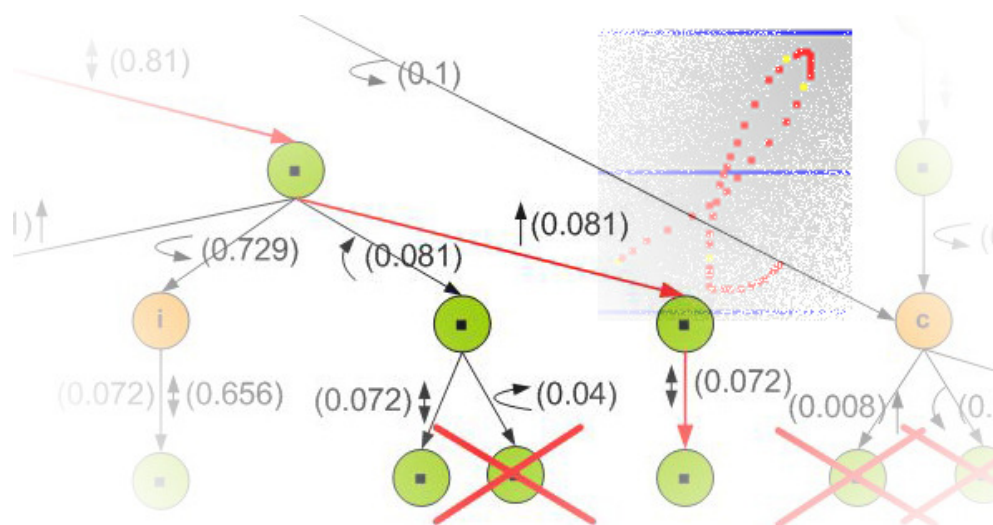


Zeichenerkennung

mit Touchpad und Java



Projektarbeit

Sommersemester 2007

Projektarbeit SO2007 an der Zürcher Hochschule Winterthur

Studiengang: Kommunikation und Informatik KI04

Projektteam

Daniel Fernandez fernadan@zhwin.ch

David Kölbener kolbedav@zhwin.ch

Betreuer

Alexander Bosshard

Dipl. El.-Ing. ETH / BWI

Management Summary

Die Handschrifterkennung von einem Computer ermöglicht eine einfache Interaktion zwischen Mensch und Computer.

Die Erkennung wurde in vier Stufen aufgeteilt. Jede Stufe hat eine bestimmte Aufgabe, die ein bestimmter Schritt zur Erkennung beiträgt. Es handelt sich dabei um folgende Stufen:

- Input
- Tokenize
- Lookup
- Output

Als Eingabegerät für unsere Arbeit steht uns ein Touchpad zur Verfügung, welches die Funktionalität einer Computer-Maus besitzt. Dank dieser Maus-Emulation des Touchpads, kann die Eingabe von Zeichen mittels vorgegebenen Klassen in Java erfasst werden, weshalb wir auf das Einlesen der Daten über den Geräte-Treiber verzichtet haben.

Beim Tokenize werden die eingelesenen Daten geglättet und durch einen Algorithmus zu Microgesten zusammengesetzt. Es wurden 6 verschiedene Microgesten ermittelt, deren wesentliches Unterscheidungskriterium der Krümmungsradius ist. Aus diesen 6 Microgesten werden alle Buchstaben zusammengesetzt. Welche Microgesten in was für einer Kombination welche Zeichen ergeben wird in einem Graph gespeichert. Bis jetzt wurden die Zeichen „a“ und „b“ vollständig implementiert. Die Kanten vom Graph widerspiegeln die Microgesten und die Zeichen die Knoten.

Je nach Schreibgrösse und nach Schreibgeschwindigkeit wird beim Lookup einer von vier Graphen genommen, der auf diese Eigenschaften abgestimmt wurde. Dieser Graph wird durchsucht, und das Zeichen mit der grössten Wahrscheinlichkeit auf diese Folge von Microgesten ermittelt.

Dieses Zeichen wird dem Benutzer auf dem Bildschirm wieder ausgegeben. Der Weg durch den Graph, der zu diesem Zeichen führte wird in einer Logdatei gespeichert um weitere Verbesserungen am Algorithmus vorzunehmen.

Management Summary

Using the recognition of handwriting through a computer the interaction between man and computer can be simplified.

The recognition was divided into four steps:

- Input
- Tokenize
- Lookup
- Output

The input device used in this project is a touchpad, which has the functionality of a normal computer mouse. Because of this mouse-emulation of the touchpad, the input can be handled with the normal existing Java-classes. For this reason we didn't pursue the option of reading the data directly from the touchpad.

The step "Tokenize" straightens the read data and with the use of an algorithm the data is assembled to micro gestures. There are six different micro gestures which differentiate from each other in their bending. All signs are created with these six micro gestures. The data used to determine which combined micro gestures in lead to a sign is saved in a graph. Until now the signs "a" and "b" are completely implemented. The edges of the graph reflect the micro gestures and the vertices the signs. The dimension and the speed of writing determine which of four graphs is used for the analysis.

With the detected micro gestures the corresponding graph is searched during the step "Lookup". The sign with the greatest possibility of this order of micro gestures is detected by an algorithm. This sign is shown to the user on a display. The path leading to the sign is saved in a log file, so that further advancement of these algorithms and graphs can be relatively simply implemented.

Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Projektarbeit im Departement T

Mit der Abgabe dieser Projektarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat. (Bei Gruppenarbeiten gelten die Leistungen der übrigen Gruppenmitglieder nicht als fremde Hilfe.)

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle zitierten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt nachgewiesen sind, d.h. dass die Projektarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten die Paragraphen 41 und 42 (Unredlichkeit und Verfahren bei Unredlichkeit) der ZHW Prüfungsordnung sowie die Bestimmungen des Disziplinarverfahrens der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Unterschriften:

.....

.....

Daniel Fernandez, KI04b

.....

David Kölbener, KI04c

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	2
2.1	Projektausschreibung	2
2.1.1	Ziel	2
2.1.2	Aufgabe	2
2.1.3	Anmerkungen	2
2.2	Abgrenzungen	3
3	Projektplanung	4
4	Konzept	6
4.1	Aufbau der Software	8
4.1.1	Klassendiagramm	8
4.1.2	Klassenverantwortlichkeiten	9
4.1.3	Kommunikationsdiagramm	10
5	Realisierung	11
5.1	Digitalisierung der Schrift	11
5.1.1	Variante A	11
5.1.2	Variante B	11
5.1.3	Analyse des Alphabets	12
5.1.4	Ermittlung des Graphen	12
5.1.5	Empirische Ermittlung	13
5.1.6	Persistenz der Graphen	18
5.2	Varianten um die Microgesten zu Ermitteln	19
5.2.1	Krümmung	19
5.2.2	Winkel	19
5.2.3	Fourier Transformation	20
5.3	Einlesen der Daten vom Touchpad	20
5.3.1	Daten Direkt einlesen	20
5.3.2	Daten mit dem Treiber vom Touchpad-Hersteller einlesen	20
5.4	Aufbereitung der Daten	21
5.4.1	Variante Krümmung	21
5.4.2	Variante Winkel	21
5.4.3	Variante Fourier Transformation	22
5.5	Microgesten Erkennen	22
5.5.1	Microgesten über die Krümmung	22
5.5.2	Microgesten über den Winkel ermitteln	25
5.5.3	Microgesten über die Fourier-Transformation	25
5.6	Ermitteln des Buchstabens	25
5.7	Alternativer Algorithmus	27
5.8	Mögliche Erweiterungen	29
5.8.1	Berücksichtigung weiterer Microgesten	29
5.8.2	Zeichen mit Absetzen	29

5.8.3	Verwendung von mehreren Verfahren und die Resultate untereinander vergleichen	29
5.8.4	Erkennung von Verbindungslinien zwischen zwei Zeichen	29
5.8.5	Wörterbuchvergleich	30
5.9	Automatische Erkennung der Schriftgrösse.....	30
6	Test.....	31
6.1	Algorithmus zum Erkennen der Zeichen	31
6.1.1	Testgraph	31
6.1.2	Unterscheidung „e“ und „l“	32
6.1.3	Unterscheidung „a“ und „o“	33
6.2	Graphen für die Buchstaben „a“ und „b“	33
7	Betrieb	36
7.1	Installation.....	36
7.1.1	Touchpadtreiber	36
7.1.2	Datenbank	37
7.1.3	Konfigurationsfile conf.txt.....	38
7.2	Bedienungsanleitung zur Software.....	39
7.2.1	Software Starten	39
7.2.2	Bedienung.....	40
7.2.3	Log-Datei.....	40
8	Schlusswort	42
9	Glossar	43
10	Quellenverzeichnis.....	44
11	Anhang.....	45
11.1	Ausmessung MouseListener	45
11.2	Microgesten der Buchstaben	45
11.3	Empirische Ermittlung des Graphen	47
11.3.1	Schreibsituation „gross, langsam“ für a.....	47
11.3.2	Schreibsituation „klein, langsam“ für a.....	49
11.3.3	Schreibsituation „gross, schnell“ für a.....	50
11.3.4	Schreibsituation „klein, schnell“ für a.....	52
11.3.5	Schreibsituation „gross, langsam“ für b.....	54
11.3.6	Schreibsituation „klein, langsam“ für b.....	55
11.3.7	Schreibsituation „gross, schnell“ für b.....	57
11.3.8	Schreibsituation „klein, schnell“ für b.....	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassenverantwortlichkeiten.....	9
Tabelle 2: Beschreibung Konfigurationsfile	38
Tabelle 3: Beschreibung der Meldungen beim Start.....	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konzept	6
Abbildung 2: Klassendiagramm.....	8
Abbildung 3: Kommunikationsdiagramm „Ermittlung von einem Zeichen“	10
Abbildung 4: Microgesten Variante A.....	11
Abbildung 5: Microgesten Variante B.....	11
Abbildung 6: Buchstaben mit ihren Microgesten.....	12
Abbildung 7: 1. Variante 1 vom Graph	12
Abbildung 8: 2. Variante 2 vom Graph	13
Abbildung 9: Quadranten der Schreibarten	13
Abbildung 10: Graphen vom Buchstaben „a“ der empirischen Ermittlung.....	14
Abbildung 11: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für grosse und langsame Schrift.....	15
Abbildung 12: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für kleine und langsame Schrift.....	16
Abbildung 13: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für grosse und schnelle Schrift.....	17
Abbildung 14: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für kleine und schnelle Schrift.....	17
Abbildung 15: ER-Diagramm	18
Abbildung 16: Microgesten der Variante Krümmung	19
Abbildung 17: Microgesten der Variante Winkel	19
Abbildung 18: Berechnung der Krümmungsrichtung	21
Abbildung 19: Berechnung vom Winkel	21
Abbildung 20: Berechnung der Krümmung	22
Abbildung 21: Algorithmus zur Microgestenauswertung	24
Abbildung 22: Microgesten über den Winkel ermitteln	25
Abbildung 23: Graph zur Erklärung vom Algorithmus welcher den Buchstaben ermittelt	26
Abbildung 24: Ersatzmicrogesten.....	27
Abbildung 25: Graph Erklärung alternativer Algorithmus.....	28
Abbildung 26: Testgraph.....	31
Abbildung 27: Test „e“ schreiben.....	32
Abbildung 28: Test „l“ schreiben.....	32
Abbildung 29: Test verschiedene Lösungsvarianten im Logfile.....	32
Abbildung 30: Test „o“ schreiben.....	33
Abbildung 31: Test „a“ schreiben.....	33
Abbildung 32: Test grosse/langsame Schrift	34
Abbildung 33: Test grosse, schnelle Schrift.....	35
Abbildung 34: Tasks vom Touchpadtreiber	36
Abbildung 35: Konfiguration Touchpadtreiber 1	36
Abbildung 36: Konfiguration Touchpadtreiber 2	37
Abbildung 37: Konfigurationsfile conf.txt	38
Abbildung 38: Programmstart.....	39
Abbildung 39: Bedienung der Software	40
Abbildung 40: Logdatei, Beispiel vom Graph.....	40
Abbildung 41: Logdatei, Beispiel einer Messung	41

1 Einleitung

Die Handschrifterkennung bietet eine einfache Möglichkeit zur direkten Interaktion mit dem Computer. Mobile Geräte sind heute mit entsprechenden Funktionen ausgestattet, welche das Eingeben von Befehlen oder das Editieren von Texten per Stift unterstützen. Damit der Computer die Eingabe auch richtig interpretieren kann, wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Verfahren entwickelt, die heute auf den üblichen PDAs und Pocket-PCs zum Einsatz kommen.

Grundsätzlich wird im Zusammenhang mit der Handschrifterkennung zwischen Online- und Offlineverfahren unterschieden. Bei der Online-Methode wird der zu interpretierende Text oder Buchstabe während der Eingabe analysiert und ausgewertet. Bei den Offlineverfahren, welche z.B. in Scannern den Einzug gefunden haben, wird zuerst der gesamte Text eingelesen und erst nachträglich analysiert (OCR). Beim Onlineverfahren ist im Gegensatz zum Offlineverfahren Information bezüglich der Schreibgeschwindigkeit, und den Aufbau des Zeichens bekannt, also welcher Strich zuerst gezeichnet wird, und welche darauf folgen. In dieser Projektarbeit arbeiten wir mit dem Online-Verfahren.

Im Rahmen dieser Arbeit soll das normale Alphabet berücksichtigt werden. In einem späteren Schritt, sollte das Programm auch Stenographie interpretieren können, oder dem Benutzer die Möglichkeit geben eigene Zeichen zu Definieren.

2 Aufgabenstellung

2.1 Projektausschreibung

2.1.1 Ziel

Die Studenten entwickeln eine Applikation, welche handschriftliche Zeichen, auf einem Touchpad eingegeben, erkennt. Touchpads sind nicht druckempfindlich, damit stehen als Informationen nur die Koordinaten und der Zeitpunkt des geschriebenen Pixels zur Verfügung. Das vollumfängliche Lösen der Aufgabe sprengt den Rahmen einer Projektarbeit, eine weiterführende Diplomarbeit ist vorgesehen.

2.1.2 Aufgabe

Die Studenten:

- Versuchen, Zeichen als eine Abfolge von „Mikrogesten“ zu definieren und zu erkennen.
- untersuchen und erproben Algorithmen, welche für das Erreichen des Ziels vielversprechend sind, d.h.: einfach, schnell, mit hoher Erkennungsrate, tolerant bezüglich Skalierung und Schriftwinkel
- Dokumentieren ihre Überlegungen, Erfolge und Misserfolge nachvollziehbar.
- Liefern die Software als „repeatable build“.

2.1.3 Anmerkungen

- Die Lösung ist heute nicht bekannt, es handelt sich um eine Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Wichtig ist deshalb eine Dokumentation, welche auch falsche Richtungen dokumentiert („lessons learned“).
- Eine „lernende“ Software (Technik der neuronalen Netze) ist vorerst nicht einzusetzen. Diese Arbeit soll versuchen, das Problem generisch zu lösen
- Eine Datenbank für das Erkennen einen vollen „Alphabets“ ist nicht dringlich. In dieser Arbeit geht es in erster Linie darum, Mikrogesten deutlich voneinander zu unterscheiden und zu erkennen.

2.2 Abgrenzungen

- Die Erkennung von Zeichen beschränkt sich in dieser Arbeit auf das klassische Alphabet. Wobei nur die Kleinbuchstaben (Minuskeln) gebraucht werden und auf Umlaute und andere Sonderzeichen verzichtet wird.
- Die von unserer Software untersuchte Schrift muss die Eigenschaften einer Laufschrift aufweisen. So darf während der Eingabe eines Buchstabens der Stift vom Touchpad nicht abgesetzt werden, da dies automatisch zur Abschluss der Zeicheneingabe führt.
- Um die Wirksamkeit der in Frage kommenden Verfahren und Algorithmen testen und evaluieren zu können, setzen wir einen kleinen Satz ausgewählter Buchstaben ein ohne alle Buchstaben des Alphabets durchzuprobieren.
- Das Erkennen beschränkt sich auf ein Zeichen. Kontextvergleiche von mehreren geschriebenen Zeichen mit einem Wörterbuch wird nicht gemacht.

3 Projektplanung

Zu Beginn wurde ein Projektplan erstellt, der eine Übersicht aller Arbeiten gibt. Die ganze Zeit konnte gut mit dem Projektplan gearbeitet werden, bis auf das die zwei Algorithmen Parallel entwickelt werden konnten, was dann im Projektplan angepasst wurde. Jede Woche fand eine Sitzung statt, in der Arbeiten der nächsten Woche geplant wurden.

Als Entwicklungsumgebung dient das Programm „Borland JBuilder 2006 Foundation“. Die Daten werden mit Subversion abgeglichen.

Der Projektplan ist auf der nächsten Seite als Faltblatt eingefügt.

(Leerblatt für den Projektplan)

4 Konzept

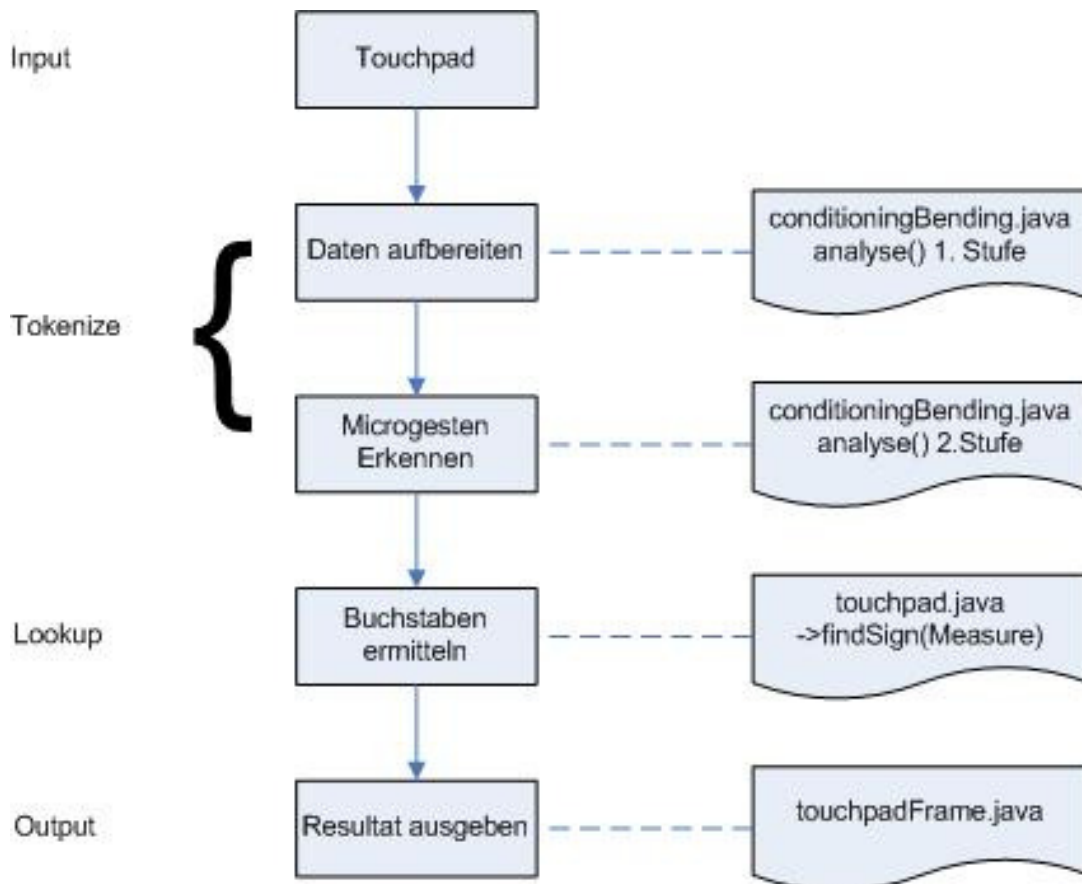


Abbildung 1: Konzept

Input Die Eingabe der Zeichenfolge geschieht auf einem lesefähigen Gerät. Dabei wird in regelmässigen Zeitabständen die Eingabe abgetastet und die dadurch gewonnenen Koordinaten für die Quantisierung der Zeichen verwendet. Gewisse Geräte sind in der Lage die Druckintensität wie auch der Schreibwinkel zu messen, was für unsere Arbeit jedoch keine Relevanz hat.

Tokenize Die eingelesenen Daten werden durch verschiedene Verfahren aufbereitet. Dazu gehören z.B. Glättung um das Zittern der Hand zu filtern und ungewolltes absetzen vom Stift zu ignorieren, oder die Neigung der Schrift anpassen. Auch wird häufig eine Skalierung der Eingabe vorgenommen, damit der Text danach eine einheitliche Grösse aufweist. Das Resultat von diesem Schritt ergibt bei unserer Software eine Liste von Microgesten.

Lookup	<p>Der Lookup ermittelt die Bedeutung vom geschriebenen Zeichen. Dieser Schritt kann mit Hilfe von statistischen, strukturellen oder regelbasierten Methoden realisiert werden. In dieser Software wird das Hidden Markov Model zum Einsatz kommen, welches zu den statistischen Verfahren zählt. Sind nun auch die einzelnen Buchstaben ermittelt, so findet zum Schluss noch ein Wörterbuchvergleich statt, um die Vervollständigung bzw. Korrektur der erkannten Buchstaben zu gewährleisten oder falsch erkannte zu korrigieren. Auf diese Weise lassen sich ganze Wörter und Sätze zusammensetzen und Zeichen wie „O“ und „0“ durch den Kontext voneinander unterscheiden.</p>
Output	<p>Schliesslich werden auf einem Ausgabegerät die interpretierten Zeichen angezeigt, oder ein Programm gestartet. Was für eine Aktion ein erkanntes Zeichen bewirkt ist von Anwendung zu Anwendung verschieden. Bei dieser Arbeit wird das Resultat angezeigt, und der Weg, wie das Zeichen ermittelt wird in eine Log-Datei geschrieben.</p>

4.1 Aufbau der Software

4.1.1 Klassendiagramm

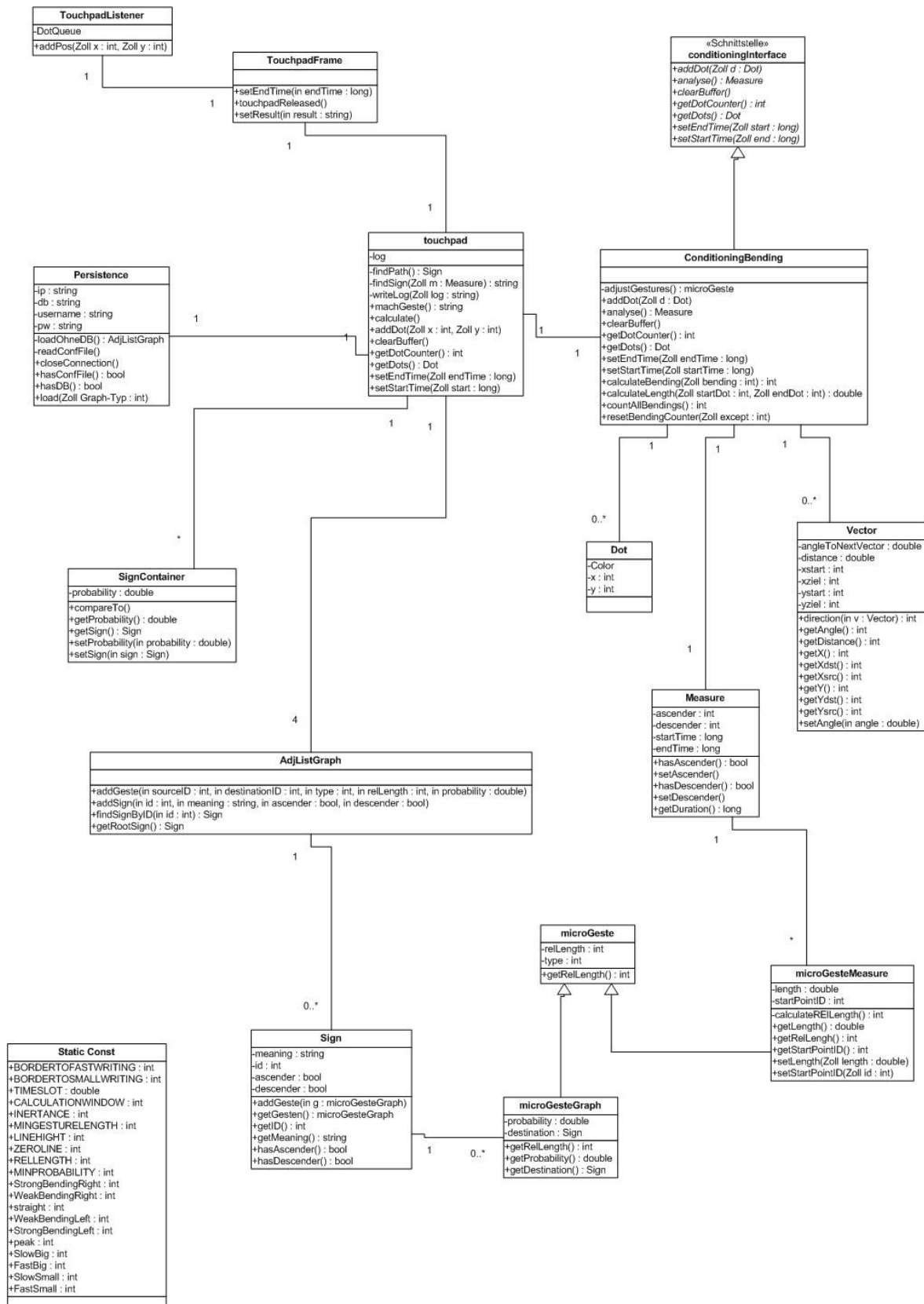


Abbildung 2: Klassendiagramm

4.1.2 Klassenverantwortlichkeiten

TouchpadFrame	- Anzeigen der Punkte, die eingelesen werden, und Ausgabe vom Resultat
TouchpadListener	- Glättet das Auf- und Absetzen vom Stift auf dem Touchpad
Touchpad	- Ermittlung vom Zeichen im Graph - Als Fassade zwischen conditioningBending und TouchpadFrame
Persistence	- Schnittstelle zur Datenbank - Laden vom Testgraph, im Falle keine Verbindung zur DB aufgebaut wird oder werden kann.
conditioningBending	- Verwalten der Punkte die beim Frame wieder angezeigt werden - Aus Koordinaten Microgesten erstellen, die in der Klasse Measure gespeichert werden.
Vector	- Funktionen und Berechnungen mit Vektoren
Dot	- Speichert Position und Farbe von einem Punkt, der am Frame angezeigt wird.
Measure	- Datencontainer, um eine Messung zu speichern.
microGesteMeasure	- Aus den Punkten ermittelte microGeste.
AdjListGraph	- Bereitstellung von Funktionen um den Graph aufzubauen, sowie Suchfunktionen im Graph
Sign	- Stellt ein Knoten im Graph dar, und kann eine Bedeutung haben, z.B. ein Buchstabe
microGesteGraph	- Stellt eine Kante im Graph dar. Jede Kante besitzt ein Faktor mit der die Wahrscheinlichkeit von einem resultierenden Zeichen berechnet werden kann.
SignContainer	- Enthält die Wahrscheinlichkeit von einem Sign, dass es das Ermittelte Zeichen ist.
Const	- Konstanten die verwendet werden. Der ganze Algorithmus kann durch das verändern dieser Konstanten justiert werden.

Tabelle 1: Klassenverantwortlichkeiten

4.1.3 Kommunikationsdiagramm

Das Kommunikationsdiagramm stellt den Zusammenhang der Klassen bei einer Ermittlung von einem Zeichen dar. Der Start wird vom aufsetzen des Stiftes auf dem Touchpad ausgelöst.

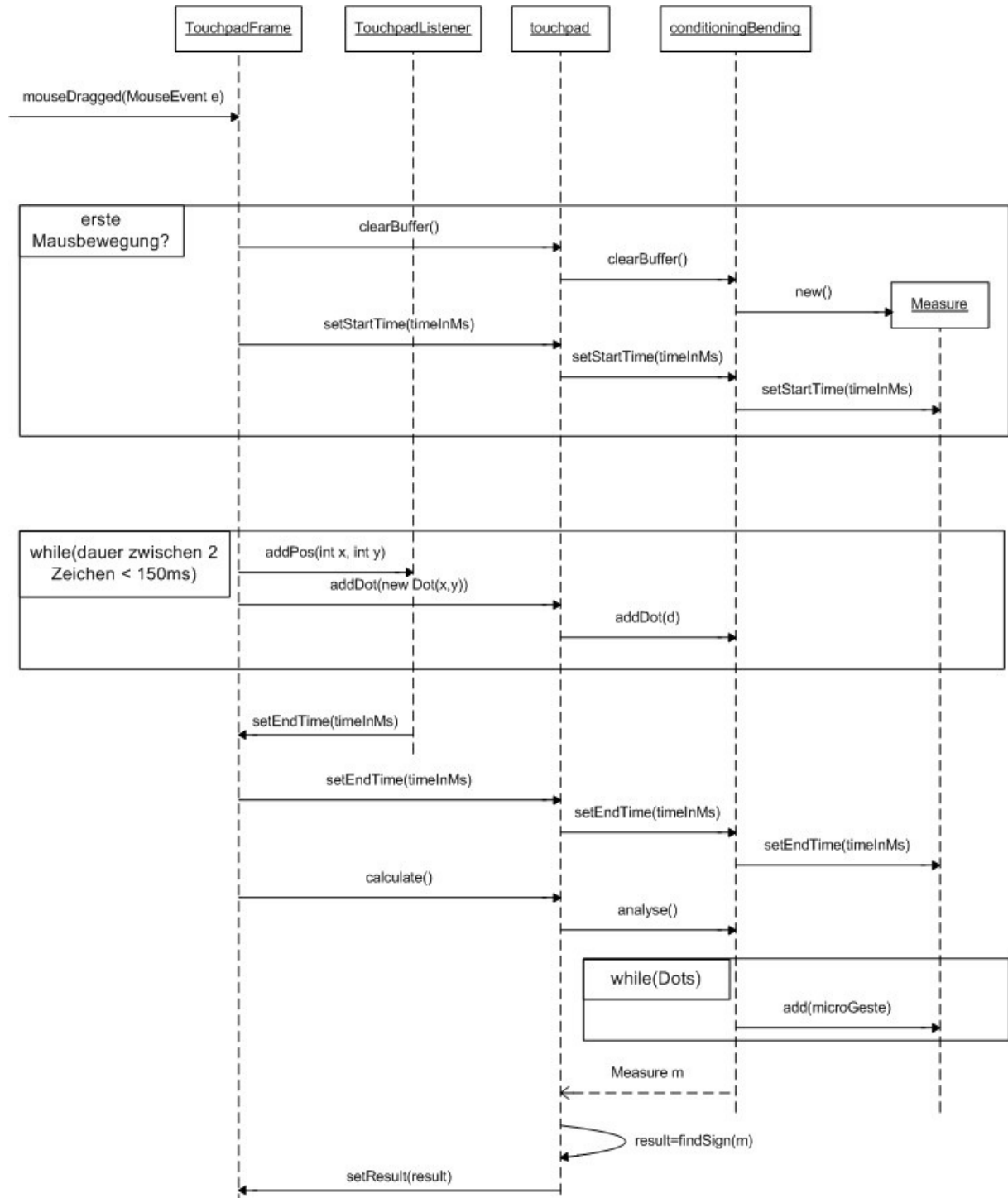


Abbildung 3: Kommunikationsdiagramm „Ermittlung von einem Zeichen“

5 Realisierung

5.1 Digitalisierung der Schrift

Damit die Schrift von einem Computer erkannt wird, muss sie auf eine Art digitalisiert werden. Dies erfolgt durch Zerlegung der Buchstaben in Microgesten. So werden alle Buchstaben auf deren gemeinsamen kleinsten Teiler zerlegt, welche die Microgesten darstellen.

5.1.1 Variante A

Die Schrift wird segmentiert in Vektoren und Richtungsänderungen. Stetige Richtungsänderungen ergeben die Krümmungen, die Vektoren stellen die Geraden dar:

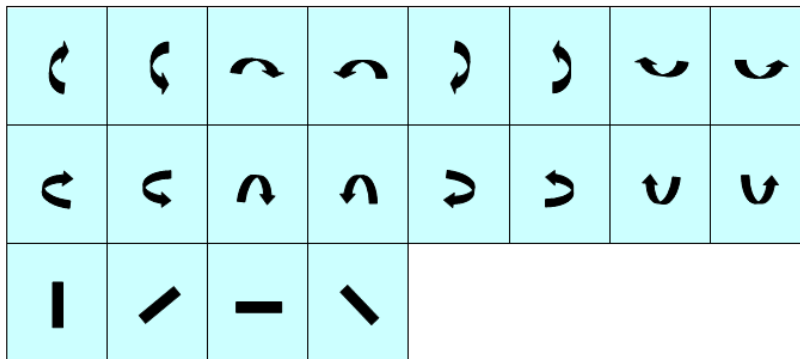


Abbildung 4: Microgesten Variante A

Der Algorithmus sollte dann im Stande sein zwischen grossen und kleinen Radien zu unterscheiden, sowie zwischen verschiedenen Steigungen der Geraden. Eine weitere Rolle spielt die Richtung, in der die Krümmung verläuft. Diese Eigenschaft wird bei geraden nicht berücksichtigt, da je nach Schriftneigung des Schreibers das Resultat dann anders aussehen würde.

5.1.2 Variante B

Dies ist eine Weiterentwicklung der Variante A. Alle Microgesten welche dieselbe Krümmungsrichtung und Krümmungsstärke aufweisen werden zusammengezogen. Dies bewirkt eine Starke Vereinfachung ohne einbusse relevanter Information. Es geht lediglich die Information verloren, wo eine Krümmung beginnt und wieder aufhört. Dies ist zudem auch eine Variable die von Schreiber zu Schreiber sehr unterschiedlich ist.

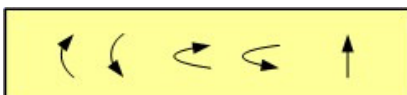


Abbildung 5: Microgesten Variante B

5.1.3 Analyse des Alphabets

Das ganze Alphabet wurde mit beiden Varianten abgebildet (Die Vollständige Liste ist im Anhang zu finden):

Zeichen	Variante A	Variante B
a		
b		
c		
d		
e		

Abbildung 6: Buchstaben mit ihren Microgesten

5.1.4 Ermittlung des Graphen

Aus der erstellten Tabelle resultiert der erste Graph. Dieser ist auf rein theoretischen Überlegungen gestützt:

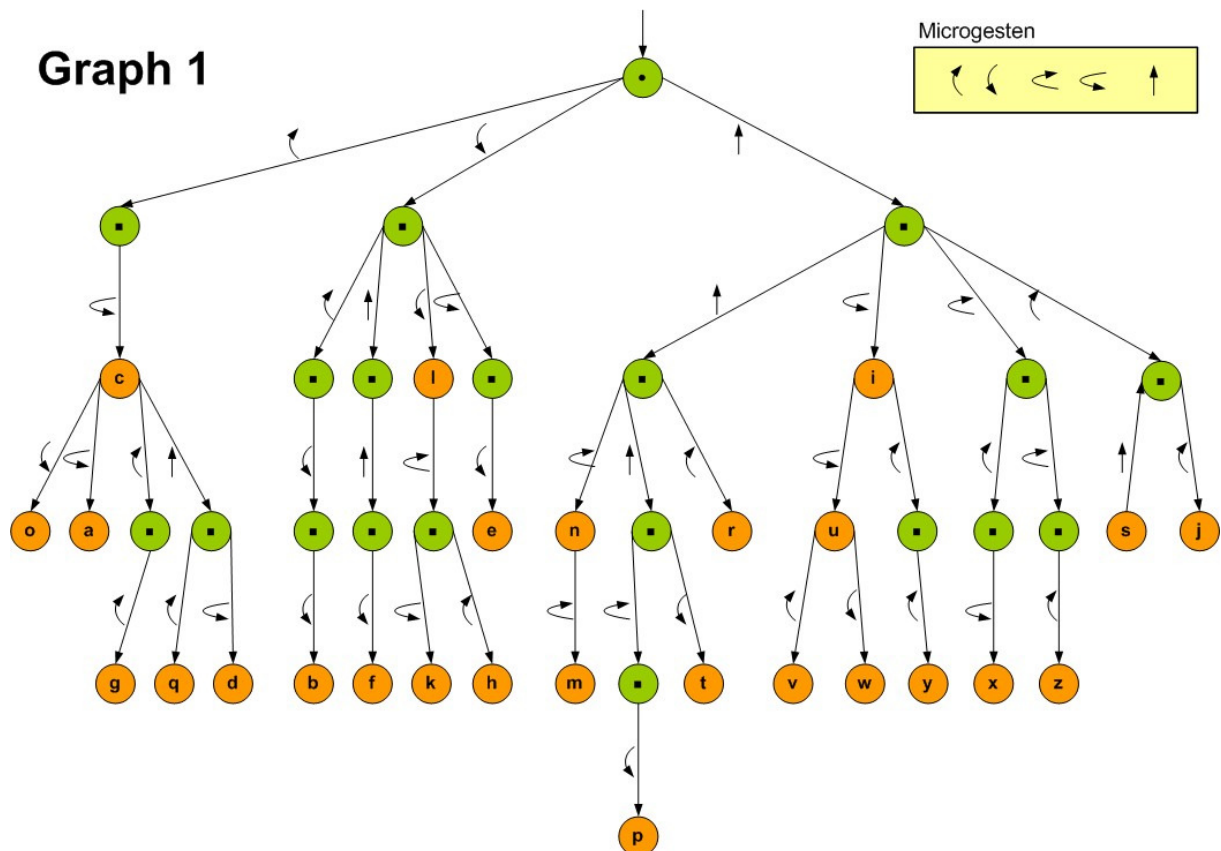


Abbildung 7: 1. Variante 1 vom Graph

Dieser Graph ermöglicht jedoch keinerlei Variation beim Schreibstil. So wurde der Graph erweitert, und gleichzeitig eine weitere Microgeste die „Spitzkehr“ eingeführt. Dies ist ein wichtiges Merkmal bei der Richtungsänderung, damit die Unterscheidung der Buchstaben eindeutiger ist.

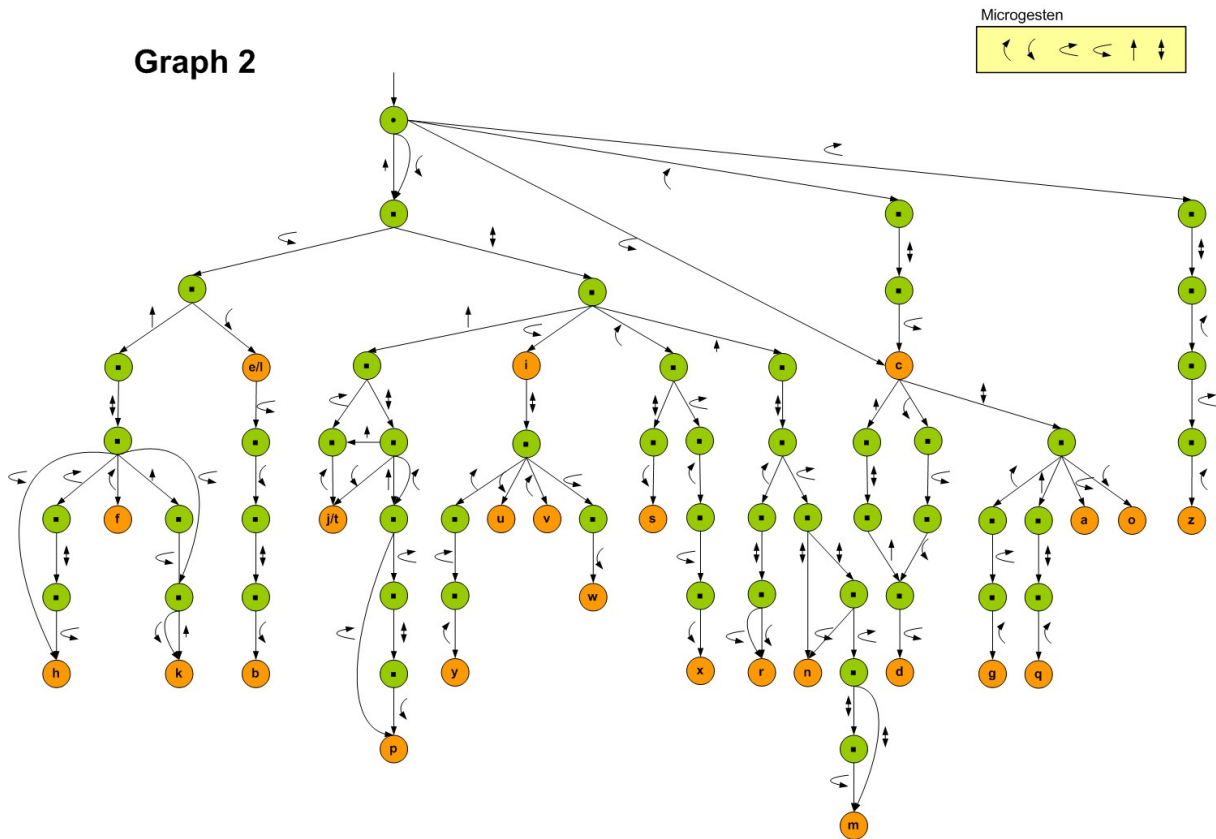


Abbildung 8: 2. Variante 2 vom Graph

Erste Tests ergaben, dass dieser Ansatz nur als Grundlage dienen kann aber, bei weitem nicht für eine hohe Erkennungswahrscheinlichkeit reicht.

5.1.5 Empirische Ermittlung

Damit die Trefferquote erhöht werden kann, wird der Graph empirisch ermittelt, und zwei weitere Unterscheidungskriterien eingebaut. Die Schriftgrösse sowie die Schreibgeschwindigkeit führen zu sehr unterschiedlichen Folgen von Microgesten. Da bei einer schnellen Schrift, der Schreiber optimiert, was zu weniger Microgesten führt.

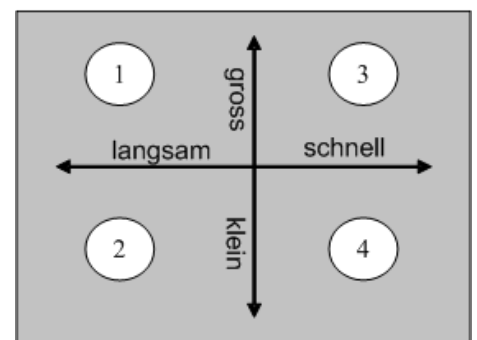


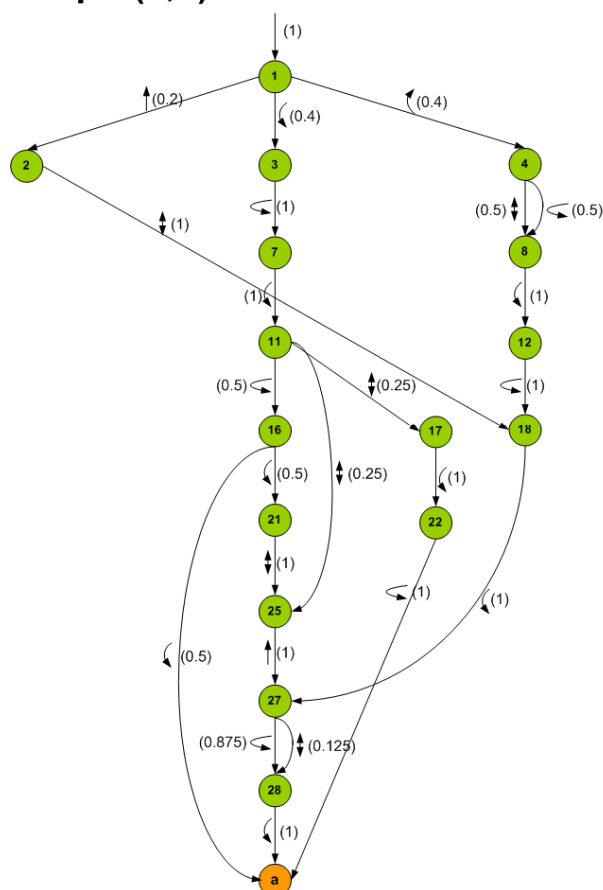
Abbildung 9: Quadranten der Schreibarten

Die Schrift wird ab einer Zeilenhöhe von 30 Pixel als grosse Schrift erkannt. Alles darunter zählt als kleine Schrift. Die Geschwindigkeitsgrenze liegt bei 1000ms. Schreibt der Schreiber einen Buchstaben in weniger als einer Sekunde, so wird er als schneller Schreiber klassifiziert.

Nach diesen Kriterien wurden die Buchstaben „a“ und „b“ untersucht. Die Wahl fiel auf diese Buchstaben, da diese zwei Buchstaben die Krümmungsverhalten aller anderen Buchstaben einschliessen.

Für jeden Buchstaben wurden je 10 Messungen pro Quadranten gemacht (Diese Messungen sind im Anhang zu finden). Aus diesen Messungen gehen verschiedene Varianten von Microgestenfolgen hervor, die in einem ersten Schritt zu einem Graph pro Buchstabe und Quadrant führt. Die resultierenden Graphen vom Buchstaben A für den ersten und zweiten Quadranten sehen folgendermassen aus:

Graph (a,1)



Graph (a,3)

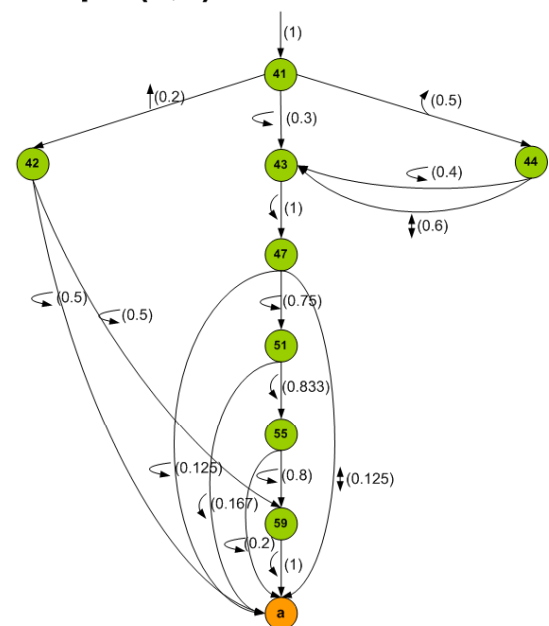


Abbildung 10: Graphen vom Buchstaben „a“ der empirischen Ermittlung

Beim Schreibfall „klein/langsam“ (ab,2) ist auffällig, dass der Graph eine viel schlankere Form besitzt als der vorgängig erläuterte Graph, sowohl in der Tiefe wie auch in der Breite. Weiter sticht die kompakte Struktur des Teilgraphen „b“ ins Auge. Dies ist ein Spezialfall, den bei einer ausgiebigeren Messung wären zweifelsohne mehr Alternativpfade entstanden, als die hier abgebildet sind.

Graph (ab,2)

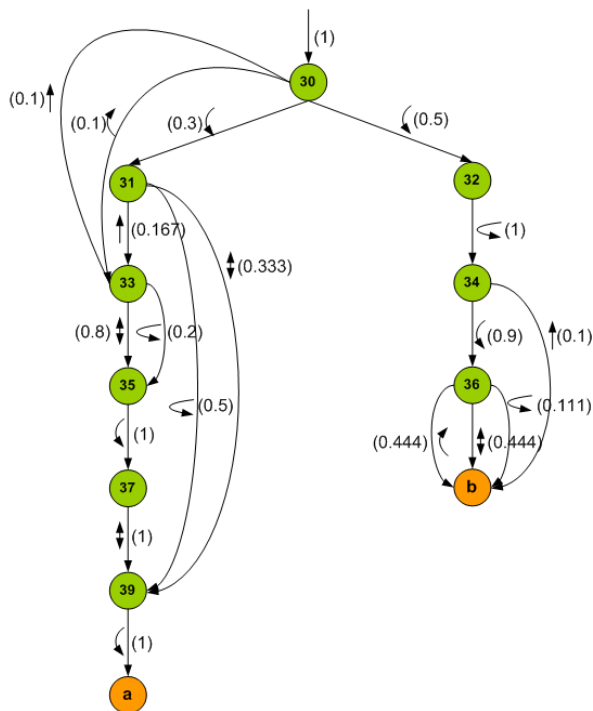


Abbildung 12: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für kleine und langsame Schrift

Die Schreibsituation „gross/schnell“ (ab,3) zeichnet sich dadurch aus, dass der Graph eine tiefere aber breitere Struktur besitzt. Diese Eigenschaft ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass beim beschleunigten Schreiben tendenziell weniger Handbewegungen umgesetzt werden aber wegen der Ungenauigkeit der Handschrift mehr Buchstabenvariationen entstehen. Anders als bei den bisher betrachteten Graphen, ist der Teilgraph „b“ diesmal ebenso komplex strukturiert wie derjenige von Buchstabe „a“.

Graph (ab,3)

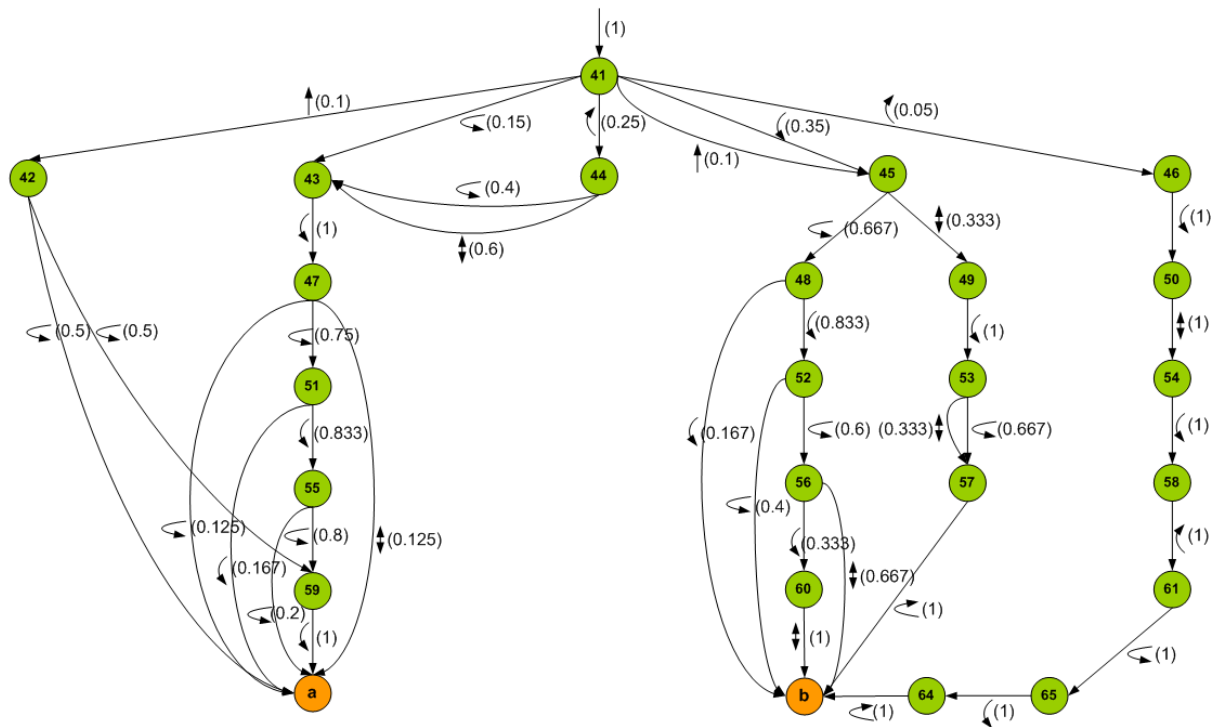


Abbildung 13: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für grosse und schnelle Schrift

Beim Graph zur Situation „klein/schnell“ (ab,4) kann beobachtet werden, dass er im Vergleich zum Fall „klein/langsam“ eine grössere Microgesten-Kombination aufweist, welche ebenfalls auf das Schreibtempo zurückzuführen ist.

Graph (ab,4)

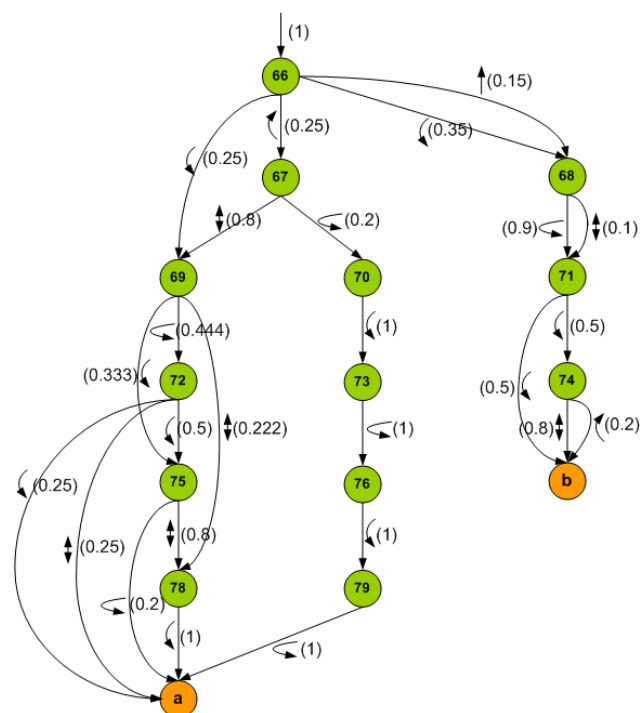


Abbildung 14: Graph der Buchstaben „a“ und „b“ für kleine und schnelle Schrift

5.1.6 Persistenz der Graphen

Das Speichern der Graphen in einer Datenbank hat den Vorteil, dass man lediglich die Datenbasis auszutauschen braucht, damit ein neues Alphabet erkannt werden kann. Dadurch unterstützt die Software nahezu beliebige Sprachen, welche eine Kursivschrift kennen. Ein weiterer Vorteil ist der, dass man am bestehenden Algorithmus (Code) keine Änderungen anbringen muss, falls die zu erkennende Zeichen einmal ändern sollten.

Das Datenbankschema, welches zum Einsatz kommt sieht wie folgt aus:

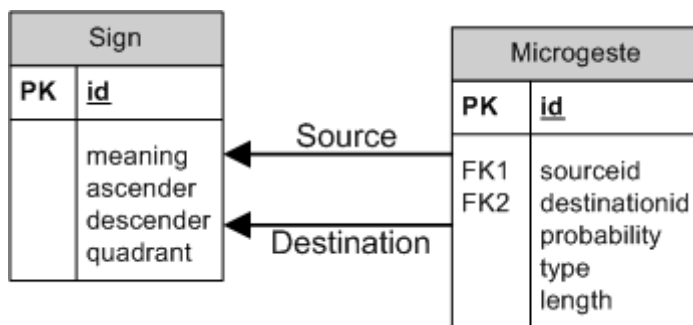


Abbildung 15: ER-Diagramm

Die Tabelle „Sign“ enthält die Definition der vollständigen wie auch der unvollständigen Zeichen. Unvollständige Zeichen sind solche, welche in einem Graph zwischen dem „Wurzelzeichen“ (Root-Element) und einem gültigen Buchstaben aus unserem Alphabet, z.B. „b“ vorkommen, aber nur als „Zwischenstationen“ für die Traversierung des Graphen dienen. Für jedes Zeichen werden Interpretation (die Bedeutung des Zeichens, z.B. „a“), Ober- und Unterlänge sowie die Schreibsituation festgehalten.

Bei den Microgesten werden nebst den Referenzen auf Quell- und Zielzeichen zusätzlich noch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der gegebenen Geste im Graph, der Typ der Microgeste z.B. „Spitzkehre“ und schliesslich noch die Länge der Geste, wobei hier nur die Werte 0 (klein), 1 (gross) und -1 (irrelevant) vergeben werden. Die Länge ist nur bei jenen Zeichen von Bedeutung, welche erst durch die Länge des „Abstriches“ (letzte Microgeste) eindeutig identifiziert werden können, wie dies bei den Buchstaben „a“, „o“, „u“ und „v“ der Fall ist. Erst wenn die Graphen, in der Datenbank komplett gespeichert wurden, dürfen diese von unserem Java-Programm geladen und weiterverwendet werden.

5.2 Varianten um die Microgesten zu Ermitteln

Es wurden verschiedene Möglichkeiten angeschaut, die Microgesten zu Ermitteln, mit denen später der Buchstabe zusammengesetzt wird.

5.2.1 Krümmung

Bei der Krümmung wird der Winkel zwischen zwei Vektoren betrachtet. Je nach Winkel ist die Krümmung grösser oder kleiner und geht nach links oder rechts. Weitere Microgesten stellen die Gerade und die Spitzkehre dar. Als weitere Information wird noch die Länge von den Ermittelten Microgesten berechnet, so kann noch eine weitere Information gewonnen werden, die ein Buchstabe auszeichnet. Diese Kriterien reichen aus, um das ganze Alphabet zu abbilden.

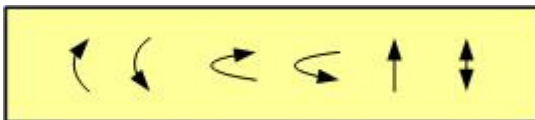


Abbildung 16: Microgesten der Variante Krümmung

Diese Methode wurde auf Grund ihrer Einfachheit und Effizienz bei der Software in der Klasse „conditioningBending“ implementiert.

5.2.2 Winkel

Diese Variante schaut den Winkel zwischen der Horizontale und dem Vektor an. So besteht ein Buchstabe hauptsächlich aus Geraden die in eine bestimmte Richtung zeigen. Eine beständige Zu -oder Abnahme vom Winkel bedeuten eine Kreisförmige Bewegung.

Die Auflösung der Winkel spielt bei dieser Variante eine sehr grosse Rolle. Damit nicht zu viele Microgesten entstehen, werden die Winkel jeweils zu einem 45°-Winkel oder ein Vielfaches von 45° gerundet. Aus folgenden 23 Microgesten könnten dann das Alphabet abgebildet werden:

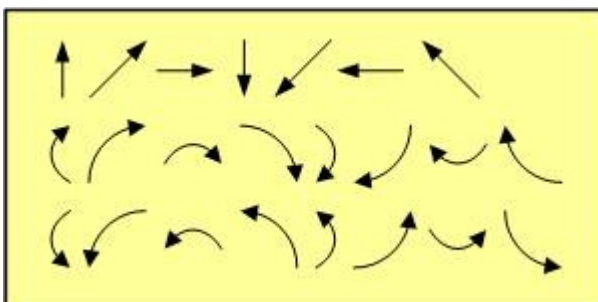


Abbildung 17: Microgesten der Variante Winkel

Diese Möglichkeit wurde bei der Software ansatzweise in der Klasse „conditioningAngle“ implementiert.

5.2.3 Fourier Transformation

Die Schrift kann als ein Frequenzspektrum angeschaut werden. Wenn nun angenommen wird, dass die Punkte von einem Zeichen periodisch sind, kann die Fourier Transformation durchgeführt werden. Je nach Frequenzen, die häufig auftauchen, beschreibt die Kurve eine grosse oder kleine Krümmung. Die Transformation sollte in beiden Dimensionen (x und y) vorgenommen werden, da sonst viel Information verloren geht, was die Erkennungswahrscheinlichkeit beeinträchtigt.

5.3 Einlesen der Daten vom Touchpad

5.3.1 Daten Direkt einlesen

Es besteht die Möglichkeit von Java her direkt auf die USB-Schnittstelle zuzugreifen. Dazu stehen zwei Libraries, die das direkte Lesen von der USB-Schnittstelle ermöglichen, zur Verfügung:

JUSB ist ein Java USB API für Windows, das am „Institute for Information Systems“ an der ETH in Zürich entwickelt wurde. Auf der Internetseite der Entwickler (<http://www.steelbrothers.ch/jusb/index.html>) ist die Funktion von USB sehr genau beschrieben und auch wie die Treiber zu erstellen sind bis zu der Anbindung an Java.

Die zweite Library ist JSR80 (<http://javax-usb.org>), diese ist unter Linux vollständig implementiert. Die Windows-Version befindet sich noch im Alpha-Stadium.

Das direkte Einlesen von der USB-Schnittstelle ist uns mit beiden Libraries nicht gelungen, da dazu zuerst ein eigener USB-Treiber in c entwickelt werden müsste.

5.3.2 Daten mit dem Treiber vom Touchpad-Hersteller einlesen

Beim Treiber, der mit dem Touchpad von Invertag mitgeliefert wird, erkennt der Computer das Touchpad als „Pointing Device“. So kann ohne grosse Konfiguration das Touchpad als Maus dienen. Der Treiber ermöglicht weiter noch einige Feineinstellungen bezüglich Empfindlichkeit und Reaktion vom Touchpad.

Da das Touchpad als Maus dienen kann, werden die Daten in Java mittels Maus-Listener eingelesen. Dieser liefert zwischen 80 und 140 Zeichen/Sekunde (Messung mit Printscreen in

den Anhang), was nahe an das Maximum von 150 Zeichen/Sekunde vom Touchpad ist. Diese Datenrate genügt um genügend Punkte für eine Erkennung durchzuführen.

Die Eingelesenen Daten vom Maus-Listener werden als X/Y-Koordinaten zur Aufbereitung weitergegeben.

5.4 Aufbereitung der Daten

5.4.1 Variante Krümmung

Immer 2 Punkte werden miteinander verbunden und zu Vektoren vereint. Der Winkel α zwischen dem aktuellen Vektor „a“ und dem vorhergehenden „a-1“ wird benötigt um beim erkennen der Microgesten die Krümmung zu berechnen. Das Vektorprodukt ($a \times a-1$) zwischen diesen zwei Vektoren wird gebildet um die Richtung der Krümmung zu ermitteln. Da sich diese Vektoren 2 Dimensionen (X/Y) befinden, entsteht durch das Vektorprodukt eine Senkrechte auf diese zwei Vektoren in die dritte Dimension(Z). Ein positives Resultat bedeutet eine Krümmung nach Links, ein negatives nach Rechts.

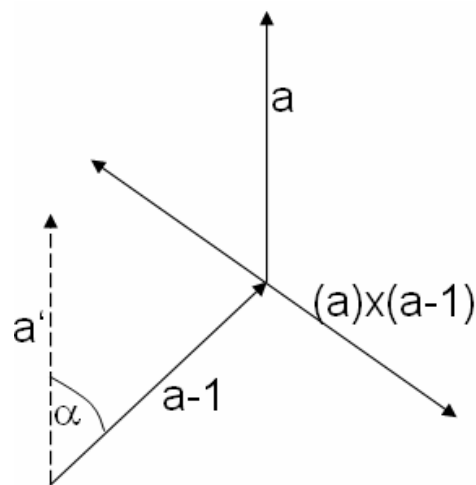


Abbildung 18: Berechnung der Krümmungsrichtung

5.4.2 Variante Winkel

Immer 2 Punkte werden miteinander verbunden und es werden Vektoren gebildet. Um die Microgesten über die Richtung zu ermitteln wird der Winkel zwischen dem Vektor und der Horizontalen benötigt.

$$\cos(\alpha) = \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

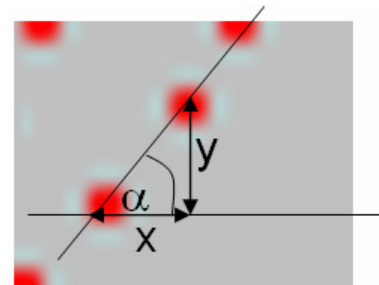


Abbildung 19: Berechnung vom Winkel

5.4.3 Variante Fourier Transformation

Damit die Fourier-Transformation durchgeführt werden kann, muss der zeitliche oder örtliche Abstand zwischen zwei Punkten immer gleich gross sein. Der Zeitliche Abstand regelmässig zu erstellen, ist schwierig da die Ankunft der einzelnen Punkte je nach freier Rechenleistung vom Computer abhängt. Der örtliche Abstand kann berechnet werden. So werden die Punkte alle ein wenig verschoben, bis der Abstand zwischen allen gleich gross ist. Wenn die Punkte weit auseinander liegen, muss ein zusätzlicher Punkt dazwischen erstellt werden, bei sehr engen Punkten, müssen einige gelöscht werden.

5.5 Microgesten Erkennen

Die Analyse der aufbereiteten Daten erfolgt je nach Variante verschieden. Nach diesem Prozess sollen die Microgesten bekannt und für die Auswertung bereit sein. Die erkannten Microgesten werden in eine Liste verpackt und zum Ermitteln des Buchstabens weitergegeben.

5.5.1 Microgesten über die Krümmung

Diese Methode arbeitet über 3 Schritte:

Microgesten Erkennen

Mit einem Beobachtungsfenster konstanter Grösse von acht Bildpunkten, werden die Vektoren analysiert. Die Vektoren werden aneinander gelegt und den Radius, den sie beschreiben berechnet. An der Grösse vom Radius wird die Stärke der Krümmung gemessen. Ein grosser Radius ergibt so eine schwache Krümmung, aus einem kleinen Radius resultiert eine Starke. Wenn der Radius nahe an unendlich gross wird, wird die Microgeste als „Gerade“ erkannt. Ist im

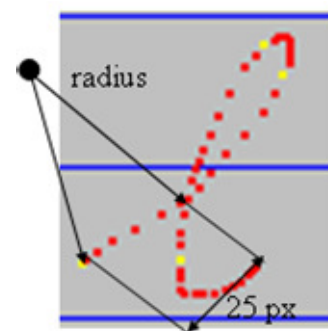


Abbildung 20: Berechnung der Krümmung

Beobachtungsfenster der Winkel von einem Vektor $> 95^\circ$, wird die Microgeste als Spitzkehre erkannt.

Eine weitere Information, ist der höchste und der tiefste Punkt, den das ganze Zeichen beschreibt, dies wird z.B. bei der Unterscheidung von „e“ und „l“ benötigt.

Die Länge der Microgeste ist die dritte Information. Das erlaubt z.B. die Unterscheidung von o und a, die sich nur in der Länge vom Abstrich unterscheiden. Damit der Vergleich relativ zur Schriftgrösse möglich ist, wird mit relativen Längen gearbeitet. Eine Microgeste, die kleiner

als eine halbe Zeilenhöhe ist, hat die relative Länge 0. Alle die grösser sind haben die relative Länge von 1.

Damit nicht nach jedem Schritt bei dem das Fenster bewegt wird, eine andere Microgeste erkannt wird, müssen min. fünf Fensterverschiebungen die gleiche Microgeste ergeben, damit diese akzeptiert wird.

Microgesten Speichern

Die erkannten Microgesten werden fortlaufend einer Liste hinzugefügt.

Microgesten aussortieren

Am Schluss einer Messung werden die Microgesten nochmals untersucht, nach unsinnigen Kombinationen. Dies ist z.B. eine Gerade gefolgt von einer schwachen Krümmung. Diese werden dann zu einer einzigen Microgeste vereint. Ein weiteres Kriterium, das Microgesten ausscheiden lässt ist deren Länge. Ist die Microgeste kleiner als 10 Bildpunkte, wird sie gelöscht. Der Genau Algorithmus sieht folgendermassen aus:

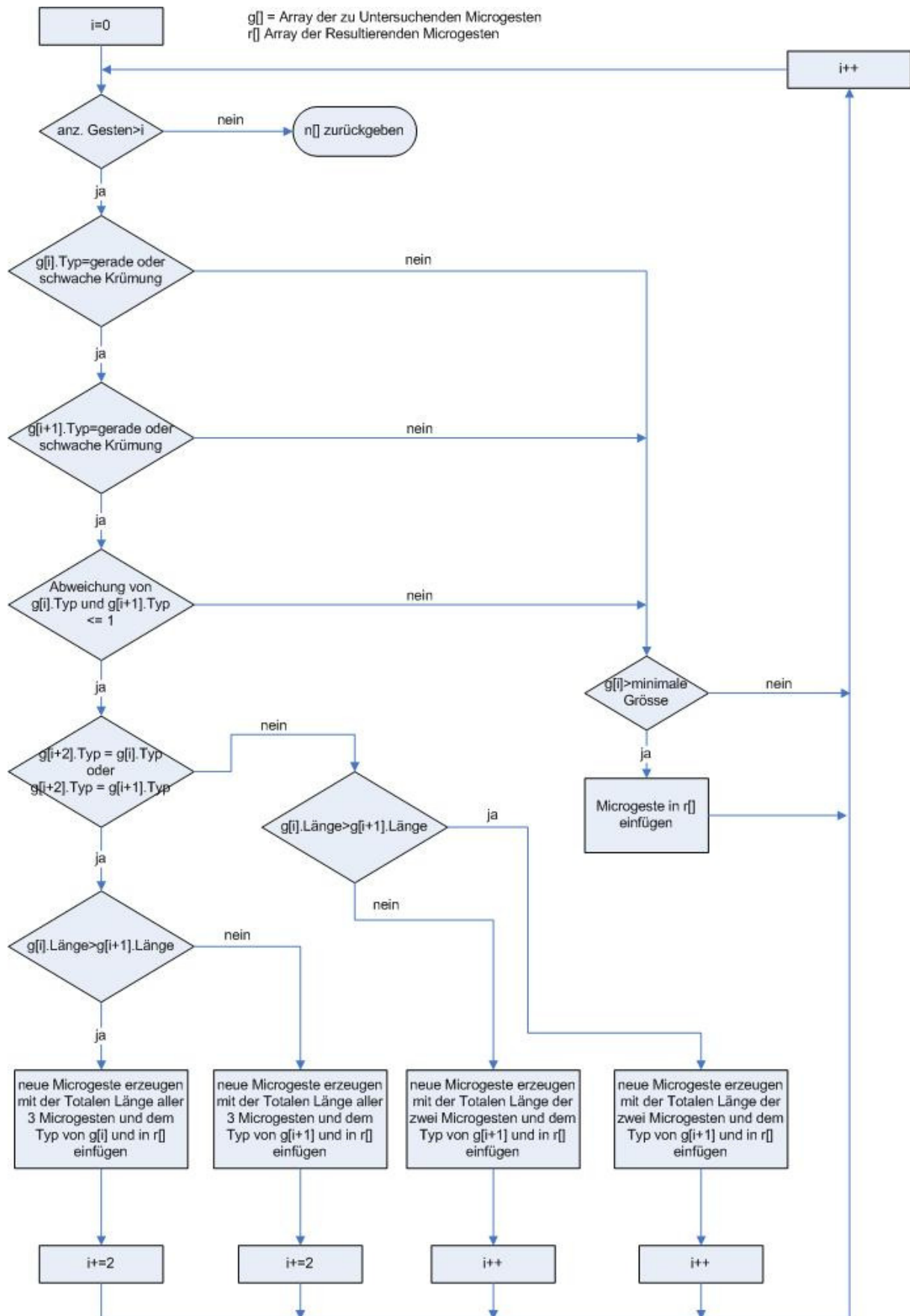


Abbildung 21: Algorithmus zur Microgestenausortierung

5.5.2 Microgesten über den Winkel ermitteln

Der Winkel und dessen Änderung bestimmen die Microgeste. Vor der Analyse wird eine lineare Glättung durchgeführt, um das Zittern und Ausrutschen der Handschrift zu eliminieren. Danach wird die Richtung jedes einzelnen Vektors angeschaut. Sobald der Winkel ändert, wird das als neue Microgeste erkannt. Eine konstante Änderung in eine Richtung bedeutet eine Krümmung, wird eine solche Änderung festgestellt, werden Anfangs -und Endpunkt dieser Änderung ermittelt.

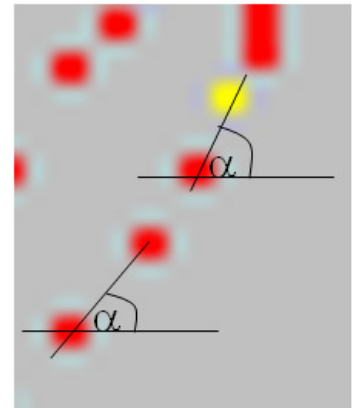


Abbildung 22: Microgesten über den Winkel ermitteln

5.5.3 Microgesten über die Fourier-Transformation

Mit allen Punkten wird eine Fourier-Transformation in X-Richtung durchgeführt. Damit die Aussagekraft noch erhöht werden kann, kann dasselbe noch in Y-Richtung gemacht werden. Aus dem resultierenden Frequenzspektrum können die Microgesten bestimmt werden.

5.6 Ermitteln des Buchstabens

Der Graph, der durch Microgesten (Kanten) und Zeichen (Knoten) aufgebaut ist, hat einen definierten Einstiegspunkt. Von der Ermittlung der Microgesten bekommt man durch die Klasse „Measure“ folgende Angaben:

- eine Liste mit Microgesten
- ob das Zeichen Ober -und/oder Unterlängen hat
- Dauer, die benötigt wurde, um das Zeichen zu schreiben

Der Graph wird in einer Breitensuche durchlaufen, wobei jeder Schritt einem Level entspricht, dass heisst die Anzahl der Microgesten aus der Messung bestimmen das maximale Level. Ein Zeichen wird in ein Container verpackt, damit ihm eine Wahrscheinlichkeit zugewiesen werden kann. Dies ist notwendig, da das Zeichen durch verschiedene Pfade erreicht werden kann, und so auch gleichzeitig mehrere Wahrscheinlichkeiten aufweisen kann. Die Wahrscheinlichkeit wird durch die Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten aller Microgesten die zu diesem Zeichen führen berechnet. Dieser Algorithmus ist in der Klasse Touchpad in der Methode findSign() realisiert.

1. Anhand der Schreibgeschwindigkeit und der eingestellten Zeichengröße wird der entsprechende Graph ausgewählt.

Input:



2. Startzeichen des Graphen ermitteln (Level 0)
3. Erste Microgeste von der Messung anschauen, und mit allen ausgehenden Microgesten vom Startzeichen vergleichen. Die Zeichen, auf welche die ausgehenden und übereinstimmenden Microgesten zeigen in der Liste (Level 1) speichern, falls die kumulierte Wahrscheinlichkeit < 0.03 ist.

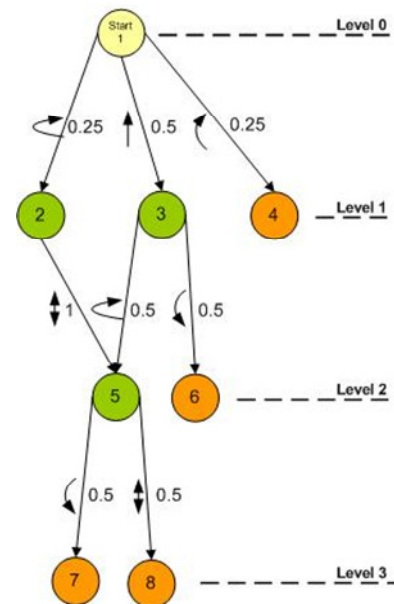


Abbildung 23: Graph zur Erklärung vom Algorithmus welcher den Buchstaben ermittelt

4. Zum ersten Zeichen der Liste (Level 1) springen.
Liste (Level 1)={Knoten 3 mit 50%}
5. 2. Microgeste der Messung anschauen und mit allen ausgehenden Microgesten vom Startzeichen vergleichen. Die Zeichen, auf welche die ausgehenden und übereinstimmenden Microgesten zeigen in der Liste (Level 2) Speichern, falls die kumulierte Wahrscheinlichkeit < 0.03 ist.
6. Ganze Liste (Level 1) wie in Punkt 4 und 5 Beschrieben ist abarbeiten.
7. Zum ersten Zeichen der Liste (Level 2) springen.
Liste (Level 2)={Knoten 5 mit 25%}
8. Punkte 5 und 6 mit der Liste (Level 2) durchführen, und dabei die Liste(Level 3) erstellen.
Liste (Level 3) = {Knoten 7 mit 12.5%}
9. Da nun alle Microgesten aus der Messung untersucht wurden, wird geschaut, ob die Ober –und Unterlängen der Zeichen, mit der Ober –und Unterlänge der Messung überein stimmt. Alle Übereinstimmenden Zeichen werden in einer weiteren Liste(Hight) gespeichert.
Liste (Hight)={Knoten 7 mit 12.5%}
10. Trifft dies zu und falls der Knoten eine Bedeutung hat, wird der Knoten (oder die Knoten) als erkanntes Zeichen ausgegeben.

5.7 Alternativer Algorithmus

Dieser Lösungsansatz baut auf dem Graph 1 der unter „5.1.4 Ermittlung des Graphen“ beschrieben ist.

Der Hauptunterschied zum zuvor beschriebenen Algorithmus besteht darin, dass in dieser Variante die Logik für das Traversieren des Graphen zum Teil im Graphen selbst, zum Teil im Suchalgorithmus definiert ist. Dies wirkt sich negativ auf die Flexibilität des Programms aus, da Änderungen evt. an zwei Orten vorgenommen werden müssen. Zusätzlich kommt bei diesem Algorithmus ein Fehlerkompensations-Verfahren

(Regelwerk) zum Einsatz. Hierbei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass der bei der Ermittlung der Microgesten gewisse Fehler gemacht werden können. So hat jede Microgeste ein Ersatz wie nebenstehendes Bild zeigt, wobei die Microgesten der Zeile I mit den Microgesten der Zeile II und umgekehrt untereinander ersetzt werden können.

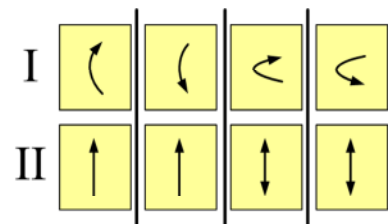


Abbildung 24: Ersatzmicrogesten

Der Algorithmus funktioniert folgendermassen:

1. Eine neue Queue (I) wird erstellt und das Wurzel-Element darin abgelegt. Sein kumulierter Wert wird dann auf eins gesetzt.
2. Aus der ermittelten Liste von Microgesten wird der erste Eintrag ausgewählt.
3. Queue (II) wird erstellt.
4. Alle vom Root-Element ausgehenden Kanten werden einzeln mit der zuvor selektierten Microgeste verglichen. Findet eine Übereinstimmung statt, so wird der betroffene Knoten in die neue Queue (II) aufgenommen und sein kumulierter Wert mit 0.9 multipliziert.
5. Kommt es jedoch zu keiner Übereinstimmung, so wird die gerade untersuchte Microgeste im Graph anhand eines vordefinierten Regelwerks, wie oben bereits erläutert, erneut ausgewertet:
 - a. Es wird zuerst die Ersatz-Microgeste für die Kante im Graph bestimmt.
 - b. Die in Schritt 2 erwähnte Microgeste wird nun mit der soeben bestimmten Ersatz-Microgeste verglichen.
 - c. Stimmen beide Microgesten überein, so wird zum Graph zurückgekehrt und der betroffene Knoten im Graph wird in die zweite Queue (II) abgelegt. Sein kumulierter Wert wird aber in einem solchen Fall mit 0.5 statt mit 0.9 multipliziert.

- d. Sollte es allerdings auch beim zweiten Vergleich mit der Ersatz-Microgeste nicht zu einer Übereinstimmung beider Microgesten kommen, so wird zwar auch hier zum Graph zurückgekehrt und der betrachtete Knoten in die Queue (II) gespeichert. Im Unterschied zu Schritt c wird aber der kumulierte Wert diesmal mit 0.1 multipliziert.
6. Queue (III) wird angelegt.
7. Die nachfolgende Microgeste aus der Liste wird betrachtet.
8. Für jedes Element der zweiten Queue (II) wird der bisher besprochene Matchingprozess wiederholt.

Auf diese Weise wird der gesamte Graph von der Wurzel bis zu den Blatt-Knoten analysiert, allerdings existieren ein paar Bedingungen, welche stets eingehalten werden müssen:

- Der oben beschriebene Vorgang wird nur solange wiederholt, wie es Elemente in der überlieferten Liste hat.
- Fällt der kumulierte Wert durch die Progression des Graphen unter 5%, so wird der betroffene Knoten vom weiteren Analysevorgang ausgeschlossen (pruning) samt alle von ihm ausgehenden Ästen.
- Sind noch nicht alle Microgesten aus der Liste aufgebraucht und der kumulierte Wert der Knoten liegt unterhalb von fünf Prozent, so endet das Programm mit einer erfolglosen Buchstabenklassifizierung.
- Es ist auch denkbar, dass der Vorgang mit der Klassifizierung ein mehrdeutiges Ergebnis liefert. In diesem Fall würde der Algorithmus eine Auswahl von potentiellen Buchstaben anbieten.
- Weiter kann sich die Situation ereignen, bei der die Microgesten der Liste zwar aufgebraucht werden, jedoch die Klassifizierung einen unvollständigen Buchstaben als Ergebnis liefert.

Alternativer Graph

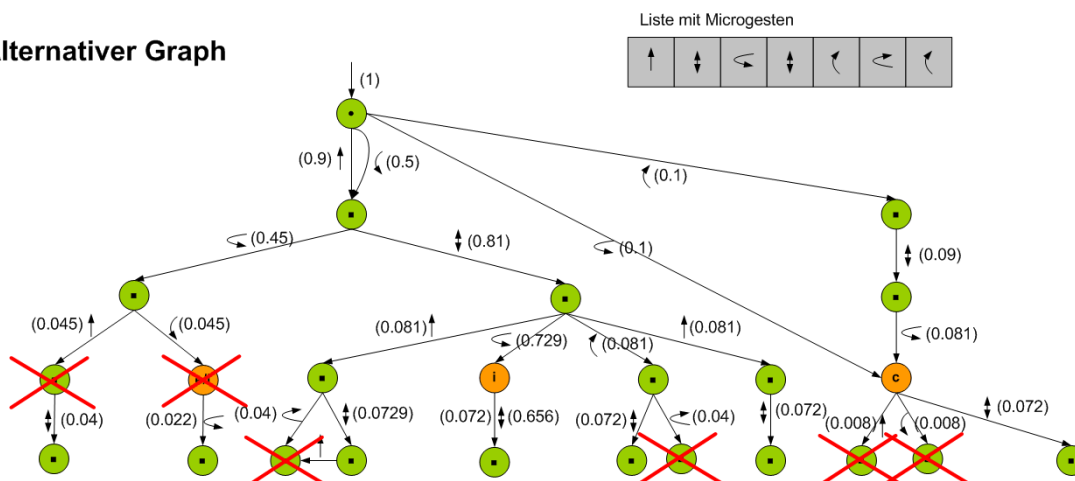


Abbildung 25: Graph Erklärung alternativer Algorithmus

5.8 Mögliche Erweiterungen

Damit die Erweiterung vom Programm nicht sehr schwer ist, wurde das Interface „conditioningInterface“ erstellt, das die Klasse implementiert, welche aus den Punkten die Microgesten ermittelt. Durch einbinden dieses Interface ist die Kompatibilität zum Rest der Software gegeben.

5.8.1 Berücksichtigung weiterer Microgesten

Momentan werden 6 Microgesten erkannt. Wenn nun noch 2 Microgesten hinzugefügt werden, könnte die Erkennungswahrscheinlichkeit noch um einiges erhöht werden. Der Radius der kleinen Microgeste ist bei einer Halben Zeilenhöhe definiert, grössere Radien sind bereits schwache Krümmungen. Wenn hier noch eine Krümmung erkannt werden könnte, die ein Radius von einer halben Zeilenhöhe bis zu 1½ Zeilenhöhe, so könnte der Unterschied der Zeichen noch eindeutiger gemacht werden. Die starke Krümmung wird dann z.B. bei der zweiten Microgeste „l“ gebraucht, die mittlere würde den Kreis von „o“ beschreiben und die schwache Krümmung fände ihren Einsatz bei der ersten Microgeste von „i“.

5.8.2 Zeichen mit Absetzen

Das Ende eines Zeichens wird im jetzigen Algorithmus durch das Absetzen vom Stift ermittelt. Dadurch kann beim „i“ der Punkt nicht gezeichnet werden, und jedes Zeichen muss in einem Zug, also ohne Absetzen, geschrieben werden.

5.8.3 Verwendung von mehreren Verfahren und die Resultate untereinander vergleichen

Diese Arbeit beschreibt drei Varianten, zur Ermittlung der Microgesten und zwei zum Durchsuchen vom Graph. Implementiert wurde je nur eine. Wenn nun mehrere Verfahren parallel angewandt werden, erhöht das die Trefferquote indem die einzelnen Resultate verglichen werden. Der Nachteil dieser Erweiterung ist die benötigte Rechenleistung. Dies kommt besonders zum tragen, wenn die Software auf einem Touchpad eingesetzt wird.

5.8.4 Erkennung von Verbindungslinien zwischen zwei Zeichen

Es kann nur ein Zeichen auf einmal gezeichnet werden. Werden Zwei Zeichen aneinandergehängt können die Zeichen nicht auseinander gehalten werden. Damit die Schreibgeschwindigkeit erhöht werden kann, ist die Funktion die Verbindungslinien zwischen

zwei Zeichen zu erkennen zwingend, da mit erhöhter Schreibgeschwindigkeit der Stift nicht mehr abgesetzt wird.

5.8.5 Wörterbuchvergleich

Diese Software endet an dem Punkt, wo ein Zeichen erkannt wird. Geht man nun noch einen Schritt weiter, ist es möglich ganze Wörter zu erkennen. Das würde es ermöglichen, falsch erkannte Buchstaben im Nachhinein noch zu korrigieren. Dieser Algorithmus wird nochmals ähnlich aussehen wie der Algorithmus, der die Zeichen aus den Microgesten erkennt. Statt einer Liste von Microgesten, ist es eine Liste von Buchstaben, die durch ein Graph zu Wörter führen.

5.9 Automatische Erkennung der Schriftgrösse

Die Schriftgrösse kann anhand der Zeilenhöhe manuell eingestellt werden. Die Höhe von einem Zeichen ist mit dem jetzigen Algorithmus bereits bekannt. Die Schwierigkeit ist jedoch da die Höhe allein nicht ausreicht, sondern die Information ob ein Zeichen Ober –oder Unterlängen hat auch mit eingerechnet werden muss. Die könnte z.B. durch eine Kalibration erfolgen, oder durch empirisches ermitteln, da bekannt ist, dass die meisten Microgesten in der ersten Zeile ist.

6 Test

6.1 Algorithmus zum Erkennen der Zeichen

Zum Testen vom Algorithmus wurde ein kleiner Graph aufgebaut, mit dem alle Kriterien, die der Algorithmus zur Ermittlung von Zeichen berücksichtigt werden.

6.1.1 Testgraph

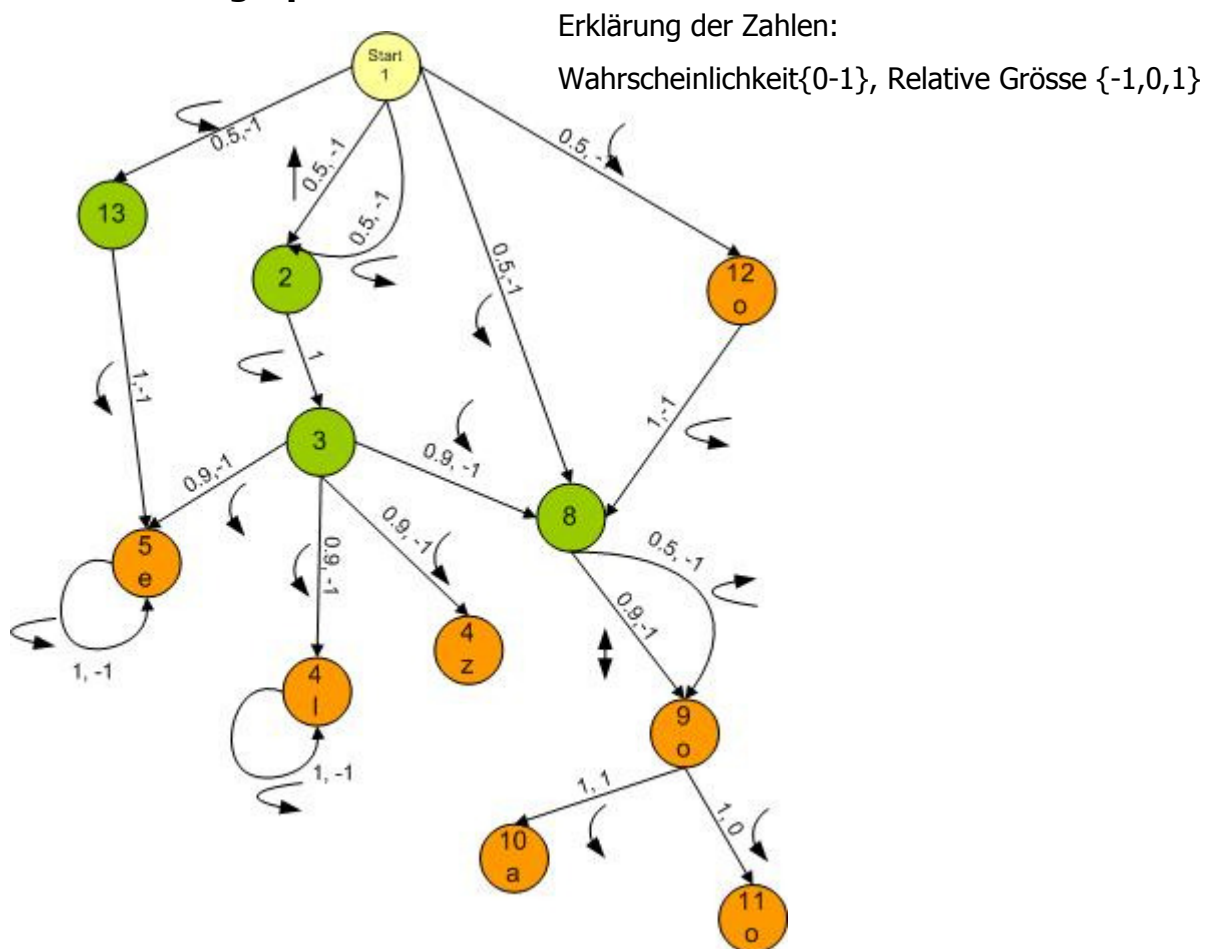


Abbildung 26: Testgraph

Der Testgraph ist minimal aufgebaut. Er erkennt die Handschrift nicht sehr gut, sondern dient lediglich den Tests, welche die einzelnen Unterscheidungskriterien untersuchen. Der Buchstabe Z entspricht nicht dieser folge von Microgesten, sondern hat hier eine identische Microgestenfolge wie I, so wird die Ausscheidung von weniger wahrscheinlichen Zeichen überprüft werden.

6.1.2 Unterscheidung „e“ und „l“

Die Zeichen „e“ und „l“ können die gleichen Microgesten enthalten, so ist das Unterscheidungskriterium nur noch ob die Messung Ober –oder Unterlängen besitzt.

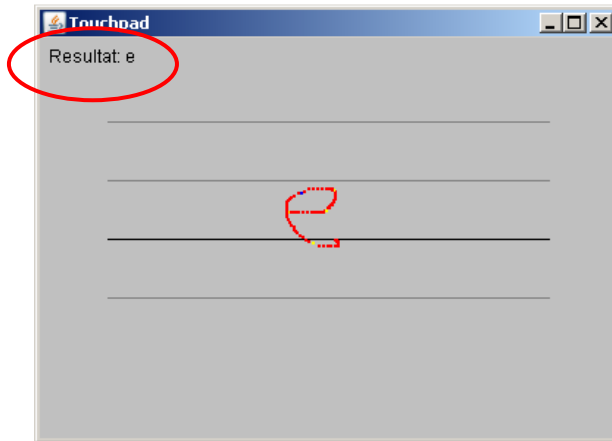


Abbildung 27: Test „e“ schreiben

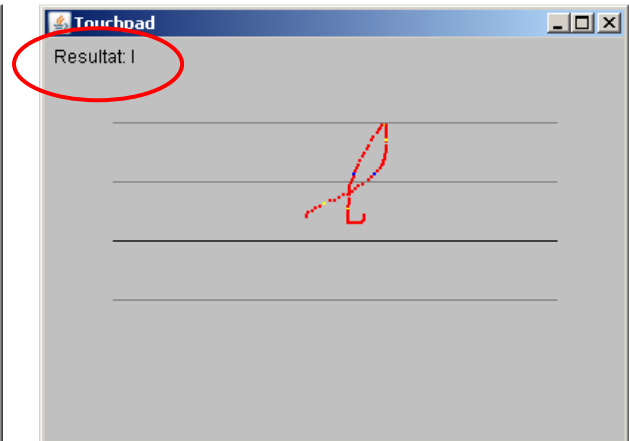


Abbildung 28: Test „l“ schreiben

„l“ wurde auch richtig von „z“ unterschieden, da es die höhere Wahrscheinlichkeit hat (Zeile 1597):

```

1581 Messung:
1582 =====
1583 MicroGestures:
1584   Art:schwache Krümmung 1; Relative Länge:1; Länge:68.61504837610678; startPointID:5
1585   Art:starke Krümmung 1; Relative Länge:0; Länge:11.048627177541055; startPointID:24
1586   Art:schwache Krümmung 1; Relative Länge:1; Länge:71.01452646378871; startPointID:30
1587   Art:starke Krümmung 1; Relative Länge:1; Länge:20.650281539872886; startPointID:58
1588 hasAscender: true hasDescender: false Time: 1051ms
1589
1590 Graph:
1591 Level 0: 1(1.0)
1592 Level 1: 2(0.5) 8(0.5) 12(0.5)
1593 Level 2: 3(0.5) 8(0.5)
1594 Level 3: 4(0.45) 5(0.45) 8(0.45)
1595 Level high: 6(0.315) 14(0.225) 7(0.45)
1596
1597 Varianten: 1(0.315) z(0.225)
1598 Resultat: 1(0.315)
  
```

Abbildung 29: Test verschiedene Lösungsvarianten im Logfile

6.1.3 Unterscheidung „a“ und „o“

Die Zeichen „a“ und „o“ unterscheiden sich nur in der Länge vom Abstrich, also der Länge von der letzten Microgeste. So weist die letzte Microgeste von „a“ eine relative Länge von 1 auf, während o eine Länge von 0 aufweist.

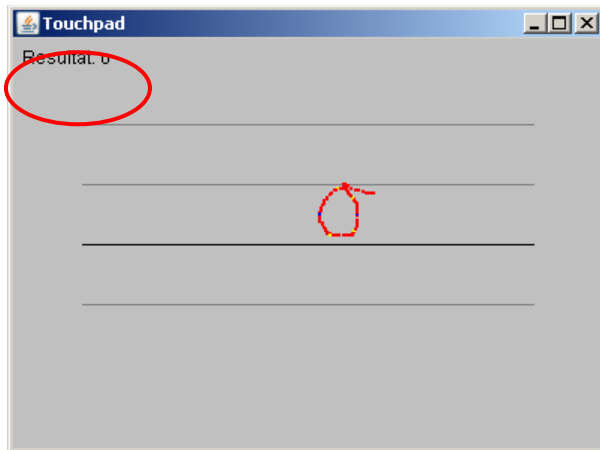


Abbildung 30: Test „o“ schreiben

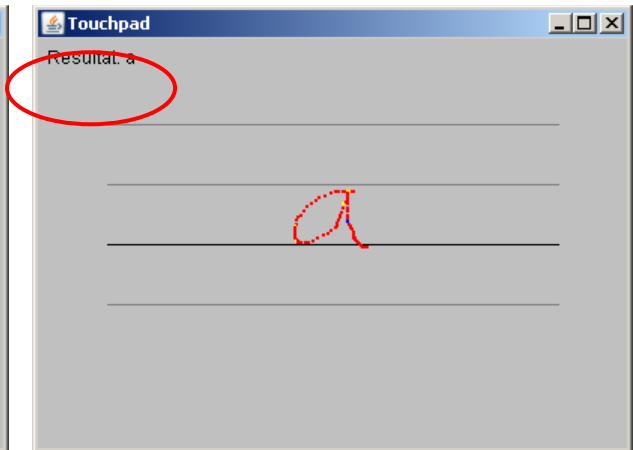


Abbildung 31: Test „a“ schreiben

6.2 Graphen für die Buchstaben „a“ und „b“

Nachfolgend ist das Resultat der Nachbearbeitung von zwei der vier existierenden Graphen dokumentiert. Diese Erweiterung der Graphen wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Zuverlässigkeit der Buchstabenerkennung zu erhöhen und damit eine Demonstration der Erkennungsrate der Software, an Dritten zu ermöglichen. Die gemachten Änderungen sind in der Grafik rot hervorgehoben, damit der Unterschied zum früheren Zustand nachvollzogen werden kann. Wie man auf den ersten Blick sieht, sind mehrere Alternativpfade hinzugekommen, mit der Folge, dass nun die Buchstaben aus weniger Microgesten zusammengesetzt werden können.

Graph (ab,1)

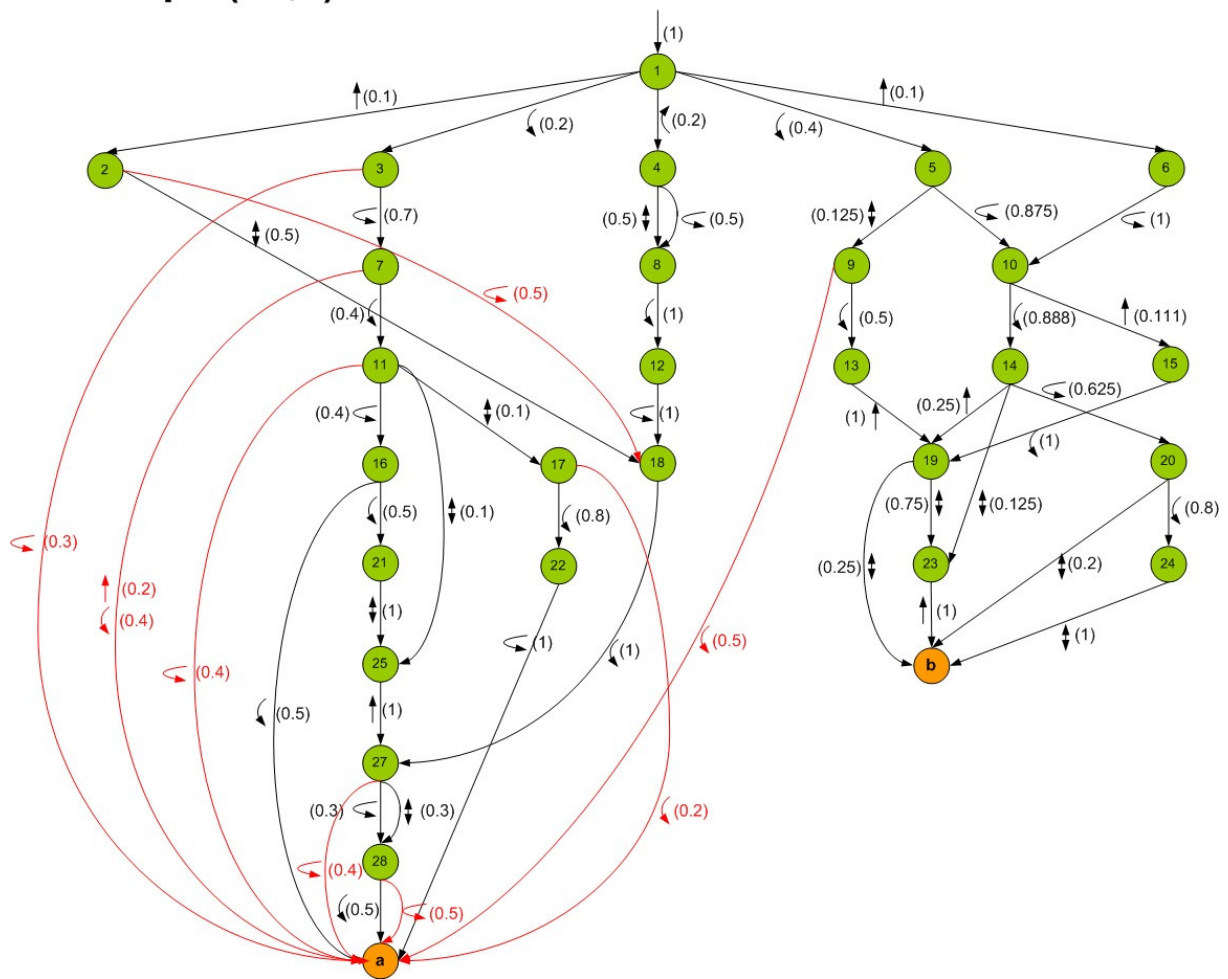


Abbildung 32: Test grosse/langsame Schrift

Der Graph besitzt trotz dieser Erweiterung nur eine minimale Ausprägung, weshalb die Präzision bzw. die Erkennungsrate des Zeichenerkennungsprogramms momentan stark vom Autor der Messvorgänge abhängt und somit noch keine schreiberunabhängige Tests durchgeführt werden können.

Graph (ab,3)

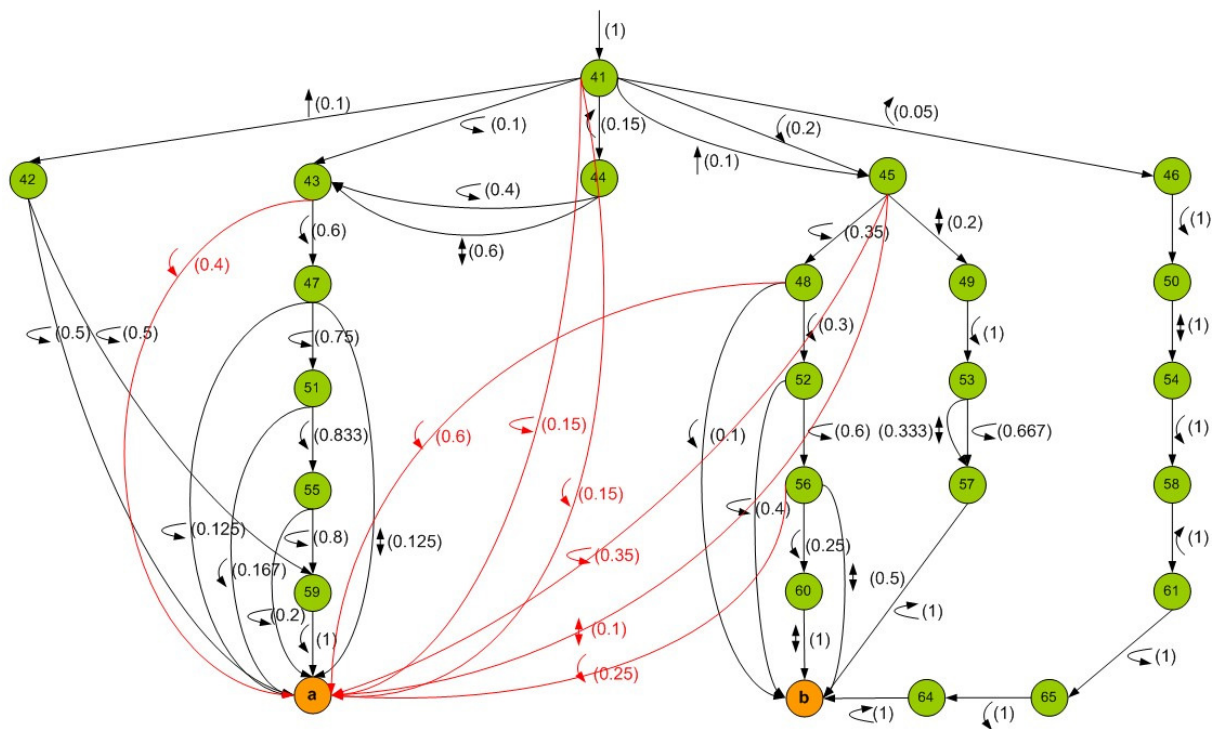


Abbildung 33: Test grosse, schnelle Schrift

Da die angebrachten Änderungen am Graph aufgrund von zusätzlich durchgeführten Messungen entstanden sind, ist es interessant zu beobachten, dass die im obigen Bild dargestellte Vernetzung der beiden Teilgraphen von „a“ und „b“ in der ursprünglichen Erfassung des Graphen nicht vorgekommen ist.

7 Betrieb

7.1 Installation

Folgende Komponenten werden benötigt: der Touchpadtreiber, die Datenbank, das Datenbankdumpfile und die Zeichenerkennungssoftware mit dem Konfigurationsfile.

7.1.1 Touchpadtreiber

Der Touchpadtreiber kann mit der Installation, der mitgelieferten CD installiert werden. Wenn die Installation erfolgreich war sind zwei neue Symbole in der Taskleiste, mit denen der Treiber Konfiguriert werden kann. Die Geräteerkennung erfolgt dann mit „Plug and Play“



Abbildung 34: Tasks vom Touchpadtreiber

Mit der folgender Konfiguration vom Touchpadtreiber wurde ein guter Output vom Touchpad erreicht:

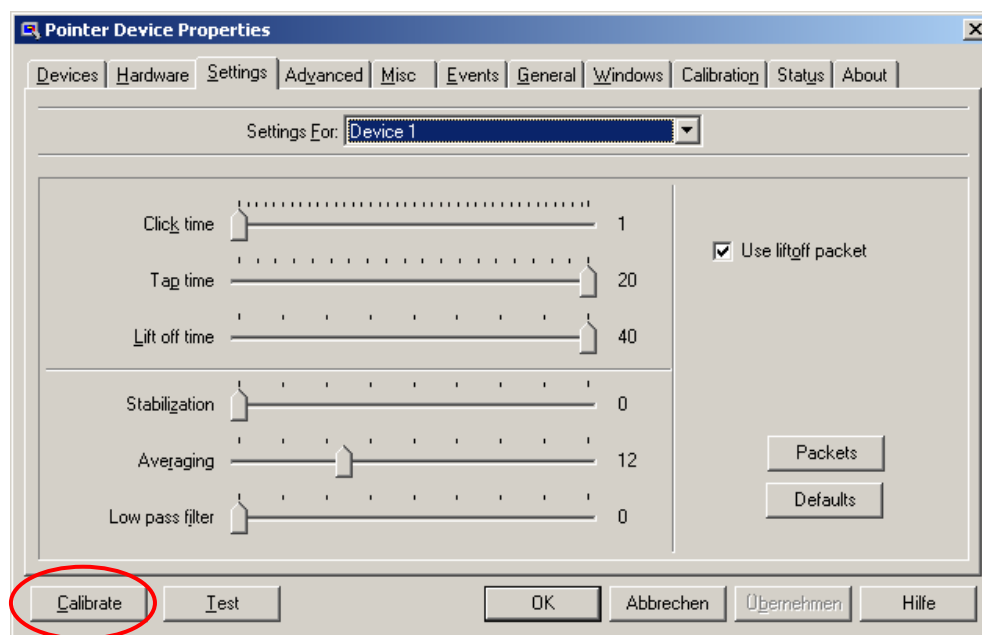


Abbildung 35: Konfiguration Touchpadtreiber 1

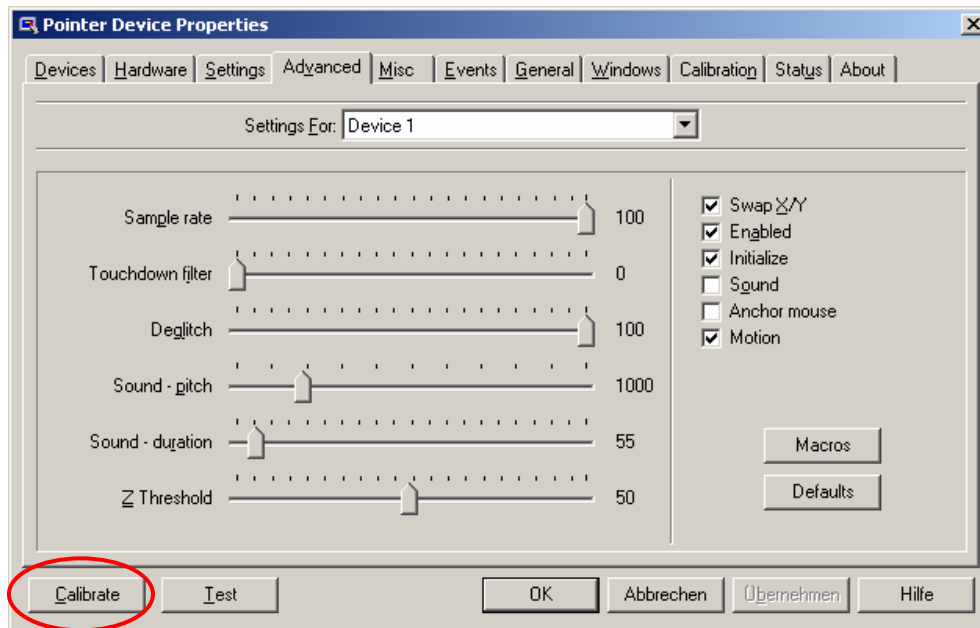


Abbildung 36: Konfiguration Touchpadtreiber 2

Bevor das Touchpad richtig funktioniert, sollte das Touchpad kalibriert werden, da per Default die X -und Y-Achsen vertauscht sind.

Es besteht die Möglichkeit den Einflussbereich vom Touchpad auf einen Ausschnitt am Bildschirm einzuschränken. Der Aktuelle Graph, wurde mit dieser Bildschirmeinschränkung entwickelt. Diese Einstellung hat aber einen unerwünschten Nebeneffekt bezüglich der Empfindlichkeit vom Touchpad, denn diese sinkt drastisch wodurch eine schnelle Schrift automatisch auch klein wird. Diese Einstellung kann rückgängig gemacht werden, jedoch bleibt die Empfindlichkeit gleich schlecht!

7.1.2 Datenbank

Als Datenbank wird MySQL benötigt. Eine einfache Möglichkeit MySQL zu installieren und konfigurieren, ist XAMPP oder XAMPP Lite. Die aktuelle Version ist 1.6.2 und beinhaltet:

- MySQL 5.0.41
- PHP 5.2.2
- PHP 4.4.7
- phpMyAdmin 2.10.1

XAMPP kann unter <http://www.apachefriends.org/de/xampp-windows.html> heruntergeladen werden. Die Entwicklung der Touchpadsoftware wurde auf XAMPP Lite gemacht. Eine

Installationsanweisung ist ebenfalls auf der Webseite. Hier müssen die Module Apache und MySQL gestartet werden.

Auf der Webseite <http://localhost/phpmyadmin> kann MySQL konfiguriert werden:

1. Datenbank erstellen
2. Das File mysqldump.txt importieren

7.1.3 Konfigurationsfile conf.txt

Das Konfigurationsfile besteht aus 5 Zeilen und muss im selben Verzeichnis sein, wie das JAR-File.

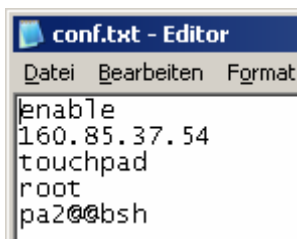


Abbildung 37: Konfigurationsfile conf.txt

Die fünf Zeilen haben folgende Bedeutung:

1	„enable“ bedeutet, dass versucht werden soll den Graph aus der Datenbank zu lesen. Alle anderen Strings werden als Desaktivierung der Datenbank-Anbindung interpretiert.
2	IP-Adresse vom mySQL-Server
3	Datenbankname
4	Benutzername für die Datenbank
5	Passwort für die Datenbank

Tabelle 2: Beschreibung Konfigurationsfile

7.2 Bedienungsanleitung zur Software

7.2.1 Software Starten

Das Programm kann nun gestartet werden. Folgende Meldungen können nach dem Start auftreten:

Graph wurde mit DB aufgebaut	Alles wurde richtig Konfiguriert
Graph wurde ohne DB aufgebaut	Die Datenbank wurde im Konfigurationsfile deaktiviert, oder konnte nicht kontaktiert werden. Die Software kann so auch getestet werden, es wird der Testgraph geladen, der unter Punkt „6 Test“ beschrieben ist.
Konfigurations-File conf.txt wurde nicht gefunden!	Das Konfigurationsfile ist nicht im selben Ordner wie das JAR-File. Auch hier wird der Testgraph geladen.

Tabelle 3: Beschreibung der Meldungen beim Start

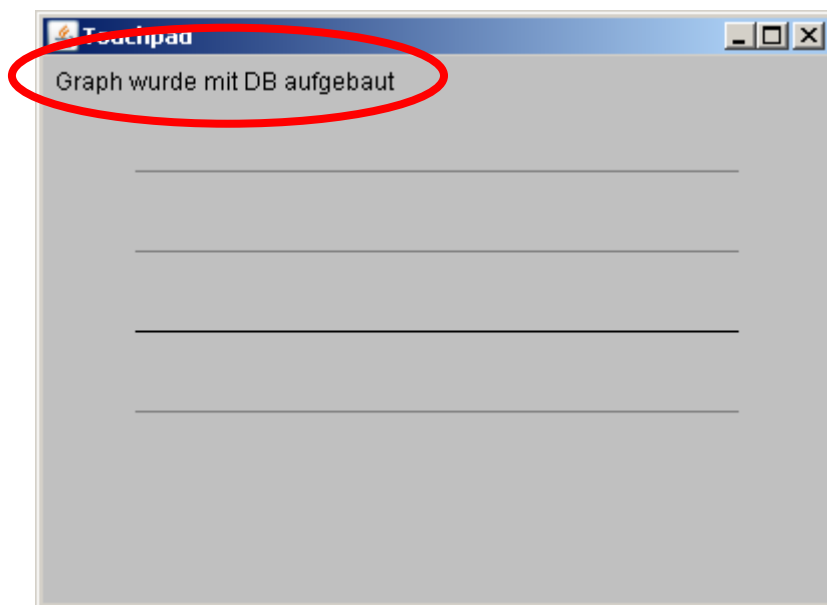


Abbildung 38: Programmstart

7.2.2 Bedienung

Mit dem Stift auf dem Touchpad ein Zeichen schreiben. Sobald abgesetzt wird, beginnt die Auswertung und das Resultat wird zurückgegeben:

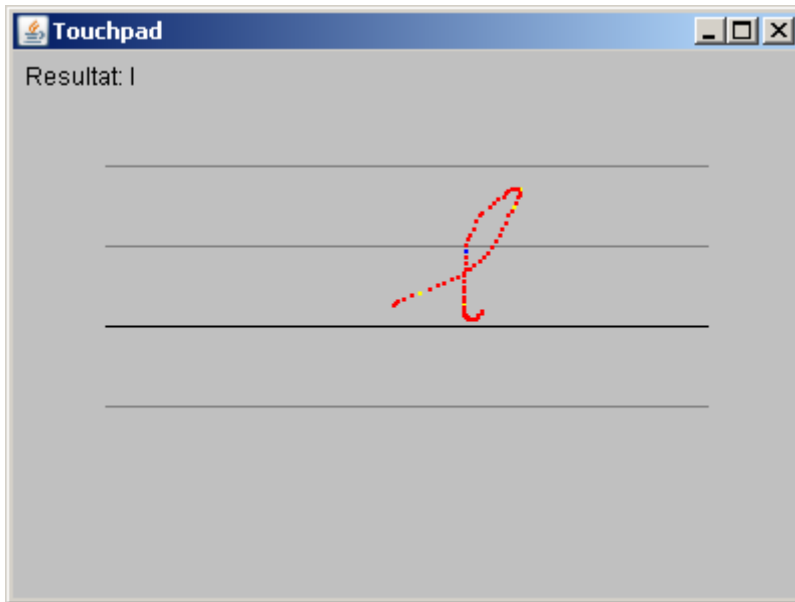


Abbildung 39: Bedienung der Software

7.2.3 Log-Datei

Die Software schreibt im Hintergrund eine Log-Datei. Bei der Erstellung dieser Datei wird der Graph in Textform abgebildet. Die erste Zeile gibt an zu welcher Schriftart der Graph gehört. Das allgemeine Format ist folgendes:

From: <ID Startzeichen(Bedeutung)> To: <Microgeste> → <ID Zielzeichen(Bedeutung)>

```

1 Touchpad Log
2 =====
3
4 Gross, Langsam
5 From:1(start) To: schwache Krümmung 1->2() | gerade->2() | schwache Krümmung 1->8(
6 From:2() To: starke Krümmung 1->3() |
7 From:3() To: schwache Krümmung 1->4(l) | schwache Krümmung 1->5(e) | schwache Krüm
8 From:4(l) To: starke Krümmung 1->6(l) | starke Krümmung 1->14(z) |
9 From:5(e) To: starke Krümmung 1->7(e) |
10 From:6(l) To:
11 From:7(e) To:
12 From:8() To: starke Krümmung r->9(o) | spitzkehre->9(o) |
  
```

Abbildung 40: Logdatei, Beispiel vom Graph

Weiter wird jede Messung und die Ermittlung des Zeichens protokolliert:


```
1581 Messung:
1582 =====
1583 MicroGestures:
1584   Art:schwache Krümmung 1; Relative Länge:1; Länge:68.61504837610678; startPointID:5
1585   Art:starke Krümmung 1; Relative Länge:0; Länge:11.048627177541055; startPointID:24
1586   Art:schwache Krümmung 1; Relative Länge:1; Länge:71.01452646378871; startPointID:30
1587   Art:starke Krümmung 1; Relative Länge:1; Länge:20.650281539872886; startPointID:58
1588 hasAscender: true  hasDescender: false  Time: 1051ms
1589
1590 Graph:
1591 Level 0: 1(1.0)
1592 Level 1: 2(0.5) 8(0.5) 12(0.5)
1593 Level 2: 3(0.5) 8(0.5)
1594 Level 3: 4(0.45) 5(0.45) 8(0.45)
1595 Level hight: 6(0.315) 14(0.225) 7(0.45)
1596
1597 Varianten: 1(0.315) z(0.225)
1598 Resultat: 1(0.315)
```

Abbildung 41: Logdatei, Beispiel einer Messung

Unter „MicroGestures“ werden die erkannten Microgesten aufgelistet und beschrieben. Bei „Graph“, sind die Listen der Knoten, die beim durchsuchen vom Graph tangiert werden aufgelistet. Die Varianten Zeigen alle Lösungsvarianten auf, die in Frage kommen. Das Resultat ist das wahrscheinlichste Zeichen der Varianten, das nach der Analyse auch auf dem Programm ausgegeben wird.

8 Schlusswort

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Weg aufgezeigt, wie durch Einsatz von Microgesten eine Buchstabenerkennung aufgebaut werden kann. Hierzu wurde ein Verfahren entwickelt, welcher die Merkmalsextraktion erlaubt. Danach erfolgte die Definition der Datenbasis in Form von Graphen, die das festgelegte Alphabet abbilden. Des Weiteren wurde eine Suchtechnik realisiert, mittels welcher Buchstabeneingabe und Graphen miteinander verglichen werden können.

Während der Entstehung dieser Arbeit haben wir folgende Erkenntnisse gewonnen:

Die Buchstaben vom Alphabet können alle mit sechs Microgesten gezeichnet werden, wobei dabei nicht nur die Krümmung der Microgesten eine Rolle spielt, sondern manchmal auch die Länge oder auch die Höhe vom ganzen Zeichen angeschaut werden muss. Dadurch konnte die Wahrscheinlichkeit für eine eindeutige Bestimmung nochmals erhöht werden.

Bei der Ermittlung der Datenbasis mussten wir uns von einem theoretischen Ansatz verabschieden und die Graphen auf empirischem Wege bestimmen. Weiter erkannten wir den Einfluss von Faktoren wie Schreibgeschwindigkeit und Schriftgrösse auf die Definition der Graphen. So konnten wir beweisen, dass mit zunehmendem Schreibtempo die Zeichnung von Buchstaben optimiert wird, weshalb diese dann weniger Merkmale aufweisen.

Da es sich um eine Forschungsarbeit handelt, welche nur einen kleinen Ausschnitt aus der komplexen Thematik der Handschrifterkennung untersucht, besteht noch viel Erweiterungspotential.

9 Glossar

Microgeste	<p>Die Microgeste hat zwei Bedeutungen:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Sie ist ein Segment von einem Zeichen oder Buchstaben. Jeder Buchstabe kann in ein oder mehrere Microgesten aufgeteilt werden, dies je nach Definition der Microgeste.2. Stellt eine Kante im Graph dar.
Zeichen	<p>Ein Zeichen ist irgendeine Folge von Microgesten mit einer Bedeutung. Dies sind in dieser Arbeit Buchstaben, können aber auch andere Zeichen sein.</p>
Messung	<p>Eine Messung beinhaltet alle Daten, die vom Touchpad aufgenommen werden. Sie Dauert vom Aufsetzen bis zum Absetzen vom Stift auf dem Touchpad.</p>

10 Quellenverzeichnis

<http://ebus.informatik.uni-leipzig.de/www/media/lehre/uiseminar05/ausarbeitung-strenger.pdf> (22.3.2007)

Mensch-Maschine-Schnittstelle 2, „Einführung in die Sprachverarbeitung“, Prof. Dr. Hans-Peter Hutter (2006)

Gunter Saake, Kai-Uwe Sattler, „Algorithmen und Datenstrukturen“, Dpunkt Verlag (2006)

11 Anhang

11.1 Ausmessung MouseListener

















Da zu beginn nicht klar war, ob der MouseListener von Java genug schnell ist wurde er ausgemessen. Folgendes durchschnittliches Resultat wurde dabei erreicht:

0	10	20	30	40	50	60	70
1	Durchschnitt ein Zeichen alle: 8.617605537151704ms (Total 646 Zeichen)						
2	Mouse-Listener: 116.04151474430572 punkte/s						
3	Maximum Touchpad: 150 punkte/s						

Die Rate der Punkte/s variiert je nach Auslastung vom Prozessor. Das Minimum lag bei 80 Punkten/s und das Maximum bei 140 Punkten/s.

11.2 Microgesten der Buchstaben

Zeichen	Variante A	Variante B
a		
b		
c		
d		
e		
f		
g		
h		
i		
j		
k		

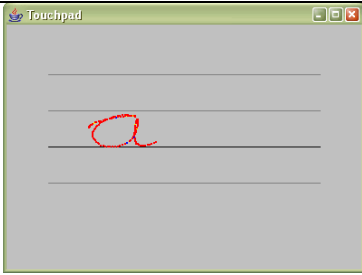
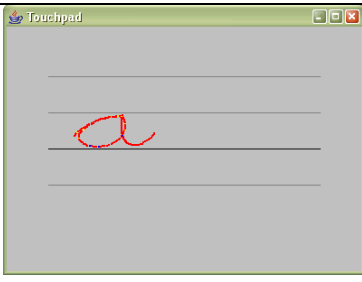
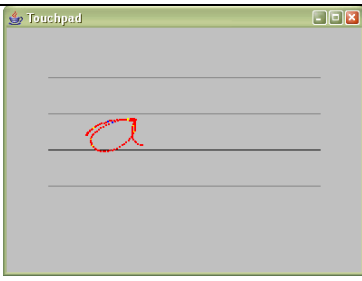
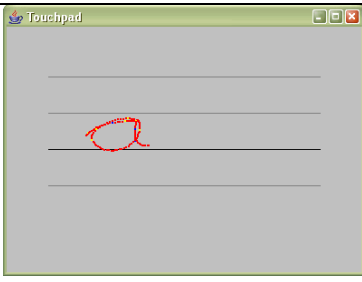
<i>l</i>	 	 
<i>m</i>	   	   
<i>n</i>	  	  
<i>o</i>	  	  
<i>p</i>	    	    
<i>q</i>	   	   
<i>r</i>	  	  
<i>s</i>	  	  
<i>t</i>	   	   
<i>u</i>	  	  
<i>v</i>	   	   
<i>w</i>	   	   
<i>x</i>	   	   
<i>y</i>	   	   
<i>z</i>	   	   

11.3 Empirische Ermittlung des Graphen

Alle Messungen, die bei der empirischen Ermittlung der Graphen gemacht wurden sind hier aufgelistet.

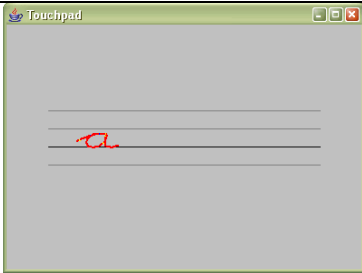
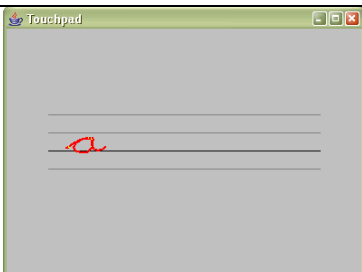
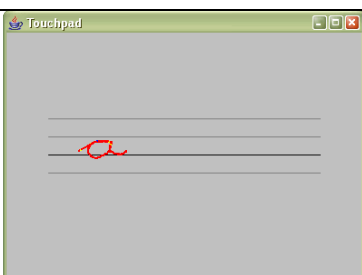
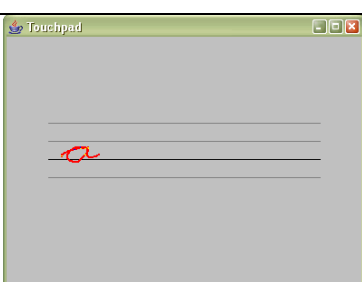
11.3.1 Schreibsituation „gross, langsam“ für a

	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:115.07659431406177; startPointID:3</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:14.828427124746192; startPointID:58</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:21.300563079745768; startPointID:69</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:10.714776642118865; startPointID:82</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:26.436125993857228; startPointID:89</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1209ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:94.20327572240933; startPointID:0</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:32.5006210961032; startPointID:49</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:14.650281539872886; startPointID:68</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:8.478708664619075; startPointID:77</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:25.24483498974493; startPointID:82</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:35.76340381965991; startPointID:4</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:8.82842712474619; startPointID:24</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:63.50009289326292; startPointID:30</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:16.950844619618657; startPointID:61</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:14.064495102245981; startPointID:70</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:29.487475676864218; startPointID:80</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1210ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:52.33332233258189; startPointID:4</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:21.371630891611247; startPointID:28</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:63.68096098360216; startPointID:42</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:12.414213562373096; startPointID:80</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:19.414213562373096; startPointID:92</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:13.414213562373096; startPointID:111</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:27.09725435508211; startPointID:124</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1647ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:31.18033988749895; startPointID:3</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:10.128990204491961; startPointID:21</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:37.850339556230324; startPointID:27</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:9.812559200041266; startPointID:53</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:18.779271744364845; startPointID:58</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:15.242640687119287; startPointID:68</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:16.0; startPointID:81</p> <p>Art:kleine Krümmung I; Relative Länge:0; Länge:12.242640687119287; startPointID:94</p> <p>Art:grosse Krümmung I; Relative Länge:1; Länge:20.93497669491373; startPointID:102</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1209ms</p>

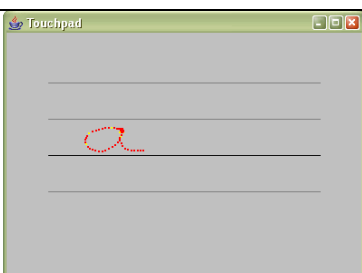
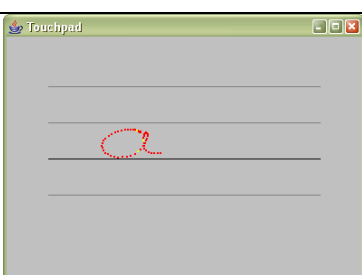
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:37.259532015250485; startPointID:7</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:15.650281539872886; startPointID:23</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:118.10886187477877; startPointID:33</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:19.47213595499958; startPointID:87</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:48.74753589495499; startPointID:103</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1506ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:42.68908529948821; startPointID:4</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:15.828427124746192; startPointID:24</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:41.62527832798743; startPointID:36</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:12.899494936611667; startPointID:53</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:62.60717066627074; startPointID:61</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:7.650281539872885; startPointID:95</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:13.242640687119286; startPointID:100</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:71.20882502860255; startPointID:111</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1803ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:39.057394189786194; startPointID:10</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:18.06449510224598; startPointID:27</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:51.49677440041651; startPointID:39</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:7.650281539872885; startPointID:57</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:56.35932939041673; startPointID:62</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:16.886349517372675; startPointID:85</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:31.29784057427984; startPointID:97</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1210ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:45.25969194315539; startPointID:5</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:22.82842712474619; startPointID:23</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:37.495957633873736; startPointID:37</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:13.950844619618655; startPointID:50</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:56.97665396423495; startPointID:57</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:24.886349517372675; startPointID:82</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:35.217477547328926; startPointID:98</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1209ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:40.66445036253815; startPointID:3</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.162277660168378; startPointID:21</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:37.64371233872024; startPointID:35</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:15.186912597118445; startPointID:48</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:69.03170284715554; startPointID:55</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:16.242640687119287; startPointID:86</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:40.59455344987204; startPointID:98</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1366ms</p>

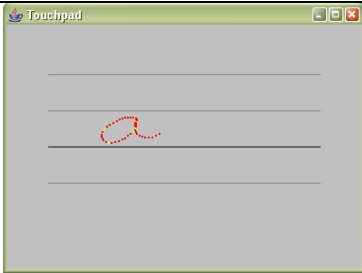
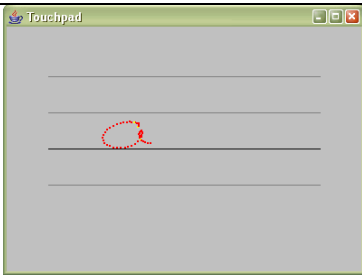
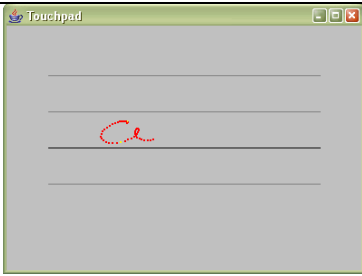
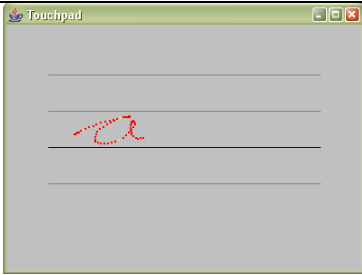
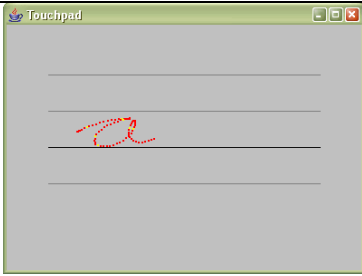
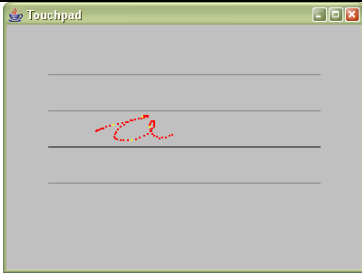
11.3.2 Schreibsituation „klein, langsam“ für a


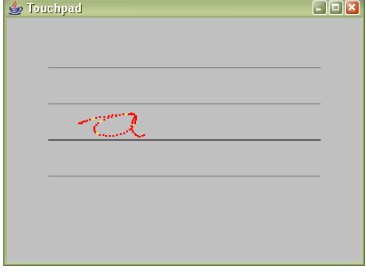
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:51.329048220849394; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.313708498984763; startPointID:41</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:35.77927174436485; startPointID:58</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:55.97932976072229; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.242640687119284; startPointID:44</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:29.899494936611667; startPointID:54</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:55.27112582822292; startPointID:2</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:16.06449510224598; startPointID:48</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:32.957417329238154; startPointID:62</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1209ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:44.97056274847714; startPointID:4</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:7.656854249492381; startPointID:44</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:14.242640687119284; startPointID:50</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:31.714776642118867; startPointID:63</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1350ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:39.384776310850235; startPointID:1</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:24.72792206135786; startPointID:34</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:10.0; startPointID:55</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:38.54977647648455; startPointID:65</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1350ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:26.899494936611667; startPointID:3</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:14.0; startPointID:27</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:51.49395412499931; startPointID:41</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:13.485281374238571; startPointID:75</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:31.721349351738365; startPointID:86</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1506ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:21.543203766865055; startPointID:3</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:11.0; startPointID:16</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:49.25798040898391; startPointID:24</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:14.307135789365265; startPointID:59</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:27.478708664619077; startPointID:70</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1194ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:19.135562914111457; startPointID:4</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.414213562373096; startPointID:18</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:46.914834658476295; startPointID:27</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:15.242640687119286; startPointID:60</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:27.77927174436485; startPointID:72</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1194ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:13.53663105724556; startPointID:2</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:15.65685424949238; startPointID:11</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:10.82842712474619; startPointID:23</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:65.09955295296909; startPointID:32</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:13.242640687119286; startPointID:82</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:33.31370849898477; startPointID:94</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1662ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:24.186912597118443; startPointID:1</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:11.0; startPointID:18</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:53.04163056034261; startPointID:28</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:11.071067811865476; startPointID:70</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:25.128990204491963; startPointID:79</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 1193ms</p>

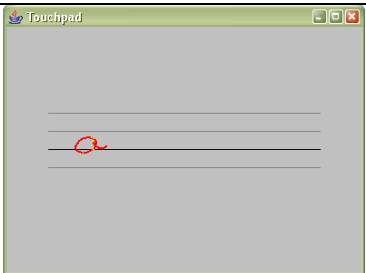
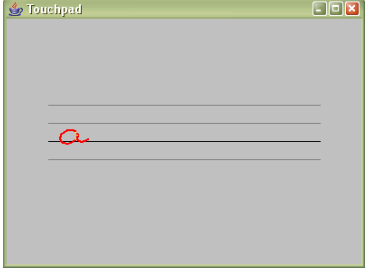
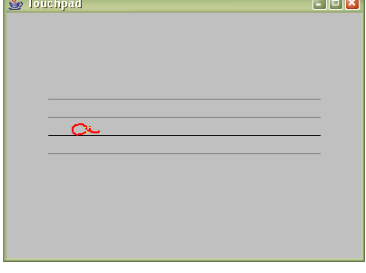
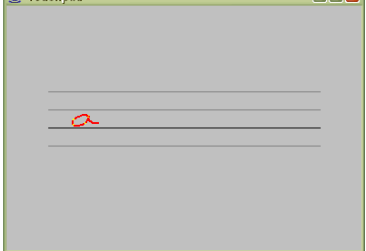
11.3.3 Schreibsituation „gross, schnell“ für a

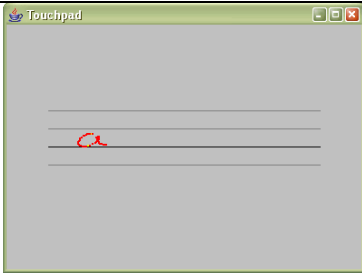
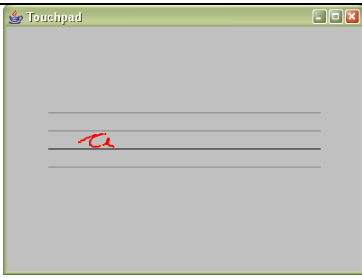
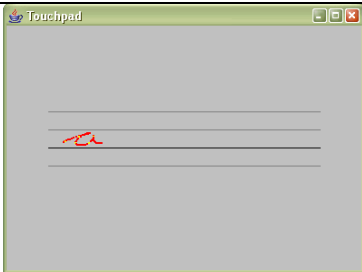
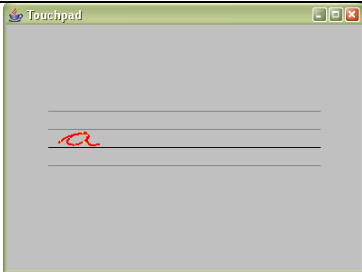
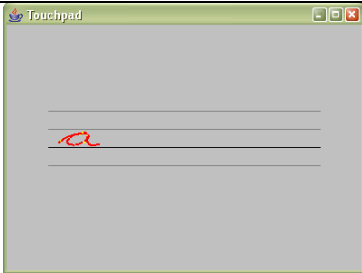
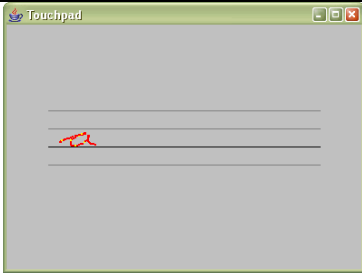
	<p>Analyse</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:12.414213562373096; startPointID:0</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:23.6099386061228; startPointID:9</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:16.67292881108081; startPointID:16</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:46.0724488564152; startPointID:21</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:17.580388135673633; startPointID:34</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:43.2958529085377; startPointID:42</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 740ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:87.52950236603337; startPointID:6</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:40.05638559251068; startPointID:32</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:33.99460169804672; startPointID:46</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 756ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:6.0; startPointID:0</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:31.288592068173003; startPointID:6</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.088156853215224; startPointID:17</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:29.891094489154934; startPointID:24</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.689811215547053; startPointID:32</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:37.34651446079949; startPointID:40</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:9.414213562373096; startPointID:0</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:88.16503974926783; startPointID:7</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:42.37942471787556; startPointID:32</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 600ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:54.36258360718981; startPointID:4</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:67.53064197312541; startPointID:25</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 600ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:41.109788966408445; startPointID:6</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:22.64455688890349; startPointID:16</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:67.28302734510851; startPointID:25</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:70.28838609516147; startPointID:43</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 741ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:39.06747488419517; startPointID:6</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:19.35917360311745; startPointID:16</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:36.01370969724594; startPointID:24</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:13.950844619618653; startPointID:34</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:46.64504316582451; startPointID:39</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.520763132540637; startPointID:52</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:45.38803945128828; startPointID:63</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:27.952520711173054; startPointID:8</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:22.546680459547204; startPointID:14</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:55.69266716128818; startPointID:22</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:50.34114329555571; startPointID:38</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:37.18963861105123; startPointID:54</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 756ms</p>

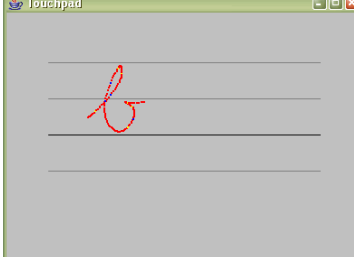
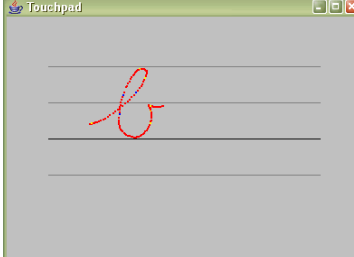
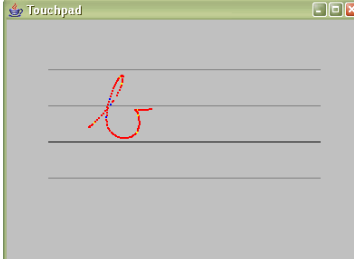
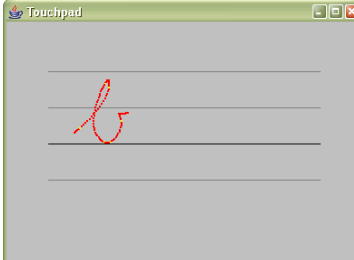
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:37.01672197822786; startPointID:6</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:18.28538328578604; startPointID:15</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:17.832825753088922; startPointID:22</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.85038626520892; startPointID:27</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:40.161780749435415; startPointID:33</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.712054136652934; startPointID:44</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:28.04590467207512; startPointID:53</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:grosse Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:36.79289171078253; startPointID:8</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:19.35917360311745; startPointID:17</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:26.63061405061415; startPointID:26</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:22.20667743495553; startPointID:33</p> <p>Art:grosse Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:42.820384318412906; startPointID:40</p> <p>Art:kleine Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:52.17708917919272; startPointID:52</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 897ms</p>


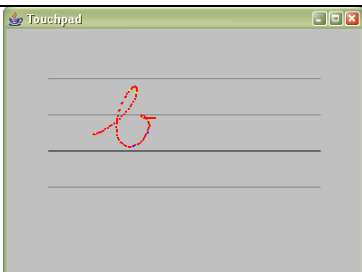
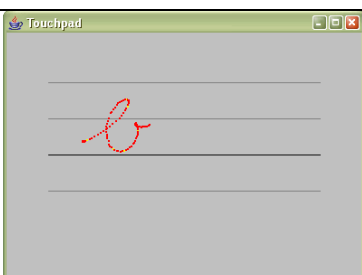
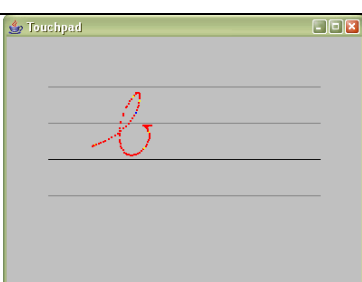
11.3.4 Schreibsituation „klein, schnell“ für a

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:44.017534024490274; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:16.77269903474535; startPointID:27</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.543203766865055; startPointID:38</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 741ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:44.908261948856804; startPointID:0</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:12.06449510224598; startPointID:29</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.30713578936527; startPointID:37</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 740ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:37.66562126173751; startPointID:3</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:10.70820393249937; startPointID:28</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:16.242640687119284; startPointID:34</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 600ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:16.122417494872465; startPointID:1</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:7.8863495173726745; startPointID:12</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:13.06449510224598; startPointID:17</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:12.128990204491961; startPointID:25</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:16.656854249492383; startPointID:33</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 600ms</p>

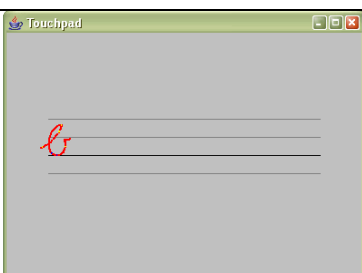
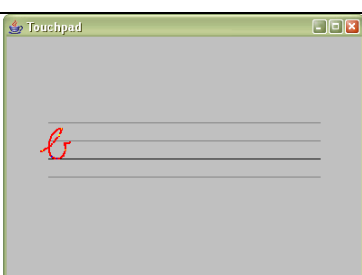
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:30.607698869111037; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:13.00389691313216; startPointID:21</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:28.193485306737944; startPointID:26</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 600ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:19.113122279787035; startPointID:3</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:12.23606797749979; startPointID:14</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:33.65904855211802; startPointID:22</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:32.429553284237734; startPointID:44</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:18.861186377582317; startPointID:2</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:21.358485472372255; startPointID:11</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.714776642118865; startPointID:24</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:14.242640687119284; startPointID:29</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:13.543203766865057; startPointID:38</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:16.242640687119284; startPointID:46</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 741ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:21.941549404533223; startPointID:2</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:13.23606797749979; startPointID:14</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:40.47818046177879; startPointID:24</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:16.128990204491963; startPointID:46</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:23.30056307974577; startPointID:56</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:21.941549404533223; startPointID:2</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:13.23606797749979; startPointID:14</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:40.47818046177879; startPointID:24</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:16.128990204491963; startPointID:46</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:23.30056307974577; startPointID:56</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:18.69890871741394; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:13.576491222541476; startPointID:13</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:13.950844619618655; startPointID:22</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.064495102245981; startPointID:29</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.47213595499958; startPointID:36</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:30.607698869111037; startPointID:41</p> <p>hasAscender: false hasDescender: false Time: 756ms</p>

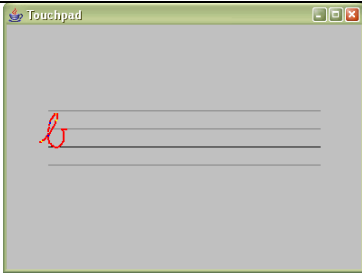
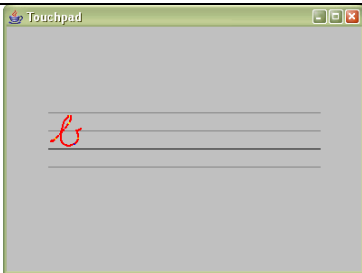
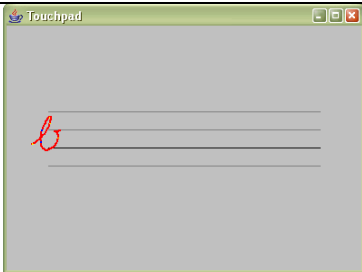
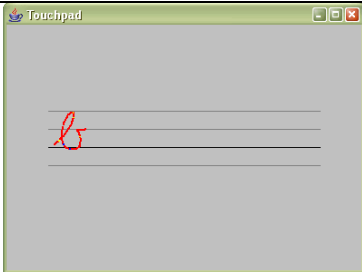
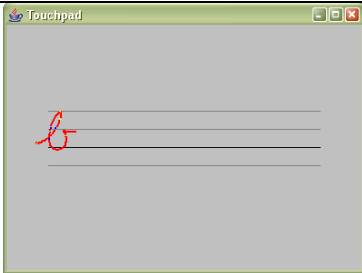
11.3.5 Schreibsituation „gross, langsam“ für b

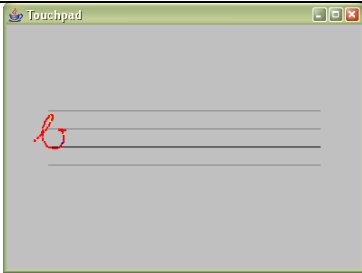
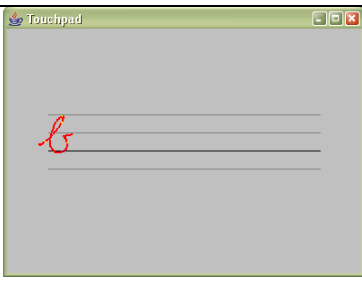
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:56.23735687868481; startPointID:7</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:14.0; startPointID:32</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:92.07829564997583; startPointID:46</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:26.607698869111033; startPointID:90</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:14.892922226992171; startPointID:105</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:21.162277660168378; startPointID:116</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1350ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:78.21279038701692; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:19.77269903474535; startPointID:31</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:116.67012659438194; startPointID:44</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:15.886349517372675; startPointID:97</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:12.23606797749979; startPointID:105</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:16.650281539872886; startPointID:116</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1350ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:53.39394225799931; startPointID:5</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:16.634413615167958; startPointID:21</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:98.10159975982164; startPointID:31</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:19.950844619618657; startPointID:77</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:12.82842712474619; startPointID:88</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:17.23606797749979; startPointID:98</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1193ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:55.83454007680758; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:16.650281539872886; startPointID:23</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:71.33819594016171; startPointID:35</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:7.650281539872885; startPointID:65</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:27.8278989219059; startPointID:70</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:22.30056307974577; startPointID:83</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1209ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:72.78947932277694; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:15.122417494872465; startPointID:29</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:116.23511827428209; startPointID:39</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:12.32455532033676; startPointID:85</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:26.77269903474535; startPointID:90</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1194ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:74.72892784264172; startPointID:4</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:16.886349517372675; startPointID:30</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:92.72610659408305; startPointID:43</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:11.772699034745349; startPointID:79</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.048627177541057; startPointID:85</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:24.892922226992173; startPointID:95</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1193ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:88.79148129592556; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:17.414213562373096; startPointID:28</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:65.30265722606784; startPointID:38</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:12.63441361516796; startPointID:56</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:29.210574348087686; startPointID:61</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:29.06449510224598; startPointID:72</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:64.90565459765166; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:15.300563079745771; startPointID:26</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:117.62540487018572; startPointID:35</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:14.89292222699217; startPointID:77</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:0; Länge:15.414213562373096; startPointID:89</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:58.002262747907835; startPointID:6</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:13.30056307974577; startPointID:22</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:64.86358190189335; startPointID:29</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:13.803263984955834; startPointID:53</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:30.662945465250182; startPointID:59</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:32.957417329238154; startPointID:72</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1054ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:69.68258103515092; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:18.650281539872886; startPointID:25</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:93.05879164189332; startPointID:35</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.941549404533227; startPointID:67</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:23.13556291411146; startPointID:76</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1054ms</p>

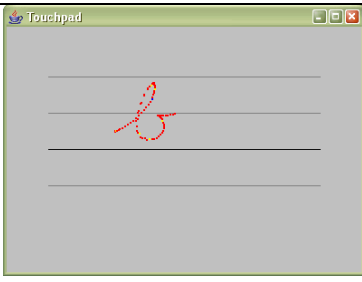
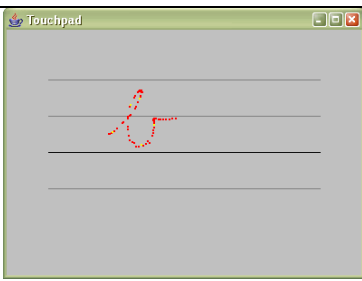
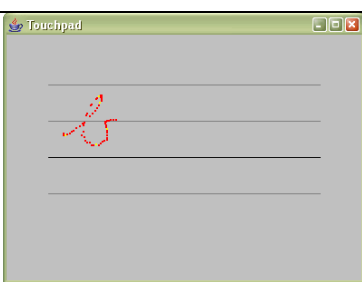
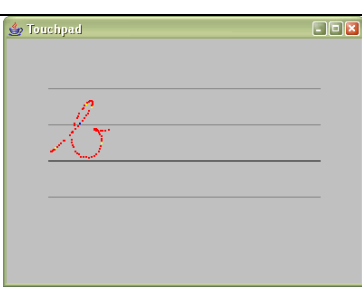
11.3.6 Schreibsituation „klein, langsam“ für b

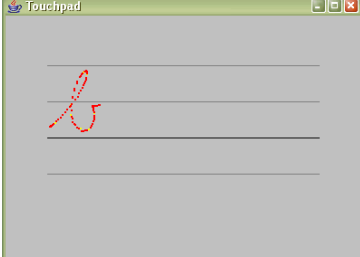



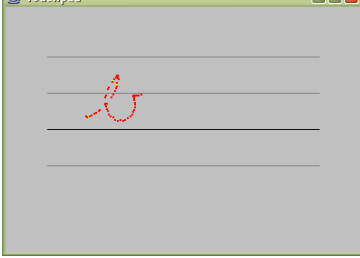
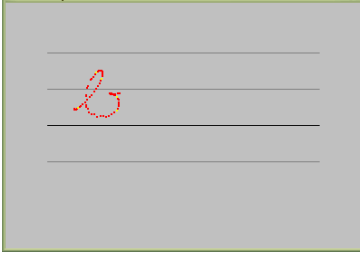
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:24.672193971357018; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.89292222699217; startPointID:17</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:59.97932976072229; startPointID:24</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:17.650281539872886; startPointID:64</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1069ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:24.672193971357018; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.89292222699217; startPointID:17</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:59.97932976072229; startPointID:24</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:17.650281539872886; startPointID:64</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1069ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:28.37382519423689; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.650281539872886; startPointID:18</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:77.50281539872884; startPointID:26</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:23.035057850723124; startPointID:8</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.478708664619074; startPointID:21</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:57.979329760722266; startPointID:30</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:16.656854249492383; startPointID:68</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1054ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:30.195679609363584; startPointID:1</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.82842712474619; startPointID:18</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:64.86567927809496; startPointID:27</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:18.071067811865476; startPointID:70</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1209ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:31.96618434148329; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:6.414213562373095; startPointID:23</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:73.60059795665126; startPointID:29</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:21.478708664619074; startPointID:75</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1194ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:37.49132588101779; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.47213595499958; startPointID:23</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:73.15966964822123; startPointID:30</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:22.82842712474619; startPointID:74</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1053ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:28.914834658476305; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:8.82842712474619; startPointID:24</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:69.82090230470746; startPointID:32</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:24.65685424949238; startPointID:82</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1209ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:24.26455311860342; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:12.714776642118865; startPointID:16</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:68.56731050097481; startPointID:25</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:20.82842712474619; startPointID:62</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1054ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:28.380397903856384; startPointID:7</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.30056307974577; startPointID:20</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:67.25745220614361; startPointID:28</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:21.892922226992173; startPointID:66</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 1054ms</p>

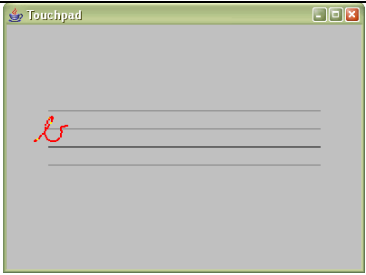
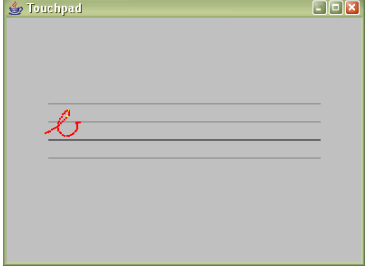
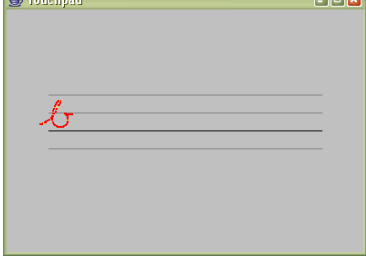
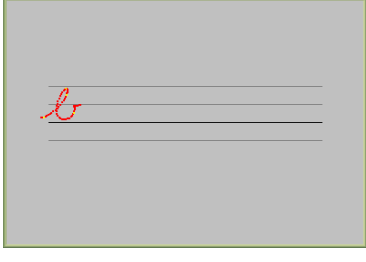
11.3.7 Schreibsituation „gross, schnell“ für b

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:63.662967201553776; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:12.650281539872886; startPointID:23</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:59.27756538451699; startPointID:31</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:13.831309558117031; startPointID:46</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:32.036609456989694; startPointID:51</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:32.52733584216013; startPointID:63</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:42.1805868846308; startPointID:3</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:34.039696743931785; startPointID:13</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:61.08059028591931; startPointID:25</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:33.58743033412386; startPointID:37</p> <p>Art:starke Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:38.901046542878234; startPointID:46</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:48.96670315364753; startPointID:4</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:16.83232403787835; startPointID:18</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:68.90970191899127; startPointID:25</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:27.379755207497308; startPointID:42</p> <p>Art:starke Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:25.122417494872465; startPointID:52</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 757ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:56.22991527834583; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:19.404918347287666; startPointID:21</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:96.66242768934649; startPointID:31</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:43.99086471281948; startPointID:59</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 897ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:23.774071155630118; startPointID:6 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:39.73628879685839; startPointID:14 Art:spitzkehre; Relative Länge:0; Länge:11.123105625617661; startPointID:25 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:44.255391710482414; startPointID:32 Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:26.518366944768424; startPointID:46 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:11.63441361516796; startPointID:54 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:18.93497669491373; startPointID:59 Art:starke Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:21.886349517372675; startPointID:67 hasAscender: true hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:50.34268599294951; startPointID:3 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:16.714776642118867; startPointID:18 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:78.8503129850299; startPointID:28 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:25.364084996010924; startPointID:50 Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:31.134392014912088; startPointID:58 hasAscender: true hasDescender: false Time: 896ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:39.65820735659789; startPointID:7 Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:27.745011102707604; startPointID:18 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:51.09626826995839; startPointID:28 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:23.946134448410575; startPointID:41 Art:starke Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:33.93497669491373; startPointID:49 hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:39.64202795605047; startPointID:2 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:25.259729728469033; startPointID:16 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:82.94168390984477; startPointID:26 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:36.91658397796141; startPointID:46 hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:48.31137311758647; startPointID:2 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:18.358485472372255; startPointID:16 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:107.96201044275874; startPointID:25 hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:39.40595997855068; startPointID:5 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:17.974836860209646; startPointID:18 Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:79.7349227180176; startPointID:27 Art:starke Krümmung l; Relative Länge:0; Länge:19.609448188596147; startPointID:50 Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:24.705481427033433; startPointID:57 hasAscender: true hasDescender: false Time: 897ms</p>

11.3.8 Schreibsituation „klein, schnell“ für b

	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:17.792417163603837; startPointID:7</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:13.320327917582855; startPointID:15</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:72.19008357204345; startPointID:21</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:32.838566257876096; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.950844619618655; startPointID:17</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:80.74428518664872; startPointID:23</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:25.494048386483712; startPointID:4</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.30056307974577; startPointID:17</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:69.00551630393889; startPointID:23</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:25.834471631525393; startPointID:4</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.242640687119284; startPointID:16</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:61.925153276987984; startPointID:22</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:20.714776642118867; startPointID:53</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 897ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:gerade; Relative Länge:1; Länge:27.213250144575028; startPointID:5</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:12.128990204491961; startPointID:20</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:58.08202912673623; startPointID:27</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:23.65685424949238; startPointID:58</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 912ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:29.239587692031606; startPointID:2</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:16.30056307974577; startPointID:15</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:57.888015617158004; startPointID:25</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:23.414213562373096; startPointID:52</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 897ms</p>

	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.257980408983922; startPointID:4</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:14.543203766865057; startPointID:14</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:63.78531625114404; startPointID:22</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 757ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:27.26455311860342; startPointID:2</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:11.30056307974577; startPointID:16</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:67.18366188881221; startPointID:22</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 740ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:21.94812211415272; startPointID:4</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:12.284695155040845; startPointID:15</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:49.62459019724221; startPointID:21</p> <p>Art:spitzkehre; Relative Länge:1; Länge:20.242640687119287; startPointID:46</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 756ms</p>
	<p>Analyse</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:34.09030444686228; startPointID:3</p> <p>Art:starke Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:10.886349517372675; startPointID:18</p> <p>Art:schwache Krümmung l; Relative Länge:1; Länge:54.74058598673515; startPointID:24</p> <p>Art:schwache Krümmung r; Relative Länge:1; Länge:19.53663105724556; startPointID:48</p> <p>hasAscender: true hasDescender: false Time: 740ms</p>