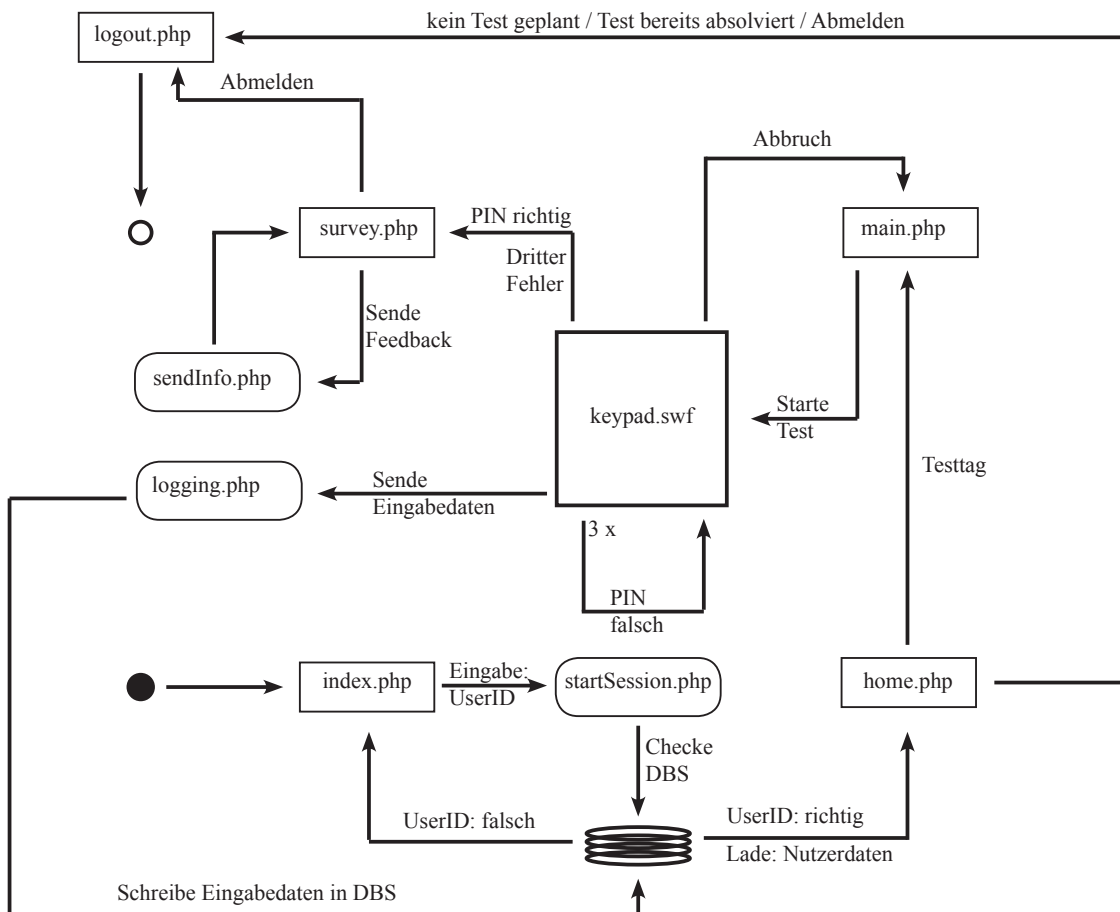


Abbildung 3.5: Struktur der Webseite

## Datenbank

Die Datenbank wird in MySQL Server 5.0.90 implementiert. MySQL Server ist eine freie Software, die unter der General Public License (GPL) steht.

Abbildung 3.6 stellt den Aufbau der Datenbank schematisch dar. Sie besteht aus vier Tabellen. Die Tabellen "User" und "Dates" enthalten die Steuerungsdaten. "Logs" und "Debug" dienen der Speicherung erfasster Daten. Hier wird nur auf die wichtigsten Einträge und Funktionen eingegangen. Für weitere Informationen zu den Tabelleneinträgen sei auf den Anhang verwiesen.

Die Tabelle "User" enthält neben den persönlichen Teilnehmerinformationen den Eintrag namens "groupId". Der Wert der "groupId" sagt aus, welcher Testgruppe der Teilnehmer angehört. Die Testgruppe bestimmt, an welchem Datum ein Test stattfindet und welches Tastaturlayout dargestellt werden soll. Diese Werte werden aus der Tabelle "Dates" abgeleitet.

Die Tabelle "Dates" enthält die Testtage sowie acht Benutzergruppen. Der Wert der jeweiligen Benutzergruppe gibt an, welches Tastaturlayout getestet wird. Die Gruppen 1-6 dienen dem regulären Testablauf. Die Gruppen 7 und 8 sind für Nachholtage reserviert. Die Gruppeneinteilung wird in Abschnitt 3.6.2 beschrieben.

Die Tabelle "Logs" speichert alle relevanten Testdaten bezogen auf den Zeitaufwand, die Fehler- und Korrekturrate sowie die PIN-Einsicht.

Die Tabelle "Debug" dient der zusätzlichen Datensicherheit. In ihr wird jedes Ereignis mit einem Zeitstempel vermerkt. Dies ermöglicht, Unregelmäßigkeiten in der Tabelle "Logs" zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Die Pfeile in Abbildung 3.6 stellen schematisch den Zusammenhang der Tabellen dar. Der Nutzer gehört der Gruppe 8 an. Das jeweilige Layout (Mode) wird aus "Dates" abgeleitet und in "Logs" und "Debug" protokolliert.

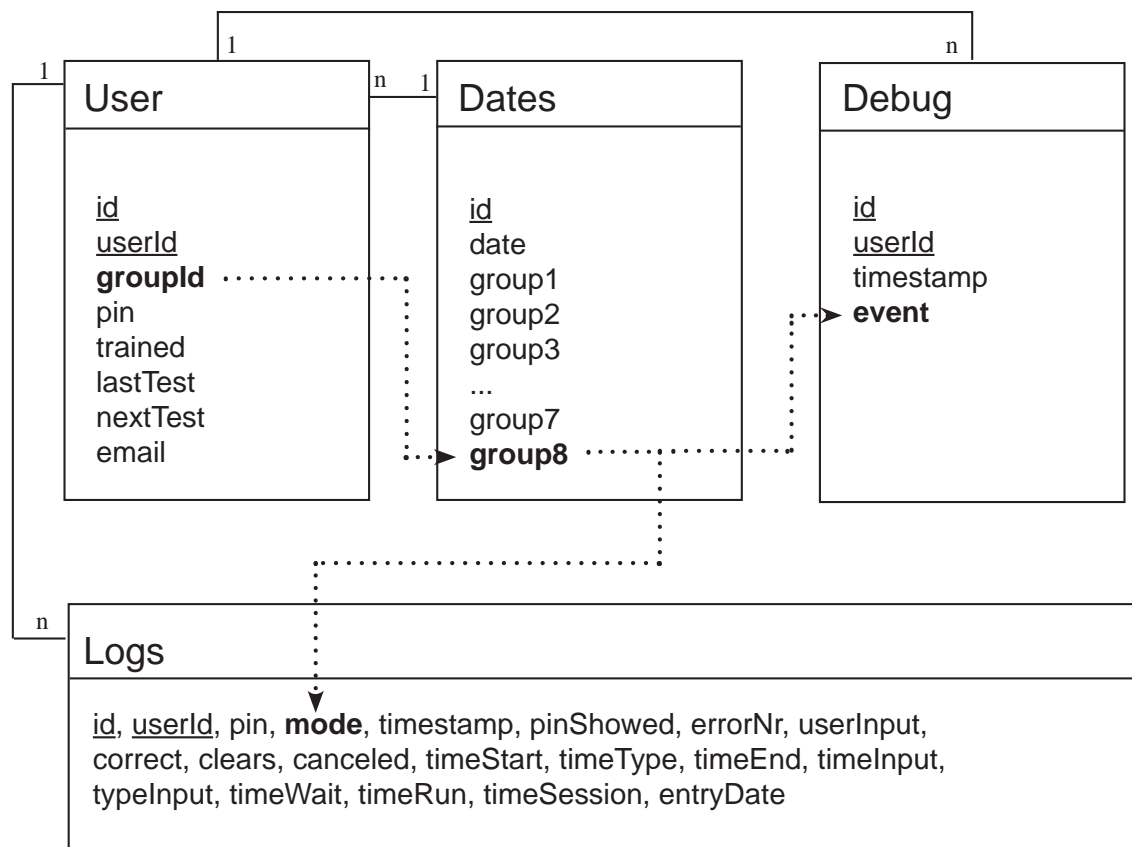


Abbildung 3.6: Datenbankstruktur

### 3.5.2 Nutzerbefragung

Die Nutzerbefragung wird auf der Onlineplattform [www.onlineforschung.org](http://www.onlineforschung.org) durchgeführt. Der erste Fragebogen enthält 29 Fragen. Es werden soziographische Daten sowie Informationen über den Umgang und die Erfahrung mit Geldautomaten erhoben.

Der zweite Fragebogen enthält 23 Fragen. Es werden allgemeine Fragen zum Ablauf der Studie sowie Einschätzungen zur Geschwindigkeit, Schwierigkeit und dem Erinnerungseinfluss der Layouts erfasst. Die Fragebögen sind der Arbeit angehängt.

## 3.6 Prozedur

Nach der Erstbefragung werden die Teilnehmer anhand ihrer Antworten der trainierten und untrainierten Gruppe zugewiesen. Jeder Teilnehmer erhält per E-Mail eine vierstellige PIN und eine vierstellige ID. Die ID dient der Anmeldung auf der Webseite. Die PIN dient der Authentifizierung in den Testläufen. In der E-Mail wird die Prozedur des Tests beschrieben. Die Teilnehmer werden gebeten, sich die PIN gut einzuprägen und diese bei Verlust nur auf der Webseite neu einzusehen. Angaben zum Ziel der Studie werden nicht gemacht.

An den jeweiligen Testtagen werden die Nutzer um 00:10 per E-Mail über den geplanten Test informiert. Die E-Mail enthält bis auf die ID und den Link zur Testplattform keine weiteren Informationen. Teilnehmer, welche den geforderten Test bis 18:00 nicht absolviert haben, werden durch eine zweite E-Mail an die Sitzung erinnert. Nach Ablauf der Studie nehmen alle Teilnehmer an der Abschlussbefragung teil.

### 3.6.1 Testablauf

Der Teilnehmer meldet sich mit seiner ID am System an. Ist ein Test geplant und wurde dieser noch nicht absolviert, so kann dieser nach einer erfolgreichen Anmeldung gestartet werden.

Zu Beginn des Tests hat der Teilnehmer die Möglichkeit, seine PIN einzusehen. Nach einer erneuten Bestätigung startet der Test.

Vier Sekunden nach Start des Tests erscheint das jeweilige Tastaturlayout. Der Teilnehmer gibt seine PIN über ein Zeigegerät ein. Fehler dürfen beliebig oft durch Betätigung der Tasten Cancel und Clear korrigiert werden. Durch einen Abbruch mit Cancel hat der Teilnehmer erneut die Möglichkeit, die PIN einzusehen.

Für eine erfolgreiche Authentifizierung hat der Teilnehmer maximal drei Versuche. Nach einer erfolgreichen Eingabe oder der dritten Falscheingabe wird der Test beendet.

Der Teilnehmer hat nach dem Test die Möglichkeit, dem Testleiter über eine integrierte Nachrichtenbox Informationen zukommen zu lassen.

### 3.6.2 Testverteilung

Dieser Abschnitt beschreibt die Aufteilung der Testfälle während der Trainings- und Testphase.

#### **Trainingsphase**

Die Trainingsphase dauert sieben Tage. Es kommt ausschließlich das Telefonlayout zum Einsatz. Der erste Tag dient der Gewöhnung an das System und fließt nicht in die Bewertung ein. Verpasste Tests werden nach Ablauf der Trainingsphase nachgeholt.

**Testphase**

Die Testphase findet im Anschluss an die Trainingsphase statt. Es finden insgesamt 17 Testtage statt. Der erste Tag fließt ebenfalls nicht in die Bewertung ein.

Die Reihenfolge des Taschenrechner-, Zeilen- und Zufallslayouts wird auf die Teilnehmer gleich verteilt. Da jede Ausprägung zweimal getestet wird, wird ein 6\*6 Latin Square Design verwendet. Die Teilnehmer werden in sechs gleich große Gruppen eingeteilt. Jeder Gruppe wird jeweils eine Reihenfolge zugewiesen. An den übrigen Tagen wird das Telefonlayout getestet. Die Testphase besteht somit aus 10 Tagen mit Telefonlayout und 6 Tagen mit alternativen Layouts. Die Tage mit alternativen Layouts müssen durch mindestens einen Tag mit Telefonlayout voneinander getrennt sein. Verpasste Tests werden an freien Tagen nachgeholt. Tabelle 3.1 stellt den Testplan der Trainings- und Testphase dar.

<b>Datum</b>	<b>Gruppe1</b>	<b>Gruppe2</b>	<b>Gruppe3</b>	<b>Gruppe4</b>	<b>Gruppe5</b>	<b>Gruppe6</b>
08. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
09. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
10. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
11. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
12. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
13. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
14. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	X	X	X
16. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
<b>18. Jan</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zeile</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zeile</b>	<b>Rechner</b>
22. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
25. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
<b>28. Jan</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zeile</b>	<b>Zeile</b>	<b>Rechner</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zufall</b>
30. Jan	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
01. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
<b>03. Feb</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zeile</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zeile</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zufall</b>
06. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
08. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
<b>11. Feb</b>	<b>Zeile</b>	<b>Zufall</b>	<b>Rechner</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zeile</b>
13. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
16. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
<b>18. Feb</b>	<b>Zufall</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zeile</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zeile</b>
20. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
23. Feb	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon	Telefon
<b>26. Feb</b>	<b>Zeile</b>	<b>Rechner</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zufall</b>	<b>Zeile</b>	<b>Rechner</b>

Tabelle 3.1: Trainings- und Testphase der Hauptstudie



## 4 Nachstudie

Dieser Abschnitt beschreibt die Durchführung der Nachstudie. Ziel der Nachstudie ist es, Daten zum Lernprozess auf dem Zufallslayout zu erheben. Diese werden mit den Daten des Telefonlayouts verglichen, welche in der Trainingsphase der Hauptstudie erfasst werden. Es werden der Aufbau und die Technik der Hauptstudie verwendet. Auch die Methode orientiert sich an der Hauptstudie. Auf die wiederholte Beschreibung dieser Aspekte wird daher in diesem Abschnitt verzichtet, es sei auf Abschnitt 3.5 und Abschnitt 3.2 der Hauptstudie hingewiesen.

### 4.1 Hypothesen

Durch die Benutzerstudie sollen folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Der Einsatz des Telefonlayouts ermöglicht einen signifikanten Lernprozess. Mehr Training führt daher zu ...
  - (a) kürzeren Orientierungszeiten
  - (b) kürzeren Eingabezeiten
  - (c) weniger Fehlern
2. Der Einsatz des Zufallslayouts ermöglicht **keinen** signifikanten Lernprozess. Mehr Training führt daher zu **nicht** zu ...
  - (a) kürzeren Orientierungszeiten
  - (b) kürzeren Eingabezeiten
  - (c) weniger Fehlern

### 4.2 Design

Die Studie wird im “repeated measures within participants longitudinal design” durchgeführt. Alle Teilnehmer nehmen in vollem Umfang an denselben Tests teil.

Verpasste Tests dürfen analog zur Hauptstudie nachgeholt werden. Es gibt keine unabhängige Variable, da nur ein Tastaturlayout zum Einsatz kommt. Die abhängigen Variablen entsprechen Abschnitt 3.3.2 der Hauptstudie.

### 4.3 Teilnehmer

Die Teilnehmer werden, wie in der Hauptstudie, über das Forum “die-informatiker.net” sowie über das soziale Netzwerk “Facebook.com” gesucht. Unter allen Teilnehmern wird ein Kinogutschein im Wert von 15 Euro verlost.

Für einen optimalen Vergleichswert sollte die Teilnehmeranzahl der Nachstudie der Anzahl der Trainingsphase in der Hauptstudie entsprechen. Es konnten jedoch nur 14 Teilnehmer gefunden werden. Nachdem drei Ausfälle verzeichnet wurden, tragen 11 Personen zum Ergebnis der Studie bei.

Das Durchschnittsalter der 11 Teilnehmer beträgt 27 Jahre (SD: 5,44). Der jüngste Teilnehmer ist 22, der älteste 42 Jahre alt. Das Teilnehmerfeld setzt sich aus 8 (72,7%) Männern und 3 (27,3%) Frauen zusammen. 7 der 11 Teilnehmer haben mindestens die allgemeine Hochschulreife erreicht. Die Eigenschaften des Teilnehmerfeldes der Nachstudie stimmen mit den Eigenschaften der Teilnehmer der Trainingsphase hinreichend überein, um einen validen Vergleich durchführen zu können.

Die Erfahrung der Teilnehmer im Umgang mit PINs und Geldautomaten lässt sich zwischen der untrainierten und der trainierten Gruppe der Hauptstudie einordnen. Im Median heben die Teilnehmer einmal in der Woche Geld per EC-Karte ab. Das ist häufiger als die untrainierte Personengruppe der Hauptstudie (3 Mal im Monat), jedoch geringer als der Median des trainierten Teilnehmerfeldes (2 Mal in der Woche).

Die Teilnehmer authentifizieren sich ebenfalls mehrfach in der Woche per PIN. Dabei verwenden sie im Durchschnitt 2,7 PINs regelmäßig. Abbildung 4.1 stellt die Alters- und Geschlechterverteilung der Teilnehmer dar.

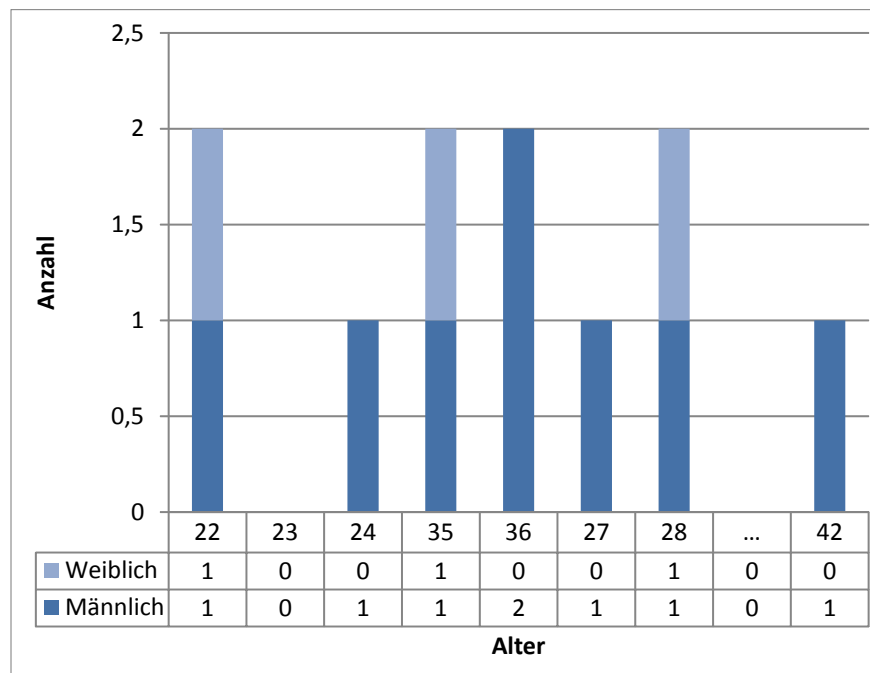


Abbildung 4.1: Alter und Geschlecht: Nachstudie

#### 4.4 Prozedur

Die Nutzerstudie findet online statt und dauert sieben Tage. Der erste Testtag dient der Gewöhnung an das System und fließt nicht in das Ergebnis ein. Es werden die Technik und der Aufbau der Hauptstudie verwendet. Teilnehmer der Nachstudie dürfen nicht an der Hauptstudie teilgenommen haben. Während der siebentägigen Testperiode findet täglich eine Authentifizierung statt. Als numerische Anordnung kommt ausschließlich das Zufallslayout zum Einsatz. Die Prozedur gleicht somit, bis auf das verwendete Layout, der Trainingsphase der Hauptstudie.

## 5 Ergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt die Ergebnisse der Benutzerstudien. Zunächst wird der Einfluss des Tastaturlayouts auf den Lernprozess untersucht. Nach Betrachtung des Zeitaufwands sowie der Fehler- und Korrekturrate findet eine Analyse des Einflusses auf die Erinnerung statt. Das Kapitel schließt mit den Ergebnissen der Nutzerbefragung ab. Die Analyse stützt sich auf 599 valide Sitzungen auf dem Telefon- und jeweils 120 valide Sitzungen auf den anderen Layouts.

### 5.1 Lernprozess

Der erste Teil dieses Abschnitts befasst sich mit dem allgemeinen Lernprozess. Dieser Lernprozess wird im weiteren Verlauf auf der Ebene der Layouts differenziert betrachtet. Die Untersuchung schließt mit einem Vergleich der Lernprozesse des Telefon- und des Zufallslayouts bei einem einwöchigen Training ab.

Zur Analyse des Lernprozesses werden die Orientierungs-, Eingabe- und Laufzeiten betrachtet. Es werden nur korrekt abgeschlossene Authentifizierungen in die Analyse einbezogen. Da die Fehlerquote während der Studie sehr gering war (Abschnitt 5.3), ist diese nicht dazu geeignet, robuste Aussagen über den Lernprozess zu machen.

#### 5.1.1 Allgemeine Analyse

Es wird angenommen, dass sich durch wiederholtes Training die allgemeine Fähigkeit im Umgang mit der PIN verbessert und somit die benötigte Authentifikationszeit im Laufe des Testzeitraumes tastaturunabhängig geringer wird.

Um diesen allgemeinen Lernprozess zu untersuchen, wird eine einfaktorielle Varianzanalyse aller 16 Testtage durchgeführt. Diese setzen sich aus zehn Tagen mit Telefon- und sechs Tagen mit alternativen Layouts (1, 4, 7, 10, 13, 16) zusammen. An den Tagen mit alternativen Layouts werden das Taschenrechner-, das Zeilen- und das Zufallslayout zu gleichen Anteilen getestet. Die Art des alternativen Layouts hat somit keinen Einfluss auf die Analyse. Die erfassten Durchschnittszeiten sind Abbildung 5.1 zu entnehmen.

#### Orientierungszeit

Die Testtage haben einen signifikanten Einfluss auf die Orientierungszeit,  $F(3.03, 166.71) = 3.42$ ,  $p < 0.05$ . Da der Test von Mauchly eine Verletzung der Annahme auf Sphärizität indiziert,  $\chi^2(119) = 1242.48$ ,  $p < 0.01$ , wurden die Freiheitsgrade unter Verwendung der Greenhouse-Geisser-Schätzung ( $\epsilon = 0.20$ ) korrigiert.

Der Post Hoc Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Testtagen 12 und 13 ( $p < 0.05$ ), 13 und 14 ( $p < 0.05$ ) sowie 15 und 16 ( $p < 0.05$ ).

Der Test der Innersubjektkontraste zeigt zudem einen signifikanten linearen Einfluss der Testtagen auf die Orientierungszeit,  $F(1, 55) = 6.94$ ,  $p < 0.05$ . Dieser wird in Abbildung 5.1 durch eine schwarze Trendlinie visualisiert. Eine Unterscheidung der Nutzer in trainierte und untrainierte Personen ergibt keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0.05$ ).

Ein Vergleich der Mittelwerte der ersten Testhälfte mit den Mittelwerten der zweiten Testhälfte ergibt, dass die Orientierungsphasen der zweiten Testhälfte im Durchschnitt 0,23 Sekunden kürzer sind. Da dieser Unterschied nicht signifikant ist ( $p > 0.05$ ), wird der allgemeine Lernfortschritt bezüglich der Orientierungszeit als gering eingestuft.

#### Eingabezeit

Auch für die Eingabezeit wird ein signifikanter Effekt nachgewiesen,  $F(5.48, 301.37) = 2.65$ ,  $p < 0.05$ . Die Freiheitsgrade wurden auf Grund des Tests von Mauchly,  $\chi^2(119) = 504.19$ ,  $p < 0.01$ , ebenfalls mit der Greenhouse-Geisser-Schätzung ( $\epsilon = 0.37$ ) korrigiert.

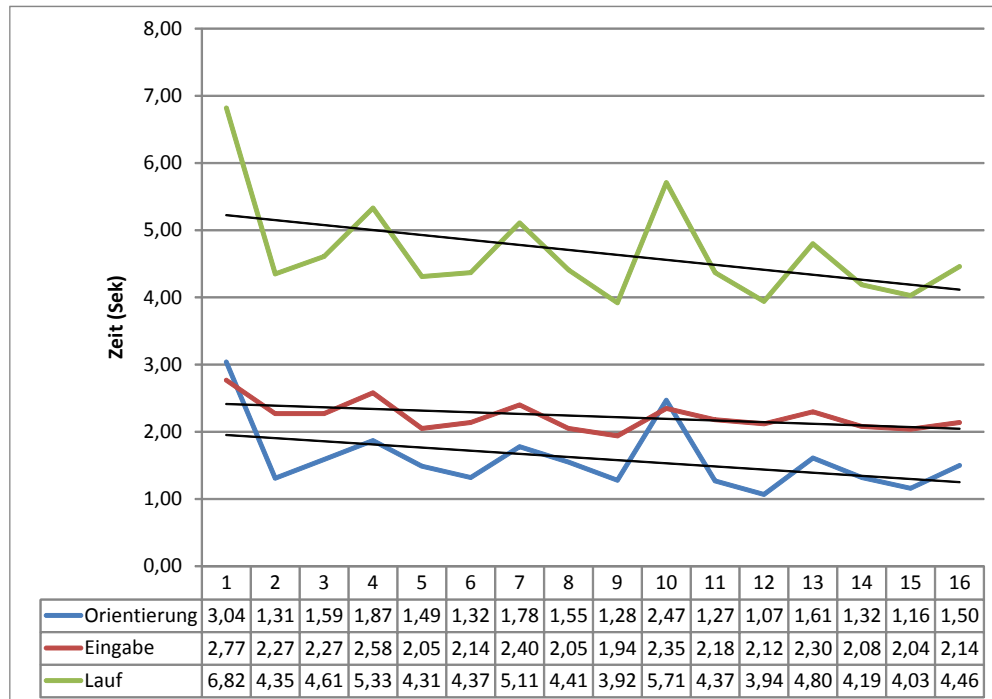


Abbildung 5.1: Allgemeiner Lernprozess

Der Post Hoc Test ergibt signifikante Unterschiede zwischen den Testtagen 4 und 5 ( $p < 0.05$ ), 4 und 8 ( $p < 0.05$ ), 4 und 9 ( $p < 0.05$ ), 4 und 15 ( $p < 0.05$ ) sowie 7 und 9 ( $p < 0.05$ ). Der Test der Innersubjektkontraste zeigt, dass die Testtage auch auf die Eingabezeit einen signifikanten linearen Einfluss haben,  $F(1, 55) = 7.03$ ,  $p < 0.05$ . Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten Teilnehmern ( $p > 0.05$ ).

Ein T-Test für den Vergleich der Zeiten der ersten Testhälfte mit den Zeiten der zweiten Testhälfte ergibt eine durchschnittliche Verbesserung von 0,17 Sekunden. Die Verbesserung ist nicht signifikant ( $p > 0.05$ ), weshalb der Lernerfolg bezüglich der Eingabezeit ebenfalls als gering eingestuft wird.

### Laufzeit

Die Varianzanalyse ergibt, dass die Testtage einen hochsignifikanten Effekt auf die Laufzeit haben,  $F(4.33, 237.90) = 5.43$ ,  $p < 0.01$ . Weil auf Grund des Tests von Mauchly die Annahme auf Sphärizität verworfen werden musste,  $\chi^2(119) = 673.70$ ,  $p < 0.01$ , wurden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert ( $\epsilon = 0.29$ ).

Ein Post Hoc Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Tagen 4 und 9 ( $p < 0.05$ ), 4 und 12 ( $p < 0.05$ ), 4 und 15 ( $p < 0.05$ ), 7 und 9 ( $p < 0.05$ ), 7 und 12 ( $p < 0.05$ ), 7 und 15 ( $p < 0.05$ ), 9 und 13 ( $p < 0.05$ ), 12 und 13 ( $p < 0.05$ ) sowie 13 und 15 ( $p < 0.05$ ). Es besteht wie bei der Eingabe- und Orientierungszeit ein signifikanter linearer Zusammenhang zwischen den Zeiten und den Tagen,  $F(1, 55) = 13.19$ ,  $p < 0.05$ . Trainierte und untrainierte Personen zeigen ebenfalls keinen Performanceunterschied ( $p > 0.05$ ).

Der T-Test ergibt zwar eine signifikante Verbesserung der Laufzeiten in der zweiten Testhälfte um 0,49 Sekunden,  $t(551.63) = 2.08$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0,09$ , auf Grund der geringen Effektstärke kann aus dem Ergebnis jedoch kein signifikanter Lernerfolg abgeleitet werden.

### Interpretation

Die Analyse zeigt, dass eine lineare Verbesserung aller Zeitdimensionen stattfindet. Der Einfluss auf die Orientierungszeit unterscheidet sich dabei nicht signifikant vom Einfluss auf die Eingabezeit.

Die in den Post Hoc Tests gefundenen signifikanten Unterschiede beziehen sich jedoch alle auf den Vergleich von alternativen Testlayouts mit dem Telefonlayout. Der signifikante Effekt der Testtage spricht daher nicht für einen signifikanten Lernerfolg, sondern vielmehr für signifikante Zeitunterschiede zwischen dem Telefonlayout und den alternativen Layouts. Dies wird ebenfalls durch die lokalen Maxima in Abbildung 5.1 deutlich.

Der Abbildung ist des Weiteren zu entnehmen, dass diese lokalen Maxima bei der Orientierungszeit stärker ausgeprägt sind als bei der Eingabezeit. Dies ist ein erster Hinweis darauf, dass die alternativen ungewohnten Layouts durch das visuelle Kurzzeitgedächtnis sequentiell verarbeitet werden müssen und daher mehr Zeit beanspruchen. Die exakte Analyse des Zeitaufwands ist in Abschnitt 5.2 beschrieben.

Festzuhalten bleibt, dass sowohl für die alternativen Testtage als auch für die Telefontage ein geringer allgemeiner Lernerfolg stattfindet und bei diesem keine Unterschiede zwischen der trainierten und der untrainierten Gruppe bestehen. Eine differenzierte Analyse soll nun weiteren Aufschluss über den Einfluss des Tastaturlayouts geben.

#### 5.1.2 Layoutspezifische Analyse

In Abschnitt 5.1.1 wurde bereits ein geringer allgemeiner Lernprozess nachgewiesen. In diesem Abschnitt wird das Nutzerverhalten auf Ebene der Layouts genauer untersucht.

Um die zehn Testtage des Telefonlayouts mit den zwei Durchläufen der übrigen Layouts vergleichen zu können, werden der erste und zehnte Testtag kategorisch als erster und letzter Durchlauf aufgefasst und analysiert. Die zwei Durchläufe der übrigen Layouts werden ebenfalls als erster und letzter Durchlauf definiert. Die Ergebnisse basieren somit pro Layout auf zwei Messungen. Für das Telefon- und Zufallslayout werden die Lernprozesse zusätzlich anhand einwöchiger Zeitreihen genau analysiert. Diese Ergebnisse sind in Abschnitt 5.1.3 beschrieben.

#### Orientierungszeit

Abbildung 5.2 zeigt die durchschnittlichen Orientierungszeiten der ersten und letzten Durchläufe jedes Teilnehmers.

Der Haupteffekt der Durchläufe ist signifikant,  $F(1,58) = 4.37$ ,  $p < 0.05$ . Die Zeiten des Telefon- und Taschenrechnerlayouts zeigen nur geringe Unterschiede. Die Unterschiede des Zeilen- und Zufallslayouts fallen stärker aus. Ein T-Test zeigt, dass die Verbesserung um 0,12 Sekunden (9,2%) des Telefonlayouts nicht signifikant ist ( $p > 0.05$ ). Der zweite Durchgang des Taschenrechnerlayouts ist um nicht signifikante 0,14 Sekunden (9,2%) erhöht. Auch die starke Verbesserung des Zeilenlayouts um 0,72 Sekunden (31,9%) ist nicht signifikant ( $p > 0.05$ ). Einzig der prägnante Zeitunterschied von 1,46 Sekunden (43,0%) des Zufallslayouts ist statistisch signifikant,  $t(58) = 2.01$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.26$ .

Die Verbesserung der Orientierungszeiten unterscheidet sich für trainierte und untrainierte Teilnehmer nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

#### Eingabezeit

Die durchschnittlichen Eingabezeiten des ersten und letzten Durchlaufs jedes Layouts sind in Abbildung 5.3 dargestellt.

Der Haupteffekt der Durchgänge auf die Eingabezeit ist ebenfalls signifikant,  $F(1,58) = 6.45$ ,  $p < 0.05$ . Die durchschnittlichen Eingabezeiten sind für jedes getestete Layout im letzten Durchgang kürzer. Ein T-Test zeigt, dass die Verbesserungen des Telefonlayouts um 0,14 Sekunden (6,1%) und des Zeilenlayouts um 0,19 Sekunden (7,3%) nicht signifikant sind ( $p > 0.05$ ).

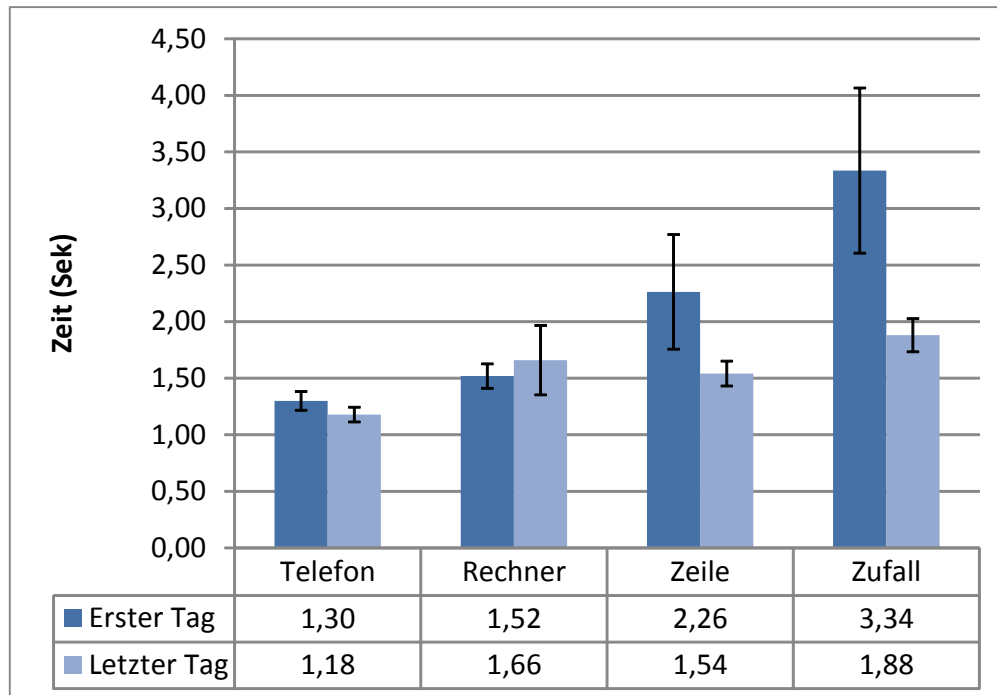


Abbildung 5.2: Spezifischer Lernprozess: Orientierungszeit und Standardfehler

Der Unterschied des Taschenrechnerlayouts von 0,27 Sekunden (11,8%) ist hingegen signifikant,  $t(58) = 2.19$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.28$ . Auch die Verbesserung des Zufallslayouts um 0,38 Sekunden (13,4%) ist signifikant,  $t(58) = 2.67$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.33$ .

Die Unterscheidung der Teilnehmer in trainierte und untrainierte Personen ergibt, wie bei der Orientierungszeit, für keines der Layouts signifikante Ergebnisse ( $p > 0.05$ ).

### Laufzeit

Abbildung 5.4 stellt die durchschnittlichen Laufzeiten der ersten und letzten Durchgänge aller Layouts dar.

Der Haupteffekt der Durchgänge auf die Laufzeit ist signifikant,  $F(1,58) = 8.91$ ,  $p < 0.05$ . Die Laufzeiten aller Layouts sind im letzten Durchgang besser als im ersten Durchlauf. Die Unterschiede des Telefon- und Taschenrechnerlayouts sind mit einer Verbesserung um 0,20 Sekunden (4,6%) beziehungsweise 0,26 Sekunden (5,5%) moderat und nicht signifikant ( $p > 0.05$ ). Auch für das Zeilenlayout wird keine signifikante Verbesserung nachgewiesen ( $p > 0.05$ ). Der Unterschied zwischen beiden Durchgängen beträgt bei diesem Layout 1,01 Sekunden (17,3%). Die Verbesserung des Zufallslayouts ist hingegen mit 1,98 Sekunden (27,5%) hoch signifikant,  $t(58) = 2.72$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.34$ .

Auch bei den Laufzeiten gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten Teilnehmern ( $p > 0.05$ ).

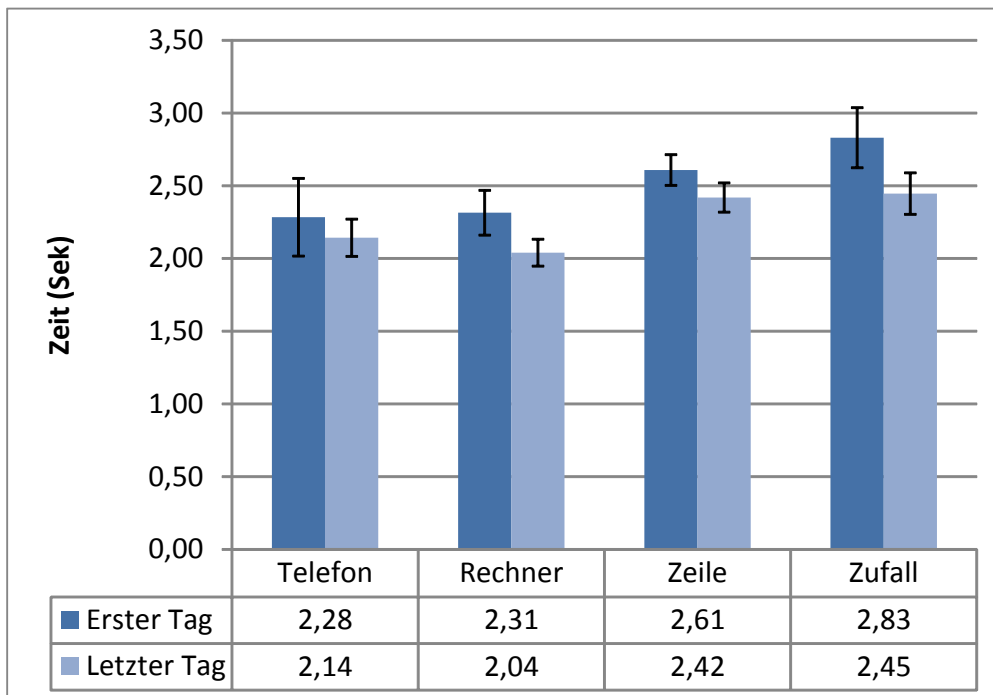


Abbildung 5.3: Spezifischer Lernprozess: Eingabezeit und Standardfehler

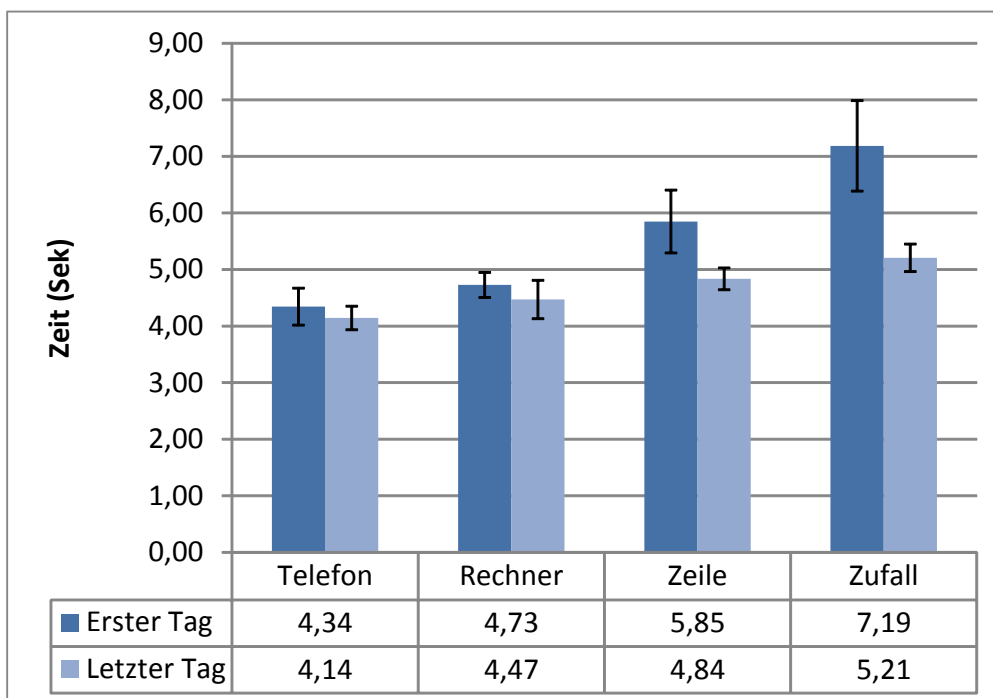


Abbildung 5.4: Spezifischer Lernprozess: Laufzeit und Standardfehler

### Interpretation

Der Haupteffekt der Durchläufe ist für alle Zeitdimensionen signifikant und zeigt somit, dass die Performance durch die wiederholte Anwendung eines Layouts beeinflusst wird. Auffällig ist, dass die Teilnehmer im zweiten Durchlauf des Taschenrechnerlayouts zwar längere Orientierungszeiten, jedoch signifikant kürzere Eingabezeiten hatten. Der errechnete Standardfehler der Orientierungszeit deutet darauf hin, dass diese im zweiten Lauf durch Extremwerte beeinflusst wurde. Die Streuwerte der Interaktionszeiten werden in Abschnitt 5.2 analysiert. Bemerkenswert ist ebenfalls die signifikante Verbesserung der Interaktionszeiten des Zufallslayouts, welche vor allem durch die kürzere Orientierungszeit beeinflusst wird. Die erste Anwendung des Zufallslayouts scheint somit zu außergewöhnlich langen Orientierungsphasen zu führen, welche bereits in der zweiten Anwendung stark abnehmen. Auch beim Zeilenlayout führt die wiederholte Anwendung vor allem zu kürzeren Orientierungszeiten. Dies lässt den Schluss zu, dass bereits nach einer Anwendung grundsätzliche Informationen des Layouts gespeichert werden und die visuelle Verarbeitung in folgenden Anwendungen schneller abläuft. Dabei kann es sich zumindest beim Zufallslayout jedoch nicht um die Anordnung der Tastatur handeln, da diese in jedem Lauf neu sortiert wird. Vielmehr scheint es sich um das Wissen zu handeln, es kategorisch mit einer Zufallstastatur zu tun zu haben, welches die Orientierungszeit reduziert.

Da die Beobachtung nur auf zwei Messungen basiert, lassen die Ergebnisse keinen Schluss auf den weiteren Verlauf dieses Lernprozesses zu. Für eine Langzeitanalyse werden daher im nächsten Abschnitt die Ergebnisse der Nachstudie mit den Trainingszeiten der Hauptstudie verglichen. Die Analyse soll weiteren Aufschluss über die Lernprozesse des Telefon- und des Zufallslayouts geben.

#### 5.1.3 Telefon- versus Zufallslayout

Die Ergebnisse des Abschnitts 5.1.2 zeigen vor allem für das Zufallslayout große zeitliche Verbesserungen und stehen somit im Widerspruch zur Annahme, dass durch die zufällige Anordnung der Tastatur nur ein geringer Lernerfolg möglich ist. Da die Analyse jedoch nur auf einer Wiederholung basiert, können keine Aussagen für den weiteren Lernprozess abgeleitet werden. Ziel dieses Abschnitts ist es, durch eine Langzeitanalyse zu klären, ob die in Abschnitt 5.1.2 gefundenen Unterschiede zufälliger Natur sind oder durch einen Lernprozess erklärt werden können.

#### Orientierungszeit

Die Orientierungszeit des Telefonlayouts nimmt mit Ausnahme des dritten Testtages linear ab. Da die Annahme der Sphärizität auf Grund des Tests von Mauchly verworfen werden muss,  $\chi^2(14) = 167.97$ ,  $p < 0.01$ , kann nach der Korrektur durch die Greenhouse-Geisser-Schätzung ( $\epsilon = 0.20$ ) kein signifikanter Einfluss der Testtage auf die Orientierungszeit nachgewiesen werden ( $p > 0.05$ ). Der Test der Innersubjektkontraste ergibt jedoch, dass der Zeitunterschied zwischen dem ersten und letzten beziehungsweise zweiten und letzten Tag signifikant ist ( $p < 0,05$ ). Der Einfluss des Trainings wirkt sich linear auf die Orientierungszeit aus,  $F(1,28) = 7,91$ ,  $p < 0.05$ . Der lineare Einfluss wird in Abbildung 5.5 durch die schwarze Trendlinie visualisiert.

Die Orientierungszeit des Zufallslayouts variiert zwischen 1,64 und 3,14 Sekunden und zeigt keine Verbesserung durch das Training. Die Testtage haben keinen signifikanten Einfluss auf die Zeit ( $p > 0.05$ ). Auch Unterschiede zwischen den Tagen sind nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

Um die Signifikanz des Trainingseffekts auf die Orientierungszeit zu untersuchen, wird ein T-Test beider Gruppen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

Da die Annahme homogener Varianzen für die Testtage 4-6 verworfen werden musste, wurden die Freiheitsgrade angepasst. Die Unterschiede sind nicht signifikant, zeigen jedoch, dass der Abstand der Orientierungszeiten der Telefon- und Zufallsgruppe im Laufe des Trainings größer wird. Dies ist auf einen größeren Lernerfolg der Telefongruppe zurückzuführen.



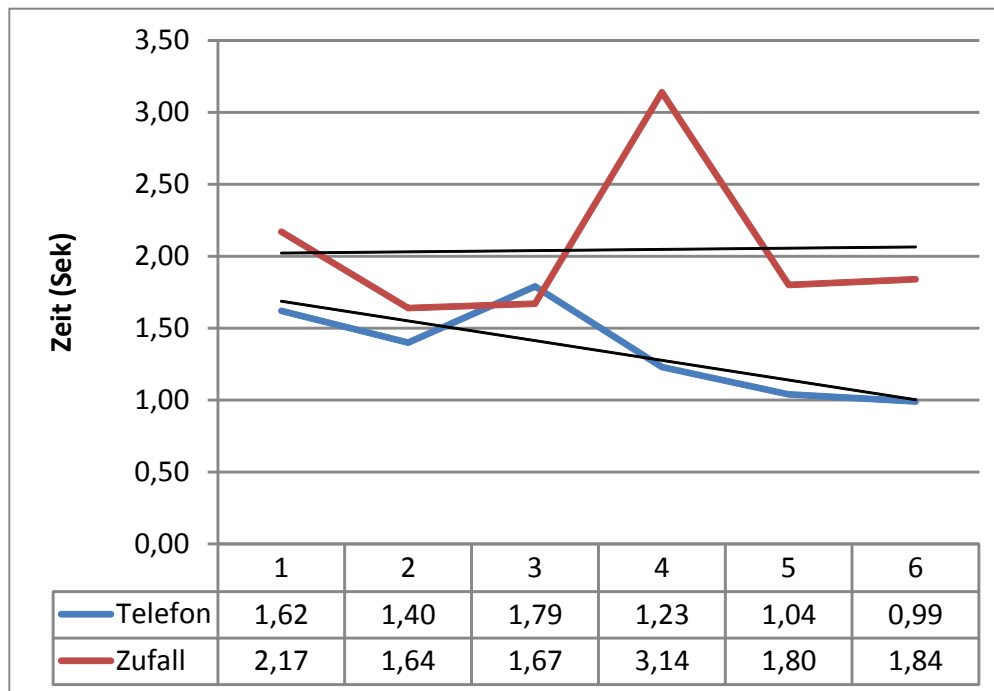


Abbildung 5.5: Telefon- versus Zufallslayout: Orientierungszeit

Testtag	Gruppe	M	SE	t	df	sig
1	Tel	1,62	0,23	1,29	38,00	0,20
	Ran	2,17	0,31			
2	Tel	1,40	0,17	0,76	38,00	0,45
	Ran	1,64	0,22			
3	Tel	1,79	0,51	0,14	38,00	0,89
	Ran	1,67	0,24			
4	Tel	1,23	0,13	1,35	10,16	0,21
	Ran	3,14	1,41			
5	Tel	1,04	0,06	2,01	10,54	0,07
	Ran	1,80	0,37			
6	Tel	0,99	0,06	2,05	10,44	0,07
	Ran	1,84	0,41			

Tabelle 5.1: Telefon- versus Zufallslayout: Orientierungszeit

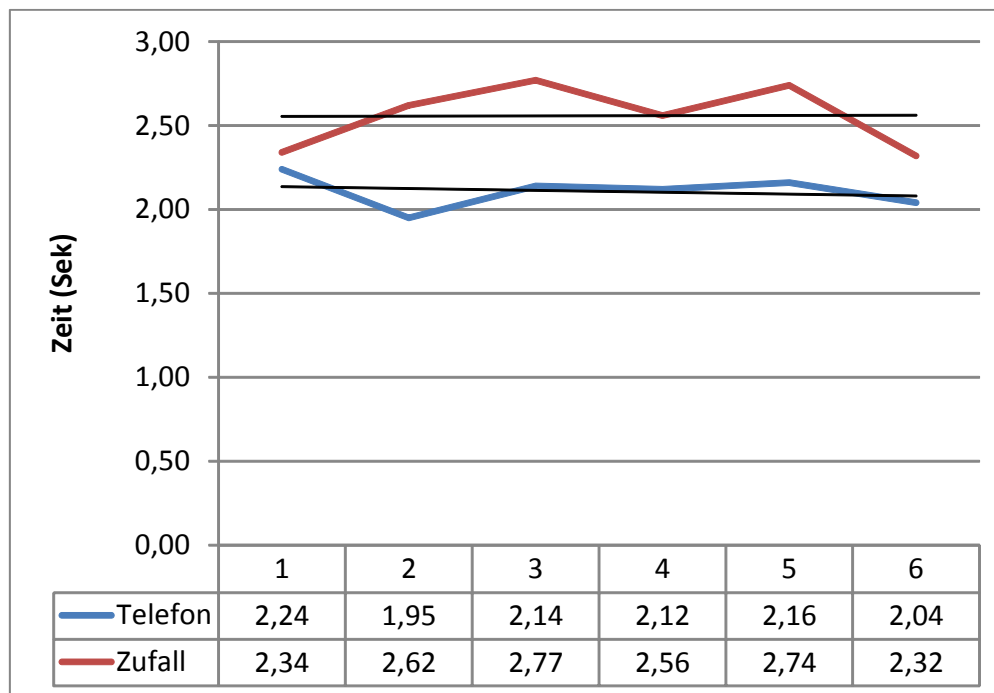


Abbildung 5.6: Telefon- versus Zufallslayout: Eingabezeit

### Eingabezeit

Abbildung 5.6 zeigt den Vergleich der Eingabezeiten des Telefon- und Zufallslayouts.

Die Eingabezeit des Telefonlayouts wird durch das Training kaum beeinflusst. Alle Tage bewegen sich zwischen 1,94 und 2,24 Sekunden. Dies wird durch eine Varianzanalyse bestätigt. Es kann kein signifikanter Haupteffekt der Tage nachgewiesen werden ( $p > 0.05$ ). Die Unterschiede zwischen den Tagen sind ebenfalls nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

Auch die Eingabezeit des Zufallslayouts zeigt keine signifikanten Trainingseffekte ( $p > 0.05$ ) und variiert geringfügig zwischen 2,32 und 2,77 Sekunden.

Die schwarzen Trendlinien in Abbildung 5.6 verlaufen annähernd parallel zur X-Achse und visualisieren somit den geringen Einfluss der Trainingstage auf die Eingabezeiten beider Layouts. Der T-Test ergibt nur für den Vergleich des zweiten Testtages einen signifikanten Zeitunterschied zwischen dem Telefon- ( $M = 1,95$ ,  $SE = 0,66$ ) und dem Zufallslayout ( $M = 2,62$ ,  $SE = 1,09$ ),  $t(38) = 2,28$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.35$ . Signifikante Unterschiede des Trainingseinflusses lassen sich daraus nicht ableiten.

### Laufzeit

Abbildung 5.7 stellt die durchschnittlichen Laufzeiten beider Layouts dar.

Die Laufzeiten des Telefonlayouts werden auf Grund der hohen Konstanz der Eingabezeiten hauptsächlich durch die Orientierungszeiten beeinflusst. Die Zeit nimmt mit Ausnahme des dritten Testtages linear ab. Die Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Haupteffekt der Trainingstage ( $p > 0.05$ ). Der Vergleich der Innersubjektkontraste zeigt, dass sich Tag 1,  $F(1,28) = 7,75$ ,  $p < 0.05$ , und Tag 3,  $F(1,28) = 4,46$ ,  $p < 0.05$ , signifikant von Tag 6 unterscheiden. Der lineare Einfluss des Trainings auf den Lernprozess kann auch für die Laufzeit bestätigt werden,  $F(1,28) = 6,41$ ,  $p < 0.05$ .

Die Laufzeit des Zufallslayouts zeigt, entgegen der Orientierungs- und Eingabezeit, einen tendenziellen Trainingseffekt. Dieser ist jedoch nicht signifikant ( $p > 0.05$ ). Der Test der Innersubjektkontraste ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tagen ( $p > 0.05$ ).

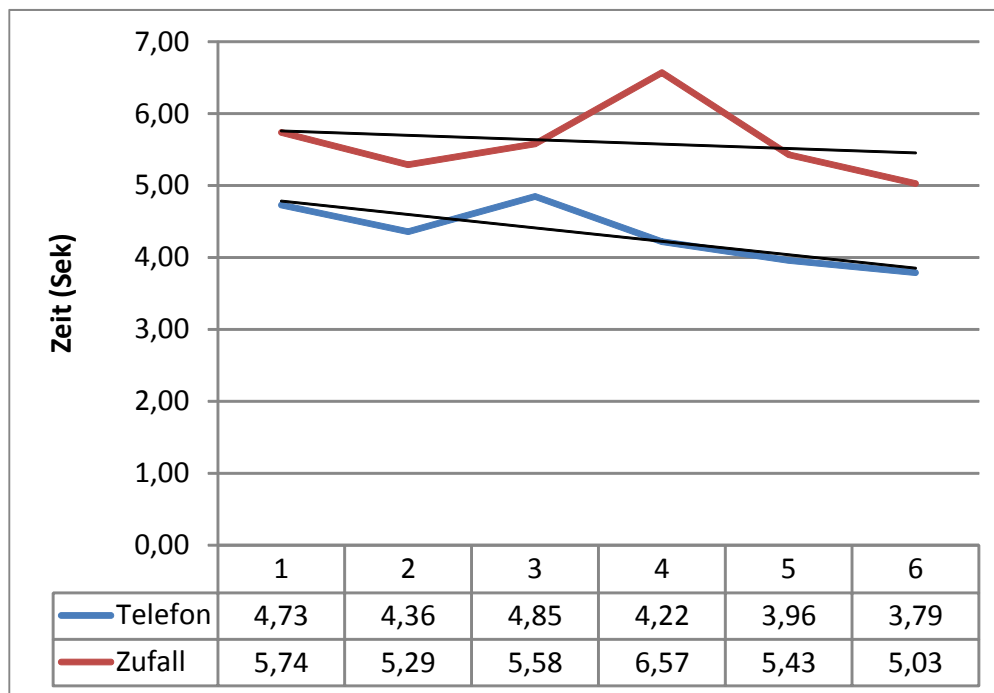


Abbildung 5.7: Telefon- versus Zufallslayout: Laufzeit

Die Ergebnisse des T-Tests zum Vergleich der Durchschnittszeiten der beiden Layouts sind Tabelle 5.2 zu entnehmen. Die Freiheitsgrade des vierten Testtages wurden auf Grund der signifikant unterschiedlichen Varianzen der beiden Gruppen angepasst. Das Ergebnis zeigt, dass sich die Laufzeiten beider Layouts im Laufe des Trainings immer weiter voneinander entfernen. Diese Unterschiede sind beim fünften,  $t(38) = 2,69$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,42$ , und sechsten,  $t(38) = 2,13$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,33$ , Testtag signifikant.

Testtag	Gruppe	M	SE	t	df	sig
1	Tel	4,73	0,44	1,25	38,00	0,22
	Ran	5,74	0,40			
2	Tel	4,36	0,44	1,14	38,00	0,26
	Ran	5,29	0,67			
3	Tel	4,85	0,62	0,67	38,00	0,51
	Ran	5,58	0,66			
4	Tel	4,22	0,26	1,42	10,52	0,19
	Ran	6,57	1,64			
5	Tel	3,96	0,28	2,69	38,00	0,01
	Ran	5,43	0,49			
6	Tel	3,79	0,21	2,13	38,00	0,04
	Ran	5,03	0,77			

Tabelle 5.2: Telefon- versus Zufallslayout: Laufzeit

**Interpretation**

Die Langzeitanalyse des Trainingseinflusses bei der Telefon- und Zufallsanordnung zeigt, dass signifikante Lernerfolge nur beim Telefonlayout stattfinden. Dies bestätigt die Hypothesen 1ab und 2ab der Nachstudie (Abschnitt 4.1). Die Analyse bestätigt zudem den Befund aus Abschnitt 5.1.2, wonach vor allem die Orientierungszeit (des Telefonlayouts) durch Trainingseffekte beeinflusst wird. Der fehlende Lernerfolg des Zufallslayouts kann durch die ständige Neuordnung der Tastatur erklärt werden, welche eine sequentielle Verarbeitung des visuellen Reizes zur Folge hat. Der signifikante Lernerfolg des Telefonlayouts bestätigt hingegen die Annahme, dass die Eingabemuster mit zunehmenden Training vom visuellen und motorischen Langzeitgedächtnis aufgenommen werden.

Der signifikante Lernerfolg des Zufallslayouts aus Abschnitt 5.1.2 kann somit nicht bestätigt werden. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die erste Interaktion der Nachstudie nicht in der Datenanalyse erfasst wird und die Teilnehmer der Nachstudie im Gegensatz zu den Teilnehmern der Hauptstudie bereits einen Probelauf auf dem Zufallslayout hatten. Tatsächlich zeigt der Vergleich des Probetages mit dem ersten Testtag, dass die Orientierungszeit der ersten Interaktion (Probetag) im Vergleich zum zweiten Durchlauf (erster Testtag) um 9,71 Sekunden (SE: 9,06 Sekunden) erhöht ist. Auf Grund des großen Standardfehlers ist die Abweichung nicht signifikant ( $p > 0.05$ ). Der Ausschluss der ersten Interaktion aus der Datenanalyse ist also berechtigt. Somit scheint beim Zufallslayout zwischen der ersten und zweiten Interaktion ein Lernprozess stattzufinden, welcher durch weiteres Training jedoch nicht ausgebaut werden kann.

## 5.2 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand ist neben der Fehlerquote (Abschnitt 5.3) das wichtigste Maß zur Bewertung der Authentifizierungsperformance. Der Zeitaufwand wird anhand der durchschnittlichen Orientierungs-, Eingabe-, Lauf- und Sitzungszeiten analysiert. Falsche Authentifizierungsversuche werden nur bei der Analyse der Sitzungszeit berücksichtigt. Zunächst werden die Zeiten der Layouts auf Streuung und Extremwerte untersucht. Im weiteren Verlauf werden die Zeiten der Layouts miteinander verglichen.

### 5.2.1 Durchschnitt und Streuung

In diesem Abschnitt werden für jedes Layout die Durchschnittszeiten und deren Streuung analysiert.

#### Telefonlayout

Tabelle 5.3 zeigt die wichtigsten statistischen Ergebnisse des Telefonlayouts. Median und Rechtsschiefe der Verteilung lassen darauf schließen, dass über 50,0% der gemessenen Werte unter den errechneten Mittelwerten liegen. Die Bestimmung der Perzentile ergibt für 95,0% aller Eingaben auf dem Telefonlayout eine obere Grenze der Orientierungszeit von 2,58 Sekunden. Die Grenze der Eingabezeit liegt bei 3,73 Sekunden. Die Grenzen der Lauf- und Sitzungszeit werden bei 7,50 Sekunden und 8,64 Sekunden gesetzt.

Auf Grund des großen Einflusses hoher Extremwerte werden zusätzlich die bereinigten Mittelwerte analysiert. Hierbei fließen nur Daten in die Analyse ein, welche innerhalb des 95. Perzentils liegen. Die Mittelwerte und Standardfehler sind in Abbildung 5.8 dargestellt.

Schließt man die Extremwerte in die Betrachtung ein, so benötigen die Teilnehmer beim Telefonlayout 31,3% der Laufzeit für die Orientierung (M: 1.33, SE: 0.05), die Eingabe (M: 2.13, SE: 0.05) der PIN beansprucht 50,1% der Gesamtzeit. Der Unterschied zwischen Orientierungs- und Eingabezeit ist hochsignifikant,  $t(598) = 13,13$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.47$ . Der Vergleich von Sitzungs- (M: 4.61, SE: 0.14) und Laufzeit (M: 4.25, SE: 0.08) ist ebenfalls hochsignifikant, die Effektstärke ist jedoch deutlich geringer,  $t(598) = 3,54$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.14$ .

Die Analyse der von Extremwerten bereinigten Durchschnittszeiten ergibt ebenfalls einen hoch signifikanten Unterschied zwischen Orientierungs- (M: 1.16, SE: 0.02) und Eingabezeit (M: 1.96, SE: 0.02),  $t(552) = 32,11$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.81$ . Lauf- (M: 3.94, SE: 0.05) und Sitzungszeit (M: 4.02, SE: 0.05) weichen jedoch nicht signifikant voneinander ab ( $p > 0.05$ ). Dies bestätigt die geringe Effektstärke der ermittelten Unterschiede mit Extremwerten. Signifikante Ausreißer scheinen somit durch Falscheingaben entstanden zu sein.

Die Mittelwerte der Trainingsphase stimmen mit einer Orientierungszeit von 1,34 Sekunden (SE: 0,10), einer Eingabezeit von 2,11 Sekunden (SE: 0,07), einer Laufzeit von 4,32 Sekunden (SE: 0,16) und einer Sitzungszeit von 4,60 Sekunden (SE: 0,25) mit den Beobachtungen der Hauptstudie überein. Der Zeitaufwand trainierter und untrainierter Teilnehmer unterscheidet sich nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

#### Taschenrechnerlayout

Tabelle 5.4 zeigt die wichtigsten statistischen Ergebnisse des Taschenrechnerlayouts. Median und Rechtsschiefe der Verteilung lassen darauf schließen, dass die Mittelwerte auch bei diesem Layout durch wenige hohe Extremwerte beeinflusst sind. Dies trifft vor allem auf die Orientierungszeit zu, deren 95. Perzentil bei 3,75 Sekunden liegt. Die Grenze der Eingabezeit liegt bei 4,09 Sekunden. Die Grenzen der Lauf- und Sitzungszeit befinden sich bei 7,99 Sekunden und 10,02 Sekunden. Die Mittelwerte sind jeweils mit und ohne Ausreißer in Abbildung 5.9 dargestellt.

Unter Berücksichtigung der Ausreißer benötigen Personen bei diesem Layout 34,5% der Laufzeit für die Orientierung (M: 1.58, SE: 0.16), die PIN-Eingabe (M: 2.17, SE: 0.09) beansprucht 47,4%

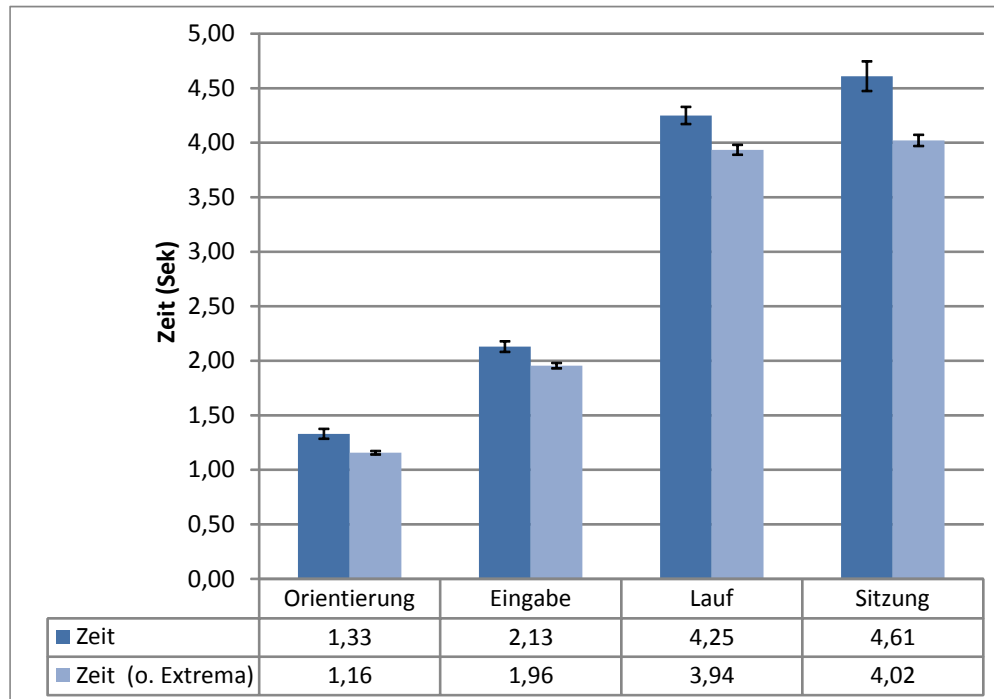


Abbildung 5.8: Telefonlayout: Zeit und Standardfehler

	Orientierung	Eingabe	Lauf	Sitzung
Mittelwert	1,33	2,13	4,25	4,61
Standard-Err.	0,05	0,05	0,08	0,14
Mittelwert (o. E.)	1,16	1,96	3,94	4,09
Standard-Err. (o. E.)	0,02	0,02	0,05	0,05
Median	1,10	1,90	3,85	3,87
Minimum	0,49	0,86	1,90	1,90
Maximum	14,52	17,08	21,70	39,83
Spannweite	14,03	16,22	19,80	37,93
Schiefe	7,27	6,78	3,79	5,59

Tabelle 5.3: Telefonlayout: statistische Analyse

der Gesamtzeit. Der Unterschied zwischen Orientierungs- und Eingabezeit ist signifikant,  $t(118) = 3.35$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.29$ . Der Unterschied zwischen Lauf- (M: 4.58, SE: 0.20) und Sitzungszeit (M: 4.89, SE: 0.28) ist nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

Die Analyse ohne Extremwerte zeigt, dass der Grad der Verzerrung gering ist. Orientierungs- und Eingabezeit unterscheiden sich hochsignifikant,  $t(106) = 11.72$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.75$ . Der Unterschied von Lauf- und Sitzungszeit ist nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

Auch für das Taschenrechnerlayout werden keine signifikanten Zeitunterschiede zwischen trainierten und untrainierten Teilnehmern beobachtet.

### Zeilenlayout

Tabelle 5.5 stellt die statistischen Eckdaten des Zeilenlayouts dar. Bei diesem Layout wurde nur die Orientierungszeit durch hohe Extremwerte beeinflusst. Der Einfluss greift auf Lauf- und Sitzungszeiten über. Der Median und die Schiefe der Eingabezeit deuten auf keine Verzerrung hin. Das 95. Perzentil der Orientierungszeit liegt bei 4,30 Sekunden. 95,0% aller Eingaben wurden unter 3,75 Sekunden abgeschlossen. 95,0% aller Laufzeiten haben eine obere Grenze von 8,23

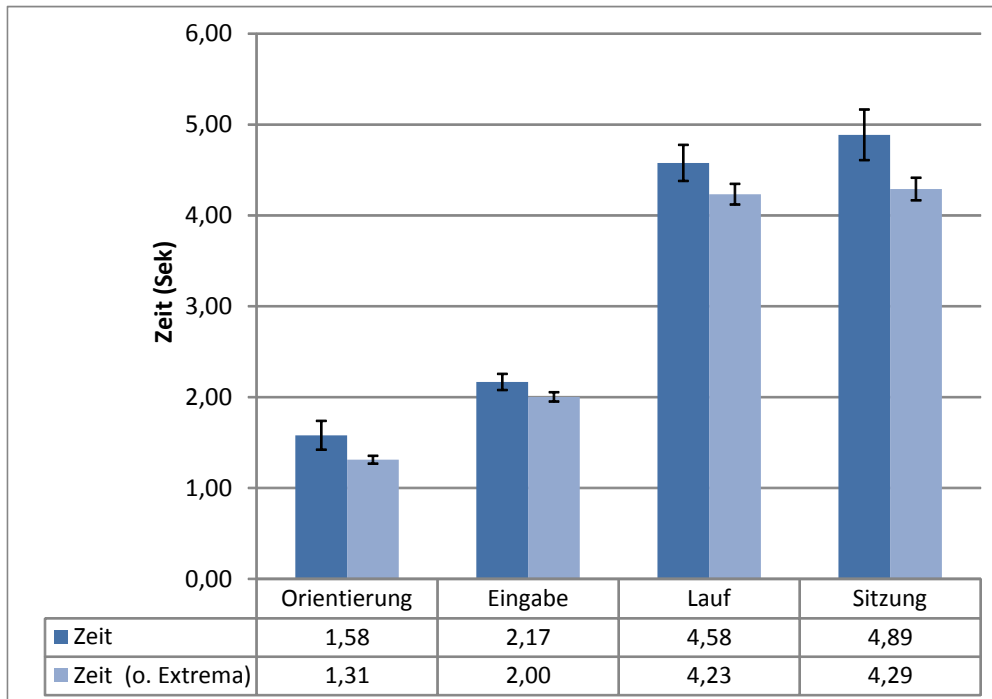


Abbildung 5.9: Taschenrechnerlayout: Zeit und Standardfehler

	Orientierung	Eingabe	Lauf	Sitzung
Mittelwert	1,58	2,17	4,58	4,89
Standard-Err	0,16	0,09	0,20	0,28
Mittelwert (o. E.)	1,31	2,00	4,23	4,29
Standard-Err. (o. E.)	0,04	0,05	0,11	0,12
Median	1,23	1,92	4,12	4,12
Minimum	0,52	0,98	2,41	2,41
Maximum	18,78	8,23	21,44	21,44
Spannweite	18,26	7,25	19,03	19,03
Schiefe	8,33	3,25	4,41	3,65

Tabelle 5.4: Taschenrechnerlayout: statistische Analyse

Sekunden. Der Wert der Sitzungszeit beläuft sich auf 13,37 Sekunden. Abbildung 5.10 stellt die Durchschnittszeiten und Standardfehler des Zeilenlayouts dar.

Werden Extremwerte berücksichtigt, so benötigen Teilnehmer bei diesem Layout 35,5% der Laufzeit für die Orientierung (M: 1.89, SE: 0.26). Für die Eingabe (M: 2.51, SE: 0.07) werden 47,2% der Gesamtzeit beansprucht. Orientierungs- und Eingabezeit unterscheiden sich signifikant,  $t(119) = 2,32$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.21$ . Der Unterschied zwischen Lauf- (M: 5.32, SE: 0.29) und Sitzungszeit (M: 5.81, SE: 0.36) ist ebenfalls signifikant  $t(119) = 2,16$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.19$ .

Die Analyse der bereinigten Daten zeigt, dass das Verhältnis der Zeiten nicht signifikant durch Ausreißer verzerrt wird. Jedoch unterscheiden sich Orientierungs- (M: 1.47, SE: 0.05) und Eingabezeit (M: 2.40, SE: 0.06) ohne den Einfluss von Extremwerten hochsignifikant,  $t(108) = 15.55$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.83$ . Auch das Signifikanzniveau des Vergleichs von Lauf- (M: 4.86, SE: 0.12) und Sitzungszeiten (M: 5.09, SE: 0.14) erhöht sich,  $t(109) = 10.58$ ,  $p < 0.01$ ,  $r = 0.71$ .

Die Analyse der Zeiten von trainierten und untrainierten Teilnehmern ergibt keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0.05$ ).

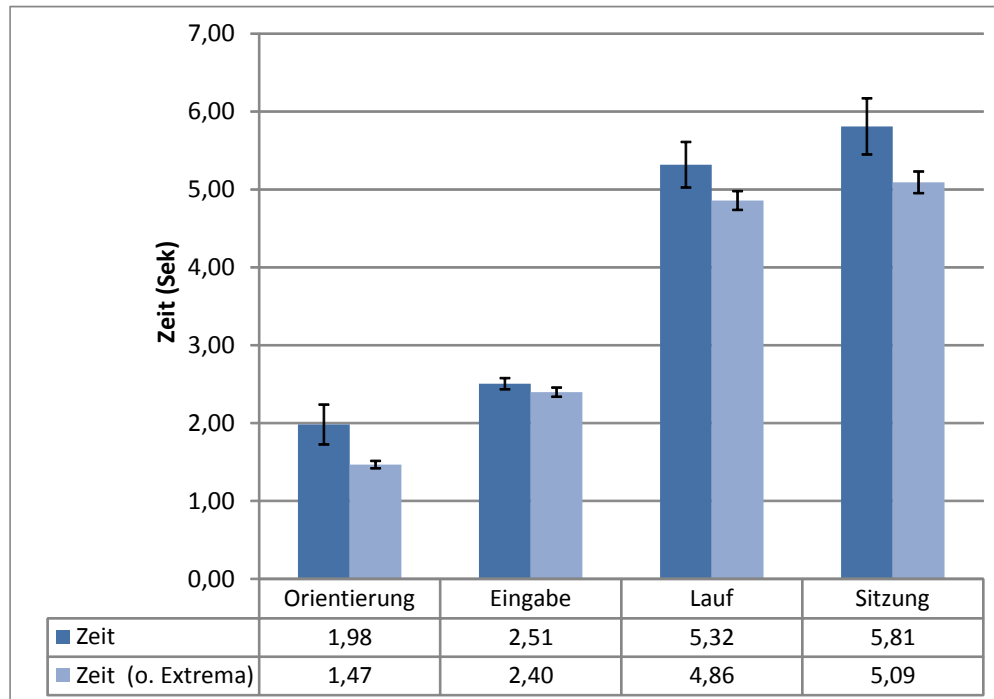


Abbildung 5.10: Zeilenlayout: Zeit und Standardfehler

	Orientierung	Eingabe	Lauf	Sitzung
Mittelwert	1,89	2,51	5,32	5,81
Standard-Err	0,26	0,07	0,29	0,36
Mittelwert (o. E.)	1,47	2,40	4,86	5,09
Standard-Err (o. E.)	0,26	0,07	0,29	0,36
Median	1,36	2,48	4,77	4,92
Minimum	0,62	0,92	2,17	2,20
Maximum	29,85	5,41	35,15	39,53
Spannweite	29,23	4,49	32,97	33,00
Schiefe	8,70	0,85	7,04	5,01

Tabelle 5.5: Zeilenlayout: statistische Analyse

### Zufallslayout

Tabelle 5.6 stellt die statistischen Daten des Zufallslayouts dar. Die Orientierungszeit ist stärker vom Einfluss hoher Extremwerte betroffen als die Eingabezeit. Die Analyse der Perzentile zeigt, dass 95,0% aller Orientierungsphasen innerhalb von 8,11 Sekunden abgeschlossen sind. Das 95. Perzentil der Eingabezeit beträgt hingegen nur 4,92 Sekunden. Lauf- und Sitzungszeiten haben einen Wert von 13,03 beziehungsweise 22,40 Sekunden. Abbildung 5.11 zeigt die Mittelwerte und Standardfehler des Zufallslayouts.

Unter Berücksichtigung der Extremwerte nimmt die Orientierung (M: 2.60, SE: 0.37) bei diesem Layout 42,1% der Gesamtzeit in Anspruch. Annähernd den gleichen Anteil benötigt mit 42,5% die Eingabezeit (M: 2.62, SE: 0.12). Auch der T-Test zeigt, dass sich Orientierungs- und Eingabezeit nicht signifikant voneinander unterscheiden ( $p > 0.05$ ). Der Unterschied zwischen Lauf- (M: 6.17, SE: 0.42) und Sitzungszeit (M: 7.03, SE: 0.58) ist hingegen signifikant,  $t(118) = 2.43$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.22$ .

Die Analyse der Daten ohne Berücksichtigung von Ausreißern bestätigt, dass die Orientierungszeit stark durch Extremwerte beeinflusst ist. Der T-Test ermittelt nun einen signifikanten



Unterschied zwischen der Eingabe- und Orientierungszeit,  $t(108) = 4.67$ ,  $p < 0.05$ ,  $r = 0.42$ . Lauf- und Sitzungszeiten differieren hingegen nicht mehr signifikant ( $p > 0.05$ ). Die Änderung der Verhältnisse lässt den Schluss zu, dass die Extremwerte durch die lange Orientierungszeit einiger Nutzer und durch Falscheingaben verursacht wurden.

Auch für das Zufallslayout können keine signifikanten Zeitunterschiede der trainierten und untrainierten Teilnehmer nachgewiesen werden ( $p > 0.05$ ).

Die Analyse der Nachstudie ergibt vor allem kürzere Orientierungszeiten (M: 2.04, SE: 0.37), aber auch die Eingabe- (M: 2.56, SE: 0.21), Lauf- (M: 5.61, SE: 0.70) und Sitzungszeiten (M: 6.02, SE: 0.91) sind geringer als die gemessenen Zeiten der Hauptstudie.

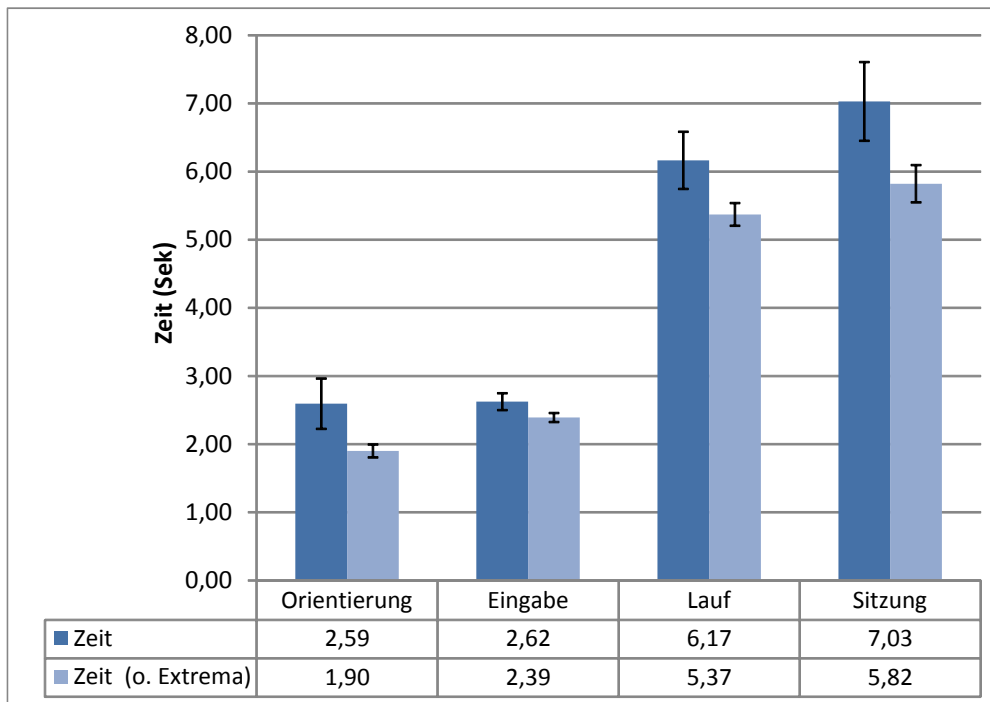


Abbildung 5.11: Zufallslayout: Zeit und Standardfehler

	Orientierung	Eingabe	Lauf	Sitzung
Mittelwert	2,60	2,62	6,17	7,03
Standard-Err	0,37	0,12	0,42	0,58
Mittelwert (o. E.)	1,90	2,32	5,37	5,32
Standard-Err. (o. E.)	0,09	0,07	0,17	0,27
Median	1,65	2,31	5,01	5,15
Minimum	0,82	0,88	2,88	2,88
Maximum	40,45	12,68	42,53	49,35
Spannweite	39,63	11,81	39,65	46,48
Schiefe	7,36	4,22	5,47	3,90

Tabelle 5.6: Zufallslayout: statistische Analyse

### Interpretation

Die Analyse des Zeitaufwands zeigt, dass vor allem die Orientierungs- und Sitzungszeiten der Layouts durch Extremwerte beeinflusst werden. Diese Extremwerte treten nicht zufällig auf. Wie die Analyse der Perzentile zeigt, ist die Streuung der Werte umso stärker, je mehr ein Layout vom gewohnten Aufbau des Telefonlayouts abweicht. Nimmt man die Grenze des 95. Perzentils, so zeigt sich, dass der Aufwand der Orientierungszeit im Vergleich zum Telefonlayout (2,58 Sekunden) bereits bei der Nutzung des Taschenrechnerlayouts um 45,3% (1,17 Sekunden) steigt. Das 95. Perzentil der Orientierungsphase des Zeilenlayouts ist im Vergleich zum Telefonlayout um 66,7% (1,72 Sekunden) erhöht. Die stärkste Streuung zeigt das Zufallslayout, dessen 95. Perzentil um 214,3% (5,53 Sekunden) erhöht ist. Dies bestätigt die Hypothesen 1a und 2abc (Abschnitt 3.1).

Die steigenden Orientierungszeiten sind durch die menschliche Wahrnehmung zu erklären. Unbekannte Muster werden sequentiell verarbeitet und die Dauer der Verarbeitung steigt mit der Komplexität des Musters an. Die Eingabezeit wird durch den Aufbau des Layouts in geringerem Maß beeinflusst. Dies stimmt mit den Befunden aus Abschnitt 5.1.2 überein. Personen scheinen somit erst mit der Eingabe der Ziffern zu beginnen, wenn alle benötigten Tasten lokalisiert wurden.

Eine längere Orientierungszeit muss nicht ausschließlich durch die visuelle Erfassung der Tastatur bedingt sein. Möglich ist auch, dass die Herleitung der PIN einen längeren Zeitraum benötigt, da diese nicht mehr visuell oder motorisch abgeleitet werden kann. Der Vergleich der Zeiten des Zufallslayouts aus der Haupt- und Nachstudie gibt darauf einen Hinweis. Das vor allem die Orientierungszeit der Nachstudie geringer ausfällt, kann nicht auf einen Lernerfolg zurückzuführen sein, da dieser in Abschnitt 5.1.3 nicht nachgewiesen wurde. Es wird daher vermutet, dass sich Teilnehmer der Nachstudie die PIN nicht motorisch oder visuell einprägen konnten und deshalb auf eine andere tastaturunabhängige Strategie ausweichen mussten. Daher besteht die Orientierungszeit der Nachstudie ausschließlich aus dem Zeitaufwand, welcher für die sequentielle Erfassung der Tastatur notwendig ist und ist kürzer als die Orientierungszeit der Hauptstudie, in welcher der Einfluss auf die Erinnerbarkeit zusätzlich eine Rolle spielte.

Der Einfluss auf die Erinnerbarkeit wird in Abschnitt 5.4 analysiert. Die Ergebnisse geben jedoch bereits einen wichtigen Hinweis darauf, dass sich der konsistente Einsatz eines Layouts positiv auf die Erinnerbarkeit und die Performance auswirken kann. Im nächsten Abschnitt werden die Unterschiede zwischen den Layouts auf Signifikanz untersucht.

#### 5.2.2 Vergleich der Layouts

Dieser Abschnitt analysiert die Zeitunterschiede zwischen den getesteten Layouts. Zur Analyse werden die Mittelwerte der Durchläufe gebildet. Die Mittelwerte des Telefonlayouts basieren somit auf zehn, die Mittelwerte der anderen Layouts auf jeweils zwei Durchläufen.

Es werden die Orientierungs-, Eingabe-, Lauf- und Sitzungszeiten verglichen. Zusätzlich wird der Einfluss des Trainingsgrades überprüft. Da Abschnitt 5.2.1 gezeigt hat, dass die Stärke der Streuung durch das jeweilige Layout beeinflusst wird, werden Extremwerte in die Analyse einbezogen.

#### Orientierungszeit

Abbildung 5.12 stellt die durchschnittlichen Orientierungszeiten der getesteten Layouts dar. Die Zeit, welche ein Nutzer für die Orientierung benötigt, ist beim Telefonlayout am geringsten. Die Orientierungsphase erhöht sich bei der Benutzung eines Taschenrechnerlayouts um 18,8%. Für eine Orientierung auf einem Zeilenlayout werden 48,9% mehr Zeit benötigt. Das Zufallslayout verursacht die längsten Orientierungszeiten. Teilnehmer benötigen bei diesem Layout 95,5% mehr Zeit als auf dem Telefonlayout.

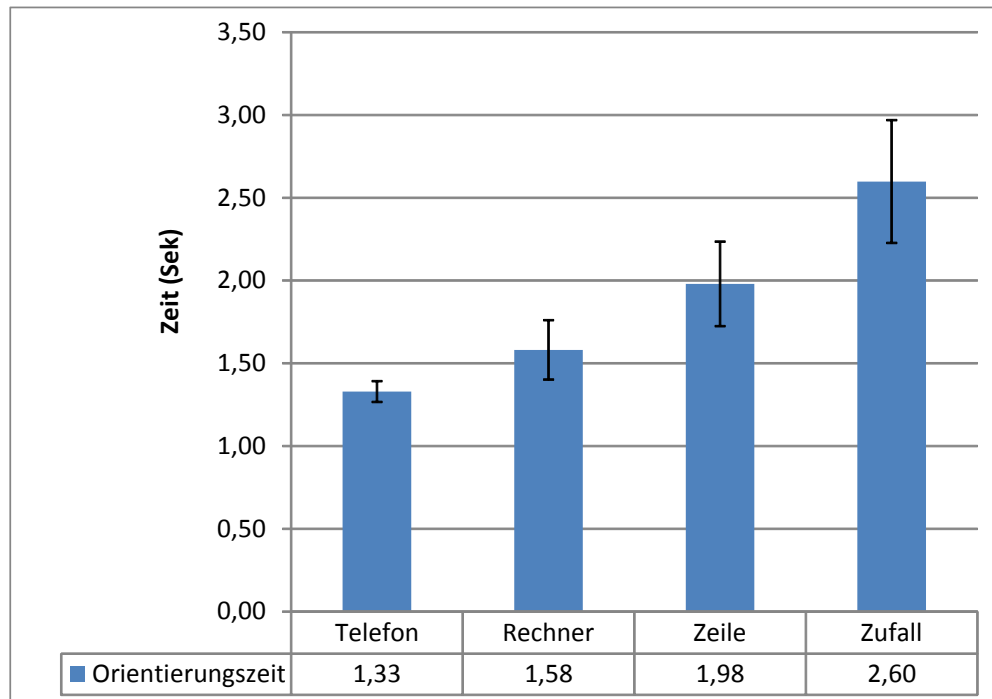


Abbildung 5.12: Zeitaufwand: Orientierungszeit

Der Haupteffekt des Layouts auf die Orientierungszeit ist signifikant,  $F(2.15, 126.66) = 5.63$ ,  $p < 0.05$ . Die Freiheitsgrade wurden auf Grund des Mauchly-Tests,  $\chi^2(5) = 48.89$ ,  $p < 0.01$ , durch Greenhouse-Geisser korrigiert ( $\epsilon = 0.72$ ).

Der Test der Innersubjektkontraste zeigt, dass die Orientierungszeiten des Telefonlayouts signifikant kürzer sind, als die Zeiten des Zeilenlayouts,  $F(1, 59) = 4.84$ ,  $p < 0.05$ . Auch die Zeiten des Zufallslayouts unterscheiden sich von der Orientierungszeit des Telefonlayouts signifikant,  $F(1, 59) = 12.26$ ,  $p < 0.05$ . Das Taschenrechnerlayout führt im Vergleich zum Telefon- und Zeilenlayout zu keinen signifikanten Zeitunterschieden ( $p > 0.05$ ). Die Orientierungsphasen auf dem Taschenrechnerlayout sind jedoch signifikant kürzer als die des Zufallslayouts  $F(1, 59) = 4.84$ ,  $p < 0.05$ .

Bemerkenswert ist, dass die Orientierungszeiten auf einem Zeilenlayout nicht signifikant kürzer sind als auf einem Zufallslayout ( $p > 0.05$ ).

Die differenzierte Analyse der Orientierungszeiten von trainierten und untrainierten Teilnehmern ergibt keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0.05$ ). Trainierte Teilnehmer orientieren sich beim Taschenrechnerlayout 0,25 Sekunden und beim Zufallslayout 0,12 Sekunden schneller. Die Differenz der Orientierungszeiten des Telefonlayouts ist mit 0,02 Sekunden sehr gering. Der größte Unterschied wird beim Zeilenlayout festgestellt. Trainierte Teilnehmer sind bei diesem Layout 0,52 Sekunden langsamer.

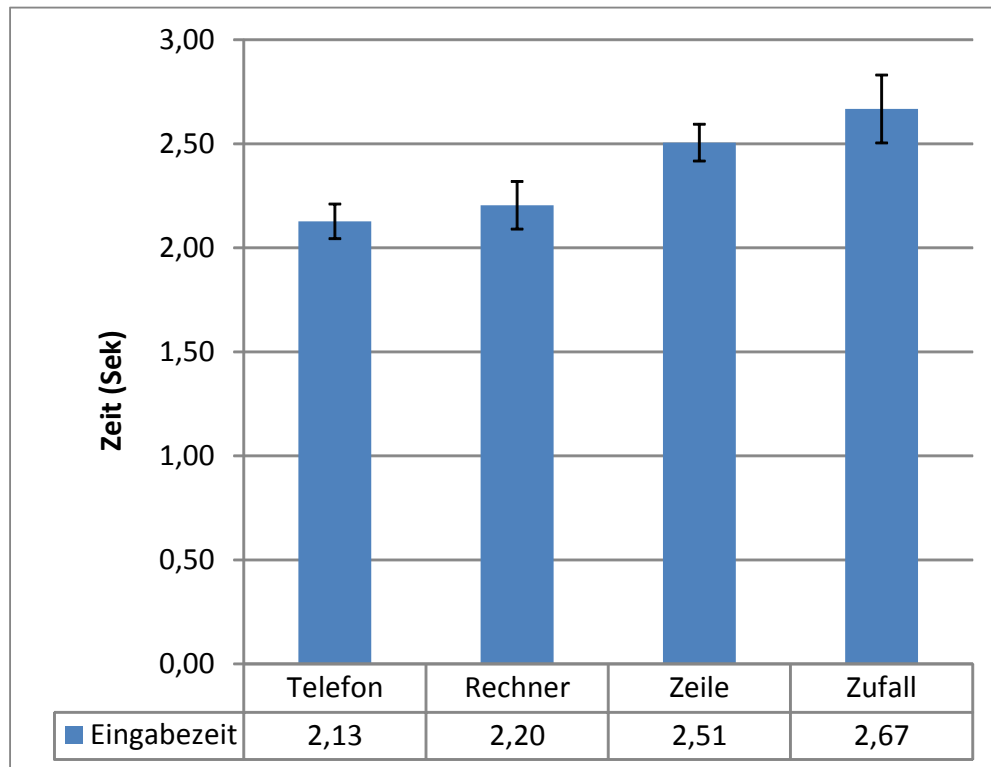


Abbildung 5.13: Zeitaufwand: Eingabezeit

### Eingabezeit

Abbildung 5.13 stellt die durchschnittlichen Eingabezeiten der getesteten Layouts dar. Auch der Zeitaufwand der Eingabe ist beim Telefonlayout am geringsten. Bei Benutzung des Taschenrechnerlayouts wird 3,3% mehr Zeit benötigt. Eingaben auf dem Zeilenlayout dauern im Vergleich zum Telefonlayout 17,8% länger. Das Zufallslayout verursacht, wie bei der Orientierung, die längsten Zeiten. Teilnehmer benötigen bei diesem Layout 25,4% mehr Zeit für die Eingabe der PIN.

Auch wenn der Einfluss des Tastaturlayouts auf die Eingabe geringer ausfällt als auf die Orientierung, ist der Haupteffekt hochsignifikant,  $F(1,95, 114,96) = 9,13$ ,  $p < 0,01$ . Die Freiheitsgrade wurden auf Grund des Mauchly-Tests,  $\chi^2(5) = 56,71$ ,  $p < 0,01$ , durch Greenhouse-Geisser korrigiert ( $\epsilon = 0,65$ ).

Der Test der Innersubjektkontraste ergibt für das Telefonlayout hoch signifikant kürzere Eingabezeiten als für das Zeilen-,  $F(1, 59) = 31,63$ ,  $p < 0,01$ , und das Zufallslayout,  $F(1, 59) = 16,42$ ,  $p < 0,01$ . Auch die Eingabezeiten des Taschenrechnerlayouts unterscheiden sich signifikant von den Eingaben auf dem Zeilen-,  $F(1, 59) = 8,37$ ,  $p < 0,05$ , und dem Zufallslayout,  $F(1, 59) = 8,70$ ,  $p < 0,05$ . Die Zeitunterschiede zwischen dem Telefon- und dem Taschenrechnerlayout sowie zwischen dem Zeilen- und Zufallslayout sind nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Die Unterscheidung der Teilnehmer nach ihrem Trainingsgrad ergibt keine signifikanten Unterschiede. Die Gruppe der untrainierten Teilnehmer zeigt jedoch für alle Layouts die schnelleren Eingabezeiten. Der Geschwindigkeitsvorteil beträgt 0,14 Sekunden für das Telefon-, 0,13 Sekunden für das Taschenrechner-, 0,12 Sekunden für das Zeilen- sowie 0,41 Sekunden für das Zufallslayout.

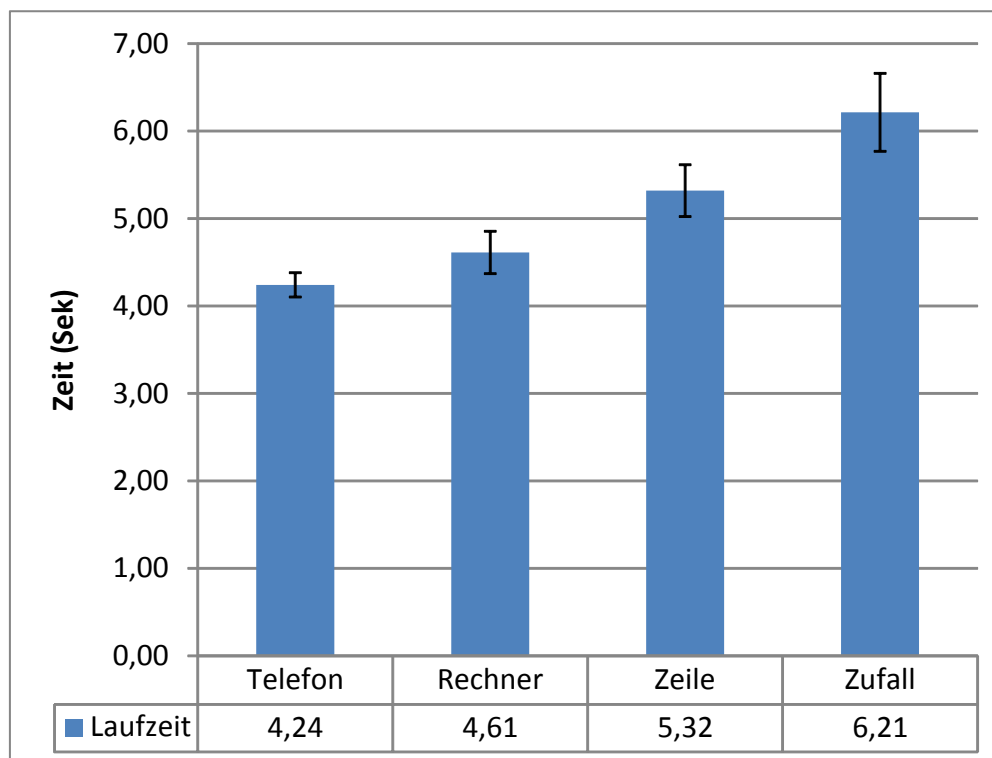


Abbildung 5.14: Zeitaufwand: Laufzeit

### Laufzeit

Abbildung 5.14 visualisiert die durchschnittlichen Laufzeiten der Layouts. Durch die starke Korrelation der Laufzeit mit den Orientierungs- und Eingabezeiten erklärt sich, dass das Telefonlayout auch die schnellsten Laufzeiten aufweist. Die Laufzeit des Taschenrechnerlayouts ist um 8,7% erhöht. Die Laufzeiten auf dem Zeilenlayout nehmen durchschnittlich 20,3% mehr Zeit in Anspruch. Das Zufallslayout verursacht im Vergleich zum Telefonlayout einen Mehraufwand von 31,7%.

Der Haupteffekt des Layouts auf die Laufzeit ist hochsignifikant,  $F(2.09, 123.25) = 11.32$ ,  $p < 0.01$ . Die Freiheitsgrade wurden ebenfalls korrigiert ( $\epsilon = 0.70$ ),  $\chi^2(5) = 49.61$ ,  $p < 0.01$ .

Der Test der Innersubjektkontraste zeigt, dass sich die Laufzeiten des Telefonlayouts hochsignifikant von den Laufzeiten des Zeilen-,  $F(1, 59) = 14.14$ ,  $p < 0.01$ , und des Zufallslayouts,  $F(1, 59) = 23.44$ ,  $p < 0.01$ , unterscheiden. Auch die Laufzeiten des Taschenrechnerlayouts sind signifikant besser als die Laufzeiten des Zeilen-,  $F(1, 59) = 4.57$ ,  $p < 0.05$ , und des Zufallslayouts,  $F(1, 59) = 13.54$ ,  $p < 0.05$ . Telefon- und Taschenrechnerlayout sowie Zeilen- und Zufallslayout unterscheiden sich nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

Auch für die Laufzeit werden keine signifikanten Unterschiede zwischen der trainierten und der untrainierten Gruppe festgestellt. Trainierte Teilnehmer sind einzig bei der Interaktion mit einem Taschenrechnerlayout um 0,10 Sekunden schneller. Bei Telefon- (0,19 Sekunden), Zeilen- (0,68 Sekunden) und Zufallslayout (0,27 Sekunden) zeigen sie hingegen langsamere Laufzeiten.

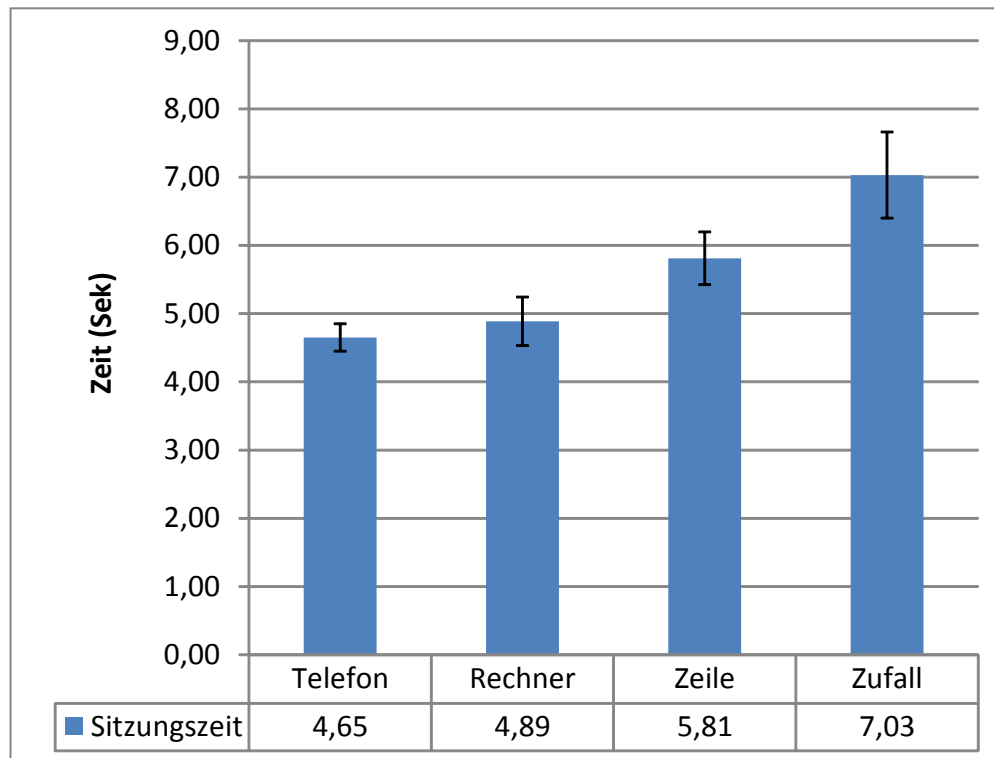


Abbildung 5.15: Zeitaufwand: Sitzungszeit

### Sitzungszeit

Abbildung 5.15 stellt die Sitzungszeiten der getesteten Layouts dar. Die Sitzungszeiten des Telefonlayouts sind am kürzesten. Sitzungen mit dem Taschenrechnerlayout dauern im Durchschnitt 5,2% länger. Das Zeilenlayout verursacht durchschnittlich 24,9% mehr Zeitaufwand für eine Sitzung. Der Mehraufwand des Zufallslayouts liegt bei 51,2%.

Der Haupteffekt des Layouts auf die Sitzungszeit ist ebenfalls hochsignifikant,  $F(2.10, 123.67) = 8.44$ ,  $p < 0.01$ . Die Freiheitsgrade wurden auf Grund des Mauchly-Tests,  $\chi^2(5) = 45.53$ ,  $p < 0.01$ , nach Greenhouse-Geisser korrigiert ( $\epsilon = 0.70$ ).

Der Zeitunterschied zwischen dem Telefon- und dem Zufallslayout ist hochsignifikant,  $F(1, 59) = 18.13$ ,  $p < 0.01$ . Auch die Differenz zum Zeilenlayout ist signifikant,  $F(1, 59) = 8.82$ ,  $p < 0.05$ . Das Taschenrechnerlayout zeigt nur im Vergleich mit dem Zufallslayout signifikant bessere Sitzungszeiten,  $F(1, 59) = 10.98$ ,  $p < 0.05$ . Taschenrechner- und Telefonlayout sowie Zeilen- und Zufallslayout unterscheiden sich nicht signifikant ( $p > 0.05$ ).

Die trainingspezifische Analyse der Sitzungszeiten ergibt keine signifikanten Unterschiede. Jedoch ändert sich das Verhältnis beider Gruppen im Vergleich zu den Laufzeiten. Die trainierten Teilnehmer zeigen sowohl beim Telefon- (0,17 Sekunden) als auch beim Taschenrechner- (0,14 Sekunden) und Zeilenlayout (0,12 Sekunden) schnellere Sitzungszeiten. Einzig bei Benutzung eines Zufallslayouts sind sie der untrainierten Gruppe um 0,66 Sekunden unterlegen. Das trainingsabhängige Zeitverhältnis der Lauf- und Sitzungszeit spricht für eine geringere Fehlerquote der trainierten Teilnehmer. Dies wird durch die in Abschnitt 5.3 vorgenommene Fehleranalyse bestätigt.

**Interpretation**

Für alle Zeitdimensionen kann ein signifikanter Haupteffekt des Layouts nachgewiesen werden. Authentifizierungen am Telefonlayout gehen am schnellsten. Hier benötigen Teilnehmer die geringste Zeit um sich zu orientieren und machen die schnellsten Eingaben. Die Zeiten des Taschenrechnerlayouts sind am zweitbesten. Während die Orientierung im Vergleich zum Telefonlayout merkbar länger dauert, sind die Eingaben auf diesem Layout annähernd gleich schnell. Die Eingabe- und Orientierungsperformance sinkt desto stärker, je weiter sich der Aufbau des Layouts vom Telefonlayout entfernt. So sind die Eingaben des Zeilen- und Zufallslayouts signifikant schlechter als Eingaben auf dem Telefon- und Taschenrechnerlayout. Dies bestätigt die Hypothesen 1b und 2abc (Abschnitt 3.1). Bemerkenswert ist, dass sich der Performanceverlust des Zeilenlayouts nicht signifikant von dem des Zufallslayouts unterscheidet. Die Analyse zeigt, dass dies vor allem durch die langen Eingabezeiten des Zeilenlayouts bedingt ist. Diese könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Tastenabstände bei diesem Layout erhöht sind und somit längere Wege bewerkstelligt werden müssen. Das Zufallslayout verursacht besonders in der Orientierungsphase einen hohen Mehraufwand. Diese dauert im Vergleich zum Telefonlayout annähernd doppelt so lange.

Der Vergleich der trainierten und untrainierten Gruppe ergibt für keine der Zeitdimensionen signifikante Unterschiede. Da das Training keine Vorteile für die Benutzung des Telefonlayouts zeigt, gilt Hypothese 3b (Abschnitt 3.1) als widerlegt. Hypothese 3d kann auf Grund der geringen Unterschiede nicht falsifiziert werden. Obwohl trainierte Teilnehmer tendenziell langsamere Laufzeiten haben, sind ihre Sitzungszeiten kürzer. Trainierten Teilnehmern scheinen somit weniger Eingabefehler zu unterlaufen (siehe Abschnitt 5.3).

Die Analyse zeigt jedoch, dass das Tastaturlayout einen signifikanten Einfluss auf den Zeitaufwand der Authentifizierung hat. Der nächste Abschnitt analysiert den Einfluss der Tastaturanordnung auf die Fehler- und Korrekturrate.

### 5.3 Fehler und Korrekturen

Dieser Abschnitt nimmt eine quantitative Analyse der Fehler-, Korrektur- und Abbruchrate vor. Die qualitative Analyse wird in Abschnitt 5.4 im Rahmen der Überprüfung des Einflusses auf die Erinnerbarkeit vorgenommen.

#### 5.3.1 Fehlerrate

Die Fehlerrate ist neben dem Zeitaufwand der wichtigste Aspekt zur Bewertung der Benutzerfreundlichkeit eines Systems. Dieser Abschnitt untersucht den Einfluss der Tastaturanordnung auf die Fehlerrate.

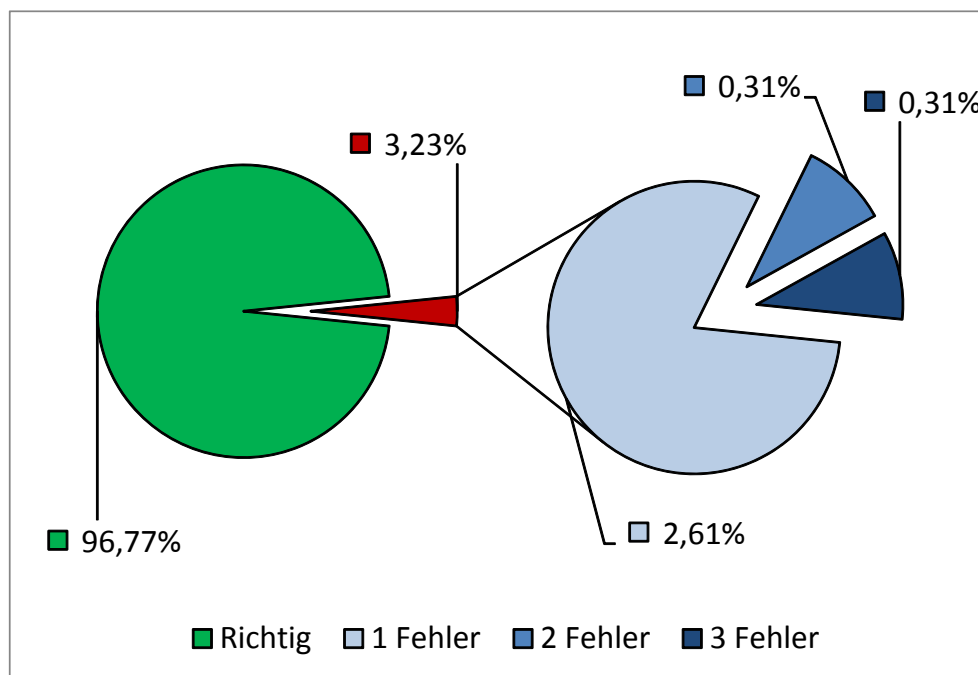


Abbildung 5.16: Fehllerrate der Hauptstudie

#### Allgemeine Fehlerrate

Abbildung 5.16 stellt die Fehlerrate gemessen am Anteil aller Authentifizierungen dar. Insgesamt wurden in der Hauptstudie 928 von 959 (96,8%) Sitzungen korrekt abgeschlossen. 25 von 31 Falscheingaben (80,7%) konnten im zweiten Versuch verbessert werden. 3 von 31 (9,7%) Falscheingaben schlugen auch im zweiten Authentifizierungsversuch fehl. Drei (9,7%) weitere Authentifizierungen konnten nicht erfolgreich abgeschlossen werden und stellen somit kritische Fehler dar.

Auf Grund der sehr niedrigen Fehlerquote kann kein signifikanter Einfluss der Tastaturanordnung nachgewiesen werden ( $p > 0.05$ ). Alle Layouts, außer der Zeilenanordnung, führen zu einem kritischen Fehler. Abbildung 5.17 stellt die Fehlerrate der getesteten Layouts dar.

Die Fehlerquote des Telefonlayouts ist mit 2,8% am geringsten. Taschenrechner- (3,3%) und Zeilenlayout (3,3%) zeigen die gleiche Fehlerhäufigkeit. Ihre Quote ist gegenüber dem Telefonlayout um 17,3% erhöht. Da das Zeilenlayout keinen kritischen Fehler verursacht, ist es in der Benutzerfreundlichkeit höher einzustufen als das Taschenrechnerlayout. Die Benutzung des Zufallslayouts führt zu einer Fehlerquote von 5,0%. Dies entspricht einer Erhöhung von 76,1% im Vergleich zum Telefonlayout.



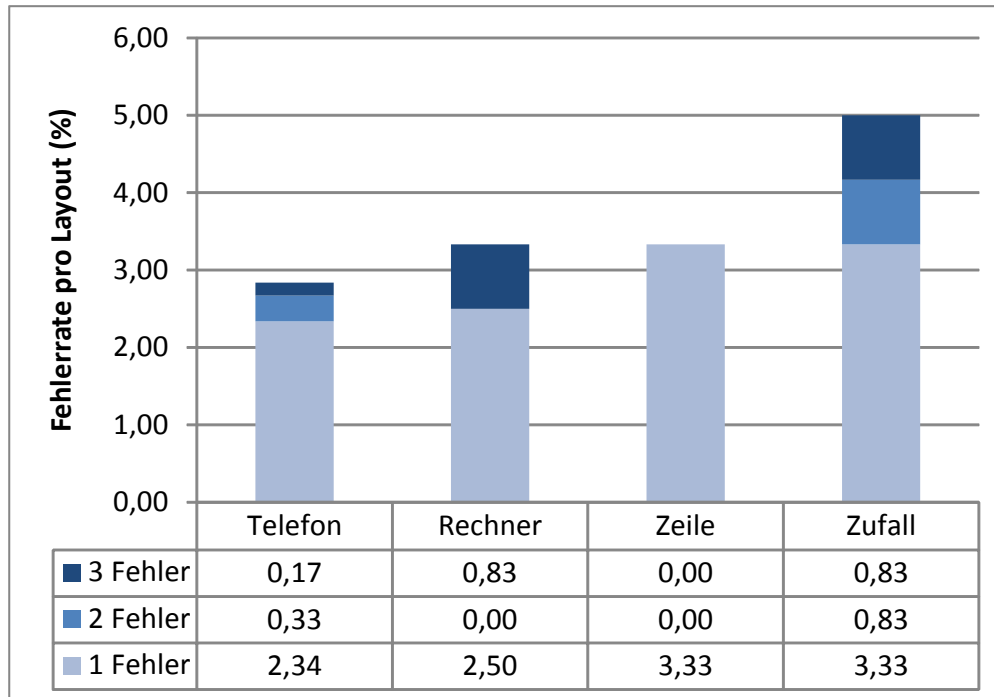


Abbildung 5.17: Fehlerrate: Layouts

#### Analyse auf Nutzerebene

Die Unterscheidung der Teilnehmer in trainierte und untrainierte Personen zeigt, dass 67,7% aller Fehler durch untrainierte Personen verursacht wurden. Das Verhältnis ist in Abbildung 5.18 dargestellt. Die untrainierte Gruppe verursacht 18 von 25 Einzelfehlern, einen von drei Doppelfehlern, sowie 2 von 3 kritischen Fehlern. Auf Grund der allgemein geringen Fehlerquote kann dieser Unterschied nicht als signifikant gewertet werden.

Die Betrachtung der Layouts ergibt, dass 14 von 21 (66,7%) Fehlern auf dem Telefonlayout, 4 von 6 (66,7%) Fehlern auf dem Taschenrechnerlayout, 4 von 9 (44,4%) Fehlern auf dem Zufallslayout sowie alle vier (100,0%) Fehler des Zeilenlayouts durch untrainierte Personen verursacht wurden.

Die Analyse der Fehlerraten einzelner Nutzer ergibt, dass Teilnehmer, welche einen kritischen Fehler verursacht haben, mindestens einen weiteren Lauf nicht erfolgreich abschließen konnten. Insgesamt sind 9 der 60 Teilnehmer (15,0%) für 67,8% aller gemachten Fehler verantwortlich. Darunter befinden sich auch alle kritischen Fehler. Unter den neun Teilnehmern mit dem höchsten Fehleraufkommen befinden sich sieben untrainierte Personen. Die Fehlerquote scheint damit sowohl vom Training als auch von der persönlichen Fähigkeit eines Benutzers abzuhängen.

#### Analyse auf Tagesebene

Eine Fehleranalyse auf Tagesebene zeigt, dass die Anzahl fehlgeschlagener Authentifizierungen durch die wiederholte Anwendung des Layouts sinkt. Es werden die einzelnen Läufe gezählt. Ein Doppelfehler fließt somit wie zwei Einzelfehler und ein kritischer Fehler wie drei Einzelfehler in die Bewertung ein. Die Übersicht der zehn Testtage des Telefonlayouts ist in Abbildung 5.19 dargestellt. Der kritische Fehler wurde am ersten Testtag verzeichnet. Die beiden Doppelfehler am zweiten und sechsten Tag.

Die Analyse der zwei Durchläufe der alternativen Anordnungen zeigt ebenfalls Verbesserungen im zweiten Lauf (Abbildung 5.20). Beim Taschenrechnerlayout wurde der kritische Fehler jedoch im zweiten Durchlauf verzeichnet. Die Anzahl der fehlgeschlagenen Läufe stimmt daher mit

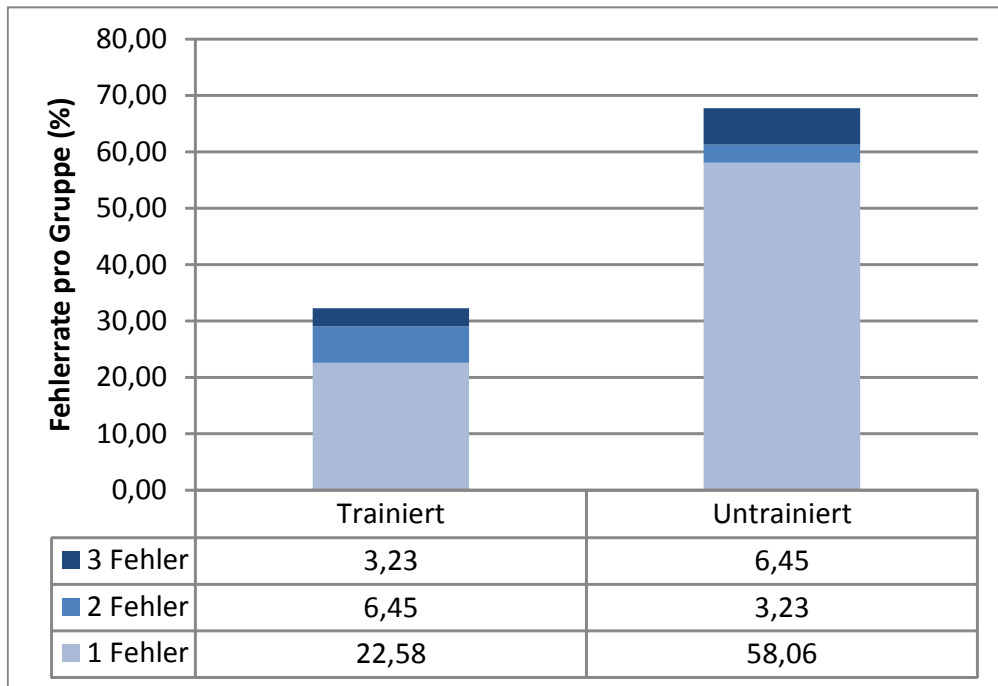


Abbildung 5.18: Fehlerrate: Teilnehmer

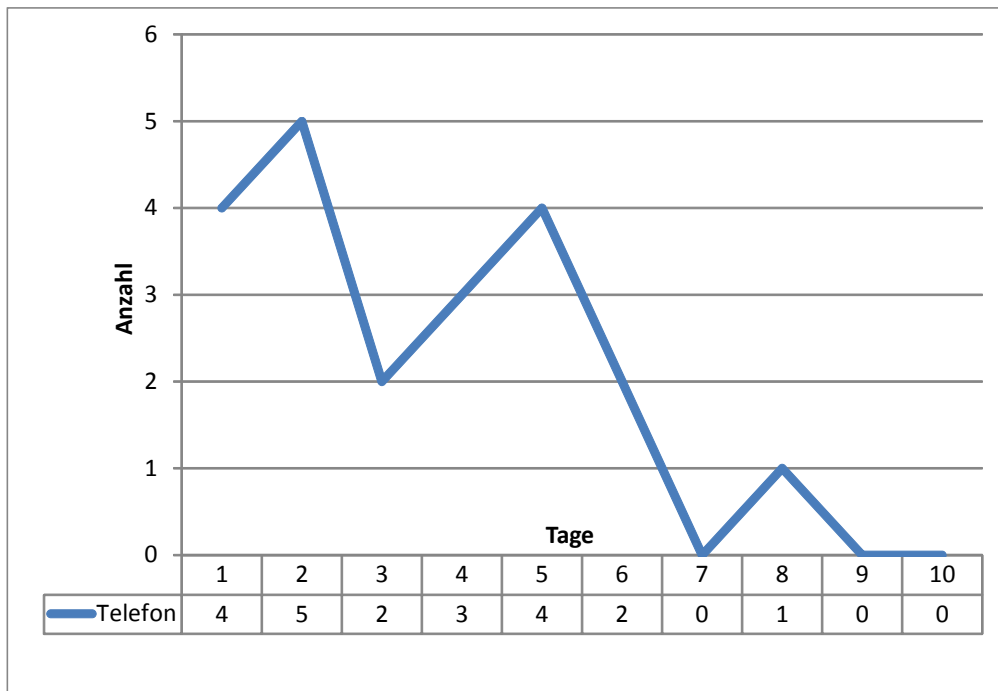


Abbildung 5.19: Fehlerrate: Telefonlayout

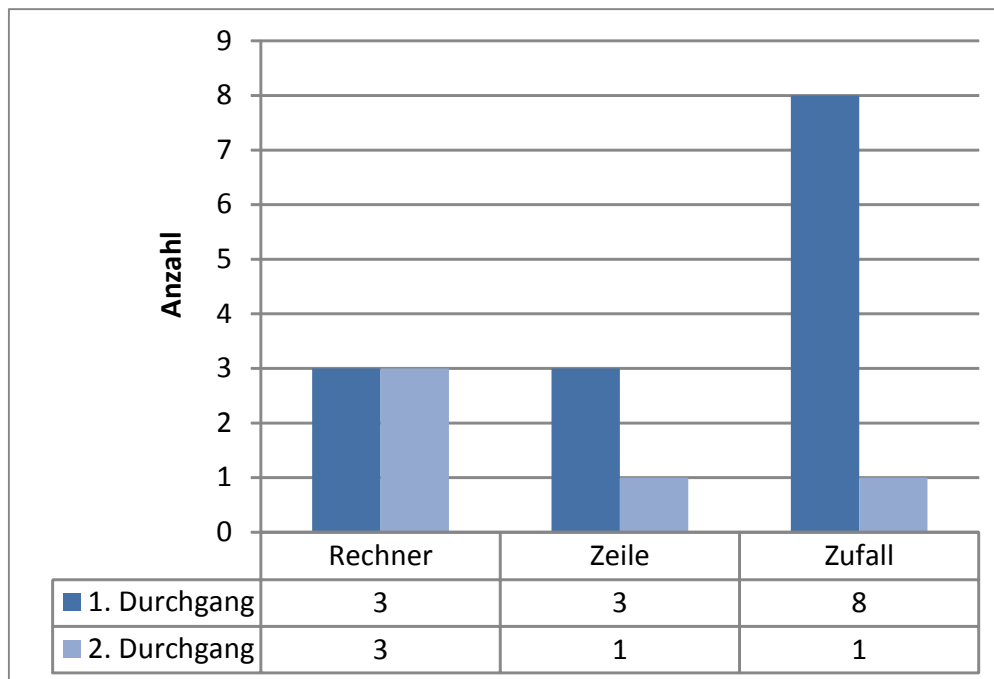


Abbildung 5.20: Fehlerrate: alternative Layouts

dem ersten Durchlauf überein, wurde jedoch in einer Sitzung verursacht. Beim Zeilenlayout wurden 3 der 4 Einzelfehler im ersten Durchlauf verursacht. Das Zufallslayout zeigt den größten Unterschied. Während im ersten Durchgang acht Läufe fehlerhaft waren, ist es im zweiten Durchlauf nur noch einer. Somit wurde sowohl der Doppel- als auch der kritische Fehler bei diesem Layout im ersten Durchgang verzeichnet.

### Trainingsphase und Nachstudie

In der Trainingsphase der Hauptstudie wurden insgesamt 171 von 174 (98,3%) Authentifizierungen korrekt abgeschlossen ( $p > 0.05$ ). Es wurde jeweils ein Einzelfehler am ersten und zweiten Tag, sowie eine Doppelfehler, ebenfalls am zweiten Tag, verzeichnet. Jeder der drei Fehler wurde von einem anderen Nutzer verursacht. In der Nachstudie wurden alle 66 Eingaben korrekt abgeschlossen.

Sowohl die Fehlerrate der Trainingsphase als auch die Fehlerrate der Nachstudie liegt somit unter der beobachteten Fehlerquote der Hauptstudie.

### Interpretation

Die Fehlerrate ist mit 3,2% in der Testphase und 1,7% in der Trainingsphase der Hauptstudie sowie 0,0% in der Nachstudie sehr gering. Auf Grund der geringen Fehlerrate kann kein signifikanter Einfluss des Tastaturlayouts nachgewiesen werden. Die Ergebnisse sprechen jedoch dafür, dass vor allem das Telefon- und das Zeilenlayout am wenigsten Eingabeprobleme verursachen. Das Zufallslayout verursacht in der Hauptstudie die meisten Eingabefehler. In der Nachstudie wurde bei diesem Layout jedoch kein Fehler verzeichnet. Dieses Ergebnis festigt die Vermutung aus Abschnitt 5.2, dass die Teilnehmer der Nachstudie die PINs tastaturunabhängig erlernt haben und daher kein Einfluss des Layouts auf die Erinnerbarkeit stattfand.

Das auch die Fehlerquote des Telefonlayouts in der Trainingsphase geringer war als in der Testphase festigt die Annahme, dass der konsistente Einsatz eines Layouts die Performance der Authentifizierung fördert.

Die Betrachtung der Fehlerraten auf Teilnehmerebene zeigt, dass untrainierte Teilnehmer mehr Fehler machen. Die layoutspezifischen Unterschiede liegen jedoch nah beieinander und sind daher nicht aussagekräftig. Die Analyse auf Tagesebene lässt vermuten, dass bezüglich der Fehlerrate ebenfalls ein Lernprozess stattfindet.

Die Hypothesen bezüglich der Fehlerrate können auf Grund der geringen Effektstärke nicht bestätigt werden. Die Analyse gibt jedoch Indizien dafür, dass die Hypothesen 1c und 2c des Abschnitts 3.1 sowie 1c des Abschnitts 4.1 wahr sind.

In Abschnitt 5.4 wird anhand einer qualitativen Fehleranalyse untersucht, ob die gemachten Fehler auf Erinnerungsprobleme zurückzuführen sind oder durch Bedienungsprobleme verursacht wurden.

### 5.3.2 Korrektur- und Abbruchrate

Durch die Analyse der Korrektur- und Abbruchrate kann die Quote der erkannten Fehler abgeleitet werden.

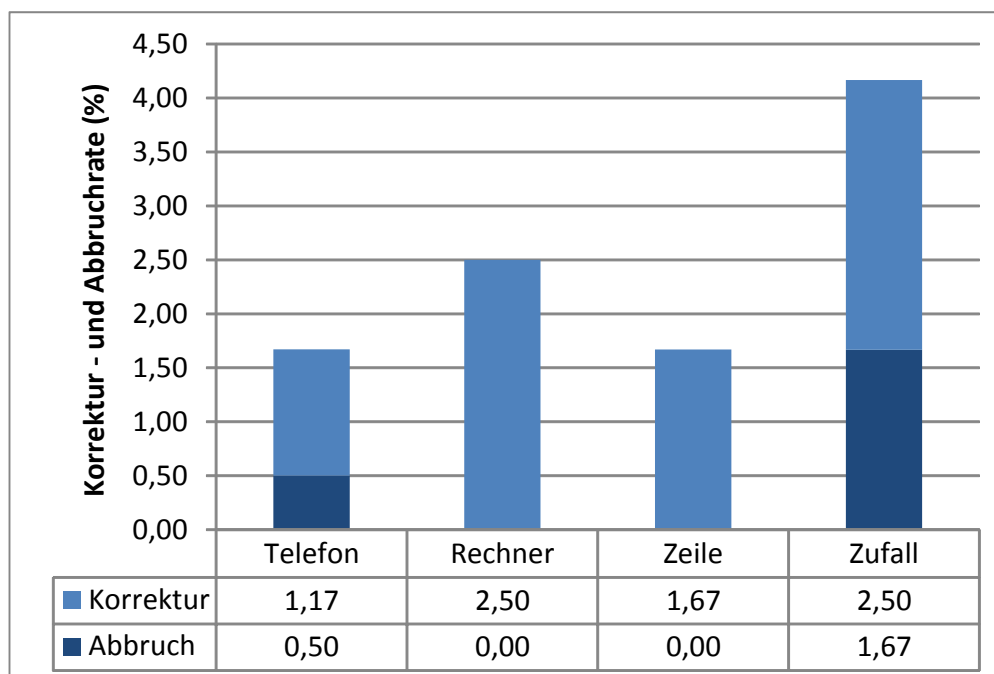


Abbildung 5.21: Korrektur- und Abbruchrate der Hauptstudie

#### Allgemeine Korrekturrate

Abbildung 5.21 zeigt die Korrektur- und Abbruchraten für die in der Hauptstudie getesteten Layouts. Insgesamt wurden 18 Korrekturen in 959 Sitzungen (1,9%) durchgeführt ( $p > 0.05$ ). Dies war bei 7 von 599 (1,2%) Sitzungen auf dem Telefonlayout, 3 von 120 (2,5%) Sitzungen auf dem Taschenrechner- sowie auf dem Zufallslayout und 2 von 120 (1,7%) Sitzungen auf dem Zeilenlayout der Fall. 5 von 18 (27,8%) Authentifizierungen wurden trotz Korrekturen mit einer falschen PIN abgeschlossen. Darunter zwei Sitzungen auf dem Zufalls- und drei Sitzungen auf dem Telefonlayout. Auf dem Telefonlayout gab es jeweils eine Sitzung mit zwei beziehungsweise drei Korrekturen.

Die Abbruchrate ist in der Hauptstudie mit 5 von 959 (0,5%) Abbrüchen noch geringer. Für das Telefonlayout wurde die Funktion in 3 von 599 (0,5%) Sitzungen genutzt. Beim Taschenrechner- und Zeilenlayout wurden keine Abbrüche verzeichnet. Das Zufallslayout führte in 2 von 120 (1,7%) Sitzungen zu einem Abbruch. Alle nach einem Abbruch durchgeführten Authentifizierungen konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Die Möglichkeit der PIN-Einsicht wurde nach keinem Abbruch genutzt.

#### **Analyse auf Nutzerebene**

Die Unterscheidung der Teilnehmer in trainierte und untrainierte Personen zeigt, dass 50,0% aller Korrekturen und nur 20,0% der Abbrüche von untrainierten Personen getätigt wurden.

Die Betrachtung der Korrekturen auf Ebene der Layouts ergibt, dass 6 von 10 (60,0%) Einzelkorrekturen auf dem Telefonlayout, 1 von 3 (33,3%) Einzelkorrekturen auf dem Taschenrechnerlayout, 1 von 2 (50,0%) Einzelkorrekturen auf dem Zeilenlayout sowie 1 von 3 (33,3%) Einzelkorrekturen auf dem Zufallslayout durch untrainierte Personen getätigt wurden. Jedoch stammen 4 der 5 (80,0%) Läufe, welche trotz Korrekturen mit einem Fehler abgeschlossen wurden, von untrainierten Teilnehmern.

Alle fünf Abbrüche und 13 der 18 Korrekturen stammen von unterschiedlichen Personen. Die Korrektur- und Abbruchrate ist somit verteilter als die Fehlerrate.

#### **Analyse auf Tagesebene**

Eine Analyse auf Tagesebene zeigt, dass sowohl die Korrektur- als auch die Abbruchrate über den gesamten Testverlauf verteilt ist. Eine Anhäufung zu Beginn der Testphase, wie bei der Fehlerrate, besteht nicht.

#### **Trainingsphase und Nachstudie**

In der Trainingsphase der Hauptstudie wurden insgesamt fünf Korrekturen (2,9%) und ein Abbruch (0,6%) durchgeführt. In der Nachstudie wurden eine Korrektur (1,5%) und zwei Abbrüche (3,0%) verzeichnet. Beide Abbrüche der Nachstudie wurden von derselben Person durchgeführt.

#### **Interpretation**

Die Analyse der Korrekturquote zeigt, dass der Anteil erkannter Fehler kleiner als der Anteil unerkannter Fehler ist. Unter der Annahme, dass Bedienungsfehler seltener unerkannt bleiben als erinnerungsbedingte Fehler, spricht dieses Ergebnis für einen hohen Anteil erinnerungsbedingter Fehler. Ein weiteres Indiz für diese Annahme ist, dass 21,7% (5 von 23) der bemerkten Fehler nicht korrigiert werden konnten. Die geringe Abbruchrate ist dadurch erklärbar, dass sich Teilnehmer ihrer drei Versuche bewusst sind und deshalb Falscheingaben direkt wiederholen, anstatt den Vorgang abubrechen. Da die PIN-Einsicht nach Abbrüchen nicht genutzt wurde, scheint auch diese keine hinreichende Motivation für einen Abbruch darzustellen.

Auf Grund der geringen Korrektur- und Abbruchrate können keine robusten Aussagen über den Einfluss des Tastaturlayouts gemacht werden. Die Ergebnisse stehen jedoch bezüglich des Zufallslayouts im Einklang mit den Beobachtungen der Fehlerrate und des Zeitaufwands, da dieses Layout auch die höchste Korrektur- und Abbruchquote aufweist.

Bemerkenswert ist, dass trainierte Teilnehmer erkannte Fehler öfter korrigieren konnten als untrainierte Teilnehmer. Unter der Annahme, dass der Unterschied nicht durch Zufall erklärbar ist, könnte dies ein Indiz dafür sein, dass der Anteil an bedienungsbedingten Fehlern bei trainierten Teilnehmern höher ausfällt.

In Abschnitt 5.4 soll eine qualitative Analyse der durchgeführten Korrekturen und Abbrüche klären, welcher Anteil der erkannten Fehler erinnerungsbedingt ist und warum die Möglichkeit der PIN-Einsicht nach Abbrüchen nicht genutzt wurde.

## 5.4 Erinnerbarkeit

In diesem Abschnitt wird der quantitative Einfluss der Layouts auf die Erinnerbarkeit der PIN untersucht. Der subjektive Einfluss wird im Rahmen der Teilnehmerbefragung in Abschnitt 5.5.4 analysiert. Da Erinnerungsprobleme nicht direkt beobachtet werden können, müssen sie von anderen Ergebnissen abgeleitet werden. Hierzu dienen, wie bereits in Abschnitt 3.3.2 definiert, die qualitative Fehler- und Korrekturanalyse, die Quote der eingesehenen PINs und die Auswertung relevanter Nutzerantworten. Die Daten ergeben zusammengefasst für jedes Layout eine quantitative Quote erinnerungsbedingter Probleme.

### 5.4.1 PIN-Einsicht

Die Möglichkeit, die PIN vor einer Authentifizierung erneut einzusehen, wurde nur von vier Teilnehmern genutzt. Diese ließen sich insgesamt neun Mal die PIN anzeigen (0,9%). Jeweils zwei der Teilnehmer, welche die Funktion genutzt haben, gehören der trainierten beziehungsweise der untrainierten Gruppe an.

In allen Fällen wurde die PIN vor dem Start des Testlaufs angezeigt. Da den Teilnehmern zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt war, welches Tastaturlayout getestet wird, können auch die Erinnerungsprobleme nicht auf das Tastaturlayout zurückgeführt werden.

Sowohl in der Nachstudie als auch in der Trainingsphase gibt es einen Teilnehmer, welcher die PIN täglich eingesehen hat. Andere Teilnehmer haben die PIN-Einsicht nicht genutzt. Der Teilnehmer der Trainingsphase ist ebenfalls für vier der neun Einsichten während der Testphase verantwortlich.

### Interpretation

Obwohl die Teilnehmer angewiesen wurden, eine vergessene PIN nur auf der Onlineplattform einzusehen, wurde diese Möglichkeit nur von vier Teilnehmern genutzt. Es ist anzunehmen, dass die tatsächliche Anzahl der Einsichten den gemessenen Wert übersteigt. Die Einsicht geschah vermutlich durch Öffnung der E-Mail, welche jeder Teilnehmer zu Beginn der Studie erhalten hat. Möglich ist auch, dass die PIN an anderer Stelle notiert wurde.

Ein Teilnehmer gab nach der Studie an, nicht gewusst zu haben, dass die PIN online einsehbar war. Ein anderer Teilnehmer gab an, die PIN während der Einsicht der ID unwillkürlich eingesehen zu haben. Er hatte übersehen, dass die ID auch in den täglichen Erinnerungsmails genannt wurde und daher jedes Mal die Einführungsnachricht geöffnet. Eine weitere Teilnehmerin sah die PIN in der Einführungsnachricht ein, weil sie nicht negativ auffallen wollte. Es ist anzunehmen, dass dieses Verhalten auf weitere Teilnehmer zutrifft. Dies erklärt die sehr geringe Quote der systeminternen Einsichten. Des Weiteren ist hierdurch auch die geringe Abbruchquote (Abschnitt 5.3.2) erklärbar, da eine vergessene PIN jederzeit in der Einführungsnachricht einsehbar war.

Die PIN-Einsicht eignet sich somit nicht zur Analyse des Einflusses der Layouts auf die Erinnerbarkeit der PIN. Die Untersuchung stützt sich daher auf die qualitative Fehler- und Korrekturanalyse.

### 5.4.2 Fehler- und Korrekturanalyse

Die qualitative Fehleranalyse soll Aufschluss über den Grund eines gemachten Fehlers geben. Hierfür wird jeder einzelne Fehler analysiert und mit vorhandenen Nutzerinformationen abgeglichen. Es werden sowohl erkannte als auch unerkannte Fehler geprüft. Die Fehler werden, wie in Abschnitt 3.3.2 definiert, kategorisch in Erinnerungs-, Flüchtigkeits- und Bedienungsfehler eingeteilt. Bedienungsfehler entstehen, wenn Personen durch einen Mangel an Zielgenauigkeit die falsche Taste betätigen, Zahlen auslassen oder eine Eingabe zu früh abschließen. Flüchtigkeitsfehler werden auf das Phänomen der Veränderungsblindheit zurückgeführt.

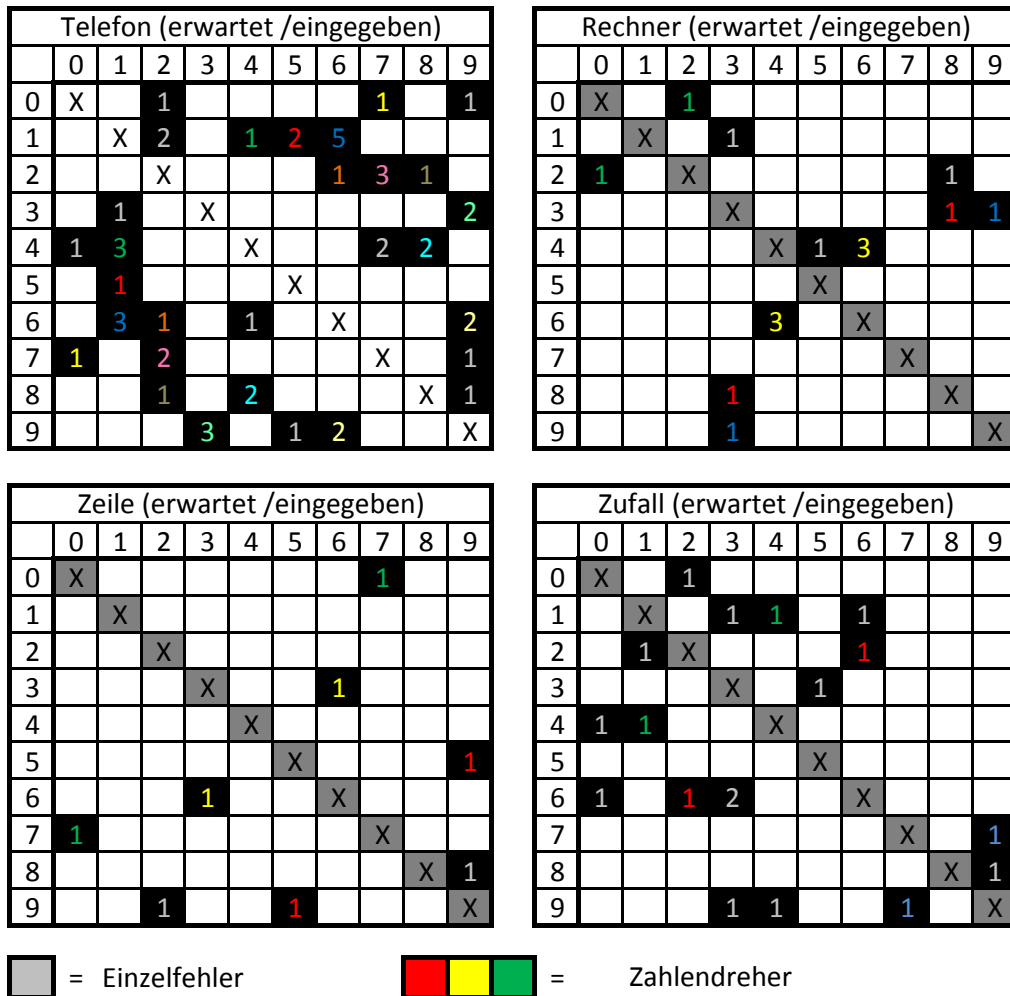


Abbildung 5.22: Erinnerbarkeit: Fehlermatrizen

Ein Fehler wird auf ein erinnerungsbedingtes Problem zurückgeführt, wenn er in mindestens eine der folgenden Kategorien fällt:

- **Wiederholung**  
Eine falsche Eingabe wird wiederholt. Hier kann davon ausgegangen werden, dass der Teilnehmer grundsätzlich von der falschen PIN ausgegangen ist.
- **Zahlendreher**  
Die Eingabe enthält alle Ziffern der richtigen PIN, jedoch in der falschen Reihenfolge. Erinnerungsbefindliche Zahlendreher sind ein Phänomen, welches durch die deutsche Sprache gefördert wird. Im Deutschen werden Zahlen in einer anderen Reihenfolge gesprochen als geschrieben. Da der Zahlenklang somit von der Schreibweise abweicht und sich viele Personen PINs anhand zweistelliger Ziffernkombinationen einprägen, führt die spätere Herleitung zu einem Zahlendreher [31][60]. So wird beispielsweise die PIN "1672" als "Sechszehn - Zweiundsiebzig" eingepreßt und könnte auf Grund eines Erinnerungsfehlers zu der Eingabe von "1627" führen. Motorische Zahlendreher entstehen durch eine falsche Koordination bei einer Eingabe mit mindestens zwei Fingern. Da in der Studie Ziffern nur sequentiell eingegeben werden können, wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit für einen motorisch bedingten Zahlendreher sehr gering ist.

- **Tastenabstand**

Ist die Taste der falsch eingegebenen Ziffer auf der Anordnung weit von der Taste der erwarteten Eingabe entfernt, so ist davon auszugehen, dass der Fehler nicht motorisch bedingt war. Um Fehler in der Zielgenauigkeit auszuschließen muss die erwartete Taste mindestens durch eine weitere Taste von der betätigten Taste getrennt sein.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Eingabe, welche in eine der obigen Kategorien fällt, nicht auf einem Erinnerungsproblem beruht, wird als gering eingestuft. Die Analyse kann sich jedoch bis auf Einzelfälle, in welchen Benutzer sich zu einem Fehler geäußert haben, nur auf Indizien stützen und somit für einen Teil der Fehler falsche Annahmen aufweisen.

Um den Einfluss auf die Erinnerbarkeit zu visualisieren wird für jedes Layout eine Fehlermatrix erstellt. Die Matrizen sind in Abbildung 5.22 dargestellt. Die horizontale Achse dieser Matrizen beschreibt den erwarteten, die vertikale Achse den eingegebenen Wert. Die Ziffern entsprechen der Anzahl der beobachteten Fehler. Doppelfehler werden als zwei, kritische Fehler als drei Einzelfehler gezählt. Symmetrische Einträge sind in der gleichen Farbe dargestellt und deuten auf Zahlendreher hin. Fehler, welche nicht auf Zahlendreher zurückgeführt werden können, werden in der Matrix grau hinterlegt. Je symmetrischer eine Fehlermatrix ist, desto höher ist der Anteil an Zahlendrehern. Je höher die Werte einzelner Felder sind, desto öfter wurde der spezifische Fehler wiederholt. Die Matrizen enthalten nur vollständige Fehler. Falscheingaben, welche auf Grund von fehlenden Ziffern entstehen, können in der Fehlermatrix nicht dargestellt werden. Der Tastenabstand ist, mit Ausnahme des Zufallslayouts, ebenfalls aus den Fehlermatrizen ableitbar. Dieser wird jedoch nicht visualisiert.

### **Telefonlayout**

5 von 21 nicht korrigierten Fehlern wurden durch eine unvollständige Eingabe verursacht. Dieser Fehler betraf sowohl die erste, letzte als auch die dritte Position der PIN.

14 der 16 vollständigen Falscheingaben können auf Erinnerungsprobleme zurückgeführt werden, davon 6 auf Grund von Zahlendrehern, 5 auf Grund von wiederholten Zahlendrehern und 3 auf Grund des Tastenabstands. Zwei Erinnerungsfehler werden zusätzlich durch Nutzer bestätigt. Zwei Falscheingaben fallen in keine der oben genannten Kategorien und werden als Bedienungsfehler gewertet.

Sechs der zehn erkannten Einzelfehler können auf Erinnerungsprobleme zurückgeführt werden. Diese fallen allesamt in mehrere Kategorien für erinnerungsbedingte Fehler. In fünf Fällen wurden Korrekturen erneut korrigiert. In einem Fall wurde zusätzlich zur Wiederholung ein Zahlendreher festgestellt. Die übrigen vier Korrekturen werden auf Grund geringen Tastenabstands und wegen fehlender Eingaben als Bedienungsfehler gezählt.

Zwei von drei erfassten Abbrüchen können auf Grund des Tastenabstands auf mangelnde Zielgenauigkeit zurückgeführt werden. Der dritte Abbruch erfolgte trotz korrekter Eingabe und wird daher ebenfalls als Bedienungsfehler gewertet.

Der hohe Anteil an wiederholten Zahlendrehern wird in der Fehlermatrix des Telefonlayouts (Abbildung 5.22) deutlich. Weil das Telefonlayout insgesamt öfter getestet wurde, enthält seine Matrix im Vergleich zu den Matrizen anderer Layouts mehr Einträge.

Die Untersuchung der trainierten und untrainierten Teilnehmer ergibt, dass 12 von 14 (85,7%) erinnerungsbedingten Fehlern und 3 von 6 (50,0%) erinnerungsbedingten Korrekturen durch untrainierte Teilnehmer erfolgt sind.

### **Taschenrechnerlayout**

Durch die qualitative Fehleranalyse des Taschenrechnerlayouts können vier von sechs unkorrigierten Fehlern durch (teils wiederholte) Zahlendreher auf Erinnerungsprobleme zurückgeführt werden. Eine Eingabe wurde unvollständig abgeschlossen. Ein Fehler basiert auf der Verwechs-



lung der Ziffern Neun und Drei. Da die Positionen dieser Ziffern auf dem Taschenrechnerlayout im Vergleich zum Telefonlayout ebenfalls vertauscht sind, wird der Fehler auf Veränderungsblindheit (Change Blindness) zurückgeführt.

Für das Taschenrechnerlayout wurden insgesamt drei Korrekturen erfasst. Zwei davon werden auf Grund des geringen Tastenabstands als Bedienungsfehler gezählt. Die dritte Korrektur wird auf Grund des Tastenabstands und eines Zahlendrehers auf ein erinnerungsbedingtes Problem zurückgeführt. Abbrüche wurden nicht erfasst.

Die Fehlermatrix des Taschenrechnerlayouts ist in Abbildung 5.22 dargestellt. Alle unerkannten Fehler sind auf Zahlendreher zurückzuführen.

Die trainingspezifische Analyse ergibt, dass alle vier erinnerungsbedingten Fehler und die erinnerungsbedingte Korrektur durch untrainierte Personen erfolgt sind.

### **Zeilenlayout**

Alle drei vollständig abgeschlossenen Falscheingaben sind auf Zahlendreher zurückzuführen (Abbildung 5.22). Der vierte Fehler ist auf Grund ausgelassener Ziffern durch Bedienungsprobleme bedingt.

Eine der zwei erkannten Falscheingaben wird auf Grund des ausreichenden Tastenabstands auf Erinnerungsprobleme zurückgeführt. Abbrüche wurden nicht erfasst.

Auch beim Zeilenlayout wurden alle drei erinnerungsbedingte Fehler und die erinnerungsbedingte Korrektur durch untrainierte Personen verursacht.

### **Zufallslayout**

Die Analyse der Fehler des Zufallslayouts zeigt, dass 7 der 9 Fehler auf Erinnerungsprobleme zurückgeführt werden können: zwei durch wiederholte Zahlendreher, drei durch einfache Zahlendreher, ein Fehler durch einen Zahlendreher in Kombination mit der Eingabe einer falschen Zahl. Die siebte Eingabe, welche auf Erinnerungsprobleme zurückgeführt werden kann, enthält drei Ziffern, welche nicht in der PIN enthalten waren, fand jedoch in direktem Anschluss an zwei Eingaben mit Zahlendrehern statt. Zwei der neun Falscheingaben sind unvollständig und werden als Bedienungsfehler gewertet. In einem Fall fehlt eine Ziffer, im anderen Fall wurde die richtige PIN eingegeben, jedoch vor der Bestätigung gelöscht.

Einer von drei korrigierten Fehlern kann auf ein Erinnerungsproblem zurückgeführt werden, weil er einen Zahlendreher zeigt und trotz Korrektur falsch abgeschlossen wurde. Die übrigen Korrekturen werden auf Bedienungsprobleme zurückgeführt. In einem Fall wurde eine korrekte Eingabe vor der Bestätigung gelöscht.

Einer von zwei Abbrüchen deutet auf ein Erinnerungsproblem hin, da nach Eingabe der ersten richtigen Ziffer abgebrochen wurde.

Die Fehlermatrix in Abbildung 5.22 zeigt, dass das Zufallslayout im Vergleich zu anderen Layouts weniger Zahlendreher verursacht.

Beim Zufallslayout wurden 4 von 7 erinnerungsbedingten Fehlern (57,1%) sowie die erinnerungsbedingte Korrektur durch untrainierte Personen verursacht. Der erinnerungsbedingte Abbruch stammt hingegen von einer trainierten Person.

### **Zusammenfassung**

Die Quote erinnerungsbedingter Probleme beläuft sich in der Summe der Korrekturen und Fehler auf 3,3% für das Telefon-, 4,2% für das Taschenrechner-, 3,3% für das Zeilenlayout- und 7,5% für das Zufallslayout. Die Unterscheidung trainierter und untrainierter Teilnehmer zeigt, dass vor allem untrainierte Teilnehmer auf erinnerungsbedingte Probleme stoßen. 76,3% aller erinnerungsbedingter Probleme sind auf untrainierte Teilnehmer zurückzuführen. Einzig das Zufallslayout scheint trainierte und untrainierte Teilnehmer gleichermaßen zu beeinflussen. Hier sind nur 55,6% der Probleme bei untrainierten Teilnehmern erfasst worden. Die errechneten Anteile sind in Abbildung 5.23 visualisiert.

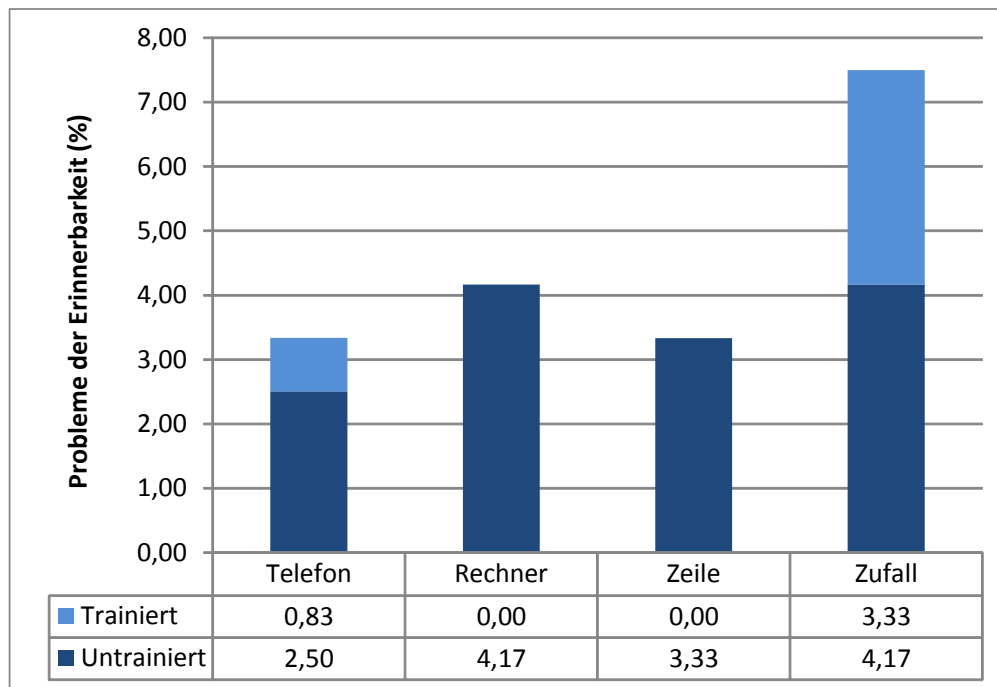


Abbildung 5.23: Erinnerbarkeit: quantitative Analyse

### Interpretation

Die quantitative Analyse des spezifischen Einflusses der Layouts auf die Erinnerbarkeit ist auf Grund der geringen Fehler- und Korrekturraten sowie der geringen Erfassungsrate der PIN-Einsichten schwierig. Die Analyse zeigt jedoch, dass 70,0% der unbemerkten Fehler auf Erinnerungsprobleme zurückzuführen sind. Wurde ein Fehler während der Eingabe erkannt, so liegt die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um ein Erinnerungsproblem handelt, bei 37,5%. Erinnerungsbedingte Fehler werden somit häufig nicht erkannt oder können nicht korrigiert werden. Diese Annahme wird durch die Tatsache gefestigt, dass ebenfalls alle kritischen Fehler auf erinnerungsbedingte Probleme zurückzuführen sind. Die Hypothesen 1a und 2abc (Abschnitt 3.1) können wegen der geringen Effektstärke nicht verifiziert werden. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass vor allem das Zufallslayout einen negativen Einfluss auf die Erinnerbarkeit hat. Der Einfluss des Taschenrechnerlayouts fällt negativer aus als der Einfluss des Zeilenlayouts. Dies widerspricht der Annahme der Hypothesen 2ab (Abschnitt 3.1). Vor allem untrainierte Teilnehmer verursachen erinnerungsbedingte Falscheingaben. Dies ist ein Hinweis darauf, dass trainierte Teilnehmer die PIN stärker verinnerlicht haben und stützt Hypothese 3a (Abschnitt 3.1). Einzig das Zufallslayout scheint sich auf beide Gruppen gleichermaßen negativ auszuwirken.

Da die Analyse des Einflusses auf die Erinnerbarkeit ausschließlich auf der qualitativen Fehler- und Korrekturanalyse basiert, korrelieren die Werte stark mit den Ergebnissen der quantitativen Fehleranalyse. Nicht jedes Erinnerungsproblem führt jedoch zwangsläufig zu einem Eingabebefehl, daher kann durch die qualitative Fehleranalyse auch nur ein Teil des Einflusses auf die Erinnerbarkeit überprüft werden. In Abschnitt 5.5.4 werden anhand der Nutzerbefragung subjektiv empfundene Einflüsse der Layouts auf die Erinnerbarkeit untersucht und so auch Probleme erfasst, welche nicht zu Eingabebefehlen geführt haben.

## 5.5 Teilnehmerbefragung

Dieser Abschnitt beschreibt die wichtigsten Erkenntnisse der Nutzerbefragung. Das Testsystem wird von den Teilnehmern allgemein gut bewertet. 90,0% halten die Tastatursimulation für realitätsnah. Auch die Bedienung wird von 90,0% der Teilnehmer als gut oder sehr gut eingestuft. Technische Probleme sind nur in zwei Fällen aufgetreten. Dabei handelte es sich in einem Fall um eine veraltete Version des Flash Players, in einem anderen Fall um ein Problem mit dem Service Provider des Teilnehmers. Die Probleme sind somit nicht auf das Testsystem zurückzuführen. Im Folgenden werden zunächst relevante Eigenschaften des Teilnehmerfelds beschrieben. Danach wird die Nutzereinschätzung bezüglich Geschwindigkeit, Schwierigkeit und Erinnerbarkeit analysiert. Die Ergebnisse der trainierten und untrainierten Teilnehmern werden teilweise in Klammern angegeben. Dabei wird trainiert durch “tr” und untrainiert durch “ut” abgekürzt.

### 5.5.1 Teilnehmerfeld

Der Aufbau der Tastatur wird von einem Großteil der Teilnehmer nicht bewusst wahrgenommen. Die Frage, ob an den meisten deutschen Automaten das Telefon- oder Taschenrechnerlayout eingesetzt wird, wird von 88,3% der Befragten mit dem Telefonlayout beantwortet (tr: 93,1% | ut: 83,3%). Ebenfalls 31,7% der Befragten stimmen der Aussage zu, das Layout eines Numpads (Taschenrechnerlayout) stimme mit dem Layout der meisten Pinpads (Telefonlayout) überein (tr: 27,6% | ut: 36,7%). 63,3% der Befragten geben an, bei der Eingabe einer PIN am PC das Zeilenlayout der Tastatur zu verwenden (tr: 72,4% | ut: 60,0%). Nur 30,0% verwenden das Numpad (tr: 20,7% | ut: 33,3%). 65% der Teilnehmer geben an, bei der Geldabhebung bereits Falscheingaben gemacht zu haben. Dies war bei 71,0% der untrainierten und 62,1% der trainierten Teilnehmer der Fall. 6,7% führen mindestens eine Falscheingabe auf die Inkonsistenz der Banksysteme zurück. 67,8% der Teilnehmer geben an, die Eingaben mit der Maus gemacht zu haben (tr: 72,4% | ut: 61,3%), 27,1% haben ein Touchpad benutzt (tr: 24,1% | ut: 30,0%). Jeweils eine trainierte und eine untrainierte Person (3,4%) haben teilweise, eine untrainierte Person (1,7%) hat ausschließlich einen Touchscreen genutzt. Ein T-Test zeigt, dass die Eingabezeiten unter Benutzung einer Maus bei allen Layouts kürzer sind. Der Unterschied ist jedoch für keines der getesteten Layouts signifikant ( $p > 0.05$ , für alle Layouts). Tabelle 5.7 zeigt die gemessenen Durchschnittszeiten und Standardfehler der beiden Gruppen. Auch die Eingabezeiten der Personen, welche teilweise oder ausschließlich mit einem Touchscreen gearbeitet haben, unterscheiden sich nicht signifikant von den Eingabezeiten per Maus ( $p > 0.05$ ).

	Maus		Touchpad	
	Durchschnitt (Sek)	Standard-Fehler	Durchschnitt (Sek)	Standard-Fehler
Telefon	2,08	0,10	2,35	0,18
Taschenrechner	2,08	0,12	2,27	0,20
Zeile	2,45	0,10	2,75	0,19
Zufall	2,47	0,13	3,14	0,52

Tabelle 5.7: Eingabezeiten für Maus und Touchpad

### Interpretation

Der große Anteil der Teilnehmer, welcher das Zeilenlayout zur Eingabe der PIN verwendet, ist darauf zurückzuführen, dass sich Laptops immer weiter durchsetzen und diese meist kein Numpad aufweisen. Dies kann mit ein Grund dafür sein, dass das Zeilenlayout in der Studie geringere Fehler- und Korrekturraten verursacht hat (Abschnitt 5.3). Bei einer Onlinestudie musste damit gerechnet werden, dass Teilnehmer unterschiedliche Eingabegeräte verwenden. Da die Eingabegeräte jedoch nur zwischen den Teilnehmern differieren und keinen signifikanten Einfluss auf die

Eingabezeiten haben, ist der Einfluss auf die Daten gering. Eine signifikante Verzerrung wäre nur zu erwarten, wenn die Teilnehmer für die verschiedenen Tests verschiedene Eingabegeräte genutzt hätten. Dies war jedoch nur bei zwei Teilnehmern der Fall.

Der Vergleich der trainierten und untrainierten Gruppe zeigt, dass trainierte Personen besser über die verwendeten Layouts informiert sind und weniger Fehler bei der Benutzung von Geldautomaten machen. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

### 5.5.2 Zeitaufwand

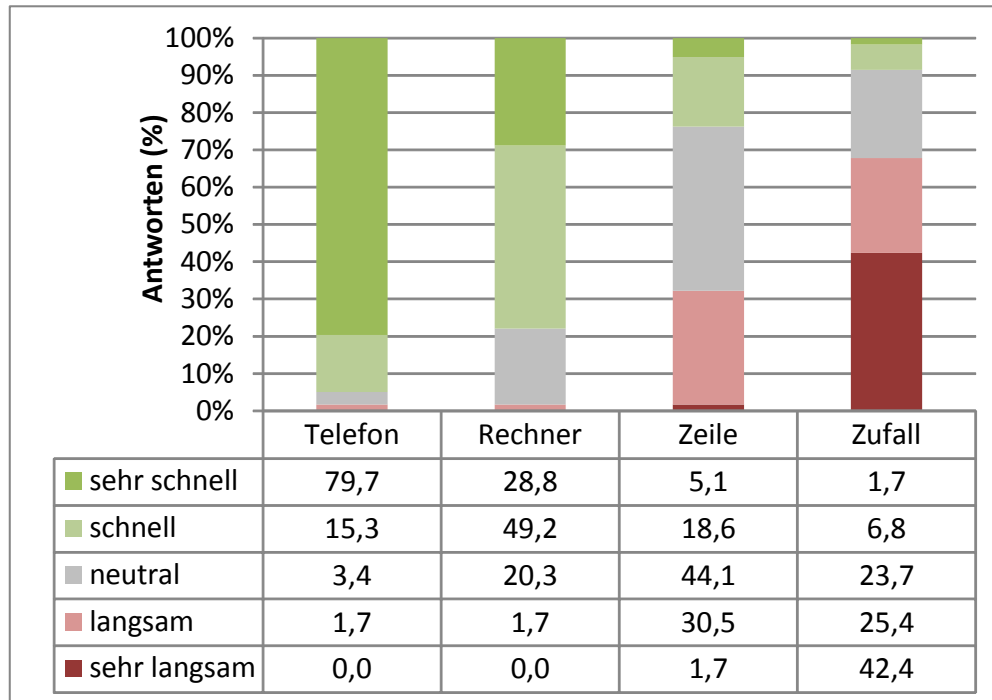


Abbildung 5.24: Nutzerbefragung: Zeitaufwand

Die geschätzte Laufzeit der Teilnehmer an einem realen Geldautomaten beträgt im Median 5 Sekunden. Trainierte Teilnehmer schätzen die Laufzeit mit 10 Sekunden langsamer ein als untrainierte Personen (4 Sekunden).

Abbildung 5.24 stellt den empfundenen Zeitaufwand der getesteten Layouts dar. Das Telefonlayout wird von den Teilnehmern am besten bewertet. 95,0% der Befragten halten dieses Layout für schnell oder sehr schnell (tr: 100,0% | ut: 93,3%). Das Taschenrechnerlayout wird von 78,0% der Befragten als schnell oder sehr schnell bewertet (tr: 75,9% | ut: 76,7%). Das Zeilenlayout liegt bei der Einschätzung der Geschwindigkeit im unteren Mittelfeld. 76,3% der Teilnehmer halten die Geschwindigkeit für neutral bis sehr langsam (tr: 75,9% | ut: 76,7%). Die Geschwindigkeit des Zufallslayouts wird von 67,8% der Befragten als langsam oder sehr langsam bewertet (tr: 58,6% | ut: 76,7%). Jedoch empfinden ebenfalls 8,5% der Teilnehmer dieses Layout noch als schnell oder sehr schnell (tr: 6,9% | ut: 10,0%).

Die ermittelten Mediane ergeben, dass sowohl trainierte als auch untrainierte Teilnehmer das Telefonlayout für sehr schnell, das Taschenrechnerlayout für schnell und das Zeilenlayout für neutral halten. Das Zufallslayout wird von der trainierten Gruppe als langsam und von der untrainierten Gruppe als sehr langsam eingestuft.

### Interpretation

Die Einschätzung der Laufzeiten stimmt mit den Verhältnissen der gemessenen Zeiten überein (Abschnitt 5.2). Bemerkenswert ist, dass trainierte Teilnehmer das Zufallslayout besser bewerten als untrainierte Teilnehmer. Die Messungen haben ergeben, dass trainierte Teilnehmer vor allem bei der Nutzung des Zufallslayouts langsamer waren als die Personen der untrainierten Gruppe. Das Verhältnis dieser Einschätzung spiegelt sich somit nicht in den quantitativen Daten wider.

Auch der Anteil der Personen, welche das Zufallslayout als schnell oder sehr schnell einschätzen ist auffallend hoch. Die quantitative Analyse (Abschnitt 5.2) hat jedoch ebenfalls gezeigt, dass die zweitschnellste Eingabe der Studie auf einem Zufallslayout stattfand. Die Zeiten des Zufallslayouts müssen demnach nicht schlechter ausfallen als beim Telefonlayout. Je nach Anordnung sind die Abstände der benötigten Tasten sehr gering. Dieses Phänomen kann erklären, dass ein Teil der Nutzer das Zufallslayout sehr gut bewertet.

#### 5.5.3 Fehlerrate

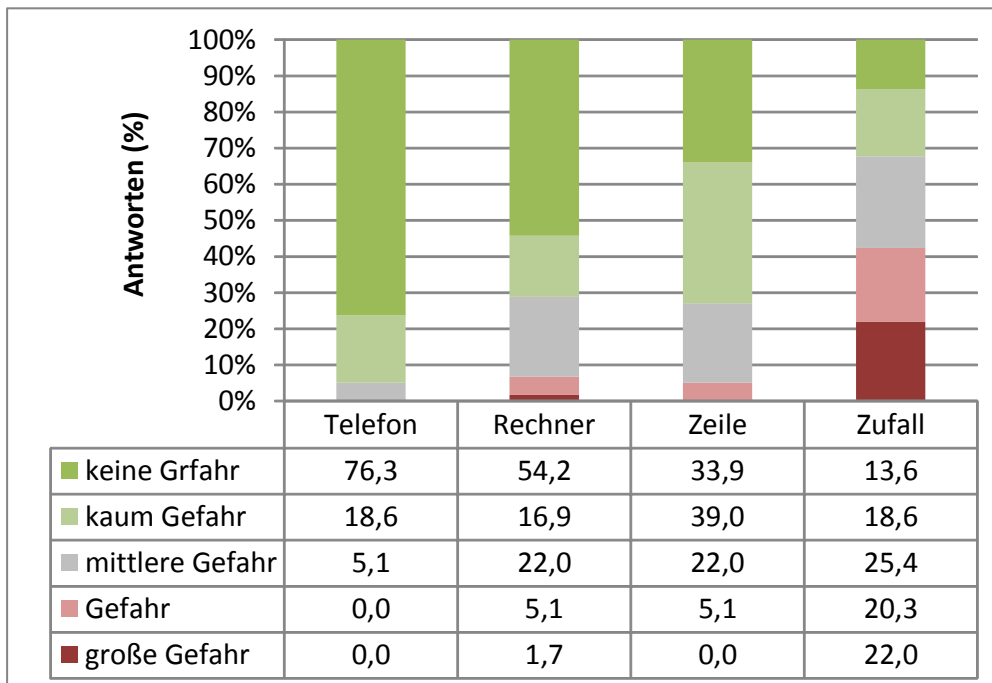


Abbildung 5.25: Nutzerbefragung: Fehlerrate

Abbildung 5.25 zeigt die Teilnehmerbewertung bezüglich der Gefahr einer Falscheingabe. 94,9% der Befragten sehen in der Benutzung des Telefonlayouts nur geringe bis gar keine Gefahr eine Falscheingabe zu machen (tr: 100,0% | ut: 93,3%). Dieselbe Einschätzung geben 71,1% (tr: 72,4% | ut: 70,0%) der Teilnehmer für das Taschenrechnerlayout und 72,9% (tr: 79,3% | ut: 66,7%) der Befragten für das Zeilenlayout an. Das Zufallslayout führt zu keiner einheitlichen Einschätzung. 32,3% stufen die Gefahr einer Falscheingabe höchstens gering ein (tr: 31,0% | ut: 33,3%). 42,3% der Befragten sehen eine teils große Gefahr in der Anwendung (tr: 37,9% | ut: 46,7%).

Die ermittelten Mediane ergeben, dass sowohl trainierte als auch untrainierte Teilnehmer bei der Benutzung des Telefonlayouts keine Gefahr einer Falscheingabe sehen. Dem Taschenrechnerlayout wird von den trainierten Teilnehmern ebenfalls keine Gefahr zugesprochen. Untrainierte Teilnehmer sehen in der Benutzung eine geringe Fehlergefahr. Die potenzielle Fehlergefahr des Zeilenlayouts wird von beiden Gruppen gering eingeschätzt. In der Benutzung des Zufallslayouts sehen alle Teilnehmer eine mittlere Gefahr.

### Interpretation

Die Mediane, welche im schlechtesten Fall einen mittleren Wert für das Zufallslayout ergeben, sind Ausdruck der geringen Fehlerquote. Vor allem in der Benutzung des Zufallslayouts wird jedoch eine potenzielle Gefahr für Falscheingaben gesehen. Diese Einschätzung stimmt mit den in Abschnitt 5.3 erfassten Daten überein. Die Unterscheidung nach dem Trainingsgrad zeigt, dass trainierte Teilnehmer die Fehlerwahrscheinlichkeit des Telefon- und Zufallslayouts geringer einschätzen als untrainierte Teilnehmer. Das Zeilenlayout wird hingegen von untrainierten Teilnehmern besser bewertet.

Die quantitative Datenanalyse zeigt, dass trainierte Teilnehmer jedoch mehr Fehler auf dem Zufallslayout und untrainierte Teilnehmer mehr Fehler auf dem Zeilenlayout gemacht haben. Die Differenzen der Beurteilung und der gemessenen Daten können damit erklärt werden, dass nur ein geringer Teil der Nutzer tatsächlich einen Fehler verursacht hat und der Großteil der Befragten seine Antworten auf Annahmen stützt.

#### 5.5.4 Erinnerbarkeit

40,7% (tr: 48,3% | ut: 33,3%) der Teilnehmer geben an, sich die PIN zumindest teilweise visuell eingepägt zu haben, 22,0% (tr: 27,6% | ut: 16,7%) verfolgten eine motorische Strategie und 66,1% (tr: 65,5% | ut: 66,7%) der Teilnehmer bestätigen, sich die PIN durch wiederholtes Überlernen eingepägt zu haben. Da Mehrfachnennungen erlaubt waren, kann abgeleitet werden, dass die meisten Teilnehmer eine Kombination der einzelnen Strategien angewendet haben. Die Einschätzung zum Einfluss der Layouts auf die Erinnerbarkeit ist in Abbildung 5.26 dargestellt.

98,3% der Teilnehmer empfinden bei der Nutzung des Telefonlayouts keinen oder nur sehr geringen negativen Einfluss auf die Erinnerbarkeit (tr: 100,0% | ut: 96,7%). 89,8% der Befragten empfinden auch bei der Benutzung des Taschenrechnerlayouts kaum einen Einfluss auf die Erinnerung (tr: 86,2% | ut: 93,3%). 10,2% der Teilnehmer bestätigen, dass das Zeilenlayout einen starken oder sehr starken Einfluss auf die Erinnerbarkeit der PIN hat (tr: 6,9% | ut: 13,3%). Das Zufallslayout wird insgesamt am schlechtesten bewertet. Die Meinungen gehen jedoch auseinander. Während 32,2% (tr: 44,8% | ut: 20,0%) der Teilnehmer einen starken oder sehr starken Einfluss bestätigen, empfinden 47,5% (tr: 37,9% | ut: 56,7%) der Teilnehmer maximal geringen Einfluss.

Die Mediane ergeben, dass trainierte und untrainierte Teilnehmer bei der Benutzung des Telefon- und Taschenrechnerlayouts keinen negativen Einfluss auf die Erinnerbarkeit bemerkt haben. Beim Zeilenlayout spürten untrainierte Teilnehmer keinen, trainierte Teilnehmer einen geringen Einfluss. Der Unterschied ist bezüglich des Zufallslayouts am größten. Untrainierte Teilnehmer bestätigen dem Layout nur einen geringen Einfluss. Trainierte Teilnehmer bestätigen jedoch einen Einfluss mittlerer Stärke.

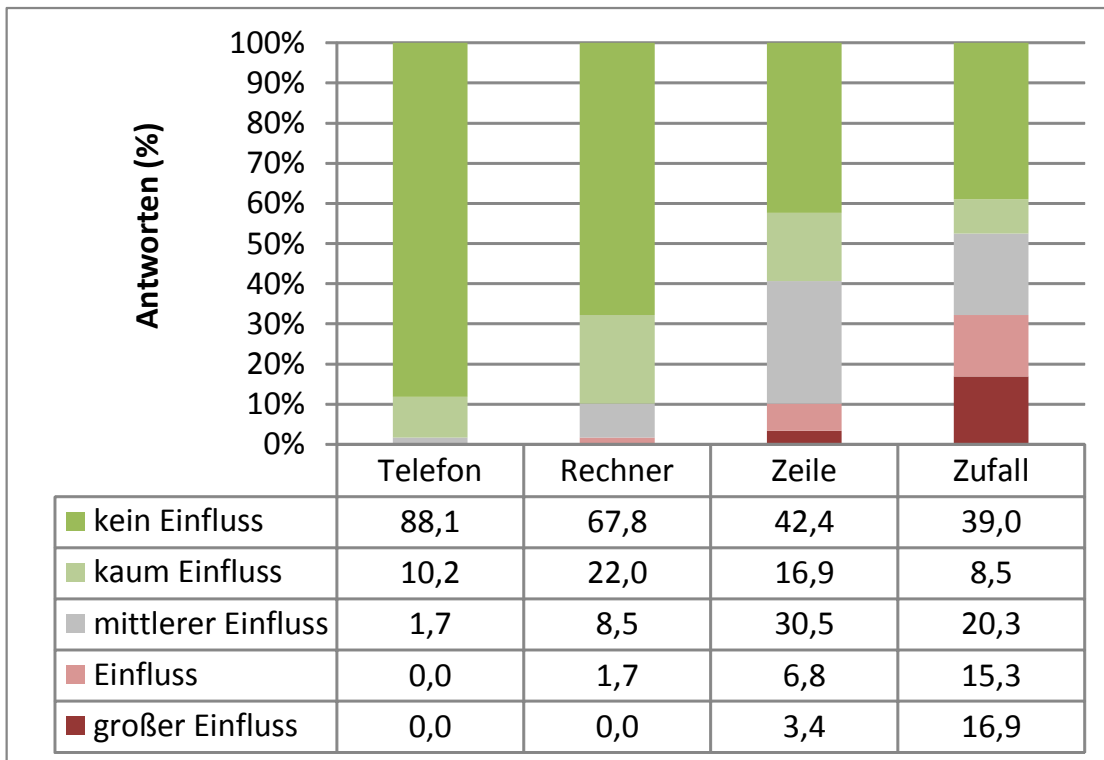


Abbildung 5.26: Nutzerbefragung: Erinnerbarkeit

### Interpretation

Vor allem trainierte Teilnehmer geben an, eine visuelle oder motorische Lernstrategie genutzt zu haben. Dies ist auf die zusätzliche Trainingsphase zurückzuführen, welche durch den konsistenten Einsatz des Telefonlayouts das Einprägen der Muster förderte. Untrainierten Teilnehmern fiel das Einprägen eines Musters auf Grund der wechselnden Layouts schwer. Auf Grund der visuellen Lernstrategie empfanden trainierte Teilnehmer den Einfluss des Zufallslayouts stärker als untrainierte Teilnehmer. Insgesamt wird die These gestützt, dass der negative Einfluss auf die Erinnerbarkeit positiv mit der Änderung des Layouts korreliert.

Eine signifikante Änderung, wie es beim Zeilen- und Zufallslayout der Fall ist, geht mit einem stärkeren negativen Einfluss einher. Die Auswertung der Teilnehmerbefragung festigt die Annahme aus Abschnitt 5.4, dass nicht jedes Erinnerungsproblem zu einem Eingabefehler führt. Auf Grund der Analyse wird angenommen, dass die längeren Orientierungszeiten (Abschnitt 5.2) vor allem des Zeilen- und Zufallslayouts neben der visuellen Erfassung auch durch Probleme der Erinnerbarkeit verursacht wurden. Teilnehmer mussten demnach länger überlegen, konnten die PIN jedoch in den meisten Fällen herleiten.





### 6 Zusammenfassung

Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse der Studie zusammen. Aus den Ergebnissen werden Empfehlungen für zukünftige Arbeiten abgeleitet.

#### 6.1 Diskussion

Obwohl auf dem Gebiet der numerischen Tastaturlayouts bereits seit 1955 geforscht wird, handelt es sich um die erste Arbeit, welche den Einfluss numerischer Tastaturlayouts auf die Performance der Authentifizierung untersucht.

Es wurden bekannte PINs eingesetzt und der Einfluss der Layouts wurde über einen langen Zeitraum beobachtet. Dabei wurde, im Gegensatz zu bisherigen Arbeiten, das Nutzerverhalten bereits vor der Eingabe der PIN erfasst. Durch das geänderte Studiendesign konnten neue Erkenntnisse über den Einfluss des Tastaturlayouts auf die Performance und die Erinnerbarkeit gewonnen werden.

Es wurde gezeigt, dass die Anordnung der numerischen Tastatur einen signifikanten Einfluss auf die Interaktionszeit hat. Teilnehmer zeigen an einem gewohnten Tastaturlayout die beste Performance. Je größer der Unterschied des eingesetzten Tastaturlayouts zum gewohnten Layout ist, desto größer ist der negative Einfluss auf die Performance. Da die Teilnehmer der Studie an das Telefonlayout gewöhnt waren, verursachte diese Anordnung den geringsten Zeitaufwand und die geringste Fehlerquote. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen bisheriger Arbeiten überein (Abschnitt 2.1). Die Eingabezeiten auf dem Taschenrechnerlayout unterscheiden sich nicht signifikant von den Eingaben auf dem Telefonlayout. Der inkonsistente Einsatz des Layouts kann jedoch durch Veränderungsblindheit der Nutzer zu einer erhöhten Fehlerquote führen. Sowohl der Einsatz eines Zeilenlayouts als auch eines Zufallslayouts führt zu signifikant schlechterer Performance.

Der hohe Zeitaufwand für Eingaben auf dem Zeilenlayout wird jedoch auch durch den großen Tastenabstand hervorgerufen, welcher auf die Eingabe mit einem Zeigegerät einen starken Einfluss hat. Es ist anzunehmen, dass eine zweihändige Eingabe auf einem realen Zeilenlayout zu kürzeren Eingabezeiten führen würde. Jedoch führt das Zeilenlayout nicht nur zu signifikant längeren Eingabezeiten sondern wirkt sich auch negativ auf die Zeiten der Orientierungsphase aus.

Vor allem die Analyse der Orientierungszeit hat viel zu den Ergebnissen der Studie beigetragen. Es konnte gezeigt werden, dass Personen erst mit der Eingabe der PIN beginnen, nachdem alle benötigten Tasten lokalisiert wurden. Diese Lokalisierung kann bei gewohnten Layouts sofort stattfinden, nachdem das Layout präattentiv erfasst wurde. Grund dafür ist, dass die Anordnung bereits im visuellen Langzeitgedächtnis gespeichert ist. Ungewohnte Layouts müssen nach der präattentiven Wahrnehmung zunächst sequentiell erfasst werden. Der Erfassungsaufwand steigt mit der Komplexität der Muster. Somit ist der Einfluss ungewohnter Layouts auf die Orientierungszeit stärker als auf die Eingabezeit. Dies wird durch die Zeiten der Trainingsphase bestätigt. Der Lernprozess beziehungsweise der Übergang der Eingabemuster des Layouts vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis wirkte sich ausschließlich auf die Orientierungszeit aus. Die Orientierungszeit vor einer Interaktion wurde bei bisherigen Arbeiten ignoriert, was ein Grund dafür sein könnte, dass frühere Untersuchungen nur geringe Einflüsse der Layouts nachweisen konnten (Abschnitt 2.1).

Die Fehlerrate war sehr gering. Dies zeigt, dass Personen heutzutage im Umgang mit vierstelligen PINs sehr trainiert sind. Ryu et al. [49] konnten bei unbekanntem vierstelligen PINs keine erhöhte Fehlerrate für das Zufallslayout feststellen. Bei bekannten PINs konnte in dieser Studie jedoch eine höhere Fehlerwahrscheinlichkeit für das Zufallslayout nachgewiesen werden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Eingabe einer vierstelligen PIN auf einem Zufallslayout zwar nicht zu

mehr Bedienungsproblemen führt, sich jedoch negativ auf die Erinnerbarkeit der PIN auswirkt. Die quantitative Analyse des Einflusses auf die Erinnerbarkeit bestätigt dies, da die Mehrzahl gemachter Fehler durch Erinnerungsprobleme verursacht wurde. Da die Testumgebung einer Onlinestudie nur schwer kontrollierbar ist, führte die Erfassung der PIN-Einsicht nicht zu verwertbaren Ergebnissen. Viele Teilnehmer nutzten nicht die Onlineplattform um eine vergessene PIN einzusehen, sondern öffneten die Einführungsemail. Für zukünftige Studien wird daher empfohlen die PIN nur über die kontrollierte Umgebung der Onlineplattform zugänglich zu machen und diese nicht per E-Mail bereitzustellen.

Gestützt durch die Teilnehmerbefragung konnte jedoch auch ohne die Daten der PIN-Einsicht gezeigt werden, dass sich ungewohnte Layouts negativ auf die Erinnerbarkeit der PIN auswirken. Dies trifft vor allem auf das Zufallslayout zu. Die quantitative Datenanalyse zeigt, dass durch ein ungewohntes Layout verursachte Erinnerungsprobleme nur selten zum Verlust der PIN und somit zu einer Falscheingabe führen. Oft wird jedoch die Orientierungsphase und somit die Gesamtzeit der Authentifizierung durch zeitintensive Herleitungen negativ beeinflusst.

Dieser Einfluss ist darauf zurückzuführen, dass sich viele Menschen PINs anhand visueller und motorischer Muster einprägen. Diese Muster werden anhand des gewohnten Tastaturlayouts abgeleitet. Durch den Einsatz eines ungewohnten Tastaturlayouts werden die erlernten Muster ungültig und die Erinnerbarkeit der PIN negativ beeinflusst.

Auch die Ergebnisse der Nachstudie zeigen, wie wichtig der konsistente Einsatz eines Layouts für die Erinnerbarkeit der PIN ist. Durch den konsistenten Einsatz des Zufallslayouts konnten sich die Teilnehmer die PIN nicht anhand von Mustern einprägen und waren auf andere Erinnerungsstrategien angewiesen. Dies hatte zur Folge, dass der in der Hauptstudie beobachtete negative Einfluss des Layouts auf die Erinnerbarkeit ausblieb.

Die Einteilung in trainierte und untrainierte Teilnehmer führte zu keinen signifikanten Ergebnissen. Es muss daher in Betracht gezogen werden, dass die Gruppeneinteilung auf falschen Indikatoren basierte oder die Zeit der Trainingsphase zu knapp kalkuliert war. Eine längere Trainingsphase war jedoch auf Grund des begrenzten Zeitkontingents der Arbeit nicht möglich. Des Weiteren wird bezweifelt, dass eine andere Einteilungsstrategie (z.B. durch Performancetests) signifikante Ergebnisse zur Folge gehabt hätte. Da 98,3% der Teilnehmer angeben, die PIN innerhalb von maximal drei Tagen verinnerlicht zu haben, ist anzunehmen, dass es tatsächlich keine signifikanten Unterschiede im Umgang mit vierstelligen PINs gibt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass alle Teilnehmer seit vielen Jahren regelmäßig Geldautomaten nutzen und somit geringe Unterschiede in der Nutzungsfrequenz nicht ausschlaggebend sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Tastaturlayout einen signifikanten externen Faktor der Authentifizierung darstellt. Ein ungewohntes Layout führt zu längeren Interaktionszeiten, mehr Eingabefehlern und mehr Erinnerungsproblemen.

Von einer konsistenten Umsetzung eines Tastaturlayouts an allen öffentlichen Terminals würden somit alle Nutzer profitieren. Bei der Wahl des Layouts ist auf Grund der internationalen Standards (Abschnitt 2.2) das Telefonlayout dem Taschenrechnerlayout vorzuziehen. Das Zeilenlayout eignet sich wegen der hohen Gefahr, dass die PIN während der Eingabe von Dritten eingesehen wird, nicht für den Einsatz bei Authentifizierungsvorgängen. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass auch der Einsatz eines Zufallslayouts möglich ist. Voraussetzung ist jedoch, dass der Einsatz konsistent ist und den Nutzern genügend Zeit gegeben wird, ihre PIN unabhängig der Eingabemuster zu erlernen. Zudem muss besondere Rücksicht auf Menschen mit einer Sehschwäche genommen werden. Für diesen Teil der Bevölkerung könnte weiterhin das Telefonlayout dargestellt oder eine unterstützende Sprachausgabe über Kopfhörer angeboten werden. Damit Geldautomaten diesen Service nutzerabhängig anbieten können, ist eine Speicherung der Information auf der EC-Karte des Kunden denkbar.

## 6.2 Zukünftige Arbeit

Vor allem bei der Analyse menschlicher Denkprozesse stoßen Onlinestudien an ihre Grenzen. Daher sollte in zukünftigen Arbeiten eine Offlinestudie in Betracht gezogen werden. Durch die bessere Kontrolle der Testumgebung und die direkte Beobachtung der Teilnehmer können vor allem bezüglich des Einflusses auf die Erinnerbarkeit weitere Erkenntnisse gewonnen werden.

So sollte beispielsweise geklärt werden, wie groß der Einfluss von Erinnerungsproblemen auf die Orientierungszeit ist.

Auch wenn die Analyse ergab, dass das Zeigegerät keinen signifikanten Einfluss auf die Eingabezeiten hatte, sollte in zukünftigen Studien ein physisches Keypad eingesetzt werden. Es ist anzunehmen, dass die direkte Interaktion motorische Lernprozesse weiter fördert.

Um den Einfluss auf die Erinnerbarkeit optimal testen zu können ist der Einsatz eigener PINs anzustreben, da diese bestmöglich im Gedächtnis der Teilnehmer verankert sind. Ist der Einsatz eigener PINs aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht möglich, so sollte eine lange Trainingsphase von mehreren Wochen realisiert werden.

Auch bezüglich des Einsatzes eines Zufallslayouts besteht noch Forschungsbedarf. Die Analyse konnte zeigen, dass der konsistente Einsatz des Layouts eine geringe Fehlerquote zur Folge hat. Es müssen jedoch praktisch einsetzbare Lösungen für körperlich und geistig benachteiligte Personen entwickelt werden. Denkbar wäre, wie bereits beschrieben, dass die zufällige Anordnung bei Bedarf abgeschaltet wird.

Die Studie zeigt die hohe Relevanz der Analyse von Orientierungszeiten. Es wird daher für zukünftige Arbeiten dringend empfohlen, ebenfalls Orientierungsprozesse in die Analyse aufzunehmen und die Untersuchung nicht auf die eigentliche PIN-Eingabe zu beschränken.



## **Anhang**



## Aufbau der Datenbank

<b>Dates</b>	
<b>Eintrag</b>	<b>Bedeutung (Beispiel)</b>
id	Fortlaufende Nummer (15)
date	Das Datum des Testtages (2010-02-03)
group[Nr.]	Das Layout, welches von jeder Gruppe (1-6) getestet werden soll (Telefon)

<b>Debug</b>	
<b>Eintrag</b>	<b>Bedeutung (Beispiel)</b>
id	Fortlaufende Nummer (2819)
userId	Die ID des Teilnehmers
timestamp	Die Zeit, an welcher das Ereignis aufgetreten ist (1262819713)
event	Das erfasste Ereignis (PIN showed)

<b>Logs</b>	
<b>Eintrag</b>	<b>Bedeutung (Beispiel)</b>
id	Fortlaufende Nummer (222)
userId	Die ID des Teilnehmers (ohby)
pin	Die PIN des Teilnehmers (6728)
mode	Das getestete Layout (Taschenrechner)
timestamp	Zeitstempel des Eintrages (1262819720)
pinShown	PIN wurde eingesehen (false)
errorNr	Anzahl der gemachten Falscheingaben (2)
userInput	Die Eingabe des Teilnehmers (2781)
correct	Korrektheit der Eingabe (false)
clears	Anzahl der Löschungen (1)
canceled	Anzahl der Abbrüche (0)
timeStart	Zeitstempel des Teststarts (1262820001)
timeType	Zeitstempel der ersten Interaktion (1262821053)
timeEnd	Zeitstempel des Testendes (1262821153)
timeInput	Die Eingabezeit mit Enter (2348)
typeInput	Die Eingabezeit ohne Enter (1993)
timeWait	Die Orientierungszeit vor der Eingabe (1562)
timeRun	Die Laufzeit (4341)
timeSession	Die Sitzungszeit (53629)
entryDate	Das Datum des Testlaufs (2010-02-01 16:46:18)

<b>User</b>	
<b>Eintrag</b>	<b>Bedeutung (Beispiel)</b>
id	Fortlaufende Nummer (363)
userId	Wird zur Anmeldung an der Webseite verwendet (eefy)
groupId	Die Nutzergruppe, welche die Testreihenfolge bestimmt (2)
pin	Die PIN des Teilnehmers (1234)
trained	Trainingsgruppe (true / false)
lastTest	Der letzte absolvierte Test (2010-01-02)
nextTest	Der nächste geplante Test (2010-01-04)
email	Email-Adresse des Teilnehmers (nutzer@web.de)





# Erstbefragung

---

## Nutzerstudie "PinPad"

### Herzlich Willkommen bei der Befragung zur Nutzerstudie "PinPad"

#### 1. Bitte geben Sie eine gültige E-Mail Adresse ein:

Diese wird nur zur Kontaktaufnahme verwendet, wenn Sie für die Studie zugelassen werden. Die E-Mail Adresse wird nicht an Dritte weiter gegeben.

### Zunächst einige Fragen zu Ihrer Person

#### 2. Geschlecht

Sie sind ...

#### 3. Wie alt sind Sie?

 Jahre

#### 4. Welchen Bildungsabschluss haben Sie?

Bitte wählen Sie den höchsten Bildungsabschluss, den Sie bisher erreicht haben.

- Schule beendet ohne Abschluss
- Volks-, Hauptschulabschluss, Quali
- Mittlere Reife, Realschul- oder gleichwertiger Abschluss
- Abgeschlossene Lehre
- Fachabitur, Fachhochschulreife
- Abitur, Hochschulreife
- Fachhochschul-/Hochschulabschluss
- Noch Schüler
- Anderer Abschluss, und zwar:

#### 5. Was machen Sie beruflich?

zbsp. Student

### Einige Fragen zu Ihrer Erfahrung mit Geldautomaten

#### 6. Wiviele EC- oder Kreditkarten besitzen Sie?

Ich besitze..

 Karten

**7. Wieviele der oben genannten Karten nutzen Sie regelmäßig?**

Ich benutze ...  meiner Karten regelmäßig

**8. Wie oft heben Sie mit ihrer Karte im Durchschnitt Geld ab?**

- Weniger als 3 Mal im Monat
- 3 Mal im Monat
- 1 Mal in der Woche
- 2 Mal in der Woche
- alle zwei Tage
- täglich

**9. Wie schnell schätzen Sie Ihre Eingabe an einem Geldautomaten?**

Ab dem Zeitpunkt, an welchem die PIN eingegeben werden kann

ca.  Sekunden

**10. Erinnern Sie sich an einen Bankautomaten. Wie sind die Ziffern auf dem Eingabefeld angeordnet?**

- 7,8,9 in der ersten Reihe, 1,2,3 in der letzten Reihe, darunter mittig die Null
- 1,2,3 in der ersten Reihe, 7,8,9 in der letzten Reihe, darunter mittig die Null
- Anders. und zwar:

**11. Kam es während dem Geldabheben schon einmal zu Falscheingaben?**

- Ja
- Nein

**12. Wurde Ihre Geldkarte schon einmal gesperrt, weil Sie die PIN zu oft falsch eingegeben haben?**

- Ja
- Nein

**13. Wie oft authentifizieren Sie sich im Monat mit einer PIN?**

Nicht nur am Bankautomaten

- Nie
- 1 Mal pro Monat
- 1 Mal in der Woche
- Einige Male in der Woche
- Täglich
- Mehrmals am Tag

**14. Wieviele unterschiedliche PIN-Nummern haben Sie?**

Handy, EC-Karte, Master-Karte, anderes...

Ich besitze...  PINs

**15. Wieviele der oben genannten PIN-Nummern verwenden Sie regelmäßig?**

regelmäßig verwende ich...  PINs

**16. Wieviele unterschiedliche Passworte haben Sie?**

Ich besitze ...  unterschiedliche Passworte

**17. Wieviele der oben genannten Passworte verwenden Sie regelmäßig?**

regelmäßig verwende ich ...  Passworte

**18. Welche Erinnerungsstrategie haben Sie?**

Bezogen auf die PIN-Nummer ihrer EC-Karte

- Ich habe die PIN aufgeschrieben und trage sie bei mir
- Ich habe Sie auswendig gelernt
- Ich merke mir meine PIN anhand des visuellen Musters auf der Eingabefläche
- Ich merke mir meine PIN anhand der Bewegungsabläufe während der Eingabe

Anders, und zwar:

**19. Haben Sie bei der Bedienung eines Geldautomaten besondere Verhaltensweisen um Ihre Pin zu schützen?**

Ja, und zwar:

Nein

**20. Haben Sie während der Eingabe am Bankautomaten die Tasten im Blick?**

- Ja, ich sehe was ich drücke
- Nein, ich gebe meine Eingabe verdeckt/ blind ein

**21. Hat Ihr Computer einen NUM-Block zur Zifferneingabe?**

- Ja
- Nein

**22. Wenn Sie am PC eine PIN eingeben. Wie gehen Sie vor?**

- Ich gebe die PIN am NUM-Block ein
- Ich gebe die PIN über die Tasten oberhalb der Buchstabentasten ein
- Anders, und zwar:

**23. Stimmen Sie folgender Aussage zu?**

„Die meisten Layouts von Bankautomaten stimmen mit dem Layout eines handelsüblichen NUM-Blocks überein“

- Ja
- Nein

**24. Welche Unterschiede zwischen Geldautomaten verschiedener Institute sind Ihnen bereits aufgefallen?**

**25. Hatten Sie durch diese Unterschiede bereits Probleme mit der Bedienung?**

Nur falls Ihnen Unterschiede aufgefallen sind.

- Ja, und zwar:

- Nein

**26. Welche Unterschiede bezüglich der Interaktion und Bedienung sind Ihnen im Ausland aufgefallen?**

Bezogen auf deutsche Automaten

**27. Hatten Sie durch unterschiedliche Designs ausländischer Automaten schon einmal Probleme?**

Ja, und zwar:

Nein

**28. Können Sie sich ein anderes Tastenlayout für Bankautomaten vorstellen?**

Welches von dem eines gewohnten PinPads abweicht

Ja, und zwar:

Nein



# Abschlussbefragung

## Nutzerstudie "PinPad"

### Herzlich Willkommen bei der Abschlussbefragung

#### 1. Bitte gib deine ID ein:

Das sind die vier Buchstaben aus der Studie....

ID:

#### Zunächst ein paar allgemeine Fragen zur Studie:

**Nutzerstudie: PinPad**

**Willkommen**

Hallo und herzlich willkommen bei der Nutzerstudie "PinPad".  
Bitte geben Sie ihre ID ein, um sich anzumelden:

ID:

**Information**

Sind sie noch nicht registriert?  
Haben Sie Lust mitzumachen oder sonstige Fragen?  
Schreiben Sie uns eine **E-mail**.

[Kontakt](#) | [Impressum](#)

#### 2. Die Website war...

übersichtlich gestaltet  
intuitiv bedienbar  
fehleranfällig  
dem Anspruch genügend

gar nicht                      sehr

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

#### 3. Wurde die Website bei dir korrekt dargestellt?

Auflösung, Größe, etc..

Ja

Nein, das war falsch:

#### 4. Konntest du einen Termin nicht am geplanten Datum wahrnehmen und musstest diesen wiederholen?

Ja

Nein



**5. Die Pinpadsimulation ...**

	gar nicht					sehr
war realitätsnah gestaltet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
war gute bedienbar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
gab ausreichend visuelles Feedback	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**6. Was hätte an der PinPad-Simulation verbessert werden können?**

**7. Wie hast du dir deine Pin eingepägt?**

Mehrfachauswahl ist möglich.

- visuell
- motorisch
- auswendig gelernt
- assoziiert (zb. Geburtstag)
- Anders:

**8. Wie schnell hast du die Pin erlernt?**



- 1 Testtag
- 2 Testtage
- 3 Testtage
- Es hat länger gedauert und zwar:

**9. An welche verschiedenen PinPad-Layouts kannst du dich erinnern?**

Stichpunkte genügen

**Nun noch ein paar Fragen zu den einzelnen Fällen**



**10. Die Pineingabe beim Telefonlayout...**

123 in der ersten, 789 in der letzten Reihe.

- war schnell
- war fehleranfällig
- war verwirrend
- war schwierig

trifft gar nicht zu		trifft voll und ganz zu
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

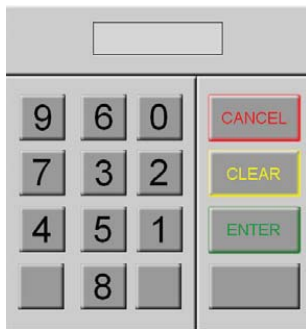


**11. Die Pineingabe beim Taschenrechnerlayout...**

789 in der ersten, 123 in der letzten Reihe.

- war schnell
- war fehleranfällig
- war verwirrend
- war schwierig

trifft gar nicht zu					trifft voll und ganz zu
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

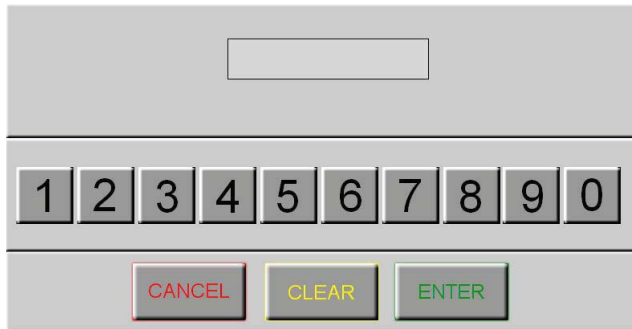


**12. Die Pineingabe beim Zufallslayout...**

Ziffern wurden zufällig zugewiesen.

- war schnell
- war fehleranfällig
- war verwirrend
- war schwierig

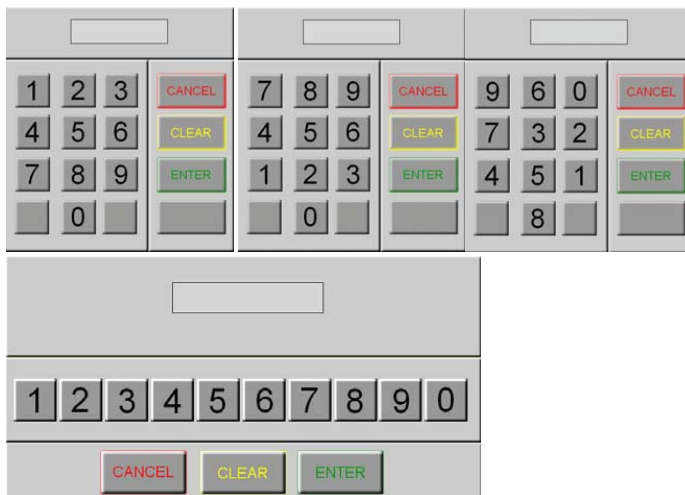
trifft gar nicht zu					trifft voll und ganz zu
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>



**13. Die Pineingabe beim Reihenlayout...**

Ziffern waren in einer Reihe angeordnet.

	trifft gar nicht zu		trifft voll und ganz zu
war schnell	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
war fehleranfällig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
war verwirrend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
war schwierig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



**14. Folgendes Layout hatte einen negativen Einfluss auf die Erinnerung meiner PIN:**

Du konntest dich nicht mehr erinnern oder musstest länger nachdenken..

	gar keinen Einfluss		sehr großen Einfluss
Telefonlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taschenrechnerlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zufallslayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reihenlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**15. Bei folgendem Layout habe ich die falsche Taste gedrückt, weil ich keinen Unterschied gesehen habe:**

	gar nicht				sehr oft
Telefonlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taschenrechnerlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zufallslayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reihenlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**16. Bei folgendem Layout habe ich die falsche Taste gedrückt, weil ich dem automatisiertem Bewegungsablauf gefolgt bin:**

	gar nicht				sehr oft
Telefonlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taschenrechnerlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zufallslayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reihenlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**17. Bei folgendem Layout habe ich die falsche Taste gedrückt, weil ich die Pin nicht mehr richtig in Erinnerung hatte:**

	gar nicht				sehr oft
Telefonlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taschenrechnerlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zufallslayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reihenlayout	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**18. Mit welchem Eingabegerät hast du die Tests (meist) absolviert?**

Ausnahmen bestätigen die Regel ;)

- PC-Maus
- Touchpad
- Touchscreen
- Anderes:

**19. Was wolltest du deiner Meinung nach mit der Studie herausfinden?**

**20. Hatte die erlernte Pin irgendeinen Einfluss auf deinen Alltag?**

- Ich habe öfter an Sie gedacht
- Keinen Einfluss
- Ich habe sie (fast) mit anderen Pins verwechselt
- Anderer Einfluss:

**21. Sind während dem Test technische Probleme aufgetreten?**

- Nein
- Ja, und zwar:

**22. Was hätte ich besser machen können? Was hat gefehlt? Sonstige Anmerkungen?**



## **Inhalt der beigelegten CD**

### **Ausarbeitung/**

Enthält die Ausarbeitung der Diplomarbeit im PDF- und Latex-Format.

**Diplomarbeit.pdf**

**Latex Source/\*.tex**

### **Ergebnisse/**

Enthält die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Datenanalyse in SPSS-Formaten.

**Data/\*.sav**

**Output/\*.spv**

### **Literatur/**

Enthält alle elektronisch verfügbaren Quellen sowie eine Übersicht über die Literatur.

**Übersicht.html**

**Dokumente/\*.pdf | \*.doc**

### **Slides/**

Enthält den Antritts- und Abschlussvortrag im PowerPoint-Format

### **Software/**

Enthält die im Rahmen der Studie erstellte Software. Diese besteht aus der Keypad-Simulation (Adobe Flash), der Testumgebung (PHP) und der Datenbank (MySQL).

**Adobe Flash/\*.fla | \*.swf**

**MySQL/database.sql**

**PHP/\*.php | \*.html**

### **Teilnehmerbefragung/**

Enthält die im Rahmen der Studie erstellten Fragebögen im PDF-Format.





## Literatur

- [1] ADAMS, Jack A. ; DIJKSTRA, Sanne: Short-term memory for motor responses. In: *Journal of Experimental Psychology* 71 (1966), Nr. 2, 314–318. <http://psycnet.apa.org/index.cfm?fa=search.displayRecord&uid=1966-03762-001>
- [2] AUSTRALIAN BANKERS ASSOCIATION ; BELL, D.: *Industry Standard - Automatic Teller Machines (ATM), Level 3, 56 Pitt Street, Sydney, NSW 2000, Australia*. <http://www.bankers.asn.au/ArticleDocuments/ATM.pdf>. Version: 2002
- [3] BARRETT, Julia ; KRUEGER, Helmut: Performance effects of reduced proprioceptive feedback on touch typists and casual users in a typing task. In: *Behaviour & Information Technology* 13 (1994), Nr. 6, 373–381. <http://www.informaworld.com/10.1080/01449299408914618>
- [4] BUTTERBAUGH, Larry C. ; ROCKWELL, Thomas H.: Evaluation of Alternative Alphanumeric Keying Logics. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 24 (1982), 521–533. <http://www.ingentaconnect.com/content/hfes/hf/1982/00000024/00000005/art00003>
- [5] CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION: *CAN/CSA-B651.1-F09, Head Office - Mississauga 5060 Spectrum Way, Suite 100 Mississauga, Ontario L4W 5N6 CANADA*. <http://www.shopcsa.ca/onlinestore/GetCatalogItemDetails.asp?mat=2420359&Parent=2562>. Version: 2009
- [6] COLLE, Herbert A. ; HISZEM, Keith J.: Standing at a kiosk: Effects of key size and spacing on touch screen numeric keypad performance and user preference. In: *Ergonomics* 47 (2004), Nr. 13, 1406–1423. <http://www.informaworld.com/10.1080/00140130410001724228>
- [7] CONRAD, R.: Short-Term Memory Effects in the Design of Data-Entry Keyboards. In: *Journal of Applied Psychology* 50 (1966), 10, Nr. 5, 353–356. <http://psycnet.apa.org/index.cfm?fa=search.displayRecord&uid=1966-13610-001>
- [8] CONRAD, R. ; HULL, A. J.: The Preferred Layout for Numeral Data-Entry Keysets. In: *Ergonomics* 11 (1968), Nr. 2, 165–173. <http://www.informaworld.com/10.1080/00140136808930953>
- [9] DE LUCA, Alexander ; VON ZEJSCHWITZ, Emanuel ; HUSSMANN, Heinrich: Vibrapass: secure authentication based on shared lies. In: *CHI '09: Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2009. <http://doi.acm.org/10.1145/1518701.1518840>
- [10] DEININGER, R. L.: Human Factors Engineering Studies of the Design and Use of Pushbutton Telephone Sets. In: *The Bell System, Technical Journal* 4 (1960), 995-1012. <http://etler.com/docs/Journals/BSTJ/39-995.pdf>
- [11] DHAMIJA, Rachna ; PERRIG, Adrian: Déjà Vu: a user study using images for authentication. In: *SSYM'00: Proceedings of the 9th conference on USENIX Security Symposium*. Berkeley, CA, USA : USENIX Association, 2000, 4–4 <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1251310>
- [12] DVORAK, A.: There is a better typewriter keyboard. In: *National Business Education Quarterly* (1943)

- [13] EMVCo, LLC: *EMV2000 Integrated Circuit Card Specifications for Payment Systems, EMVCo LLC Co MasterCard Worldwide Attention: EMVCo TAWG secretariat Chaussee de Tervuren, 198A 1410 Waterloo Belgium*. [http://www.scardsoft.com/documents/EMV/EMV\\_4.pdf](http://www.scardsoft.com/documents/EMV/EMV_4.pdf). Version: 2000
- [14] EUROPEAN COMMITTEE FOR BANKING STANDARDS: *Numeric Implementation*. <http://www.ecbs.org/keyboard-layout-for-atm-and-pos-pin-entry-devices>, Abruf: 19.04.2010
- [15] EUROPEAN COMMITTEE FOR BANKING STANDARDS: *History of ECBS*. <http://www.ecbs.org/about.html>, Abruf: 29.04.2010
- [16] F.BLECK ; A.POLLKLÄSENER: *Blinden- und sehbehindertengerechte Gestaltung von Geldausgabeautomaten, Rungestraße 19 10179 Berlin*. [www.dbsv.org/fileadmin/dbsvupload/Worddateien/GFaH/Richtlinie\\_\\_Geldausgabeautomaten\\_Juli\\_2007.doc](http://www.dbsv.org/fileadmin/dbsvupload/Worddateien/GFaH/Richtlinie__Geldausgabeautomaten_Juli_2007.doc). Version: 2007
- [17] FEENEY, Robert: *Access to ATMs: UK design guidelines*. Second. Centre for Accessible Environments, 2002 <http://www.worldcat.org/isbn/0903976331>
- [18] FENDRICH, David W. ; HEALY, Alice F. ; BOURNE, Lyle E.: Long-term repetition effects for motoric and perceptual procedures. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 17 (1991), Nr. 1, 137–151. <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1991-17513-001/>
- [19] FIELD, Andy ; HOLE, Dr Graham J.: *How to Design and Report Experiments*. 1. Sage Publications Ltd, 2003. – ISBN 9780761973836
- [20] FLEISHMAN, E. ; PARKER, J.: Factors in the retention and relearning of perceptual-motor skill. In: *Journal of Experimental Psychology* 64 (1962), 215–226. <http://psycnet.apa.org/index.cfm?fa=search.displayRecord&uid=1963-04327-001>
- [21] GEGENFURTNER, Karl R. ; WALTER, Sebastian ; BRAUN, Doris I.: *Visuelle Informationsverarbeitung im Gehirn*. <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm>, Abruf: 24.02.2010
- [22] GOODMAN, D. ; DICKINSON, J. ; FRANCAS, M. J.: Human factors design considerations for public videotex input devices. In: *Behaviour & Information Technology* 4 (1985), Nr. 3, 189–200. <http://www.informaworld.com/10.1080/01449298508901800>
- [23] HATTA, Kazutoshi ; LIYAMA, Yuji: Ergonomic study of automatic teller machine operability. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 3 (1991), Nr. 3, 295–309. <http://www.informaworld.com/10.1080/10447319109526014>
- [24] HEEG, T.: *Happy bargeldlos: Der Geldautomat wird 40*. Version: 2008. <http://www.faz.net/-00mrkm>, Abruf: 22.02.2010
- [25] IMANAKA, K. ; YAMAUCHI, M. ; FUNASE, K. ; NISHIHIRA, Y.: Information-processing mediating the location-distance interference in motor short-term memory. In: *The Annals of physiological anthropology* 5 (1993), 269–283. <http://naosite.lb.nagasaki-u.ac.jp/dspace/bitstream/10069/22682/1/110002507014.pdf>
- [26] INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANARDIZATION: *ISO/IEC 9995-4: Information technology – Keyboard layouts for text and office systems – Part 4: Numeric section, 1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56 CH-1211 Geneva 20, Switzerland*. [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=51643](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51643). Version: 2009

- [27] INTERNATIONAL ORGANISATION OF STANDARDIZATION: *ISO 9564-1:2002: Personal Identification Number (PIN) management and security – Part 1, 1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56 CH-1211 Geneva 20, Switzerland*. [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=29374](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=29374). Version: 2007
- [28] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *About ISO*. <http://www.iso.org/iso/about.htm>, Abruf: 29.04.2010
- [29] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION: *World Standards Cooperation*. <http://www.itu.int/ITU-T/wsc/>, Abruf: 29.04.2010
- [30] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION: *Recommendation E.161: Arrangement of digits, letters and symbols on telephones and other devices that can be used for gaining access to a telephone network, Place des Nations 1211 Geneva 20 Switzerland*. <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.161-200102-I/en>. Version: 2001
- [31] KEVIN F. MILLER, Jianjun Z. Catherine M. Smith S. Catherine M. Smith ; ZHANG, Houcan: Preschool Origins of Cross-National Differences in Mathematical Competence: The Role of Number-Naming Systems. In: *Psychological Science* 6 (1995), Nr. 1, 55–60. <http://www.jstor.org/stable/40062877>
- [32] KINKEAD, Robin: Typing Speed, Keying Rates and optimal Keyboard Layouts. In: *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* Bd. 19, 1975, 159–161 <http://www.ingentaconnect.com/content/hfes/hfproc/1975/00000019/00000002/art00003>
- [33] KUMAR, Manu ; GARFINKEL, Tal ; BONEH, Dan ; WINOGRAD, Terry: Reducing shoulder-surfing by using gaze-based password entry. In: *Proceedings of the 3rd symposium on Usable privacy and security*. Pittsburgh, Pennsylvania : ACM, 2007, 13–19 <http://doi.acm.org/10.1145/1280680.1280683>
- [34] *Kapitel 54*. In: LEWIS, J. R. ; POTOSNAK, K. M. ; MAGYAR, R. L.: *Handbook of Human-Computer-Interaction*. 2. Elsevier Science B.V., 1997, 1285-1310
- [35] LUTZ, Mary C. ; CHAPANIS, Alphonse: Expected locations of digits and letters on ten-button keysets. In: *Journal of Applied Psychology* 39 (1955), Nr. 5, 314–317. <http://psycnet.apa.org/journals/apl/39/5/314/>
- [36] MANZKE, J. M. ; EGAN, D. H. ; FELIX, D. ; KRUEGER, H.: What makes an automated teller machine usable by blind users? In: *Ergonomics* 41 (1998), 982–999. <http://www.ingentaconnect.com/content/tandf/terg/1998/00000041/00000007/art00004>
- [37] MARTENIUK, Ronald G. ; IVENS, Chris J. ; BROWN, Beth E.: Are there task specific performance effects for differently configured numeric keypads? In: *Applied Ergonomics* 27 (1996), Oktober, Nr. 5, 321–325. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V1W-3VTWBKX-4/2/c9607cb19034cf78a312f79552c6fbc4>
- [38] MEADOWS, K. J. ; ROHAN, C.: *Proposal for UK Design Guidelines for Improving Access to ATMs and Similar Equipment*. [http://\[2a00:1450:8002::84\]/search?q=cache:UiIpEzPWn4J:trace.wisc.edu/docs/cae/caeguide.doc](http://[2a00:1450:8002::84]/search?q=cache:UiIpEzPWn4J:trace.wisc.edu/docs/cae/caeguide.doc). Version: 1997
- [39] NICKERSON, Raymond S. ; ADAMS, Marilyn J.: Long-term memory for a common object. In: *Cognitive Psychology* 11 (1979), Juli, Nr. 3, 287–307. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WCR-4D6RJF-3P/2/979f24e04add3fa2c25f786fd2bb072d>

- [40] NIKOLIC, D. ; SINGER, W.: Creation of visual long-term memory. In: *Perception & Psychophysics* 69 (2007), Nr. 6, 904–912. <http://app.psychonomic-journals.org/content/69/6/904.abstract>
- [41] NOYES, Jan: The QWERTY keyboard: a review. In: *International Journal of Man-Machine Studies* 18 (1983), März, Nr. 3, 265–281. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WGS-4T4S107-4/2/7d7ffabb1d210dd3cd7cdf246169df8f>
- [42] PHILLIPS, W. A.: On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. In: *Perception & Psychophysics* 16 (1974), Nr. 2, 283–290. <http://vpl.uchicago.edu/pages/courses/sp2005/Phillips74.pdf>
- [43] RINCK, Mike: Memory for everyday objects: where are the digits on numerical keypads? In: *Applied Cognitive Psychology* 13 (1999), Nr. 4, 329–350. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199908\)13:4<329::AID-ACP583>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<329::AID-ACP583>3.0.CO;2-3)
- [44] RNIB DIGITAL ACCESSIBILITY TEAM: *Keypads*. <http://www.tiresias.org/research/guidelines/keys.htm>, Abruf: 18.04.2010
- [45] ROGERS, Wendy A. ; GILBERT, D. K. ; CABRERA, Elizabeth F.: An analysis of automatic teller machine usage by older adults: A structured interview approach. In: *Applied Ergonomics* 28 (1997), Juni, Nr. 3, 173–180. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V1W-3SP79JR-3/2/4c840f7bb706db233e51d6ab6e8ec567>
- [46] ROSENBAUM, David A.: *Human Motor Control, Second Edition*. 2. Academic Press, 2009 <http://amazon.com/o/ASIN/0123742269/>
- [47] ROTH, Volker ; RICHTER, Kai ; FREIDINGER, Rene: A PIN-entry method resilient against shoulder surfing. In: *Proceedings of the 11th ACM conference on Computer and communications security*. Washington DC, USA : ACM, 2004, 236–245 <http://doi.acm.org/10.1145/1030083.1030116>
- [48] ROYAL NATIONAL INSTITUTE FOR THE BLIND ; GILL, J.: *Access Prohibited? Information for Designers of Public Access Terminals, 224 Great Portland Street, London WIN 6AA, England*. <http://www.tiresias.org/about/publications/pats/access.pdf>. Version: 1997
- [49] RYU, Young S. ; KOH, Do H. ; ADAY, Brad L. ; GUTIERREZ, Xavier A. ; PLATT, John D.: Usability Evaluation of Randomized Keypads. In: *Journal of Usability Studies* 5 (2010), 65–75. [http://usabilityprofessionals.org/upa\\_publications/jus/2010february/JUS\\_Ryu\\_Feb2010.pdf](http://usabilityprofessionals.org/upa_publications/jus/2010february/JUS_Ryu_Feb2010.pdf)
- [50] SIMONS, Daniel J.: Current Approaches to Change Blindness. In: *Visual Cognition* 7 (2000), Nr. 1, 1–15. <http://www.informaworld.com/10.1080/135062800394658>
- [51] SPERLING, George: The information available in brief visual presentation. In: *Psychological Monographs* 74 (1960), Nr. 11, Whole No. 498, 1–29. [http://aris.ss.uci.edu/HIPLab/staff/sperling/PDFs/Sperling\\_PsychMonogr\\_1960.pdf](http://aris.ss.uci.edu/HIPLab/staff/sperling/PDFs/Sperling_PsychMonogr_1960.pdf)
- [52] STADT MÜNCHEN: *München: Stadtchronik 1977*. Version: 2010. <http://www.muenchen.de/Rathaus/dir/stadtarchiv/chronik/41592/1977.html>, Abruf: 22.02.2010
- [53] STANDARDS AUSTRALIA: *Australian Standard, AS 3769-1990: Automatic teller machines - User access, 1 The Crescent, Homebush NSW 2140, Australia*. <http://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/As/as3000/3700/3769.PDF>. Version: 1990

- [54] STANDING, Lionel: Learning 10000 pictures. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 25 (1973), Nr. 2, 207–222. <http://www.informaworld.com/10.1080/14640747308400340>
- [55] STRAUB, H. R. ; GRANAAS, M. M.: Task-specific preference for numeric keypads. In: *Applied Ergonomics* 24 (1993), 289-290. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15676926>
- [56] TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY ASSOCIATION (TTA): *KICS.KO-09.0040, 267-2 Seohyeon-dong, Bundang-gu, Seongnam-City, Gyonggi-do, Korea*. [http://www.iabf.or.kr/lib/common/download.asp?path=pds&file=TTAS\\_KO-09\\_0040.pdf](http://www.iabf.or.kr/lib/common/download.asp?path=pds&file=TTAS_KO-09_0040.pdf).  
Version: 2007
- [57] UNITED STATES ACCESS BOARD: *Recommendations for a New ADAAG Final Report, 1331 F Street, NW, Suite 1000 Washington, DC 20004-1111*. <http://www.access-board.gov/ada-aba/commrept.htm#707>. Version: 1996, Abruf: 02.06.2010
- [58] UNITED STATES ACCESS BOARD: *Proposed ADA/ABA Accessibility Guidelines, 1331 F Street, NW, Suite 1000 Washington, DC 20004-1111*. <http://www.access-board.gov/ada-aba/final.pdf>. Version: 1999
- [59] US ARCHITECTURAL & TRANSPORTATION BARRIERS COMPLIANCE BOARD: *Accessibility Guidelines for Buildings and Facilities, 1331 F Street, NW, Suite 1000 Washington, DC 20004-1111*. <http://www.access-board.gov/adaag/ADAAG.pdf>. Version: 2002
- [60] ZEIT ONLINE. NIE WIEDER ZAHLENDREHER?: <http://www.zeit.de/2004/05/Zahlen>, Abruf: 05.05.2010
- [61] ZHAI, Shumin ; SMITH, Barton A.: Alphabetically biased virtual keyboards are easier to use: layout does matter. In: *CHI '01 extended abstracts on Human factors in computing systems*. Seattle, Washington : ACM, 2001, 321–322 <http://doi.acm.org/10.1145/634067.634257>