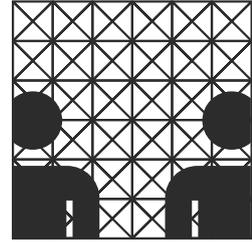




**Universität Hamburg**  
Fakultät für Mathematik, Informatik und  
Naturwissenschaften

**Fachbereich Informatik**  
Softwaretechnik



---

## **Diplomarbeit** im Fach Informatik

# **Ein Ansatz zum automatischen handformbasierten Vergleich von Gebärdennotationssystemen**

vorgelegt von: Felix Zwingenberger

Erstgutachter: Dr. Guido Gryczan

Zweitgutachter: Dr. Axel Schmolitzky

Matrikelnummer: 5303293

Januar 2013

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Kontext . . . . .	1
1.1.1	delegs-Projekt . . . . .	2
1.1.2	Software-Werkzeuge des delegs-Projekts . . . . .	2
1.2	Motivation . . . . .	4
1.3	Zielsetzung . . . . .	5
1.4	Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Gebärdensprachen</b>	<b>7</b>
2.1	Grammatik . . . . .	7
2.2	Phonologie . . . . .	8
2.2.1	Manuelle Komponente . . . . .	8
2.2.2	Zweihändigkeit . . . . .	9
2.2.3	Nonmanuelle Komponente . . . . .	9
2.3	Phonetik . . . . .	10
2.4	Morphologie . . . . .	11
2.5	Vergleichen von Gebärden . . . . .	12
2.6	Vergleich auf phonetischer Ebene . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Gebärdennotation</b>	<b>14</b>
3.1	HamNoSys . . . . .	15
3.1.1	Handformen . . . . .	15
3.1.2	Aktionen . . . . .	18
3.2	GebärdenSchrift . . . . .	18
3.2.1	International SignWriting Alphabet . . . . .	19

3.3	Phonetische Eigenschaften von Gebärdennotationssystemen . . .	22
<b>4</b>	<b>Ein Modell zum Vergleich von Gebärden</b>	<b>24</b>
4.1	Anforderungen an das Distanzmaß . . . . .	24
4.2	Handformen als Basis für den Gebärdenvergleich . . . . .	25
4.2.1	Maße der Handform . . . . .	26
4.2.2	Gewichtung . . . . .	27
4.3	Ein Maß für die Gebärdendistanz . . . . .	28
4.3.1	Gewichtete Handformdistanz HFD . . . . .	29
4.3.2	Minimale Handformmengendistanz MHFD . . . . .	29
4.3.3	Gebärdendistanz . . . . .	31
4.3.4	Evaluation der Anforderungen . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Umsetzung</b>	<b>35</b>
5.1	Entwurf des dreidimensionalen Handmodells . . . . .	35
5.1.1	Modellierung mit Blender . . . . .	35
5.1.2	Handmodell . . . . .	36
5.1.3	Handform-Dokumentformat SHP . . . . .	38
5.2	Modellierung der Handformen . . . . .	38
5.2.1	Handformen in GebärdenSchrift . . . . .	38
5.2.2	Handformen in HamNoSys . . . . .	39
5.3	Evaluationswerkzeug . . . . .	39
5.3.1	Implementation als iPad-App . . . . .	39
5.3.2	Bedienkonzept . . . . .	40
5.3.3	Architektur . . . . .	40
5.3.4	SignComparisonService . . . . .	45
5.3.5	Integration des Gebärden-Editors . . . . .	46
5.4	Beispiel . . . . .	46
5.4.1	Verwendung des Evaluationswerkzeugs . . . . .	47
5.4.2	Handform-Mengen . . . . .	47
5.4.3	Handform-Modelle . . . . .	47
5.4.4	Berechnung der Gebärdendistanz . . . . .	47
5.4.5	Verwendung des Verknüpfungswerkzeugs . . . . .	49

Inhaltsverzeichnis	iii
<b>6 Erprobung</b>	<b>51</b>
6.1 Gebärdenquellen . . . . .	51
6.1.1 delegs . . . . .	52
6.1.2 Fachgebärden-Lexika . . . . .	52
6.2 Fallstudien . . . . .	52
6.2.1 Fallstudie <i>Frau</i> . . . . .	52
6.2.2 Fallstudie <i>Plan</i> . . . . .	57
6.2.3 Fallstudie <i>Diagnose</i> . . . . .	58
6.3 Bewertung der Ergebnisse . . . . .	59
<b>7 Fazit</b>	<b>61</b>
7.1 Zusammenfassung und Bewertung . . . . .	61
7.2 Ausblick . . . . .	62
<b>A Document Type Definition des SHP-Formats</b>	<b>63</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>64</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>67</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojekts *Schriftspracherwerb für Gehörlose mit Web 2.0*. Im täglichen Gebrauch hat sich als Projektname allerdings *delegs* etabliert, der für *Deutsch lernen mit GebärdenSchrift* steht (vergl. [ZKNS12]). Das Beherrschen der deutschen Schriftsprache ist in unserer Gesellschaft eine entscheidende Kompetenz, die große Auswirkungen sowohl auf das berufliche als auch das soziale Leben hat. Für viele Gehörlose stellt das Erlernen der deutschen Schriftsprache jedoch eine besondere Hürde dar, da ihnen insbesondere der Höreindruck fehlt, um die Schriftsprache mit der deutschen Lautsprache in Beziehung zu setzen.

Im *delegs*-Projekt soll untersucht werden, ob durch die Anwendung des Notationssystems *GebärdenSchrift* das Erlernen der deutschen Schriftsprache für Gehörlose erleichtert werden kann. Dabei werden für den Deutschunterricht Materialien erstellt, die Gebärden und deutsche Begriffe kontrastiv gegenüberstellen. Zur Notation der Gebärden wird *GebärdenSchrift* verwendet, die aufgrund ihrer Bildhaftigkeit intuitiv erlernbar ist. Zur Erstellung der Unterrichtsmaterialien wird ein neu entwickelter Dokumenteditor eingesetzt, der auf ein Wörterbuch mit Einträgen in *GebärdenSchrift* zugreift. Wörterbücher für die deutsche und andere Gebärdensprachen befinden sich derzeit noch im Aufbau. Um eine hohe Qualität des Wörterbuchs zu erzielen, ist es wünschenswert, möglichst viele Quellen für Einträge zugreifbar zu machen. Um dies zu ermöglichen, sind Mechanismen zum Abgleich verschiedener Notationssysteme nötig.

### 1.1 Kontext

Bei *delegs* handelt es sich um ein Forschungsprojekt, das vom europäischen Sozialfonds und dem Integrationsamt der Freien und Hansestadt Hamburg gefördert wird. Die folgende Beschreibung baut zu einem großen Teil auf

[ZKNS12] auf, einem Artikel, bei welchem der Autor dieser Arbeit selbst als Co-Autor mitgewirkt hat.

### 1.1.1 delegs-Projekt

Das Beherrschen der deutschen Schriftsprache gehört zu den unabdingbaren Kernkompetenzen, um sich gute Chancen auf dem Arbeitsmarkt zu eröffnen. Sowohl innerhalb als auch außerhalb des beruflichen Umfelds ist die Schriftsprache allgegenwärtig, und ihre Beherrschung stellt die Voraussetzung für die Nutzung wichtiger schriftbasierter Medien dar, wie E-Mail oder Internet. Die Deutsche Gebärdensprache (DGS) ist allerdings nicht einfach als eine andere Form der deutschen Sprache zu verstehen, sondern es handelt sich um eine komplett eigenständige Sprache mit einer sich grundsätzlich von der Laut- und Schriftsprache unterscheidenden Grammatik. Der Erwerb der deutschen Schriftsprache ist deshalb für einen Gehörlosen, der als Muttersprache DGS gelernt hat, vergleichbar mit dem Erlernen einer Fremdsprache. Ein solcher Fremdsprachunterricht erfordert die kontrastive Gegenüberstellung von Begriffen beider Sprachen. Im Klassenunterricht selbst kann dies noch geleistet werden, indem die Lehrkraft eine Gebärde vorführt, während zugleich der deutsche Begriff schriftlich an der Tafel steht. Für die Erstellung effektiver Unterrichtsmaterialien ist es aber notwendig, auch die Gebärden schriftlich festhalten zu können. Im delegs-Projekt dient GebärdenSchrift (vergl. Kapitel 3.2) als Notationsform für Gebärden. Das Hauptziel des delegs-Projekts ist es nachzuweisen, in welcher Weise der Schriftspracherwerb Gehörloser durch GebärdenSchrift erleichtert werden kann.

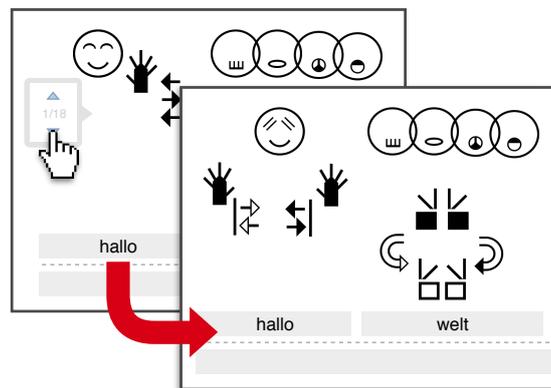
### 1.1.2 Software-Werkzeuge des delegs-Projekts

Bisher existieren keine ausreichenden Software-Lösungen für die Erstellung von Lehrmaterialien in GebärdenSchrift. Ein weiteres Ziel des delegs-Projekts ist es deshalb, Pädagogen adäquate Software-Werkzeuge für die Erstellung von Lehrmaterialien in GebärdenSchrift zur Verfügung zu stellen. Zu diesem Zweck wurden mehrere Werkzeuge neu entwickelt. Das zentrale Werkzeug ist ein webbasierter Texteditor, mit dem die Pädagogen nach dem WYSIWYG<sup>1</sup>-Prinzip Lehrdokumente in GebärdenSchrift erstellen können. Der Editor bedient sich eines GebärdenSchrift-Wörterbuchs, in dem zum Zeitpunkt der Anfertigung dieser Arbeit bereits über 18.000 DGS-Gebärden verschriftet wurden. Der Zugriff auf das Wörterbuch aus dem Texteditor erfolgt über die Eingabe deutscher Begriffe, zu denen dann passende Übersetzungen in GebärdenSchrift angeboten werden. Abbildung 1.1 zeigt den Zugriff auf das

---

<sup>1</sup>WYSIWYG steht für *What You See Is What You Get* und bedeutet, dass die Darstellung eines Dokuments während der Bearbeitung dem endgültigen Layout entspricht.

Wörterbuch. Nach Texteingabe eines deutschen Begriffs wird, sofern vorhanden, eine Gebärde in GebärdenSchrift dargestellt. Falls mehrere Alternativen zu dem Begriff existieren, kann zwischen diesen ausgewählt werden. Zusätzlich zu dem DGS-Wörterbuch stehen bereits eine Reihe internationaler Wörterbücher zur Verfügung. Der Zugriff auf diese Wörterbücher erfolgt entsprechend der Suche im DGS-Wörterbuch durch die jeweilige Landesschriftsprache.



**Abbildung 1.1:** Auswahl von Gebärden-Alternativen im delegs-Editor (nach: [ZKNS12]).

Als zweites Werkzeug wurde eine Dokumentenverwaltung umgesetzt. Diese dient den Pädagogen als Speichermedium für die erstellten Lehrmaterialien und bietet zudem noch Kooperationsmöglichkeiten. Benutzer können Dokumente in Räumen ablegen und für andere Benutzer zugreifbar machen. Ein Rechtesystem ermöglicht es, den Zugriff auf die Dokumente adäquat einzuschränken. So können z.B. den Schülern Klassenarbeiten zur Verfügung gestellt werden, ohne dass diese gegenseitig ihre Lösungen einsehen können.

Bei der Erstellung von Materialien ist es notwendig, nicht nur auf vorhandene Gebärdennotationen zuzugreifen, sondern diese auch weiter bearbeiten zu können, um beispielsweise einen Begriff zu flektieren. Ein in den Texteditor integrierter Gebärden-Editor zur Bearbeitung der Wörterbuch-Einträge befindet sich derzeit in der Entwicklung. Da die Möglichkeiten zur Nachbearbeitung existierender und zur Erstellung neuer Gebärden im Texteditor bisher stark eingeschränkt sind, hängt die Qualität der erstellten Unterrichtsmaterialien stark von der Qualität der vorhandenen Einträge in den Gebärden-Wörterbüchern ab.

Im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit im delegs-Kontext (vergl. [Sch12]) wurde daher außerdem ein gestenbasierter Gebärden-Editor als iPad-App entwickelt. Das im praktischen Teil dieser Arbeit entwickelte Werkzeug zur

Verknüpfung von Wörterbuch-Einträgen wurde als Subwerkzeug dieses Gebärden-Editors konzipiert und deshalb ebenfalls als iPad-App entwickelt.

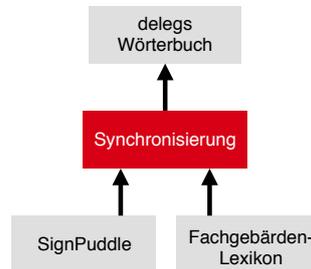
## 1.2 Motivation

Bisher basieren die delegs-Wörterbücher vollständig auf der webbasierten GebärdenSchrift-Datenbank SignPuddle (vergl. [Siga]). Deren Wörterbücher werden auf Community-Basis erstellt und unterscheiden sich deshalb qualitativ stark. Detaillierungen, wie die regionale Zuordnung von Gebärden, Textbeschreibungen der Begriffe und die Auflistung anderer Bedeutungen, sind bei SignPuddle oftmals nicht eingepflegt. Solche Detaillierungen können bei der Dokument-Erstellung aber von großem Nutzen sein. Die regionale Zuordnung von Gebärden könnte z.B. bei der Bereitstellung der Gebärden berücksichtigt werden, sodass für die in Abbildung 1.1 dargestellte Gebärdenauswahl zuerst regionale Varianten eines Begriffs bevorzugt angeboten werden. Diese Meta-Informationen nachzupflegen bedeutet allerdings einen enormen Aufwand, der von dem Projekt nicht getragen werden kann. Eine Alternative dazu stellt die Einbindung zusätzlicher Quellen dar, in denen diese Informationen bereits existieren. Abbildung 1.2 zeigt den aktuellen Stand des Wörterbuch-Aufbaus sowie den gewünschten Zustand mit einer exemplarischen zweiten Datenquelle.



**Abbildung 1.2:** Aktueller und Soll-Zustand des Wörterbuch-Imports beim delegs-Projekt.

Bei der Einbindung weiterer Wörterbücher ergibt sich allerdings das Problem, dass die meisten Gebärden-Wörterbücher nicht in der von delegs und SignPuddle verwendeten Notationsform GebärdenSchrift erfasst sind. Die Einträge können also nicht einfach in das delegs-Wörterbuch übernommen werden. Stattdessen müssen diejenigen Einträge zunächst identifiziert werden, die dieselbe Gebärde repräsentieren wie ein im delegs-Wörterbuch vorhandener Eintrag. Dann können die Einträge kombiniert in das delegs-Wörterbuch aufgenommen werden. Dieser Prozess ist in Abbildung 1.3 dargestellt.



**Abbildung 1.3:** Wörterbuch-Import mit Synchronisierungs-Prozess.

Da die Wörterbücher in den meisten Fällen unterschiedliche Notationssysteme verwenden, ist ein automatisierter Vergleich der Gebärden erst einmal nicht möglich. Um zwei Einträge miteinander zu vergleichen, muss eine Person beide Notationssysteme beherrschen und die Notationen manuell miteinander vergleichen. Da diese Arbeit mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden ist, ist eine Computer-basierte Unterstützung wünschenswert, die diesen Abgleich vereinfacht und beschleunigt.

Eine Möglichkeit der Unterstützung ist es, die Wahrscheinlichkeit abzuschätzen, mit der zwei Gebärdennotationen dieselbe Gebärde beschreiben. Darauf aufbauend könnte der manuelle Abgleichvorgang so angepasst werden, dass die zum Abgleich infrage kommenden Gebärden nach ihrer Übereinstimmungswahrscheinlichkeit sortiert vorgeschlagen werden. Im Idealfall müssten pro Wörterbuch-Eintrag so nur wenige Gebärden verglichen werden, bis der passende Eintrag gefunden ist. Es erscheint sinnvoll, die Wahrscheinlichkeit auf die Ähnlichkeit zweier Gebärden zurückzuführen: je ähnlicher sich zwei Gebärden sind, desto wahrscheinlicher handelt es sich um dieselbe Gebärde. Doch wie lässt sich die Ähnlichkeit von Gebärden sinnvoll definieren und wie kann sie gemessen werden? Ein Verfahren zur Notationssystem-übergreifenden Ähnlichkeitsberechnung existiert bisher noch nicht.

### 1.3 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es zu untersuchen, ob ein Notationsvergleich sinnvoll ist, der auf dem Vergleich der in Gebärden vorkommenden Handformen basiert. Dazu soll ein Ansatz für ein Distanzmaß für Gebärden vorgestellt werden. Ferner soll geprüft werden, ob das so definierte Maß hinreichend für den oben dargestellten Anwendungsfall der Wörterbuch-Synchronisation ist. Um die Handformen vergleichbar zu machen, werden die Handform-Symbole (bzw. Handform-Symbolketten) der untersuchten Notationssysteme in dreidimensionale Modelle überführt. Ein zentraler Bereich der Arbeit ist die Ermitt-

lung und Bewertung derjenigen Modell-Parameter, die zur Bewertung der Handform-Ähnlichkeit dienen können.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

In *Kapitel 1* wurde zunächst der Kontext vorgestellt, in dem diese Arbeit entstanden ist. Anschließend an die Erläuterung der Problemstellung, die zu dem Thema dieser Arbeit geführt hat, wurde schließlich die Zielstellung der Arbeit definiert.

In *Kapitel 2* wird zunächst der grammatikalische Aufbau von Gebärdensprachen kurz dargestellt, um daran anschließend zu diskutieren, wie Gebärdensprachen miteinander verglichen werden können.

In *Kapitel 3* wird die Verschriftung von Gebärdensprachen genauer betrachtet und es werden die beiden für den Kontext der Arbeit wichtigsten Notationssysteme vorgestellt. Außerdem werden die phonetischen Eigenschaften von Gebärdensprachennotationen, besonders im Hinblick auf die Handformen, diskutiert.

In *Kapitel 4* wird das Maß der Gebärdendistanz definiert. Dazu werden zunächst die Anforderungen beschrieben, die für den in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfall existieren. Anschließend erfolgt eine Beschreibung, wie Handformen mithilfe eines formalen Modells miteinander vergleichbar gemacht werden können. Darauf aufbauend wird ein Distanzmaß für Handformen definiert, das als Basis für das Gebärdensprachen-Distanzmaß dient. Schließlich werden die zuvor definierten, formalen Anforderungen überprüft.

In *Kapitel 5* wird die praktische Umsetzung des Handformmodells beschrieben und das Evaluationswerkzeug zur Verknüpfung von Wörterbuch-Einträgen vorgestellt. Ferner wird das Benutzungskonzept dargestellt und die Architektur des Werkzeugs beschrieben. Abschließend wird ein ausführliches Beispiel für die Arbeitsweise des Werkzeugs gegeben.

In *Kapitel 6* wird die Erprobung des Gebärdensprachen-Distanzmaßes mithilfe des Evaluationswerkzeugs dargestellt. Dazu werden zunächst die drei Fallstudien und deren Ergebnisse vorgestellt. Anschließend wird anhand dieser Ergebnisse bewertet, ob die in der Zielstellung definierten Anforderungen erfüllt werden konnten.

In *Kapitel 7* wird abschließend ein Fazit gezogen und ein Ausblick auf anknüpfende Fragestellungen und mögliche Erweiterungen rundet die Arbeit ab.

## Kapitel 2

# Gebärdensprachen

In diesem Kapitel wird der Aufbau von Gebärdensprachen erläutert, um den in dieser Arbeit vorgestellten Lösungsansatz zum Vergleich von Gebärdennotationen nachvollziehen und seine Grenzen verstehen zu können. Es werden daher die wichtigsten sprachlichen Eigenschaften von Gebärden betrachtet und es wird dargestellt, wie sich diese auf ihre Vergleichbarkeit auswirken. Vor allem soll aufgezeigt werden, welche phonetischen Eigenschaften von Gebärdensprachen den in dieser Arbeit verfolgten Ansatz plausibel machen.

### 2.1 Grammatik

Die Struktur von Gebärden unterscheidet sich von der von Lautsprachen offensichtlich schon dadurch, dass Gebärden lautlos sind. Allerdings sind Gebärdensprachen wie gesprochene Sprachen auf verschiedenen Ebenen linguistisch strukturiert (vergl. [Bra95]). In diesem Abschnitt werden die sprachlichen Strukturebenen Phonologie, Morphologie sowie Phonetik betrachtet, da sie für den Ansatz dieser Arbeit relevant sind. Die syntaktische Ebene, also der strukturelle Zusammenhang zwischen Wörtern, und die semantische Ebene, also der Bedeutungsinhalt von Gebärden, werden hier nicht näher behandelt.

Trotz der unterschiedlichen Sprachmodalität haben sich auch diejenigen Fachbegriffe der Linguistik bei der Beschreibung von Gebärdensprachen durchgesetzt, die sich explizit auf Laute beziehen. Es wird also auch für Gebärdensprachen der Begriff Phonologie verwendet, obwohl der Begriff wörtlich „die Lehre von den (Sprech-) Lauten“ meint (vergl. [PvMMH08, S. 9]).

## 2.2 Phonologie

Die Phonologie beschäftigt sich mit den kleinsten bedeutungsunterscheidenden Elementen einer Sprache, den Phonemen.

In Lautsprachen sind Laute die kleinsten Elemente, die verwendet werden, um sprachliche Konstrukte aufzubauen. Welche Elemente bedeutungsunterscheidend sind, wird über die sogenannte Minimalpaarbildung ermittelt. Dabei werden jeweils zwei Zeichen einer Sprache mit unterschiedlicher Bedeutung gegenübergestellt, die sich nur in einem einzigen Element voneinander unterscheiden. Diese unterschiedlichen Elemente sind also bedeutungsunterscheidend und stellen somit unterschiedliche Phoneme dar. Wenn zwei unterschiedliche Elemente nicht zu einem Bedeutungsunterschied führen, sind sie Allophone desselben Phonems. Ersetzt man also eines der Phoneme eines Zeichens durch ein Allophon, verändert sich die Bedeutung dadurch nicht. In der deutschen Lautsprache sind beispielsweise der gerollte und der nicht gerollte r-Laut Allophone desselben Phonems, da ihre Verwendung nie bedeutungsunterscheidend ist (vergl. [Wie11]).

Bei Gebärdensprachen werden die Phoneme in zwei Klassen aufgeteilt: Die *manuelle Komponente* umfasst die Handzeichen einer Gebärdensprache und gliedert sich in Handform, Handstellung, Ausführungsstelle sowie Bewegung der Hand. Die *nonmanuelle Komponente* umfasst alle sonstigen bedeutungsunterscheidenden Elemente einer Gebärdensprache (vergl. [PvMMH08]).

### 2.2.1 Manuelle Komponente

Die manuelle Komponente gliedert sich in die folgenden vier Parameter (vergl. [PvMMH08]):

- *Handform*. Die Handform beschreibt die äußere Form der Hand, also wie die Finger gestellt und gebeugt sind.
- *Handstellung*. Die Handstellung stellt die Ausrichtung der Hand im Raum dar. Zu der Handstellung gehört die Ausrichtung des Handgelenks sowie die sogenannte Fingeransatzrichtung, die angibt, in welche Richtung die Finger in ungebeugter Stellung ausgerichtet wären. Dies entspricht also der Ausrichtung des Handrückens.
- *Ausführungsstelle*. Die Ausführungsstelle gibt an, wo im Raum die manuelle Komponente ausgeführt wird. Dies kann zum einen eine bestimmte Stelle um den Gebärdenden herum sein, zum anderen kann es eine Körperstelle sein.
- *Bewegung*. Die Bewegung beschreibt, wie sich die Hand bewegt. Dies kann handintern sein, wenn sich die Fingerstellungen ändern und so eine Änderung der Handform bewirken. Auch Schüttel- oder Drehbe-

wegungen gehören dazu. Bei handexternen Bewegungen wird die Hand am Körper oder im Raum bewegt. Natürlich können handinterne und handexterne Bewegungen gleichzeitig auftreten, wenn sich sowohl die Handform als auch die Ausführungsstelle ändert.

### 2.2.2 Zweihändigkeit

In der Gebärdensprache existieren einhändig und zweihändig ausgeführte Gebärden. Bei zweihändig ausgeführten Gebärden können die Handformen symmetrisch oder nichtsymmetrisch zueinander sein (vergl. [PvMMH08]):

- *Symmetrische Gebärden.* Bei symmetrischen Gebärden haben beide Hände die gleiche Handform. Unterschiede existieren bei der Handbewegung, so können die Handformen entweder parallel, spiegelbildlich oder alternierend bewegt werden.
- *Nichtsymmetrische Gebärden.* Für nichtsymmetrische Gebärden wird zwischen dominanter und nichtdominanter Hand unterschieden. Die dominante Hand stellt den aktiven Bestandteil der Gebärde dar, während die nichtdominante Hand nicht oder nur wenig bewegt wird.

### 2.2.3 Nonmanuelle Komponente

Die nonmanuelle Komponente gliedert sich ebenfalls in vier Bereiche (vergl. [PvMMH08]):

- *Mimik.* Die Mimik beschreibt den Gesichtsausdruck während des Gebärdens und beinhaltet vor allem Augen- und Mundbewegungen. Mimik hat nichtsprachliche und sprachliche Anteile. Nichtsprachliche Mimik kann Emotionen wie Freude und Überraschung darstellen. Die sprachliche Mimik hat in der DGS unterschiedliche Funktionen. Zum einen kann sie adverbial sein und so die Bedeutung einer Gebärde genauer spezifizieren. Zum anderen wirkt sich die Mimik auf verschiedene syntaktische Aspekte des Gebärdens aus.
- *Blickrichtung.* Die Blickrichtung spielt in der Gebärdensprache eine wichtige Rolle. Mit ihr kann Bezug auf vorher im Gebärdenraum vertete Objekte genommen werden, indem der Blick in diese Richtung gelenkt wird. Die Aufmerksamkeit des Gesprächspartners kann durch die Blickrichtung auf die gebärdende Hand fokussiert werden. Dies ist vor allem wichtig, wenn es auf die exakte Ausführung der Gebärde ankommt.
- *Kopf- und Oberkörperhaltung.* Die Kopf- und Oberkörperhaltung kann manchmal ebenfalls eine sprachliche Funktion übernehmen. So können Neugier oder Zustimmung signalisiert werden. Außerdem kann durch

eine leichte Drehung des Oberkörpers eine Rollenübernahme dargestellt werden.

- *Mundbewegungen.* Die Mundbewegungen werden in der DGS in Mundgestik sowie Wortbilder unterteilt. Als Mundgestik werden Mundbewegungen bezeichnet, bei denen kein Bezug zur deutschen Lautsprache erkennbar ist. Wortbilder sind Mundbewegungen, die die Aussprache deutscher Worte nachformen. Die Verwendung von Wortbildern erklärt sich durch die Geschichte der deutschen Hörgeschädigtenpädagogik, in der das Abbilden lautsprachlicher Wörter einen wichtigen Stellenwert einnahm.

## 2.3 Phonetik

Die Phonetik beschäftigt sich mit den physikalischen Vorgängen, die bei der Kommunikation mit Sprachen stattfinden. Untersuchungsgegenstände sind bei Lautsprachen also die Prinzipien der Lautbildung, Lautübertragung und Lautwahrnehmung. Da diese Vorgänge unabhängig von einer konkreten Sprache sind, beschäftigt sich die Phonetik also mit sprachübergreifenden Konzepten, während sich die Phonologie sprachspezifisch mit den Lauten einer Sprache beschäftigt (vergl. [Wie11]). Abbildung 2.1 zeigt ein einfaches Kommunikationsmodell. Ein Sender formt ein Signal aus einem gemeinsamen Zeicheninventar, das vom Empfänger empfangen und interpretiert wird.



**Abbildung 2.1:** Ein einfaches Kommunikationsmodell (nach: [Wie11]).

In Lautsprachen findet die Kommunikation zwischen Sprecher und Hörer statt. Der Sprecher formt aus einem Lautinventar mit dem Sprechapparat ein Signal in Form von Schallwellen, welche von dem Hörer über den Hörapparat empfangen und im Gehirn dekodiert werden. Dieses Modell der Lautsprachkommunikation ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Die Komponenten dieses Modells sind die Gegenstände der Phonetik bei der Untersuchung von Lautsprachen (vergl. [Wie11]).



**Abbildung 2.2:** Ein phonetisches Kommunikationsmodell (nach: [Wie11]).

Für die Gebärdensprachforschung muss der Begriff Phonetik abstrakter gefasst werden, da zur Signalübertragung keine Laute dienen. Abbildung 2.3 zeigt das phonetische Kommunikationsmodell, angepasst für Gebärdensprachen. Übertragungsmedium sind nun Lichtwellen, der Sender formt also sichtbare Zeichen, die der Empfänger sieht.



**Abbildung 2.3:** Ein phonetisches Kommunikationsmodell für Gebärden.

Anhand des angepassten Modells lässt sich ein wichtiger Unterschied im Ablauf der Kommunikation zwischen Laut- und Gebärdensprachen feststellen: Bei Lautsprachen erfolgt die Artikulation über den Sprechapparat, also durch Luftstrombildungen, Stellungen der Zunge und mehr. Der Empfänger wertet über den Hörapparat Schallwellen aus und nimmt Töne wahr. Das Gehörte wird vom Empfänger nicht darüber interpretiert, wie die Laute im Sprechapparat des Senders gebildet wurden, sondern über die Beschaffenheit der Schallwellen. Es gibt also eine deutliche Trennung zwischen Artikulation und Hörvorgang. Laute, die in ihrer Artikulation sehr ähnlich gebildet werden, können sehr unterschiedlich klingen, und sehr unterschiedlich gebildete Laute können wiederum sehr ähnlich klingen. Bei Gebärdensprachen nimmt der Empfänger die vom Sender artikulierte Gebärde visuell wahr, der Empfänger sieht also gleichzeitig die Artikulation der Gebärde. Die in der Lautsprachenkommunikation vorhandene Trennung zwischen der Signalerzeugung und dem empfangenen Signal entfällt bei der Gebärdensprachkommunikation zu einem großen Teil. Ähnlich artikulierte Gebärden sehen für den Empfänger auch ähnlich aus.

## 2.4 Morphologie

Der Begriff Morphologie bezeichnet in der Sprachwissenschaft die Lehre des strukturellen Aufbaus von Wörtern. Wörter stellen nicht die kleinsten bedeutungstragenden Elemente von Sprachen dar, sondern lassen sich in Teilelemente mit gleichbleibender Bedeutung zerlegen. Diese Elemente heißen Morpheme und sind die kleinsten bedeutungstragenden Elemente einer Sprache (vergl. [Mül09]). In Gebärdensprachen werden Gebärden ebenfalls aus Morphemen gebildet.

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem Konzepte zur *Gebärdenbildung* interessant, da sie Beschränkungen für das später vorgeschlagene Distanzmaß aufzeigen. Die hier vorgestellten Bildungsprinzipien sind die *Ikonizität* sowie die *Simultaneität* (vergl. [PvMMH08]):

- *Ikonizität.* Gebärden sind ikonisch, wenn sie sprachliche Äußerungen mithilfe von Bilderzeugungstechniken im Raum abbilden. Ein Beispiel ist die Gebärde für *Tisch*, bei der mit der Flachhand eine Tischfläche dargestellt wird. Es existieren mehrere Techniken zur Erzeugung bildhafter Gebärden, die alle auf der manuellen Komponente aufbauen: Hand als *Gegenstand*, Hand als *Hand*, Hand als *Zeichenwerkzeug*, Hand als *Begrenzungsanzeiger*, Hand als *Hinweisfeil*.
- *Simultaneität.* Im Gegensatz zu Lautsprachen, in denen Morpheme immer sequentiell angeordnet sind, können gebärdensprachliche Zeichen auch simultan ausgeführt werden. Simultaneität kann durch *Inkorporation* sowie die Parallelisierung von manuellen und nonmanuellen Komponenten entstehen. Inkorporation ist die Verschmelzung mehrerer Gebärden zu einer einzigen. Neben der Inkorporation von Zahlen kann eine Gebärde durch Inkorporation verneint werden, indem zu der Gebärdenausführung eine bestimmte sogenannte  $\alpha$ -Handbewegung hinzukommt.

Anhand dieser Prinzipien zur Gebärdensbildung ist erkennbar, dass die Bedeutung einer Gebärde nicht nur durch die in ihr verwendeten Handformen festgestellt werden kann. Bei der Bilderzeugung mit der *Hand als Zeichenwerkzeug* z.B. malt die Hand einen Gegenstand im dreidimensionalen Raum nach und erzeugt so einen bildhaften Eindruck. Das Nachzeichnen erfolgt oft mit der Zeigefinger-Handform, während sich die Bedeutung dann nur aus der *Bewegung* der manuellen Komponente ergibt. Ebenso wird die Zeigefinger-Handform oftmals bei der Verwendung der *Hand als Hinweisfeil* verwendet. Durch die verneinende Inkorporation kann die Bedeutung einer Gebärde negiert werden, ohne dass sich die verwendeten Handformen ändern. Bei solchen Gebärden kann also über die vorkommenden Handformen nicht entschieden werden, um welche Gebärde es sich handelt.

## 2.5 Vergleichen von Gebärden

Gebärden automatisiert miteinander vergleichen zu können, hat für elektronische Gebärden-Wörterbücher viele Vorteile. Zum einen kann die Verwendung des Wörterbuchs verbessert werden, indem beispielsweise zu einer Gebärde ähnliche Gebärden angezeigt werden. Für den in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfall kann ein Vergleich dabei helfen, Gebärden aus unterschiedlichen Quellen miteinander abzugleichen und Duplikate zu erkennen.

Es stellt sich die Frage, wie bei einem Vergleich von Gebärden Ähnlichkeit definiert werden soll. Das in Abbildung 2.2 dargestellte Kommunikationsmodell gibt einen Hinweis auf unterschiedliche Möglichkeiten, ein Ähnlichkeitsmaß

zu definieren. Es kann sich auf die Artikulation der Gebärde beziehen, also darauf, wie die Gebärde ausgeführt wird, auf die visuelle Wahrnehmung der Gebärde oder auf die im Gehirn verarbeitete Form. Alle Parameter einer Gebärde können potenziell für den Vergleich verwendet werden. Aufgrund ihrer wichtigen Stellung in der Gebärdensprach-Grammatik erscheint jedoch die manuelle Komponente als unverzichtbar. Das in dieser Arbeit eingeführte Ähnlichkeitsmodell basiert auf der Annahme, dass in der Gebärdensprach-Kommunikation eine ähnliche Artikulation der Handformen zu einer ähnlichen visuellen Wahrnehmung und zu einer ähnlichen Wahrnehmung des Empfängers führt. Wie in den Abschnitten zur Phonologie und Morphologie beschrieben, ergibt sich die Bedeutung von Gebärden oftmals auch aus den nonmanuellen Aspekten der Gebärde sowie aus Konzepten wie der Inkorporation der Verneinung. Trotzdem kann aus der manuellen Komponente sicher in vielen Fällen auf die Bedeutung einer Gebärde geschlossen werden. Bei der Suche nach einer bestimmten Gebärde aus einer kleinen Auswahlmenge könnte die Handform als spezifizierendes Merkmal oftmals ausreichend sein.

## 2.6 Vergleich auf phonetischer Ebene

Der Vergleich auf phonetischer Basis liegt bei Gebärden näher als bei Lautsprachen. Phoneme von Gebärden basieren zu einem großen Teil entweder auf der Stellung von Körperteilen, ihrer Positionierung im Raum oder auf Bewegung. Vor allem diese räumlichen Phoneme lassen sich deshalb auf naheliegende Weise durch euklidische Geometrie miteinander vergleichen. Positionen im Raum können durch Abstandsmessungen miteinander verglichen werden, Handstellungen und die Handformen durch Winkelmessungen der Gelenkkrümmungen. Im Gegensatz zur Lautsprache korreliert dieser Vergleich auf artikulatorischer Ebene auch mit der Wahrnehmungsebene, das Ergebnis der Messung eines Abstands erlaubt also Rückschlüsse auf die wahrgenommene Ähnlichkeit. Dies ist bei Lautsprachen so nicht gegeben, da die Lautbildung und die wahrgenommenen Schallwellen nicht in der gleichen Weise korrelieren (siehe Abschnitt 2.3).

Die Phoneme der manuellen Komponente von Gebärden eignen sich also als Teil eines Gebärdenvergleichs, da sie entscheidend für die Bedeutung und ihre Eigenschaften mathematisch einfach vergleichbar sind. Ein in dieser Weise definiertes Ähnlichkeitsmaß ist darüber hinaus auf jede phonologische Aufteilung von Handformen anwendbar und damit in Bezug auf die manuelle Komponente unabhängig von einer konkreten Gebärdensprache.

## Kapitel 3

# Gebärdennotation

Im folgenden Abschnitt wird erläutert, welche Möglichkeiten zur Verschriftung von Gebärden existieren und in welchen Anwendungsbereichen welche Notationssysteme in der Praxis eingesetzt werden. Anschließend werden die beiden Notationssysteme HamNoSys und Gebärdenschrift genauer betrachtet, die als Teil dieser Arbeit miteinander vergleichbar gemacht werden sollen.

Das schriftliche Erfassen von Gebärden ist eine in vielerlei Hinsicht noch junge Disziplin. Die Ziele für das Verschriften von Gebärden können sehr unterschiedlich sein: Zum einen gibt es Bedarf für eine Gebrauchsschrift, die vergleichbar zu den alltäglichen Schriften für Lautsprachen eingesetzt wird - beispielsweise zur Verschriftung von Texten und als Konversationsmedium. Zum anderen werden besonders im wissenschaftlichen Kontext Notationssysteme benötigt, die Gebärden möglichst genau abbilden können (vergl. [Ben02]).

Aus den unterschiedlichen Anwendungsgebieten ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Eigenschaften der Notationssysteme. Lesbarkeit und Schreibbarkeit sind für die Qualität als Gebrauchsschrift entscheidend. Notationssysteme für den wissenschaftlichen Gebrauch sollten automatisiert ausgewertet werden können und benötigen deshalb eine formal ausdrückbare Semantik.

Im Gegensatz zu den Lautsprachen, zu denen sich langfristig Schriften herausbilden konnten und sich mit der Zeit bestimmte Schriftsysteme entwickelt haben, konnten sich in der Gebärdensprache noch keine Schriftsysteme durchsetzen. Die heute existierenden Gebärdenschriftsysteme unterscheiden sich erheblich in der Art, wie Begriffe verschriftet werden, und auch darin, welche Aspekte der Gebärden überhaupt verschriftet werden. Fast allen Notationssystemen gemeinsam ist jedoch, dass die Schriftzeichen, ähnlich den Buchstabenschriften für Lautsprachen, phonologische Aspekte einer Gebärde beschreiben. Welche Aspekte der Gebärden abgebildet werden und in

welcher Detailliertheit, variiert von Schrift zu Schrift. So werden beispielsweise in HamNoSys Mundbilder nicht berücksichtigt und auch die Notation anderer Komponenten wie der Blickrichtung ist nur eingeschränkt möglich (vergl. [Ben02, S. 73]). Die in Gebärden vorkommenden Handformen werden jedoch in jedem existierenden System abgebildet, da sie entscheidend für die Bedeutung von Gebärden sind. Im Vergleich mit Schriften für Lautsprachen entsprechen die meisten Gebärdennotationssysteme mehr Lautschriften wie IPA (International Phonetic Alphabet) als normalen Buchstabenschriften, da sie die Ausführung der Gebärde beschreiben (vergl. [Ben02]).

Im Folgenden sollen die beiden Notationssysteme *GebärdenSchrift* und *HamNoSys* genauer beschrieben werden, die bei der praktischen Umsetzung des Distanzmaßes verwendet werden. Dabei wird vor allem darauf eingegangen, wie Handformen in den Notationssystemen abgebildet werden und welche Besonderheiten in Bezug auf die spätere Umsetzung des Notationsvergleichs beachtet werden müssen.

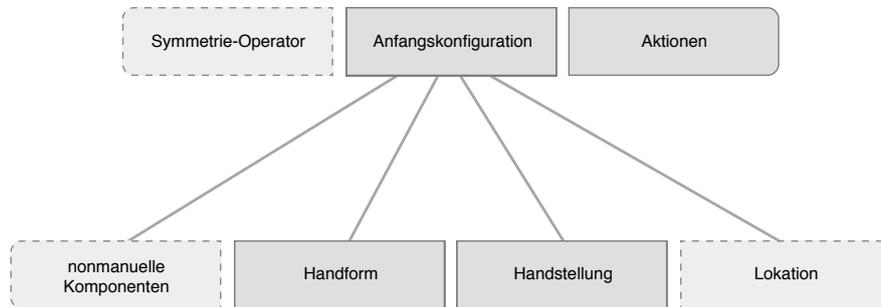
Anschließend werden einige Besonderheiten von Gebärdennotationen diskutiert, die als Grundlage für das im folgenden Kapitel definierte Distanzmaß dienen.

### 3.1 HamNoSys

Das Hamburger Notationssystem (HamNoSys) „ist ein Notationssystem, das im Rahmen der Gebärdensprachforschung der genauen formalen Transkription von Gebärdenzeichen dienen soll“ ([PLZ<sup>+</sup>89, S. 6]). Einzelgebärden setzen sich in HamNoSys zusammen aus der Beschreibung der *Anfangskonfiguration* sowie *Aktionen*, die in einem zeitlichen Ablauf die Parameter der Anfangskonfiguration verändern. Die Anfangskonfiguration ist unterteilt in nonmanuelle Komponenten, Handform, Handstellung sowie Lokation. Somit werden die Parameter der manuellen Komponente (vergl. Kapitel 2.2.1) bereits getrennt voneinander beschrieben. Abbildung 3.1 zeigt die Struktur von HamNoSys-Notationen. Der Symmetrie-Operator ist optional und beschreibt, ob die Gebärde mit symmetrischen Handformen ausgeführt wird und welcher Aspekt einer zweihändigen Gebärde symmetrisch ist (vergl. Kapitel 2.2). Im oberen Teil von Abbildung 3.6 ist die HamNoSys-Notation einer Gebärde mit der Bedeutung *abhängig* dargestellt.

#### 3.1.1 Handformen

Die Handformen einer Gebärde werden in HamNoSys aus einer Menge von Grundformen gebildet und können mit diakritischen Zeichen für die Öffnungsweite und Beugung der beteiligten Finger kombiniert werden. Darüber



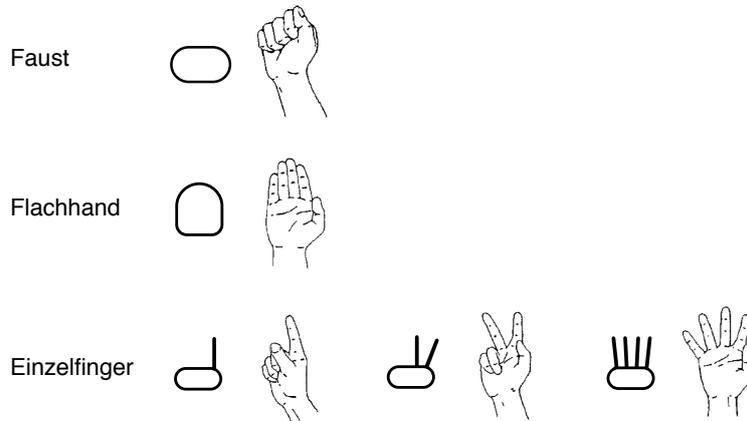
**Abbildung 3.1:** Genereller Aufbau von HamNoSys-Notationen von Einzelgebärden. Die gestrichelt dargestellten Komponenten sind optional (nach: [Han97]).

hinaus können alternative Finger und Fingerteile spezifiziert werden, um Abweichungen einer Grundform anzugeben (vergl. [Han04]). Die Grundsymbole sind ikonisch gestaltet, bilden also zu einem gewissen Grad die äußere Form der repräsentierten Handformen ab. Bei Zweihandgebärden werden symmetrische und nichtsymmetrische Gebärden unterschieden. Bei symmetrischen Gebärden wird die nichtdominante Handform nicht explizit beschrieben, da sie identisch zur beschriebenen dominanten Handform ist. Im Fall von nichtsymmetrischen Gebärden werden sowohl die Handformen der dominanten als auch die der nichtdominanten Hand einzeln beschrieben.

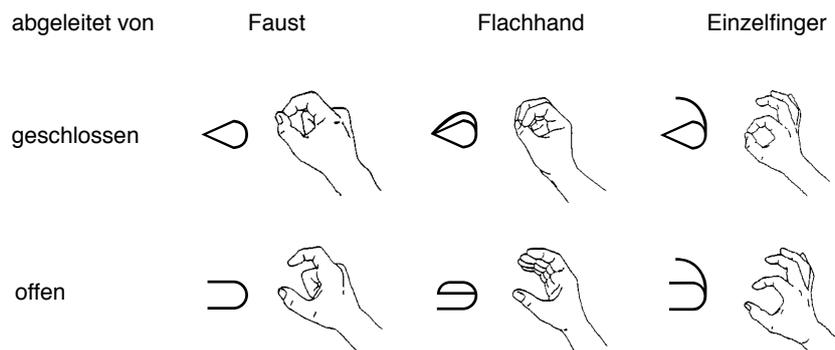
Handformen werden in HamNoSys in mehrere Formklassen gegliedert (vergl. [PLZ<sup>+</sup>89]):

- Faust
- Flachhand
- Einzelfinger
- Fingerverbindungen

Abbildungen 3.2 und 3.3 zeigen die Grundsymbole der verschiedenen Formklassen. Auf Basis dieser Grundformen werden alle in HamNoSys darstellbaren Handformen abgeleitet, indem diese Grundformen mit diakritischen Zeichen für die Daumenausrichtung und die Krümmungen der Finger kombiniert werden (vergl. [Han04]). Einige Beispiele für Handformen mit angepassten Fingerkrümmungen sind in Abbildung 3.4 dargestellt.



**Abbildung 3.2:** Grundsymbole der Formklassen Faust, Flachhand sowie Einzelfinger (nach: [PLZ<sup>+</sup>89]).



**Abbildung 3.3:** Die sechs Grundsymbole für Fingerverbindungen (nach: [PLZ<sup>+</sup>89]).



**Abbildung 3.4:** Variationen der Grundsymbole für Handformen (aus: [Han10]).

Neben der Möglichkeit, Handformen explizit mit Symbolen zu beschreiben, bietet HamNoSys noch einige spezielle Symbole an, um besondere Handformen darzustellen. So können zwei Handformnotationen kombiniert werden, um eine Handform zu notieren, die zwischen diesen liegt. Außerdem existiert noch ein besonderes Symbol, um eine Hand unterzuspezifizieren, wenn die

genaue Handform nicht festgelegt ist (siehe Abbildung 3.5).

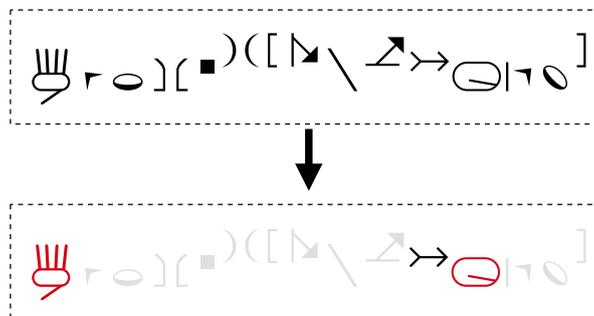


**Abbildung 3.5:** Zwischenhandform (links) und unterspezifizierte Vier-Fingerhandform (rechts).

### 3.1.2 Aktionen

Mit Aktionen kann die Anfangskonfiguration der Gebärde modifiziert werden. Aktionen können handinterne oder handexterne Bewegungen sein sowie Bewegungen der nonmanuellen Komponente. Aktionen können aufeinanderfolgend oder gleichzeitig stattfinden.

Um die Menge der Handformen einer HamNoSys-Notation zu bestimmen, ist vor allem die Ersetzung der Handform entscheidend. Abbildung 3.6 zeigt eine einhändige Gebärde mit der Bedeutung *abhängig* in HamNoSys und die in der Notation vorkommenden Handformen. Die zweite Handform ersetzt die erste, symbolisiert durch den Pfeil vor der zweiten Handform.



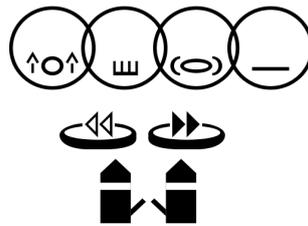
**Abbildung 3.6:** HamNoSys-Notation für *abhängig* (oben), in der Notation vorkommende Handformen (unten).

## 3.2 GebärdenSchrift

GebärdenSchrift basiert auf dem von Valerie Sutton entwickelten Sutton SignWriting. SignWriting entstand aus einem Notationssystem für Tanzbewegungen, das Sutton als Balletttänzerin ursprünglich für den persönlichen Gebrauch entwickelt hatte (vergl. [Wöh03]). Daraufhin wurde sie 1974 von

der Universität Kopenhagen beauftragt, ihr Schriftsystem für ein Gebärdennotationssystem umzuarbeiten. Seitdem wird das so entstandene *SignWriting* fortlaufend von Sutton zusammen mit Gehörlosen weiterentwickelt. Heute stellt es einen Teilbereich des allgemeineren *Sutton Movement Writing* dar, welches zur Aufzeichnung jeglicher Gesten von Lebewesen dienen soll (vergl. [Ben02]).

GebärdenSchrift unterscheidet sich stark von den anderen existierenden Notationssystemen für Gebärdensprachen. Es besteht aus einer großen Menge an Symbolen für Handformen, Kontaktpunkten am Körper, Bewegungen, Mundbildern und mehr. Diese werden auf einer zweidimensionalen Fläche angeordnet, um die notierte Gebärde bildhaft darzustellen (siehe Abbildung 3.7).



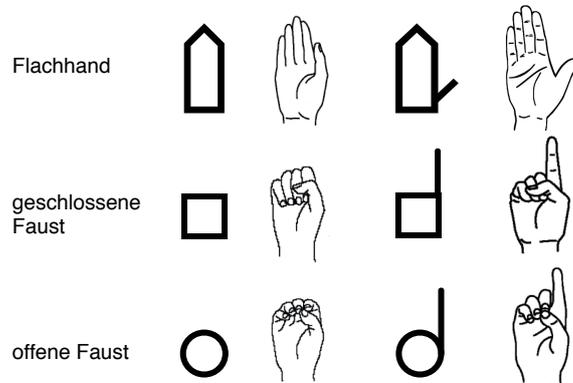
**Abbildung 3.7:** Gebärde mit der Bedeutung *schwimmen* in GebärdenSchrift.

Die Symbole selbst sind ebenfalls zu einem großen Teil bildhaft, so orientiert sich der Aufbau der Handformsymbole beispielsweise an der Form der repräsentierten Handform. Abbildung 3.8 zeigt einige der Handformsymbole der GebärdenSchrift.

Der Aufbau der GebärdenSchrift wird im Folgenden ausgehend von der Struktur des Internationalen SignWriting Alphabets (ISWA) vorgestellt.

### 3.2.1 International SignWriting Alphabet

Das Internationale SignWriting Alphabet ist eine Symbolsammlung aller für GebärdenSchrift verwendeten Symbole. Die Symbole sind kategorisiert und in einer baumartigen Struktur katalogisiert. Wie auch SignWriting selbst wird das SignWriting-Alphabet kontinuierlich weiterentwickelt und existiert zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit in Version *ISWA 2010*.



**Abbildung 3.8:** Grundhandformen (links) und Variationen (rechts) (Quelle: [Wöh05]).

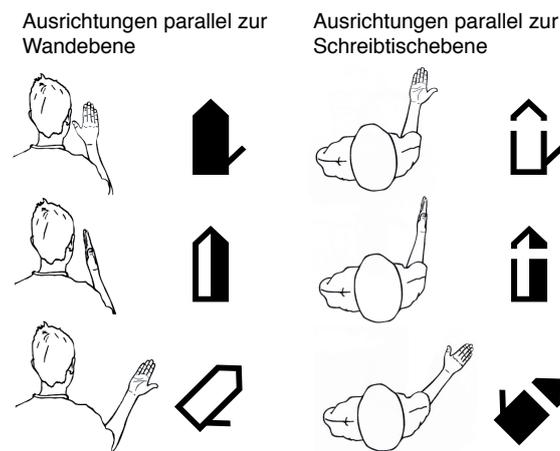
ISWA 2010 besteht aus über 38.000 Symbolen, die in insgesamt sieben Kategorien eingeteilt sind. Davon dienen allerdings nur fünf zum Erfassen von Gebärden als zweidimensionale GebärdenSchrift. Eingeteilt sind die Kategorien wiederum in jeweils zehn Gruppen. Je nach Kategorie unterscheidet sich das Kriterium, nach dem die Symbole gruppiert werden.

Die fünf Kategorien sind (vergl. [Sigb]):

- *Hände*. Diese Kategorie dient zur Erfassung der *manuellen Komponente* einer Gebärde. Die Hände stellen mit knapp 24.500 enthaltenen Symbolen mit Abstand die umfangreichste Kategorie dar.
- *Bewegung*. Diese Kategorie enthält Symbole für Kontakte, handinterne Bewegungen sowie Pfeilsymbole, um handexterne Bewegungen beschreiben zu können.
- *Dynamisierungen*. Mit den Symbolen dieser Kategorie können Symbole der Bewegungskategorie qualifiziert werden. Eine handexterne Bewegung kann so z.B. als langsam oder schnell beschrieben werden.
- *Gesicht und Kopf*. Diese Kategorie enthält Symbole, um das Gesicht zu beschreiben. So können bestimmte Stellen am Kopf, wie Ohr oder Nase, detailliert beschrieben werden. In diese Kategorie fallen auch Symbole zur Beschreibung der Mundbilder. Um das Mundbild einer Gebärde zu notieren, werden in GebärdenSchrift mehrere Kopfsymbole überlappend angeordnet, um den Verlauf der Mundformen zu beschreiben (vergl. Abbildung 3.7).
- *Körper*. Diese Kategorie enthält Symbole, um weitere Körperstellungen zu beschreiben.

Die große Anzahl der Handsymbole ergibt sich zum Teil daraus, dass die ma-

nuelle Komponente entscheidend für die Gebärdensprache und damit auch deren Notation ist. Deshalb sollen möglichst viele Handformen abgebildet werden können. Allerdings ist jede Handform auch mehrfach in der Symbolmenge repräsentiert, da jede Kombination aus Handform und Handstellung durch ein eigenes Symbol dargestellt wird. Die Handstellung ergibt sich aus verschiedenen Variationen eines Symbols für eine Handform. Durch die Füllung des Symbols kann die Drehung der Hand um die eigene Achse beschrieben werden. Eine schwarze Füllung repräsentiert den Handrücken, eine weiße Füllung die Handfläche. Zeigt das Symbol einen Spalt auf Höhe der Fingergrundgelenke, bedeutet das, dass die Hand parallel zum Boden ausgerichtet ist, ansonsten parallel zur Wandebene. Drehungen innerhalb dieser Ebenen werden durch Drehungen des Symbols dargestellt (vergl. Abbildung 3.9). Durch unterschiedliche Handstellungen und durch Spiegelung (zur Darstellung der linken Hand) ergeben sich so pro Handform 96 Variationen.



**Abbildung 3.9:** Ausrichtungen der Hand (links) und entsprechende Darstellungen in Gebärdenschrift (rechts) (Quelle: [Wöh05]).

Innerhalb der Kategorien und Gruppen sind die Symbole weiter hierarchisch eingeteilt, bei den Handsymbolen nach Spiegelung und Handstellung. Jedes Symbol wird durch eine 13-stellige Identifikationsnummer eindeutig benannt. Die Nummer ist nach der hierarchischen Struktur aufgebaut, weshalb zu jedem Handsymbol problemlos die Grundhandform (ohne Rotationen) bestimmt werden kann.

### 3.3 Phonetische Eigenschaften von Gebärdennotationssystemen

Die Verschriftung von Gebärden mit den heute existierenden Notationssystemen unterscheidet sich von den meisten Schriftsystemen für Lautsprachen dadurch, dass die Gebärdennotationssysteme versuchen, Phoneme der Gebärde möglichst exakt zu beschreiben. Zwar beschreiben nicht alle Notationssysteme alle Gebärden-Phoneme in der gleichen Detailliertheit, die manuelle Komponente jedoch wird in allen Gebärdennotationen detailliert beschrieben. So erfasst beispielsweise ein Handsymbol des ISWA-Alphabets eine bestimmte Handform sowie die Stellung und Drehung im Raum eindeutig und sehr detailliert.

Gegensätzlich verhält es sich bei Schriften für Lautsprachen. Ein Buchstabe im lateinischen Alphabet ist oftmals nicht eindeutig einem Laut – also einem lautsprachlichen Phonem – zuzuordnen. Seine Bedeutung kann im Kontext eines geschriebenen Wortes unterschiedlich sein (z.B. der Buchstabe *o* in *toll* und *vor*).

Diese Eigenschaft von Gebärdennotationssystemen macht den in dieser Arbeit betrachteten Ansatz erst plausibel, da den Symbolen zur Handformbeschreibung eindeutig eine Handform zugeordnet werden kann.

Eine weitere Besonderheit von Gebärdennotationssystemen ist die Tatsache, dass die Phoneme – zumindest bei der manuellen Komponente – oft in einer direkten (Eins-zu-Eins-) Beziehung zu ihrer Notation stehen. Damit ist gemeint, dass die Form des notierten Phonems die Gestalt der Handform beschreibt. Sowohl in GebärdenSchrift als auch im HamNoSys werden Handformen mit den Stellungen der einzelnen Finger und deren Ausrichtung beschrieben. Damit repräsentiert ein Handformsymbol also unabhängig von einer bestimmten Gebärden-Landessprache eine bestimmte Handform. Egal welche Gebärdensprache verschriftet wird, das Symbol steht immer für die gleiche Handform.

Buchstaben im lateinischen Alphabet weisen dagegen keine direkte Beziehung auf zwischen ihrer Form und der Art des Lautes, den sie beschreiben (*v* beschreibt im Deutschen einen anderen Laut als im Englischen, z.B. in dem deutschen Wort *Vogel* und im englischen Wort *very*).

Selbst die Analogie zu Lautschriften wie IPA ist begrenzt: denn IPA beschreibt, wie Laute artikuliert werden, also z.B. Mundöffnungen für Vokale und Luftstrommechanismen für Konsonanten. Damit wird allerdings nur die Bildung eines Lautes erklärt. Für Sprechende einer Lautsprache ergibt sich der Laut jedoch nicht aus der Artikulation im Mundraum, sondern durch die akustische Wahrnehmung mit den Ohren. Wenn zwei Laute ähnlich gebildet werden, müssen sie nicht auch ähnlich klingen.

In Gebärdennotationen wird durch die Notation einer Handform die Erscheinungsform der Hand beschrieben. Dies ist mithin auch das, was der Kommunizierende letztlich sieht und versteht.

Bei der Verschriftung einer Gebärde wird der Schreibende also Symbole verwenden, die in dem verwendeten Notationssystem (sprachunabhängig) eine große Ähnlichkeit zu der notierten Handform aufweisen. Aus dem Symbol kann mit hohem Detailgrad auf die Handform geschlossen werden. Durch einen Vergleich der Handformen kann deshalb ein Rückschluss auf die Ähnlichkeit der Handnotationen gezogen werden.

Aufgrund dieser besonderen Eigenschaften von Gebärdennotationen erscheint es sinnvoll, für die Bewertung der Ähnlichkeit von Phonemen die Ähnlichkeit der Handformen selbst als Maß heranzuziehen.

## Kapitel 4

# Ein Modell zum Vergleich von Gebärden

Im Folgenden wird ein Ansatz zum Vergleich von Gebärden vorgestellt. Der Vergleich soll auf den in den Gebärden vorkommenden Handformen basieren, deshalb soll zunächst argumentiert werden, warum die Beschränkung auf die Handformen sinnvoll ist.

Anschließend wird ein Modell von Handformen eingeführt, mit dem Handformen Notationssystem-unabhängig repräsentiert werden können. Mithilfe dieses Modells wird ein Distanzmaß für Handformen definiert. Aus diesem Maß wiederum wird ein Maß zur Abweichung von Gebärden abgeleitet. Andere bedeutungstragende Aspekte der Gebärde wie Bewegung und räumliche Anordnung werden nicht berücksichtigt. Dies erhöht die Anwendbarkeit des Distanzmaßes und senkt die Komplexität des Vergleichs, führt aber zwangsläufig auch zu einem weniger aussagekräftigen Ergebnis, da bedeutungsunterscheidende Informationen nicht berücksichtigt werden können.

Im Folgenden wird das Maß für die Distanz von zwei Gebärden  $G_1$  und  $G_2$  als  $\Delta_{G_1, G_2}$  bezeichnet mit  $\Delta_{G_1, G_2} = \Delta(G_1, G_2)$ .

### 4.1 Anforderungen an das Distanzmaß

Das hier erarbeitete Maß zum Vergleich von Gebärden soll auf den Vergleich von Gebärdennotationen anwendbar sein. Dabei soll es unabhängig von einem bestimmten Notationssystem funktionieren und somit auch für Notationssystem-übergreifende Vergleiche anwendbar sein. Für den in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfall muss die Distanz bei zwei Notationen einer identischen Gebärde minimiert sein. Daraus ergeben sich als Anforderungen:

1. *Notationssystem-Unabhängigkeit*. Das Distanzmaß ist auf möglichst viele Notationssysteme anwendbar.
2. *Definitheit (1)*.  $G_1 = G_2 \iff \Delta_{G_1, G_2} = 0$

Außerdem ist wünschenswert, dass das Distanzmaß ein Indikator für die Ähnlichkeit von Gebärden ist und einige weitere grundlegende Bedingungen für eine sinnvolle Definition von *Distanz* erfüllt:

3. *Gültigkeit als Ähnlichkeitsmaß*. Das Distanzmaß soll dem subjektiven Empfinden von Ähnlichkeit möglichst gut entsprechen.
4. *Definitheit (2)*.  $\Delta_{G_1, G_2} \geq 0$
5. *Symmetrie*.  $\Delta_{G_1, G_2} = \Delta_{G_2, G_1}$
6. *Dreiecksungleichung*.  $\Delta_{G_1, G_2} \leq \Delta_{G_1, G_3} + \Delta_{G_3, G_2}$

Damit *Anforderung 1* erfüllbar ist, muss das Distanzmaß auf Komponenten der Gebärden aufbauen, die in möglichst vielen Notationssystemen auslesbar sind. Wie später erkennbar wird, hat dies vor allem Auswirkungen auf die Anforderung der Definitheit, da von der Distanz zwangsläufig nicht mehr auf die Gleichheit geschlossen werden kann, wenn bedeutungstragende Aspekte der Gebärden nicht berücksichtigt werden. *Anforderung 3* muss empirisch nachgewiesen werden. Da das Erfülltsein dieser Anforderung für den in Kapitel 1 vorgestellten Anwendungsfall allerdings nicht entscheidend ist, erfolgt im Rahmen dieser Arbeit keine abschließende Evaluation dieser Anforderung. Die *Anforderungen 2* und *4 - 6* sind mithilfe der Definitionen direkt überprüfbar.

## 4.2 Handformen als Basis für den Gebärdenvergleich

Wie in Kapitel 3 beschrieben, bilden die verschiedenen Notationssysteme für Gebärden Aspekte der Gebärde unterschiedlich detailliert ab. Ein Distanzmaß, das Notationssystem-übergreifend anwendbar sein soll, muss deshalb vor allem auf denjenigen Komponenten aufbauen, die in möglichst allen Notationssystemen detailliert abgebildet werden. Die *manuelle Komponente* scheint dieses Kriterium zu erfüllen, da sie für den Bedeutungsinhalt der Gebärde von entscheidender Bedeutung ist und deshalb in jedem Notationssystem berücksichtigt wird.

Allerdings werden nicht alle Parameter der manuellen Komponente in allen Notationssystemen im gleichen Maße unterstützt. So ist z.B. die *Handbewegung* in GebärdenSchrift zwar detailliert beschreibbar, die Zugehörigkeit eines Bewegungssymbols zu einem Handsymbol ist aufgrund der zweidimensionalen Anordnung jedoch implizit und kann oftmals nicht eindeutig zugeordnet werden – vor allem nicht, wenn diese Zuordnung automatisiert erfolgen soll. Das zuverlässige Auslesen dieses Parameters kann also je nach

Notationssystem hohen Aufwand bedeuten. Die *Handformen* werden dagegen in jedem betrachteten Notationssystem so detailliert beschrieben, dass sie eindeutig aus einer verschrifteten Gebärde ausgelesen werden können.

Sollen beliebige Gebärden verglichen werden, reicht ein Vergleich der Handformen sicher nicht aus. Viele Gebärden enthalten exakt die gleichen Handformen und unterscheiden sich trotzdem signifikant, entweder in anderen Parametern der manuellen Komponente oder in ihrer nonmanuellen Komponente. Für den Anwendungsfall, der zu dieser Arbeit geführt hat, kann die Menge der zu vergleichenden Gebärden jedoch bereits beträchtlich reduziert werden, indem zur Vorauswahl die in den Wörterbüchern hinterlegten Bedeutungen der Einträge abgeglichen werden. So müssen z.B. für eine Gebärde mit der Bedeutung *Frau* nur Gebärden verglichen werden, die ebenfalls *Frau* als Bedeutung enthalten. Es stellt sich die Frage, ob ein Vergleich, der sich nur auf die Handformen bezieht, in einem derart eingeschränkten Anwendungsfall adäquat ist, um die oben aufgestellten Anforderungen zu erfüllen.

Deshalb soll in den folgenden Abschnitten ein Distanzmaß für Gebärden definiert werden, das sich nur an den Handformen der Gebärden orientiert.

#### 4.2.1 Maße der Handform

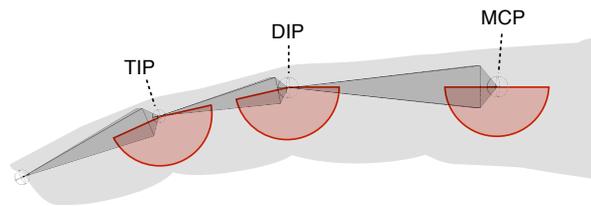
Konfigurationen der Hand lassen sich durch die Stellung der Finger sowie die Form des Handballens beschreiben. Durch das Skelett der Hand ist die räumliche Anordnung der Fingerknochen relativ zueinander festgelegt. Daher ist es für die Beschreibung einer Handform nicht nötig, die räumlichen Positionen aller Handkomponenten anzugeben. Vielmehr reicht es, die Winkelgrade der Krümmungen der Handknochen relativ zueinander festzuhalten (vergl. [Alk08]).

Die menschliche Hand besteht aus fünf Fingern, von denen Zeige-, Mittel-, Ringfinger und kleiner Finger aus drei Fingerknochen bestehen, der Daumen aus zwei Fingerknochen. Die Fingerknochen sind durch die sogenannten Interphalangealgelenke miteinander verbunden, man unterscheidet dabei zwischen den Fingermittegelenken (proximales Interphalangealgelenk, PIP) und den Fingerendgelenken (distales Interphalangealgelenk, DIP). Die Interphalangealgelenke sind in ihren Bewegungen stark eingeschränkt und besitzen nur einen Freiheitsgrad, der das Krümmen des Fingers ermöglicht.

Jeder Finger ist ebenfalls durch ein Fingergrundgelenk mit einem der fünf Mittelhandknochen verbunden. Die Fingergrundgelenke (Articulatio metacarpophalangeales, MCP) sind bei Zeige-, Mittel-, Ringfinger und kleinem Finger um zwei Achsen drehbar und ermöglichen so das Spreizen sowie das Krümmen der Finger. Das Daumengrundgelenk kann ebenfalls gekrümmt und minimal gespreizt werden (vergl. [GA10]). Abbildung 4.1 zeigt eine mögliche Stellung eines modellierten Fingers und die Winkelgrade der Gelenke

um die lokale X-Achse.

Eine Sonderstellung nimmt das Daumensattelgelenk ein, welches den Mittelhandknochen des Daumens mit der Handwurzel verbindet. Es verfügt über zwei Freiheitsgrade und dreht sich je nach Krümmung und Spreizung zwangsläufig zusätzlich um die eigene Achse (vergl. [GA10, S. 438]). Die möglichen Rotationen des Sattelgelenks lassen sich hinreichend durch ein einzelnes Gelenk mit drei Freiheitsgraden beschreiben (vergl. [Alk08, S. 81-83]). Da die Fingerkrümmungen miteinander korrelieren, könnte die Beschreibung noch weiter auf zwei Freiheitsgrade eingeschränkt werden (vergl. [MTA<sup>+</sup>00]). Dafür müssen die einzelnen Gelenkkrümmungen jedoch zueinander in Beziehung gesetzt werden. Um die Komplexität des Handmodells gering genug für diese Arbeit zu halten, werden diese Abhängigkeiten nicht Teil des Modells und die Bewegungen des Daumensattelgelenks werden stattdessen durch drei Achsendrehungen abgebildet. In Abbildung 4.2 sind die für die Handformmodellierung relevanten Freiheitsgrade der Fingergelenke dargestellt.



**Abbildung 4.1:** Krümmungen der Fingergelenke um die lokale X-Achse.

Für eine hinreichende Beschreibung der Handform reicht also ein Tupel von Winkelgraden im  $\mathbb{R}^{21}$  aus: Die Mittel- und Endfingerglieder des Zeige-, Mittel-, Ringfingers und des kleinen Fingers haben jeweils nur einen Freiheitsgrad. Die Basisfingergelenke besitzen zwei Freiheitsgrade. Das Basisgelenk des Daumens kann wie beschrieben durch drei Freiheitsgrade abgebildet werden. Fingermittel- und Fingerendgelenke des Daumens haben wieder jeweils nur einen Freiheitsgrad.

#### 4.2.2 Gewichtung

Um den Einfluss einer Gelenkkrümmung auf die Handform abzubilden, müssen die Krümmungen der Fingergelenke gewichtet werden. Die Krümmung eines Fingerendgelenks z.B. wirkt sich nur auf einen kleinen Teil der Hand, nämlich eine einzelne Fingerkuppe, aus. Die Krümmung des Fingermittelgelenks oder des Fingergrundgelenks schließt diese Krümmung allerdings mit ein und sollte deshalb entsprechend stärker in den Messwert eingehen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Gewichtung der Gelenke anhand von

Finger	Gelenke	Achsen	Freiheitsgrade
Daumen	MCP	X, Y, Z	3
Zeigefinger	MCP	X, Y	2
Mittelfinger	MCP	X, Y	2
Ringfinger	MCP	X, Y	2
Kleiner Finger	MCP	X, Y	2
Daumen	PIP	X	1
Zeigefinger	PIP	X	1
Mittelfinger	PIP	X	1
Ringfinger	PIP	X	1
Kleiner Finger	PIP	X	1
Daumen	DIP	X	1
Zeigefinger	DIP	X	1
Mittelfinger	DIP	X	1
Ringfinger	DIP	X	1
Kleiner Finger	DIP	X	1

**Abbildung 4.2:** Fingergelenke und ihre Freiheitsgrade (nach [Alk08]). Das Daumengrundgelenk wird abweichend mit drei Freiheitsgraden modelliert.

Überlegungen festgelegt und iterativ verfeinert. Folgende Beobachtung war dabei entscheidend: Ein Gelenk, welches ein anderes Gelenk mitbewegt, schließt die Auswirkungen seiner Untergelenke auf die Handform mit ein. Dies kann berücksichtigt werden, indem die Krümmung eines Fingergelenks doppelt so stark in die Berechnung einfließt wie die des nächsten Untergelenks. Ein MCP-Gelenk fließt also doppelt so stark in die Berechnung ein wie ein PIP-Gelenk, ein PIP-Gelenk doppelt so stark wie ein DIP-Gelenk. Bei der Erprobung des Verfahrens zeigte sich allerdings, dass die Krümmungen der DIP-Gelenke sich trotzdem noch zu stark auf die Distanz zwischen zwei Handformen auswirkten. Deshalb wurde die Gewichtung der DIP-Krümmungen für die Finger II-V noch weiter auf  $\frac{1}{8}$  verringert.

### 4.3 Ein Maß für die Gebärdendistanz

Um die Distanz zweier Gebärden zu definieren, werden nun mehrere Maße und Abbildungen definiert, welche aufeinander aufbauend eine Berechnung der Gebärdendistanz auf Handformbasis erlauben. Diese Maße sind:

- Die *Gewichtete Handformdistanz*  $HFD$  ist die Summe der Winkeldifferenzen zweier Handformen (vergl. 4.2.1) zueinander. Die Differenzen werden gewichtet aufsummiert, um den Einfluss spezifischer Gelenkkrümmungen auf die äußere Erscheinung der Handform abbilden zu können (4.2.2).

- Die *Minimale Handformmengendistanz MHFD* misst den Abstand zweier verglichener Mengen von Handformen. Die MHFD ist so definiert, dass die Distanz der einander zugeordneten Handformen minimiert wird. Um auch den Fall zu berücksichtigen, dass zwei Handformmengen mit unterschiedlicher Kardinalität verglichen werden, ist MHFD als zweiwertiges Tupel definiert, das zum einen die Kardinalitätsdifferenz und zum anderen die Handformdifferenz darstellt.
- Die *Gebärdendistanz* schließlich misst den Abstand zweier verglichener Gebärden. Da jede Gebärde aus zwei Handformmengen besteht (eine enthält die Handformen der dominanten Hand, die andere die der nichtdominanten Hand), wird die Gebärdendistanz als Kombination von zwei MHFDs definiert.

### 4.3.1 Gewichtete Handformdistanz HFD

Wie in Kapitel 4.2.1 erarbeitet, werden Handformen im Folgenden als 21-Tupel reeller Zahlen aufgefasst.

Die *Handformdistanz HFD* zweier Handformen  $H$  und  $J$  zueinander kann damit als gewichtete Summe der Differenzen der einzelnen Winkelgrade definiert werden:

$$\text{HFD}(H, J) := \sum_{i=1}^{21} w_i \cdot \delta(h_i, j_i) \quad (4.1)$$

wobei

- $H = (h_1, \dots, h_{21})$  und  $J = (j_1, \dots, j_{21})$  mit  $0 \leq h_i, j_i \leq 2\pi$
- $w_i \in \mathbb{R}^+$  Gewichtungen der Fingergelenke sind und es gilt:  $0 < w_i \leq 1$
- $\delta(h, j) := \min(|h - j|, 2\pi - |h - j|)$  die Differenz der Winkel  $h$  und  $j$  zueinander ist

### 4.3.2 Minimale Handformmengendistanz MHFD

Auf Basis der in 4.3.1 definierten Handformdistanz lässt sich nun die Distanz zweier *Handformmengen* zueinander definieren. Da in einer Handformmenge mehrere Handformen vorkommen können, muss festgelegt werden, welche Handformen miteinander verglichen werden sollen. Zu diesem Zweck wird eine *minimale Handformkombination* definiert. Dies ist eine injektive Abbildung von einer Handformmenge zu einer anderen, bei der die Handformdistanzen minimiert werden.

Seien:

- $H_1$  und  $H_2$  endliche Handformmengen mit  $|H_1| \leq |H_2|$
- $F := \{f | f : H_1 \rightarrow H_2, f \text{ injektiv}\}$  die Menge der injektiven Abbildungen von  $H_1$  nach  $H_2$
- $\delta_f := \sum_{h \in H_1} \text{HFD}(h, f(h))$  die Summe der Handformdistanzen der durch  $f \in F$  einander zugeordneten Handformen

Dann ist eine *Minimale Handformkombination MHFK* von  $H_1$  und  $H_2$  definiert als eine Abbildung, für die gilt:

$$\text{MHFK}(H_1, H_2) := f \in F : \forall g \in F : \delta_f \leq \delta_g$$

Eine MHFK ist also eine Abbildung, die die Handformen so zuordnet, dass sich die summierte Distanz minimiert. Für zwei gegebene Handformmengen können mehrere minimale Handformkombinationen existieren. Ist dies der Fall, ist im Folgenden mit MHFK eine beliebige, aber feste Abbildung mit den genannten Eigenschaften gemeint.

Zu der MHFK lässt sich nun leicht die *minimale durchschnittliche Handformdistanz* berechnen mit:

$$\Delta_{\text{MHFK}} := \frac{\delta_{\text{MHFK}}}{|H_1|}$$

$\Delta_{\text{MHFK}}$  stellt also die durchschnittliche Handformdistanz dar, wenn die Handformen optimal miteinander kombiniert werden.

Da die Handformmengen unterschiedlich viele Handformen enthalten können, muss dies bei einer sinnvollen Definition eines Abstandsmaßes ebenfalls berücksichtigt werden. Je größer der Unterschied bei der Anzahl der Handformen ist, desto größer soll auch die Distanz der beiden Mengen bewertet werden. Die Gebärdendistanz wird daher als Wertepaar definiert, mit der Anzahl nicht zugeordneter Handformen an erster und  $\Delta_{\text{MHFK}}$  an zweiter Stelle.

Als die *Handformmengendistanz MHFD* für  $H_1$  und  $H_2$  ergibt sich also insgesamt:

$$\text{MHFD}(H_1, H_2) := (U, D)$$

wobei:

- $U := ||H_1| - |H_2|| \in \mathbb{N}_0$  die Anzahl nicht zuordenbarer Handformen ist
- $D := \Delta_{\text{MHFK}}$  die minimale durchschnittliche Handformdistanz ist

Die Ordnungsrelation  $\leq$  zwischen MHFDs (mit  $\text{MHFD}_i = (U_i, D_i)$ ) wird folgendermaßen definiert:

$$\begin{aligned} \text{MHFD}_1 = \text{MHFD}_2 &\iff (U_1 = U_2) \wedge (D_1 = D_2) \\ \text{MHFD}_1 < \text{MHFD}_2 &\iff (U_1 < U_2) \vee ((U_1 = U_2) \wedge (D_1 < D_2)) \\ \text{MHFD}_1 \leq \text{MHFD}_2 &\iff (\text{MHFD}_1 < \text{MHFD}_2) \vee (\text{MHFD}_1 = \text{MHFD}_2) \end{aligned}$$

Die Addition von MHFDs wird als Addition der einzelnen Komponenten definiert:

$$\text{MHFD}_1 + \text{MHFD}_2 = (U_1 + U_2, D_1 + D_2) \quad (4.2)$$

### 4.3.3 Gebärdendistanz

MHFD dient im Folgenden als Grundlage für die Definition der Gebärdendistanz. Zunächst können die in einer Gebärde vorkommenden Handformen nach ihrer Zugehörigkeit zur dominanten bzw. nichtdominanten Hand aufgeteilt werden. So ergeben sich pro Gebärde zwei Mengen an Handformen, die jeweils mit einer der Handformmengen der anderen Gebärde verglichen werden. Da die Handformmengen einer Gebärdennotation nicht in jedem Notationssystem eindeutig der dominanten oder der nichtdominanten Hand zugeordnet werden können, werden beide möglichen Paarungen der Handformmengen betrachtet und es wird die Paarung verwendet, die zu einer geringeren MHFD führt.

Gebärden sind hier definiert als *Paare von Handformmengen*:

$G := (H_d, H_{nd})$ . Dann ist die *Gebärdendistanz* zweier Gebärden  $G_1$  und  $G_2$  definiert als:

$$\Delta_{G_1, G_2} := \min(\text{HMK}_1, \text{HMK}_2) \quad (4.3)$$

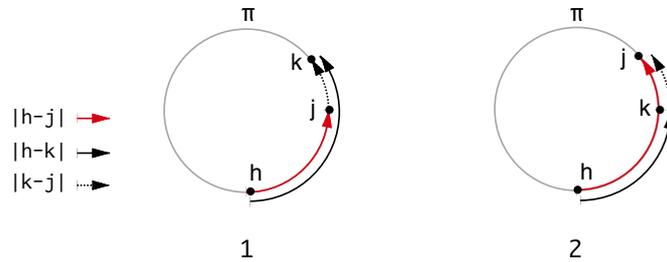
wobei:

- $\text{HMK}_1 = \text{MHFD}(H_{d1}, H_{d2}) + \text{MHFD}(H_{nd1}, H_{nd2})$
- $\text{HMK}_2 = \text{MHFD}(H_{d1}, H_{nd2}) + \text{MHFD}(H_{nd1}, H_{d2})$

### 4.3.4 Evaluation der Anforderungen

Nachdem das Distanzmaß  $\Delta_{G_1, G_2}$  nun definiert ist, sollen die zuvor definierten Anforderungen evaluiert werden. Eine Ausnahme bildet dabei die Anforderung *Gültigkeit als Ähnlichkeitsmaß*, die im Rahmen dieser Arbeit nicht empirisch nachgewiesen, sondern nur argumentativ betrachtet werden soll.

1. *Notationssystem-Unabhängigkeit.* Zur Berechnung des Distanzmaßes werden nur die Handformen der verglichenen Gebärde betrachtet. Diese sind in allen betrachteten Notationssystemen so detailliert beschrieben, dass die Anwendung des Distanzmaßes für diese möglich ist.
2. *Definitheit (1).*  $G_1 = G_2 \iff \Delta(G_1, G_2) = 0$   
Das Erfülltsein dieser Anforderung kann folgendermaßen nachgewiesen werden: Wenn beide Gebärden identische Handformen enthalten, gibt es eine Handformkombination, die jeweils die gleichen Handformen einander zuordnet. In genau diesem Fall berechnen sich alle Handformdistanzen zu  $HFD = 0$  und die Anzahl der nicht zugeordneten Handformen ist ebenfalls 0. Damit ergibt sich als Distanz  $\Delta_{G_1, G_2} = (0, 0)$ . Dies gilt natürlich nur für die Handformen der Gebärden. Andere Parameter können abweichen, da sie in dem Distanzmaß nicht berücksichtigt sind.
3. *Gültigkeit als Ähnlichkeitsmaß.* Diese Anforderung kann im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend evaluiert werden. Allerdings ist leicht nachzuvollziehen, dass als weiter voneinander abweichend empfundene Handformen zu einer größeren Gebärdendistanz führen, da sich jede abweichende Gelenkkrümmung auf die Distanz auswirkt. Zu klären ist vor allem, wie aussagekräftig der Distanzwert zwischen Handformen ist, bei denen unterschiedliche Teile der Hand voneinander abweichen. So ist bei der definierten Distanz z.B. der Abstand der Flachhand zu einer Handform mit gekrümmtem Zeigefinger genauso groß wie der Abstand zu einer Handform mit gekrümmtem kleinen Finger. Hier wäre zu überprüfen, inwieweit dies mit der empfundenen Ähnlichkeit korreliert.
4. *Definitheit (2).*  $\Delta(G_1, G_2) \geq 0$   
Aus der Definition von HFD ergibt sich, dass diese immer  $\geq 0$  ist, da die Winkeldifferenzen immer  $\geq 0$  sind (vergl. Gleichung 4.1). Da sich die Gebärdendistanz als Summe von HFDs errechnet und die Anzahl nicht zuordenbarer Handformen ebenfalls immer  $\geq 0$  ist, ist die Anforderung erfüllt.
5. *Symmetrie.*  $\Delta(G_1, G_2) = \Delta(G_2, G_1)$   
Da die Addition von MHFDs kommutativ definiert ist (vergl. Gleichung 4.2), ist auch die Gebärdendistanz kommutativ und die Anforderung somit erfüllt.
6. *Dreiecksungleichung.*  $\Delta_{G_1, G_2} \leq \Delta_{G_1, G_3} + \Delta_{G_3, G_2}$   
Da die Dreiecksungleichung für Winkelabstände gilt (vergl. Abbildung 4.3), gilt sie auch für HFD als Summe von Winkelabständen. Für eine Menge von Handformen und damit für MHFD gilt die Ungleichung dann ebenfalls, da die Handformdistanzen durch Hintereinanderausführung nicht kleiner werden können.



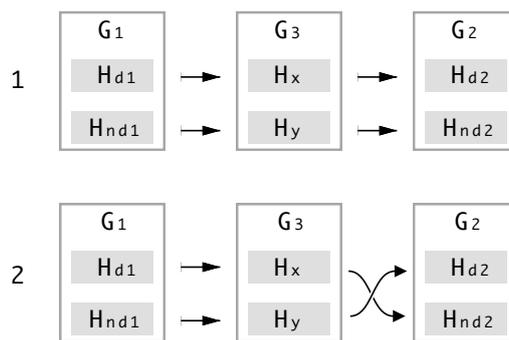
**Abbildung 4.3:** Gültigkeit der Dreiecksungleichung für Winkeldifferenzen.  
 1. Fall:  $|h - j| < |h - k|$ , 2. Fall:  $|h - j| > |h - k|$ .

Bleibt noch zu zeigen, dass auch durch die Umsortierung der beiden Handformmengen bei der Gebärdendistanz die Dreiecksungleichung nicht verletzt werden kann.

Seien:

- $\Delta_{G_1, G_2} = \text{MHFD}(H_{d1}, H_{d2}) + \text{MHFD}(H_{nd1}, H_{nd2})$
- $\Delta_{G_1, G_3} = \text{MHFD}(H_{d1}, H_x) + \text{MHFD}(H_{nd1}, H_y)$

Dann gibt es zwei Möglichkeiten, wie die Handformmengen für  $\Delta_{G_3, G_2}$  zugeordnet sein können (siehe Abbildung 4.4). Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu überschreiten, soll auf eine formale Betrachtung aller möglichen Fälle an dieser Stelle verzichtet werden. Anhand der Abbildung 4.4 lässt sich aber nachvollziehen, dass keiner der abgebildeten Pfade von  $G_1 \rightarrow G_3 \rightarrow G_2$  zu einer kleineren Distanz führen kann als der direkte Pfad von  $G_1 \rightarrow G_2$ . Somit ist die Ungleichung auch für die Gebärdendistanz erfüllt.



**Abbildung 4.4:** Mögliche Zuordnungen der Handformmengen für  $\Delta_{G_1, G_3} + \Delta_{G_3, G_2}$ .

Damit erfüllt das Distanzmaß die am Anfang des Kapitels gestellten formalen Anforderungen. Es bleibt zu überprüfen, ob es auch die Anforderung

des Anwendungsfalls erfüllt, also ob es geeignet ist, unterschiedliche Notationen derselben Gebärde aus einer begrenzten Menge von Alternativen zu erkennen. Um dies zu überprüfen, wird ein Verknüpfungswerkzeug prototypisch umgesetzt, mit dessen Hilfe der Anwendungsfall getestet werden kann. Die praktische Umsetzung wird im folgenden Kapitel beschrieben, bevor anschließend das Distanzmaß erprobt wird.

# Kapitel 5

## Umsetzung

Nachdem in Kapitel 4 der Ansatz zum Gebärdenvergleich erarbeitet wurde, soll im folgenden Kapitel die praktische Umsetzung vorgestellt werden, bei der das Distanzmaß auf den Vergleich von Gebärdennotationen angewendet wird. Um die Handformen abbilden zu können, wurde ein dreidimensionales Handmodell erstellt und mit dessen Hilfe wurden Handformen aus GebärdenSchrift und HamNoSys modelliert. Das als iPad-App entwickelte Evaluationswerkzeug verwendet die modellierten Handformen, um das in Kapitel 4 beschriebene Distanzmaß für konkrete Gebärdennotationen berechnen zu können und so den Verknüpfungsprozess zu verbessern. Konkret kann das Verknüpfungswerkzeug Wörterbuch-Einträge mit GebärdenSchrift-Notation und Einträge aus Fachgebärden-Lexika miteinander verknüpfen. Die Fachgebärden sind in HamNoSys notiert.

### 5.1 Entwurf des dreidimensionalen Handmodells

In diesem Abschnitt wird die Umsetzung des Handmodells zur Berechnung des Distanzmaßes beschrieben. Zuerst wird das Modellierungswerkzeug vorgestellt, mit dem die Handstruktur und die Handformen modelliert wurden. Anschließend wird das Handmodell vorgestellt sowie das Datenformat, in dem die einzelnen Handformen gespeichert werden.

#### 5.1.1 Modellierung mit Blender

Als Modellierungswerkzeug für das Handmodell wurde Blender gewählt. Blender ist ein quelloffenes, plattformübergreifendes 3D-Grafikwerkzeug (siehe [Ble]). Es enthält eine Vielzahl von Funktionen, darunter die Möglichkeit, 3D-Figuren zu modellieren und zu animieren. Außerdem verfügt es über spezielle *Armature-Objekte*, um Modelle mit Knochenstrukturen auszustatten.

Die Knochenstruktur kann dann in unterschiedliche Posen überführt werden. Neben den Modellierungswerkzeugen verfügt Blender zudem über eine tiefgreifende Integration der Skriptsprache Python. So können programmatisch Eigenschaften der 3D-Modelle ausgelesen und manipuliert werden.

Blender dient bei der Umsetzung als Werkzeug für zwei Aufgaben:

1. Als Modellierungs-Werkzeug für das Handmodell
2. Als Modellierungs-Werkzeug der einzelnen Handformen anhand der Knochenstruktur des Handmodells

Die Modellierung des Handmodells ist ein einmaliger Prozess, die Modellierung der Handformen muss für jede in einem Notationssystem vorkommende Handform durchgeführt werden.

### 5.1.2 Handmodell

Das Handmodell bildet alle in Kapitel 4.2.1 beschriebenen relevanten Handformmaße ab. Die entscheidende Komponente des Modells ist die Armature-Struktur, mit der die Handformen durch Ausrichtung der einzelnen Knochenobjekte modelliert werden können. Die Freiheitsgrade der einzelnen Gelenke wurden nicht auf die in der Realität beschränkten möglichen Krümmungswinkel eingeschränkt, da diese sehr exakt festgelegt werden müssten und dies den Rahmen dieser Diplomarbeit überschreiten würde. Somit ist es mit diesem Handmodell möglich, Handformen abzubilden, die in der Realität nicht geformt werden können, z.B. indem die Fingergrundgelenke zu weit nach außen gekrümmt werden. Da die Handformen manuell modelliert werden, stellt dies allerdings kein Problem dar, solange sich der Modellierende dessen bewusst ist. Das modellierte Handmodell ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Um den Modellierungsprozess zu vereinfachen und es dem Modellierenden zu ermöglichen, die Handform besser zu validieren, wurde die Knochenstruktur mit einem Modell einer menschlichen Hand verknüpft. Bei der Ausrichtung der Armaturen bildet das Modell der Hand die Pose nach. So ist optisch leicht zu erkennen, ob die Gelenkkrümmungen korrekt sind.

Die Knochenstruktur ist hierarchisch aufgebaut. Knochenobjekte können an einen Elternknochen geknüpft sein und selbst Eltern anderer Knochen sein. Abbildung 5.2 zeigt den hierarchischen Aufbau aller Knochen des Handmodells. Wird ein Knochen um eine Achse rotiert, verändert sich entsprechend die Position der Kindknochen. Die lokale Ausrichtung eines Kindknochens bleibt relativ zu seinem Elternknochen jedoch unverändert.

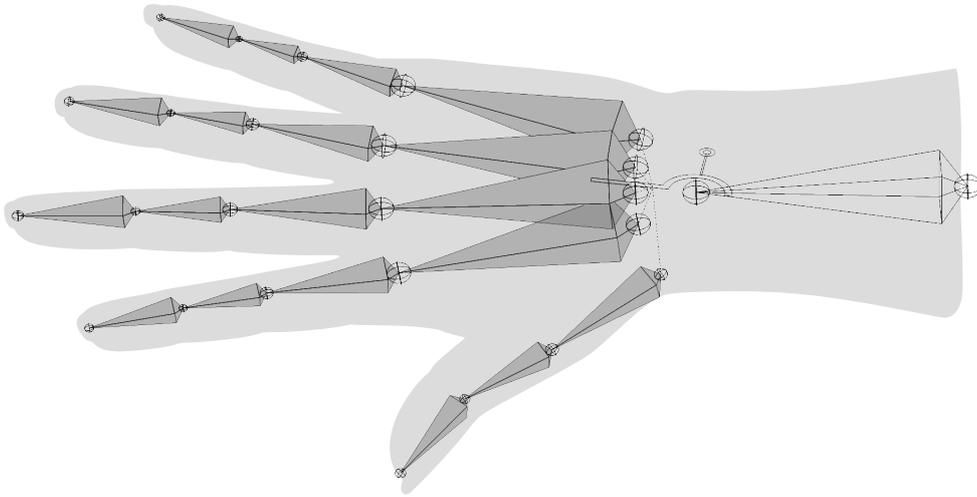


Abbildung 5.1: Das Handmodell zur Modellierung der Handformen.

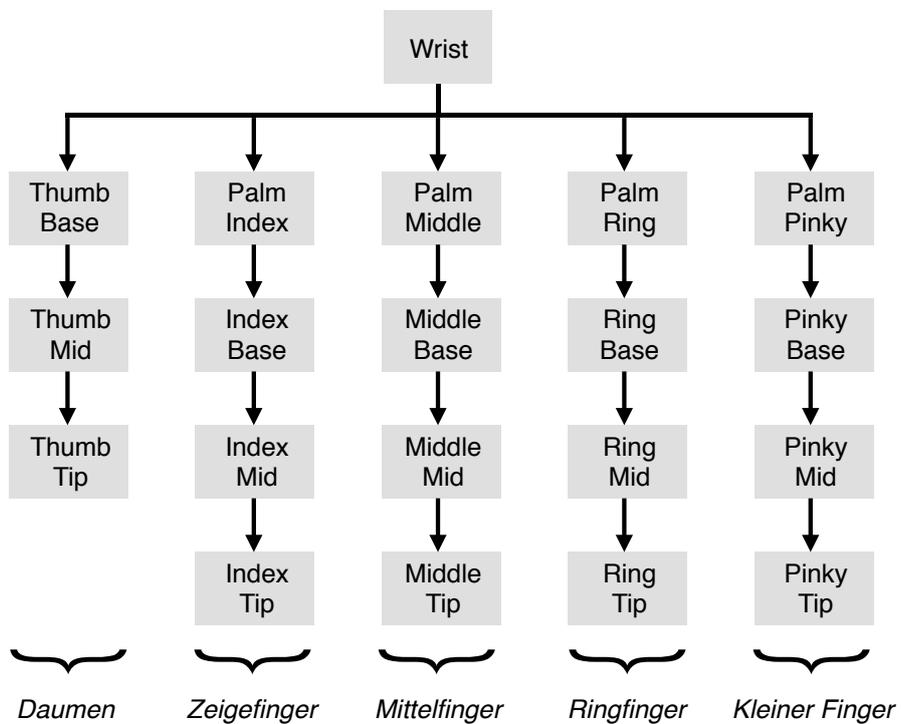


Abbildung 5.2: Die Hierarchie der Knochenstruktur.

### 5.1.3 Handform-Dokumentformat SHP

Die modellierten Handformen müssen für die Distanzmessung außerhalb von Blender verfügbar gemacht werden. Um die Gelenkkrümmungen für den Vergleich zu erhalten, wurde das XML-Dokumentformat SHP (Sign Hand Pose) entworfen (vergl. Anhang A). Zur Erstellung von SHP-Dokumenten wurde ein Python-Skript in Blender eingebunden, das die Gelenkkrümmungen der Knochen des Handmodells ausliest und in eine Datei speichert. Ein weiteres Skript ermöglicht das Laden von SHP-Dokumenten in Blender, um die Knochen des Handmodells auszurichten. So muss nicht jede Handform komplett neu modelliert werden, sondern kann durch Anpassung bereits vorhandener Handformen erstellt werden. Das Verknüpfungswerkzeug kann SHP-Dokumente ebenfalls einlesen und entsprechende Handform-Objekte erzeugen, die miteinander verglichen werden können.

## 5.2 Modellierung der Handformen

Damit das Distanzmaß auf ein Gebärdennotationssystem angewandt werden kann, müssen dessen Handformsymbole mithilfe von Blender und dem Handmodell in SHP-Dateien überführt werden. Aufgrund der großen Symbolmenge für Handformen in GebärdenSchrift und die ebenfalls recht große Menge möglicher Handformen in HamNoSys konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht alle Handformen in Modellform übersetzt werden. Um den Aufwand überschaubar zu halten, wurden die in den Wörterbüchern verwendeten Handformen gezählt und die am häufigsten benutzten wurden modelliert. Alle Handformen der Fallstudien des folgenden Kapitels 6 sind in dieser Modellmenge enthalten.

### 5.2.1 Handformen in GebärdenSchrift

Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, werden Handformen in GebärdenSchrift durch Symbole dargestellt, wobei jede in GebärdenSchrift darstellbare Handform durch ein eigenes Symbol repräsentiert wird. Dieses Symbol stellt nicht nur die Handform dar, sondern auch die Ausrichtung der Handform im Raum. Aufgrund der systematischen Kodierung der GebärdenSchrift-Symbole in ISWA ist es problemlos möglich, die Handform eines Symbols unabhängig von der Handstellung im Raum auszulesen. Bei der Modellierung der Handformen zu den GebärdenSchrift-Symbolen wurden Handfotos der Symbole verwendet, die in der *SymbolBank* von SignPuddle verfügbar sind (vergl. [Sigb]).

### 5.2.2 Handformen in HamNoSys

Handformen werden in HamNoSys als Symbolfolgen dargestellt, die jeweils aus einem Grundhandformsymbol bestehen, ergänzt um diakritische Zeichen für Fingerkrümmungen, Daumenstellung und andere Modifikationen (vergl. Kapitel 3.1). Darüber hinaus können Handformen auch in Relation zu anderen in der Gebärde vorkommenden Handformen definiert werden, vor allem wenn die Handformen der nichtdominanten Hand symmetrisch zu den dominanten Handformen sind. Neben der Möglichkeit, Handformen wie oben beschrieben direkt zu beschreiben, können Handformen auch als Zwischenhandform zweier anderer Handformen definiert werden. Die Orientierung der Hand im Raum ist in HamNoSys nicht Teil der Semantik der Handformsymbole, sondern wird durch eigene Symbole repräsentiert. Die Modellierung der Handformen für HamNoSys erfolgte mithilfe einer bebilderten Handformtabelle, welche unter [Han10] verfügbar ist.

## 5.3 Evaluationswerkzeug

Das Evaluationswerkzeug wurde als Teil des iPad-Gebärden-Editors entwickelt, der im Rahmen des delegs-Projekts entwickelt wurde (vergl. [Sch12]). Dies erschien sinnvoll, da sowohl der Verknüpfungsprozess als auch das Bearbeiten von Gebärden Teilaufgaben der Aufgabe *Bearbeitung der Wörterbuch-Einträge* darstellen. Um auch die weiteren Teilaufgaben dieser Bearbeitung zu unterstützen, verfügt das Werkzeug ebenfalls über einfache Möglichkeiten, Wörterbuch-Einträge zu editieren. Durch Verknüpfung der Einträge mit Einträgen anderer Wörterbücher können die dort vorhandenen Meta-Informationen übernommen werden. Ein Vergleichs-Algorithmus auf Basis des Distanzmaßes soll den Verknüpfungsprozess beschleunigen, indem die für eine Verknüpfung verfügbaren Gebärden so sortiert werden, dass der wahrscheinlichste Verknüpfungs-Kandidat als Erstes vorgeschlagen wird.

### 5.3.1 Implementation als iPad-App

Da der Gebärden-Editor als iPad-Werkzeug entwickelt wurde, musste das Evaluationswerkzeug ebenfalls als iPad-App realisiert werden. Dadurch ergaben sich vor allem Vorgaben für die technische Realisierung des Werkzeugs sowie für die verwendeten Entwicklungswerkzeuge. Das Werkzeug wurde daher als *iOS-App* in *Objective C* geschrieben und in der Entwicklungsumgebung *Xcode* realisiert (vergl. [RW12]).

Darüber hinaus ergaben sich veränderte Anforderungen an das Bedienkonzept der Anwendung, da die App gestenbasiert benutzt wird. Auf die geforderte Grundfunktionalität, also die Möglichkeit zur Verknüpfung von Lexikon-

Einträgen mit Wörterbuch-Einträgen, hatte die Technologiewahl aber keine Auswirkungen.

### 5.3.2 Bedienkonzept

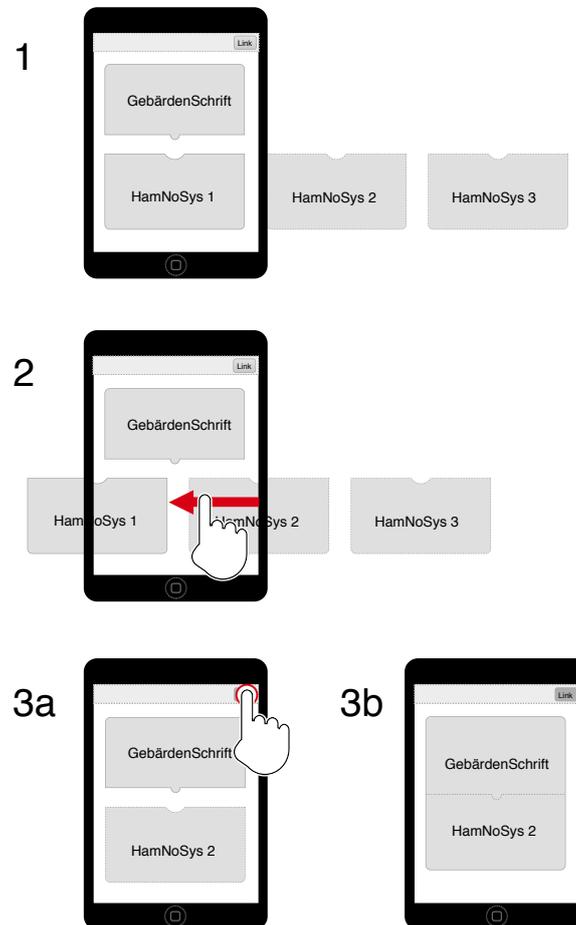
Abbildung 5.3 zeigt ein Mockup des Bedienkonzepts. Die bearbeitete Gebärde ist im oberen Bereich des Bildschirms dargestellt, im unteren Bereich werden die möglichen Verknüpfungskandidaten als eine scrollbare Liste angeordnet (1). Der Benutzer scrollt durch die Liste, bis er eine passende Gebärde gefunden hat (2) und kann diese Gebärden dann miteinander verknüpfen (3). Der Vergleichs-Algorithmus wird verwendet, damit die möglichen Verknüpfungskandidaten nicht zufällig angeordnet werden, sondern die wahrscheinlicheren Kandidaten weiter vorne in die Liste einsortiert sind. Die Distanz der Wörterbuch-Gebärde zu den verknüpfbaren Gebärden wird berechnet und die Liste nach dieser Distanz sortiert.

Das Verknüpfungswerkzeug soll in das Werkzeug zum Bearbeiten des Gebärden-Eintrags integriert sein. Die Verknüpfung wird also als eine von mehreren Funktionen angeboten, die bei der Bearbeitung eines Eintrags möglich sind. Die anderen möglichen Funktionen können z.B. die Änderung des Namens, das Hinzufügen von Bedeutungen oder die regionale Zuordnung sein. Der Zugriff auf den Gebärden-Editor soll ebenfalls über dieses Werkzeug erfolgen, da das Bearbeiten der GebärdenSchrift-Notation ebenfalls Teil der Bearbeitung des Wörterbuch-Eintrags ist.

### 5.3.3 Architektur

iOS-Anwendungen bauen üblicherweise auf dem Model-View-Controller-Muster auf (vergl. [App12a]). Dadurch wird eine Trennung zwischen der Darstellung, dem fachlichen Modell und den Operationen auf dem Modell erreicht. Ein Ziel von MVC ist es, eine gute Wiederverwendbarkeit möglichst vieler Komponenten zu erreichen. Modellklassen sollen idealerweise unabhängig von der konkreten Anwendung wiederverwendbar sein, View-Klassen ebenfalls, soweit dies abhängig von der Art der dargestellten Objekte möglich ist. Der Controller stellt üblicherweise die Komponente mit der geringsten Wiederverwendbarkeit dar, da die Anwendungslogik zu einem großen Teil in Controllern untergebracht wird und somit stark an die Anwendung gekoppelt ist.

Die Architektur der Anwendung soll nach der Referenzarchitektur von WAM (Werkzeug-Automat-Material, vergl. [Zül05]) aufgebaut werden. Die Elementarten der Referenzarchitektur sowie die möglichen Benutzt-Beziehungen sind in Abbildung 5.4 abgebildet.



**Abbildung 5.3:** Bedienkonzept zur Verknüpfung von Gebärden.

Material-Objekte sind die Objekte der Anwendung, welche vom Benutzer erstellt und bearbeitet werden. Sie stellen fachliche Konzepte der Anwendungsdomäne dar. Materialien des Evaluationswerkzeugs sind z.B. Wörterbuch-Einträge und GebärdenSchrift-Notationen.

Werkzeuge sind die Elemente der Anwendung, mit denen Materialien bearbeitet und sondiert werden. Werkzeuge sind üblicherweise auf ein bestimmtes Material zugeschnitten. Eigenschaften eines Werkzeugs sind sowohl seine Aufgabe in einem Anwendungskontext als auch seine spezifische Art der Verwendung (vergl. [Zül05, S. 67]). Zur Bearbeitung eines Materials können abhängig von der Art der zu erledigenden Aufgabe unterschiedliche Werkzeuge verwendet werden.

Schneider zeigt in [Sch12], wie die iOS-MVC-Architektur auf WAM abgebildet werden kann. Dabei werden die Material-Klassen aus WAM als Modell-

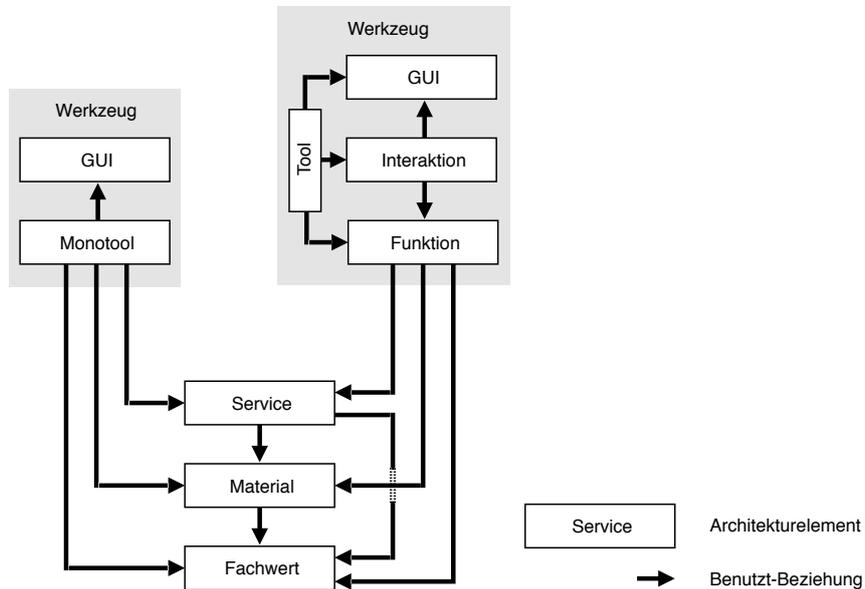


Abbildung 5.4: WAM-Referenzarchitektur (nach: [PBP06]).

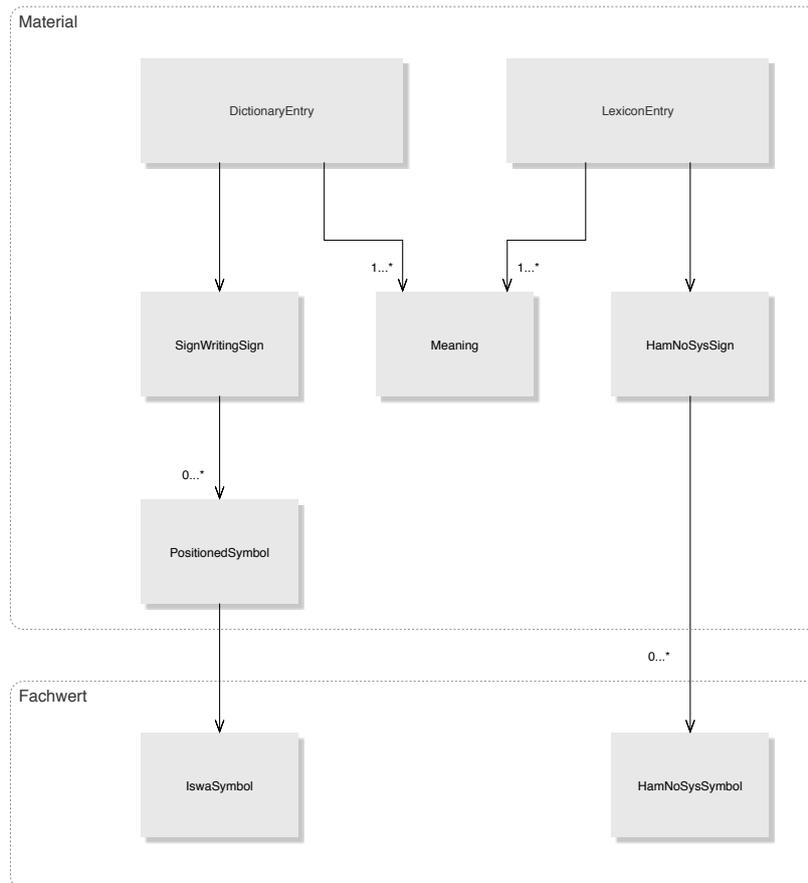
Klassen in MVC verwendet, View-Klassen bilden die GUI-Komponente des Werkzeugs, Interaktions- sowie Funktionskomponente sind im Controller vereint.

Das iOS-Framework bietet UIViewController-Klassen an, von der die Anwendungs-Controller erben sollten, um bereits vordefinierte Funktionalität zu erhalten. Für iOS-Apps typische Bedienkonzepte werden dann automatisch bereitgestellt, darunter das automatische Anpassen der GUI an die Geräte-Ausrichtung sowie die Werkzeug-Einbettung in iOS-typische Bedienkonzepte wie die Navigations-Leiste. Die enthaltene Funktionalität der UIViewController-Klasse trägt in der WAM-Architektursicht zu der Interaktions-Komponente bei.

## Materialien

Aus Sicht des Evaluationswerkzeugs teilen sich die Materialklassen in zwei Mengen auf. Auf der einen Seite stehen die Materialien des Wörterbuchs. Diese sind in Abbildung 5.5 abgebildet. Es existieren zwei Klassen von Wörterbuch-Einträgen: *DictionaryEntry*-Objekte stellen Einträge aus dem de-legs-Wörterbuch dar. Sie enthalten eine in GebärdenSchrift notierte Gebärde und können eine oder mehrere Bedeutungen haben. Die Bedeutungen sind als fachliches Material in einer *Meaning*-Klasse modelliert. *LexiconEn-*

*try*-Objekte repräsentieren Einträge der Fachgebärden-Lexika. Sie enthalten eine in HamNoSys notierte Gebärde und können ebenfalls eine oder mehrere Bedeutungen haben.



**Abbildung 5.5:** Die Material-Klassen der Wörterbuch-Einträge.

Auf der anderen Seite stehen die Materialien des Handmodells. Diese sind in Abbildung 5.6 dargestellt. *SignBonePose*-Objekte halten Informationen über die Krümmung eines Fingerglieds im dreidimensionalen Raum. Finger einer Handform sind durch *SignFingerPose*-Objekte abgebildet, die mehrere Fingerglied-Objekte halten. Die Handformen selbst sind durch *SignHandPose*-Objekte repräsentiert, welche aus Finger-Objekten sowie Knochenobjekten für die Mittelhandknochen bestehen. Eine *SignHandPose* entspricht in ihrem Aufbau der in Abbildung 5.2 dargestellten Struktur.

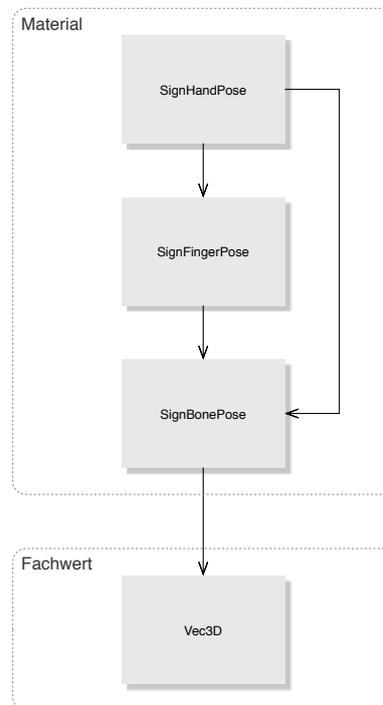


Abbildung 5.6: Die Material-Klassen der Handform.

## Werkzeuge

Die Anwendung besteht aus zwei Subwerkzeugen:

- Das *DelegsDictionary* dient zur Darstellung des delegs-Wörterbuchs und ermöglicht die Suche nach Begriffen sowie die Auswahl einzelner Einträge.
- Das *DelegsEntryEditTool* dient zur Bearbeitung der Einträge des delegs-Wörterbuchs. Dabei ermöglicht es auch die Verknüpfung der Wörterbuch-Einträge.

Das *DelegsEntryEditTool* stellt somit die wesentliche Funktionalität zur Erprobung des Distanzmaßes bereit. Es verwendet den *DictionaryService*, der alle zu einem *Meaning* gehörenden Fachgebärden-Einträge bereitstellen kann und so die potenziellen Kandidaten für eine Verknüpfung liefert. Es werden also diejenigen Gebärden zur Verknüpfung vorgeschlagen, die eine oder mehrere Bedeutungen mit der delegs-Gebärde gemeinsam haben. Mithilfe des *SignComparisonService* vergleicht das Werkzeug die Gebärdennotationen miteinander. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten ist in Abbildung 5.7 dargestellt.

### 5.3.4 SignComparisonService

Der *SignComparisonService* ermöglicht es, *LexiconSign*- und *SignWritingSign*-Objekte miteinander zu vergleichen. Dazu extrahiert er die in den Notationen vorkommenden Handformsymbole und lädt die zugehörigen *Sign-HandPose*-Objekte. Für den Vergleich verwendet er das erarbeitete Distanzmaß.

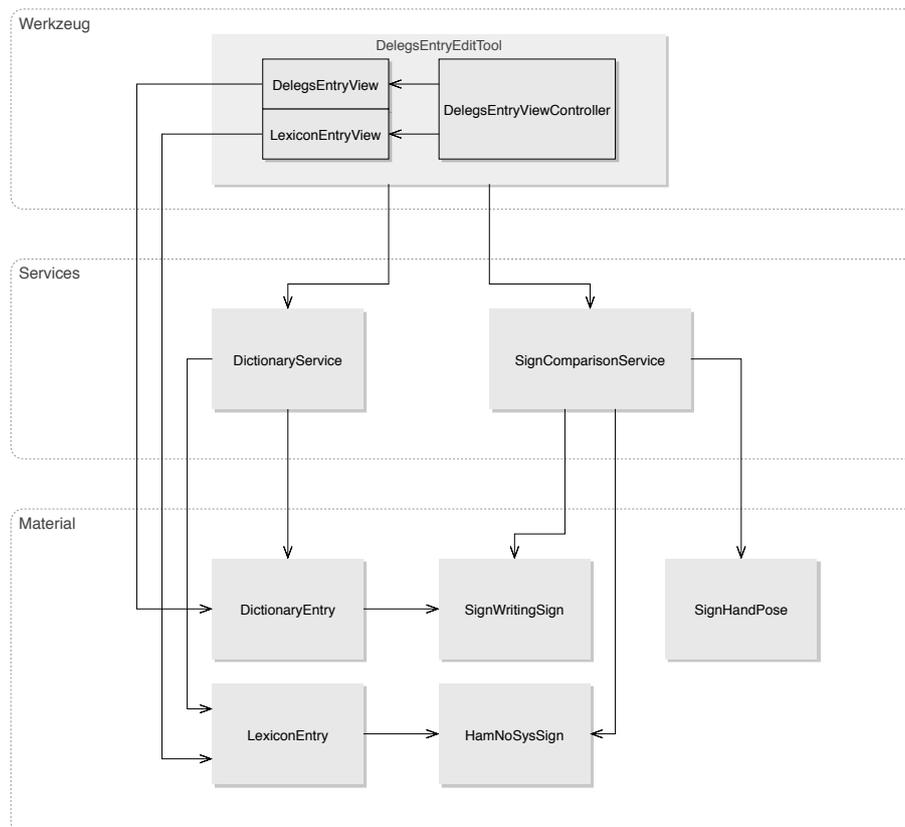


Abbildung 5.7: Die Architektur des Verknüpfungswerkzeugs.

Beim Auslesen der notierten Handformen muss beachtet werden, dass ein Handformsymbol in einigen Notationssystemen zwei verschiedene Dinge repräsentieren kann. Zum einen kann es die in einer Gebärde vorkommende Handform selbst darstellen. In diesem Fall sollte es Teil der zu vergleichenden Handformmenge sein. Zum anderen kann das Symbol auch eine Bewegung der Hand repräsentieren, wenn die gleiche Handform mehrfach in einer Notation vorkommt. Abbildung 5.8 zeigt GebärdenSchrift-Notationen von zwei Gebärden für *Abend*. (1) enthält vier Handform-Symbole, (2) enthält zwei Handform-Symbole. Trotzdem kommen in beiden Gebärden gleich viele

zu vergleichende Handformen vor, da zwei der vier Handformen in (1) Bewegungen der Hände darstellen. In (2) ändert sich die Handform während der Bewegung, weshalb beide Handformen gezählt werden müssen. Falls eine Handform also eine *Bewegung* der Hand notiert, muss diese Handform aus der Menge der verglichenen Handformen entfernt werden, um die Distanzmessung nicht zu verfälschen.

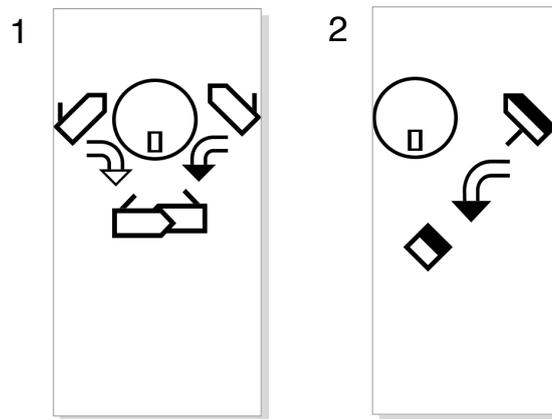


Abbildung 5.8: Zwei Gebärden für *Abend* in GebärdenSchrift.

### 5.3.5 Integration des Gebärden-Editors

Der Gebärden-Editor und das Verknüpfungswerkzeug arbeiten auf den gleichen Material-Klassen. Da die Controller des Editors ebenfalls von der UI-ViewController-Klasse des iOS-Frameworks erben, können beide Werkzeuge über das Navigations-Bedienkonzept verbunden werden (vergl. [App12b]).

## 5.4 Beispiel

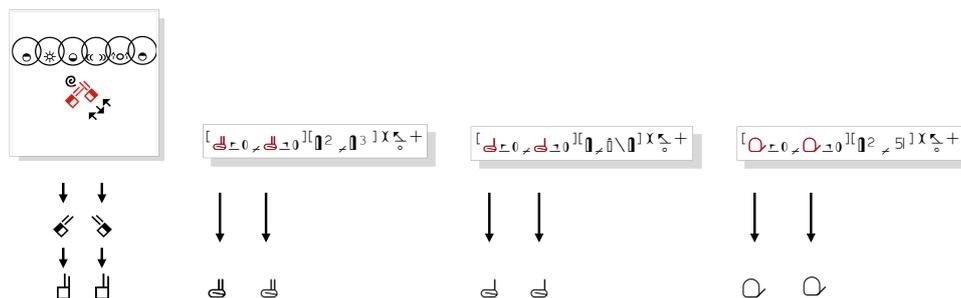
Es folgt ein Beispiel für die Arbeitsweise des umgesetzten Werkzeugs. Dazu wird das Verknüpfungswerkzeug zur Bearbeitung einer DGS-Gebärde mit der Bedeutung *Durchschnitt* verwendet. Diese wird mit zwei HamNoSys-Notationen verglichen, die ebenfalls mit *Durchschnitt* übersetzt werden können. Die GebärdenSchrift- und die HamNoSys-Notationen sind in Abbildung 5.9 dargestellt.

### 5.4.1 Verwendung des Evaluationswerkzeugs

Im Werkzeug *DelegsDictionary* ist erkennbar, dass zu dem Eintrag für *Durchschnitt* drei Fachgebärden-Einträge existieren, die potenziell die gleiche Gebärde darstellen könnten. Durch Auswahl der Gebärde wird das Werkzeug *DelegsEntryEditTool* geöffnet, mit dem der Wörterbuch-Eintrag mit einem der drei Einträge aus den Fachlexika verknüpft werden kann.

### 5.4.2 Handform-Mengen

Die GebärdenSchrift-Notation enthält zwei Handformsymbole. Die drei HamNoSys-Notationen enthalten ebenfalls je zwei Handform-Symbole. Für jede betrachtete Gebärdennotation ordnet das Werkzeug jeweils eines der Handformsymbole einer der beiden möglichen Hände zu (siehe Abbildung 5.9). Da alle Gebärden jeweils die gleiche Handform für beide Hände enthalten, ist die Zuordnung der Handform-Mengen in diesem Beispiel nicht entscheidend.



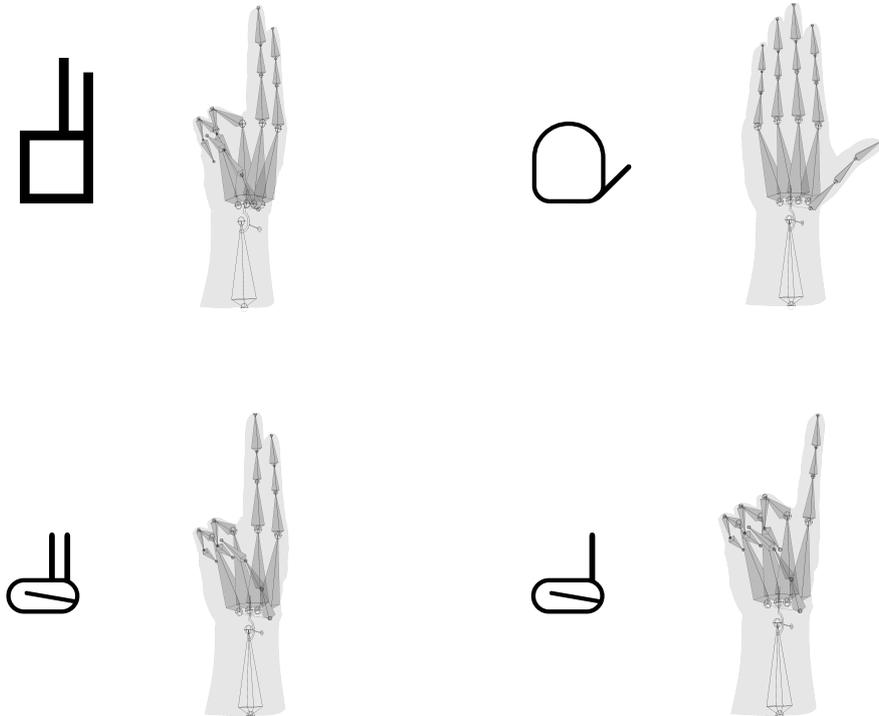
**Abbildung 5.9:** Gebärdennotationen und die extrahierten Handformsymbole.

### 5.4.3 Handform-Modelle

Nach dem Extrahieren der Handformsymbole werden die zugehörigen SHP-Dateien ausgelesen, um die Winkelinformationen der Handformen zu erhalten. Abbildung 5.10 zeigt die den Handformen zugeordneten Handform-Modelle.

### 5.4.4 Berechnung der Gebärdendistanz

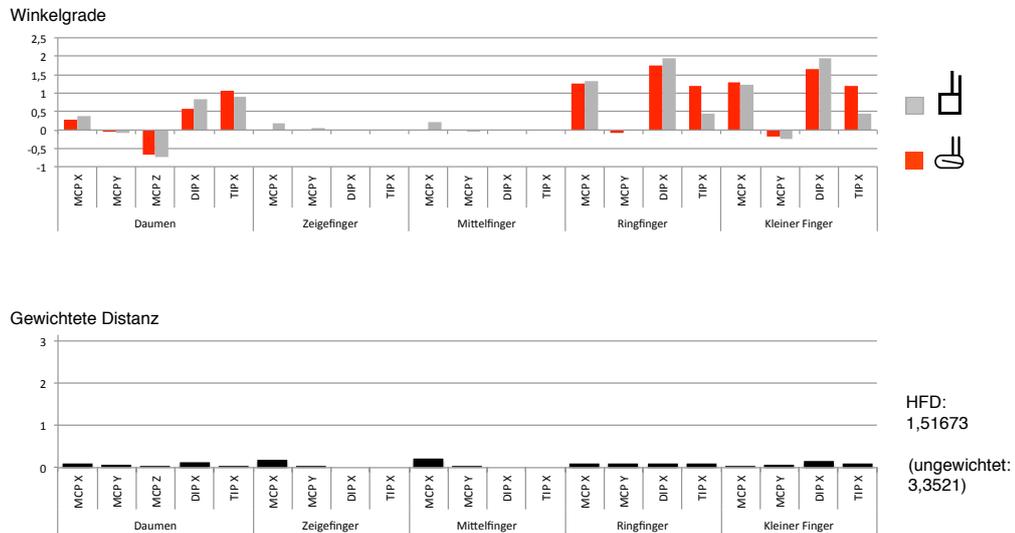
Anschließend werden die Notationen verglichen. Dazu werden alle möglichen Kombinationen von Handform-Paarungen betrachtet und die minimale



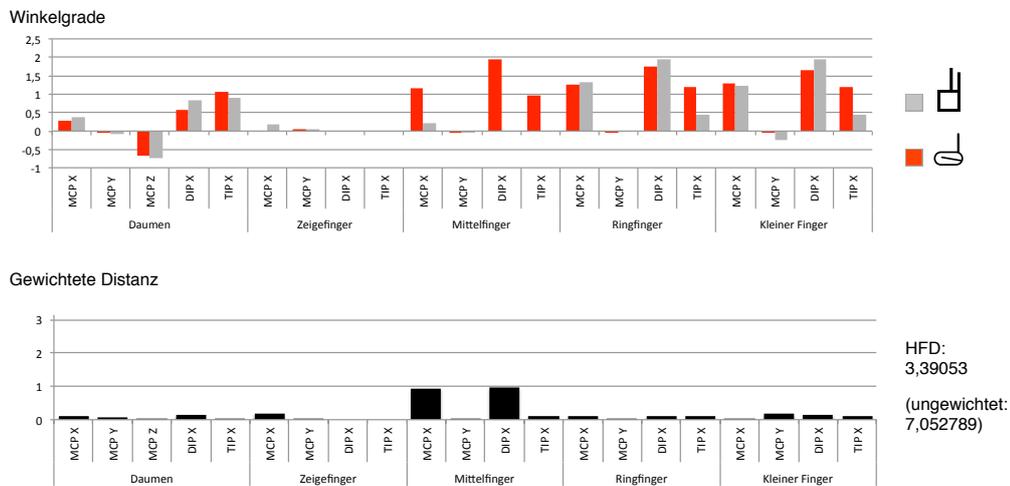
**Abbildung 5.10:** Handformnotationen und die zugehörigen Handform-Modelle.

Differenz wird als Abstand ermittelt. Die Ergebnisse von zwei Handform-Vergleichen sind in den Abbildungen 5.11 und 5.12 dargestellt. Anhand der Diagramme ist die grobe Handform nachvollziehbar. Der Zeigefinger ist z.B. bei allen Handformen ausgestreckt, weshalb die Krümmungsgrade dort bei 0 liegen. Beim ersten Vergleich sind die größten Winkeldifferenzen bei den distalen Interphalangealgelenken sichtbar. Da diese für die Handformdistanz nur schwach gewichtet sind ( $w = \frac{1}{8}$ ), wirken sie sich kaum auf die Handformdistanz aus.

Beim zweiten Vergleich sind größere Unterschiede erkennbar, vor allem die Krümmungen der Mittelfingergelenke weichen voneinander ab. Im Distanzdiagramm ist zu sehen, dass die Differenzen von MCP und DIP des Mittelfingers ungefähr gleich stark in die Handformdistanz einfließen, obwohl DIP fast doppelt so stark gekrümmt ist. Auch dies kommt durch die Gewichtung der DIP-Gelenke ( $w = \frac{1}{2}$ ) zustande.



**Abbildung 5.11:** Distanzmessung zweier Handformen. Oben: Die Gelenkkrümmungen beider Handformen im direkten Vergleich. Unten: Gewichtete Distanzwerte der Gelenke.

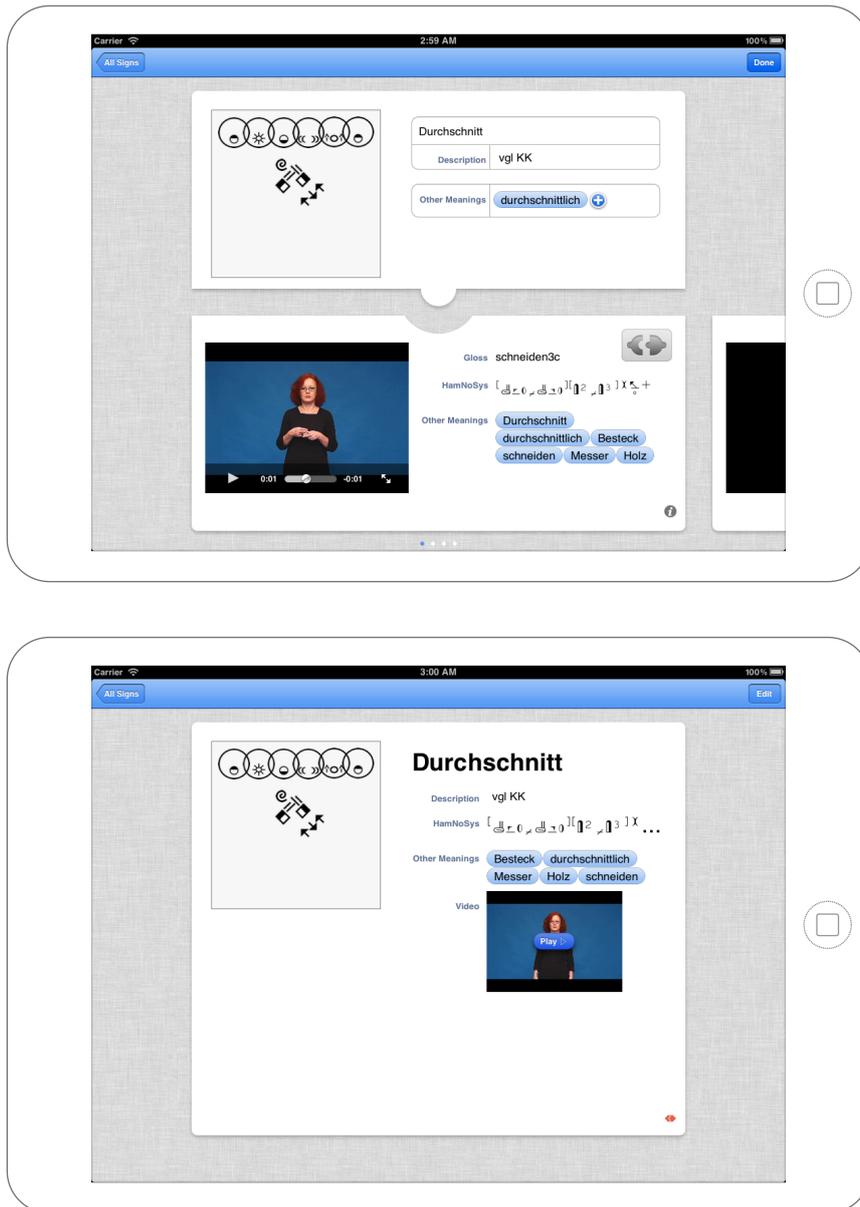


**Abbildung 5.12:** Distanzmessung zweier Handformen mit unterschiedlichen Krümmungen der Mittelfingergelenke.

### 5.4.5 Verwendung des Verknüpfungswerkzeugs

Mithilfe der gemessenen Distanzen werden die Fachlexikon-Einträge nun sortiert in dem Verknüpfungswerkzeug angeordnet. Abbildung 5.13 zeigt im obe-

ren Teil den delegs-Wörterbuch-Eintrag für *Durchschnitt* und den Lexikon-Eintrag mit der geringsten Distanz. Da dieser Eintrag dieselbe Gebärde notiert, können die Einträge verknüpft und die Meta-Informationen übernommen werden (unterer Teil).



**Abbildung 5.13:** Screenshots des Verknüpfungswerkzeugs. Oben: Bearbeitung des Eintrags für *Durchschnitt*. Unten: Wörterbuch-Eintrag mit verknüpftem Fachlexikon-Eintrag (vergl. [Insa]).

## Kapitel 6

# Erprobung

In Kapitel 5 wurde das dreidimensionale Handmodell beschrieben und ein Werkzeug zur Verknüpfung von Wörterbuch-Einträgen aus unterschiedlichen Quellen wurde erarbeitet. Das in Kapitel 4 erarbeitete Gebärden-Distanzmaß wurde zur Unterstützung des Verknüpfungsvorgangs in dem Werkzeug softwaretechnisch umgesetzt. Nun soll mithilfe des Werkzeugs evaluiert werden, ob die handformbasierte Gebärdendistanz eine adäquate Lösung für die in Kapitel 1 dargelegte Hauptanforderung darstellt. Dazu soll das Werkzeug nun Gebärden-Einträge aus unterschiedlichen Quellen miteinander vergleichen. Es wurden einige Einträge des delegs-Wörterbuchs gewählt, denen über die zugehörigen deutschen Begriffe Gebärden aus den anderen verfügbaren Quellen potenziell zugeordnet werden können. Für Gebärden mit der Bedeutung *Frau* existieren z.B. fünf mögliche Zuordnungen aus den Fachgebärden-Lexika. Die Anforderung ist für eine Fallstudie erfüllt, wenn die richtigen Gebärden die geringste Distanz aufweisen. Allerdings sollte der praktische Nutzen nicht nur daran gemessen werden, ob die richtige Gebärde tatsächlich als Erstes vorgeschlagen wird. Vielmehr soll auch beobachtet werden, ob die Zuordnung mithilfe der Distanzmessung auch dann verbessert werden konnte, falls nicht die korrekte Notation als Erstes vorgeschlagen wurde.

### 6.1 Gebärdenquellen

Es wurden drei Quellen verwendet, um den Gebärdenvergleich zu ermöglichen. Die GebärdenSchrift-Notationen stammen aus dem delegs-Wörterbuch, als Quellen für Einträge mit HamNoSys-Notationen wurden zwei DGS-Fachgebärden-Lexika gewählt. Diese sind im Internet frei zugänglich und weisen eine hohe Qualität der Gebärden-Transkriptionen auf (vergl. [Insb] sowie [Insa]).

Das Evaluationswerkzeug verwendet entsprechend zwei Material-Klassen,

um die beiden Arten von Einträgen zu vergleichen (vergl. Kapitel 5.3.3).

### 6.1.1 delegs

Das delegs-Wörterbuch enthielt in der verwendeten Version (Stand: Februar 2012) über 15.000 Gebärden-Einträge. Die Einträge bestehen aus einer in GebärdenSchrift notierten Gebärde sowie einem deutschen Begriff. Zusätzlich können der Gebärde noch weitere deutsche Begriffe als alternative Bedeutungen zugeordnet sein.

### 6.1.2 Fachgebärden-Lexika

Als Quellen für HamNoSys-Notationen wurden zwei Fachgebärden-Lexika, *Gärtnerei und Landschaftsbau* sowie *Gesundheit und Pflege*, ausgewählt. Beide Lexika sind in Buchform erschienen, aber auch im Internet frei zugänglich (siehe [Insb] und [Insa]). Die HamNoSys-Notationen der Gebärden-Einträge sind dabei über die Internet-Versionen als Strings zugänglich und können somit von dem Evaluationswerkzeug ausgewertet werden.

## 6.2 Fallstudien

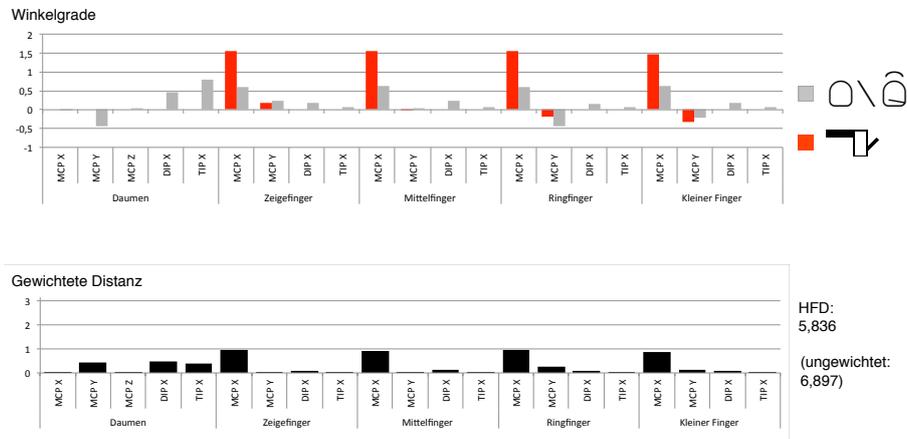
Zur Erprobung des Verfahrens wurden die Begriffe *Frau*, *Plan* sowie *Diagnose* gewählt. Anhand der hinterlegten alternativen Bedeutungen wurde verglichen, welche Gebärden aus dem delegs-Wörterbuch und aus den Fachgebärden-Lexika eine oder mehrere entsprechende Bedeutungen haben. Die so zusammengestellte Liste diente als Auswahl für die Verknüpfung. Mithilfe des Evaluationswerkzeugs wurde überprüft, ob unter Verwendung des Gebärden-Distanzmaßes zuverlässig die übereinstimmenden Gebärden ermittelt werden können. Nach der Beschreibung einer Fallstudie werden jeweils die Vergleiche der Begriffs-Varianten einzeln betrachtet und bewertet.

### 6.2.1 Fallstudie *Frau*

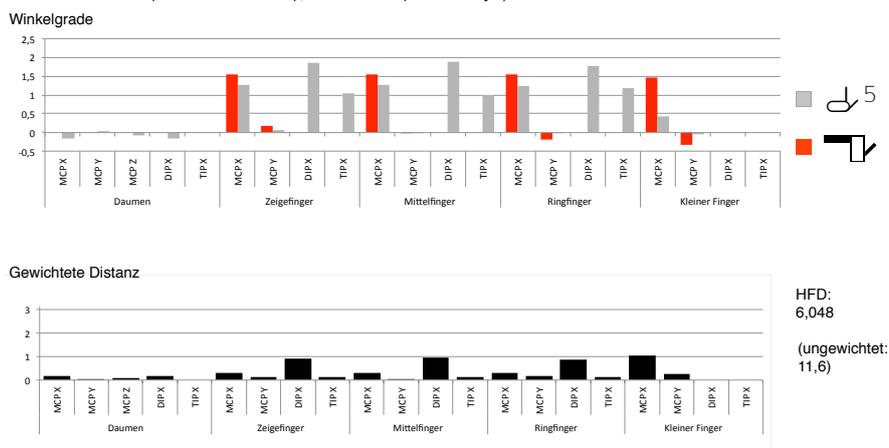
Die im delegs-Wörterbuch vorhandenen Gebärden für *Frau* bieten sich zur Erprobung des Maßes an, da die in den Gebärden vorkommenden Handformen unterschiedlich stark voneinander abweichen. Zudem enthalten fast alle Gebärden für *Frau* nur eine Handform, sodass der Vergleich der Gebärden in diesem Fall nicht von der Anzahl der Handformen abhängt. Das Distanzmaß funktioniert in diesem Fall deshalb umso besser, je besser der Vergleich der Handformen funktioniert. Abbildung 6.1 zeigt die GebärdenSchrift-Einträge



Frau: Variante 1

Abbildung 6.2: Distanzmessung für *Frau Variante 1*.

Frau: Variante 1 (Gebärdenschrift), Variante 4 (HamNoSys)

Abbildung 6.3: Distanzmessung für *Frau Variante 1* mit dem zweitbesten Distanzwert.

- *Variante 3*

Auch bei Variante 3 ist der Abstand der passenden Handformen mit 1,598 sehr niedrig, die Handformen haben wieder eine hohe Übereinstimmung. Das gilt auch für das zweitbeste Ergebnis, bei dem dieselben Handformen verglichen wurden. In diesem Fall ist die Winkeldifferenz der Handformen aber nicht entscheidend, da die Gebärdenschrift-Notation zwei Handformen enthält und deshalb nur einer der Lexikon-Einträge infrage kommt, da alle anderen Notationen nur eine Handform enthalten. Dass die Distanz bei diesem so gering ausfällt, validiert aber

trotzdem das Ergebnis.

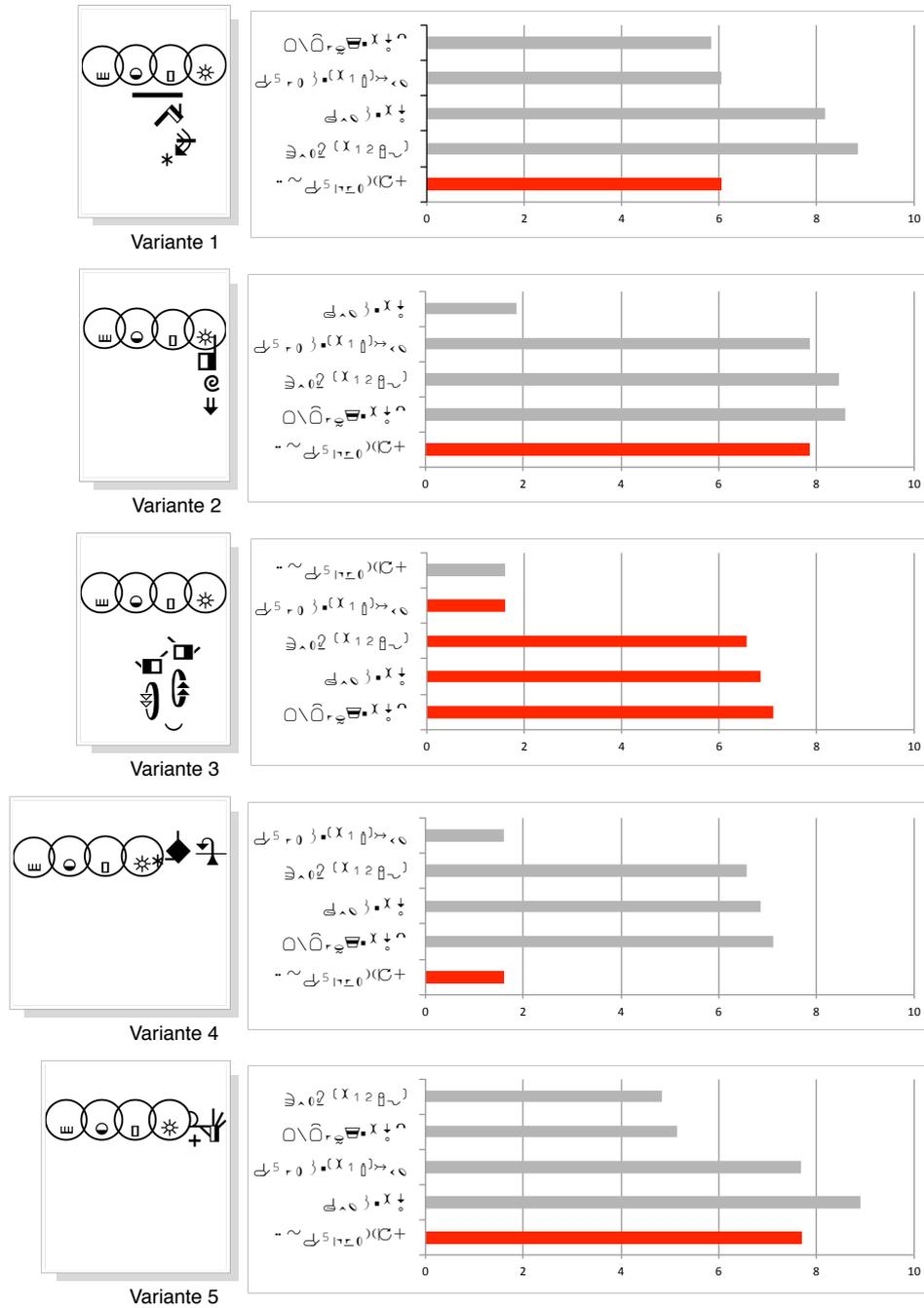
- *Variante 4*

Die verglichenen Handformen sind die gleichen wie bei Variante 3, in diesem Fall kommt aber nur einer der Lexikon-Einträge nicht infrage, da er eine andere Anzahl an Handformen enthält. Auch hier ist die Gebärdendistanz der passenden Gebärde mit 1,598 niedrig und der Abstand zur nächstliegenden Alternative (6,567) hoch genug, um ein hohes Vertrauen in das Messergebnis zu gewinnen.

- *Variante 5*

Auch für diesen Eintrag wird die korrekte Variante ermittelt, allerdings mit einer recht hohen Distanz von 4,848. Damit liegt das Ergebnis nur knapp vor der zweitgeringsten Distanz (5,144). Die Sicherheit des Ergebnisses ist deshalb wie bei Variante 1 gering. Allerdings ist auch hier der Abstand zur drittähnlichsten Variante (7,688) wieder merklich höher.

Die Messergebnisse führten allesamt zu dem gewünschten Ergebnis – es wurde also immer zu einer Gebärdenschrift-Gebärde derjenige HamNoSys-Eintrag bevorzugt, der die gleiche Gebärde notiert hat. Darüber hinaus entspricht die Reihenfolge großteils dem subjektiv erwarteten Ergebnis. Bei den Varianten 1 und 5 sind die niedrigsten Distanzen allerdings nur knapp die geringsten ( $5,836 < 5,926$  für Variante 1 und  $4,848 < 5,144$  für Variante 5).

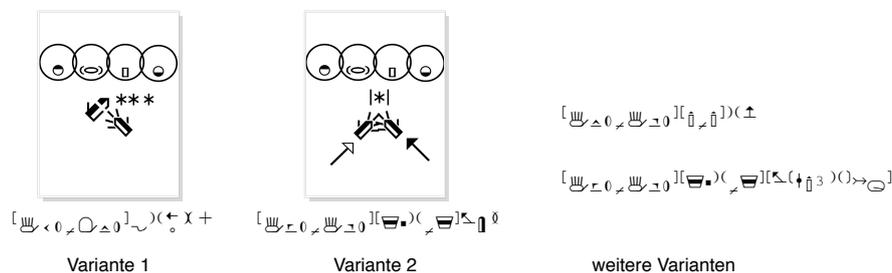


**Abbildung 6.4:** Ergebnisse der Distanzmessungen der Wörterbuch-Einträge für *Frau*. Für rot dargestellte Abstandswerte weicht die Anzahl der Handformen ab.



### 6.2.3 Fallstudie *Diagnose*

Die beiden untersuchten Gebärden des delegs-Wörterbuchs für *Diagnose* wurden ausgewählt, da sich die Handformen der Gebärden nur sehr gering voneinander unterscheiden. Aus den Fachgebärden-Lexika kommen vier Gebärden infrage. Zwei Fachgebärden-Varianten enthalten als Handformen zweimal die gespreizte Fünf-Fingerhand. Eine Fachgebärde enthält die Flachhand sowie eine gespreizte Fünf-Fingerhand. Die vierte Variante enthält ebenfalls zweimal die Fünf-Fingerhand und noch eine weitere Handform. In Abbildung 6.8 sind die Messergebnisse dargestellt.



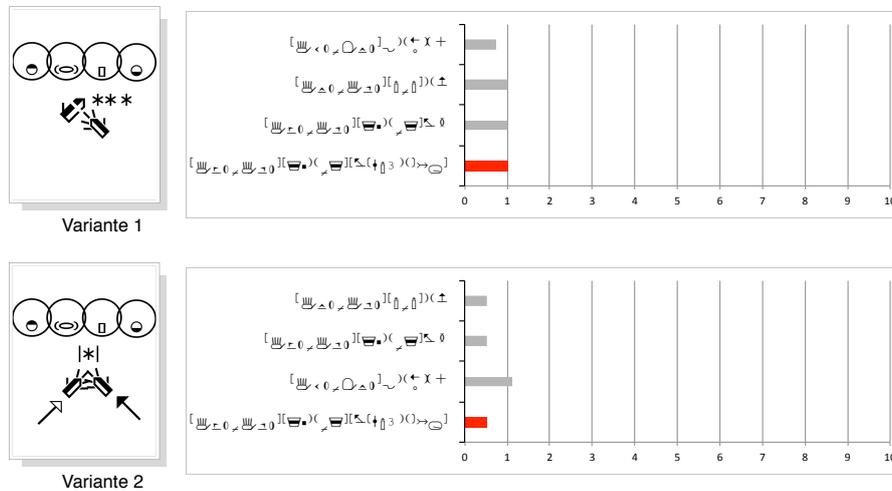
**Abbildung 6.7:** Gebärden für den Begriff *Diagnose* in GebärdenSchrift (oben) und in HamNoSys (unten) sowie weitere Varianten.

- *Variante 1*

Für diese Variante wird die korrekte Gebärde zur Verknüpfung bevorzugt. Der kleine Unterschied in der Handform im Vergleich zu den anderen Gebärden reicht aus, um die Ähnlichkeit korrekt zu ermitteln (siehe Abbildung 6.8). Der absolute Distanzwert von 0,732 deutet darauf hin, dass sich die Gebärden in Bezug auf die Handformen sehr ähnlich sind. Allerdings ist die Distanz zu den nächsten beiden Alternativen mit 1,015 ebenfalls sehr gering. Die Sicherheit des Ergebnisses ist also trotz des niedrigen Wertes gering.

- *Variante 2*

Das Verknüpfungswerkzeug bietet als Erstes eine andere als die richtige Fachgebärde an, die korrekte Gebärde ist die zweite Alternative. Da beide Fachgebärden die gleiche Distanz zu *Variante 2* aufweisen (0,522), ist die Reihenfolge der Einträge in diesem Fall zufällig. Bei der Messung ist beachtenswert, dass mit dem verwendeten Distanzmaß keine Möglichkeit besteht, zwischen den beiden ähnlichsten Fachgebärden-Notationen zu unterscheiden, da sie die gleichen Handformen enthalten. Um auch in solchen Fällen zwischen den Notationen differenzieren zu können, müssten also weitere Merkmale der Gebärden untersucht werden.



**Abbildung 6.8:** Ergebnisse der Distanzmessungen der Wörterbuch-Einträge für *Diagnose*. Für rot dargestellte Abstandswerte weicht die Anzahl der Handformen ab.

### 6.3 Bewertung der Ergebnisse

Insgesamt zeigt sich, dass das Distanzmaß unter den definierten Beschränkungen meistens das gewünschte Ergebnis hervorbringt. Entweder ist die korrekte Gebärde der erste Vorschlag oder sie ist bei den ersten Vorschlägen dabei.

Außerdem scheint das Distanzmaß auch als absolutes Maß Aussagekraft zu besitzen. Distanzwerte  $\leq 2$  deuten auf sehr ähnliche Handformen hin, und Werte  $\geq 5$  deuten auf Gebärden hin, die dem Benutzer klar unterschiedlich erscheinen. Ein niedriger Distanzwert allein ist aber in keinem Fall ausreichend, um zwei identische Gebärden zu ermitteln, was z.B. bei der *Fallstudie Plan* erkennbar ist.

Neben tatsächlich unterschiedlichen Gebärden mit ähnlichen Handformen gibt es auch den Fall, dass sich zwei Notationen derselben Gebärde in den gewählten Handformsymbolen unterscheiden. So sind bei *Variante 1* der *Fallstudie Frau* die zur Notation gewählten Handformen unterschiedlich. Falls die gleiche Gebärde notiert wurde, enthält also mindestens eine der Notationen einen Rechtschreibfehler. In solchen Fällen kann es zwar passieren, dass der korrekte Eintrag aufgrund einer höheren Handformabweichung erst später vorgeschlagen wird als andere Alternativen. Allerdings spiegelt sich in dem gemessenen Wert dann auch eine tatsächliche Abweichung der Notationen wider und dies gibt so einen Hinweis auf mögliche Inkonsistenzen der Notationen.

Bei einem Vergleich eines Wörterbuch-Eintrags ohne Vorauswahl der Kandidaten würde der Algorithmus in der jetzigen Version wahrscheinlich nur selten die korrekte Gebärde zuerst vorschlagen - dafür verwenden zu viele Gebärden dieselben Handformmengen.

Trotz der genannten Beschränkungen zeigen die Ergebnisse der Fallstudien, dass das Distanzmaß die Anforderungen für den definierten Anwendungsfall erfüllt und damit geeignet ist, den Abgleich mehrerer Wörterbücher zu vereinfachen und zu beschleunigen.

# Kapitel 7

## Fazit

Im folgenden Kapitel sollen die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst werden und ein Ausblick auf mögliche Anknüpfungspunkte sowie weitere Anwendungsgebiete soll gegeben werden.

### 7.1 Zusammenfassung und Bewertung

In dieser Arbeit sollte ein Distanzmaß erarbeitet und evaluiert werden, um die Ähnlichkeit von Gebärdennotationen zu bewerten. Dieses Maß soll dazu dienen, die Integration verschiedener Wörterbuchquellen zu vereinfachen.

Um ein sinnvolles Maß definieren zu können, wurde zunächst die Grammatik von Gebärdensprachen betrachtet. Dabei zeigte sich, dass die manuelle Komponente der Gebärdensprachen aufgrund ihrer entscheidenden Stellung unverzichtbar zur Berechnung einer Gebärdendistanz ist. Die Verschriftung von Gebärdensprachen wurde besprochen und es wurde untersucht, ob Aspekte der Notationssysteme identifiziert werden können, die Notationssystem-übergreifend für das Distanzmaß verwendet werden können. Die Handform der manuellen Komponente stellte sich als Merkmal heraus, das in jedem Notationssystem mit großer Detailliertheit beschrieben wird.

Anschließend wurde ein Modell zur Abbildung menschlicher Handformen auf Basis der Fingergelenkkrümmungen definiert. Das Gebärdens-Distanzmaß wurde auf dieses Modell aufbauend definiert und die Erfüllung formaler Anforderungen an das Maß geprüft. Zur Überprüfung der fachlichen Anforderung wurde ein prototypisches Verknüpfungswerkzeug entwickelt, das das Distanzmaß algorithmisch umsetzt und den Notationssystem-übergreifenden Vergleich von Gebärdensprachen ermöglicht. Zur Erprobung wurden Gebärdensprachennotationen aus unterschiedlichen Quellen mithilfe des Werkzeugs verglichen und das Distanzmaß wurde evaluiert.

Dabei zeigte sich, dass das Distanzmaß geeignet ist, den in Kapitel 1 beschriebenen Verknüpfungsprozess adäquat zu unterstützen. In den meisten Fällen wurde die korrekte Gebärde identifiziert. Die gemessenen Werte sind dabei aussagekräftig genug, um neben dem relativen Vergleich auch Aussagen über die tatsächliche Ähnlichkeit der Handformen zu machen. Eine Handformdistanz von  $\leq 2$  ist dabei ein guter Hinweis auf erkennbar ähnliche Handformen. Die genaue Korrelation eines gemessenen Distanzwertes zu der wahrgenommenen Ähnlichkeit lag aber außerhalb des Fokus dieser Arbeit.

## 7.2 Ausblick

Durch die Erweiterung der verglichenen Komponenten einer Gebärde könnte die Aussagekraft des Distanzmaßes weiter erhöht werden. Naheliegender wäre es beispielsweise, die Handstellung ebenfalls mit zu vergleichen. Die Handformen könnten so weiter differenziert werden. Ein Vergleich der Fingeransatzrichtung könnte die falsche Zuordnung aus der Fallstudie *Diagnose* (vergl. Kapitel 6.2) korrigieren.

Ein weiteres vielversprechendes Anwendungsgebiet für das Distanzmaß ist die Unterstützung einer bidirektionalen Suche in Gebärden-Wörterbüchern. Damit könnte die Suche im delegs-Wörterbuch auch durch eines oder mehrere GebärdenSchrift-Handsymbole erfolgen. Es würden dann Gebärden angezeigt werden, die einen vordefinierten Distanzwert zur Such-Handform unterschreiten. Für diesen Anwendungsfall müssten nur kleinere Anpassungen vorgenommen werden: so sollte die Anzahl der in den Gebärden vorkommenden Handformen in diesem Fall nicht oder nur wenig Einfluss haben. Dieser Mechanismus könnte auch verwendet werden, um automatisch zu Wörterbucheinträgen ähnliche Einträge zu ermitteln und anzuzeigen.

Denkbar wäre auch, die Suche nach Wörterbucheinträgen Notationssystem-unabhängig zu gestalten. So könnte z.B. auch über HamNoSys-Handformen nach GebärdenSchrift-Einträgen gesucht werden. Jedes Notationssystem, dessen Handsymbole in das Handmodell überführt wurden, könnte unterstützt werden. Sogar die Suche mithilfe des Handmodells selbst könnte umgesetzt werden. Durch Manipulation des Handmodells könnte der Benutzer interaktiv eine Such-Handform modellieren, die als Eingabe für eine Suche mithilfe des Distanzmaßes dient.

Wie in Kapitel 5.1.2 erwähnt, könnte das Handmodell noch um weitere Informationen zu den tatsächlich möglichen Gelenkkrümmungen der menschlichen Hand erweitert werden. Dadurch könnte der Modellierungsprozess der Handformen vereinfacht und zuverlässiger gestaltet werden. Darüber hinaus könnte die Erfassung der Handformen eines Notationssystems auch gänzlich anders gestaltet werden, beispielsweise durch Auslesen der Gelenkkrümmungen mithilfe eines Datenhandschuhs.

## Anhang A

# Document Type Definition des SHP-Formats

```
1 <!ELEMENT hand (bone, bone, bone, bone, bone, bone, finger, finger,  
   finger, finger, finger)>  
2  
3 <!ELEMENT bone (tail, head, rotation_euler)>  
4 <!ATTLIST bone name (forearm|wrist|palmIndex|palmMiddle|palmRing|  
   palmPinky|tip|mid|base)>  
5 <!ATTLIST bone roll CDATA>  
6  
7 <!ELEMENT tail EMPTY>  
8 <!ATTLIST tail x CDATA>  
9 <!ATTLIST tail y CDATA>  
10 <!ATTLIST tail z CDATA>  
11  
12 <!ELEMENT head EMPTY>  
13 <!ATTLIST head x CDATA>  
14 <!ATTLIST head y CDATA>  
15 <!ATTLIST head z CDATA>  
16  
17 <!ELEMENT rotation_euler EMPTY>  
18 <!ATTLIST rotation_euler x CDATA>  
19 <!ATTLIST rotation_euler y CDATA>  
20 <!ATTLIST rotation_euler z CDATA>  
21  
22 <!ELEMENT finger (bone, bone, bone)>  
23 <!ATTLIST finger name (thumb|indexFinger|middleFinger|ringFinger|  
   pinkyFinger)>
```

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Auswahl von Gebärden-Alternativen im delegs-Editor (nach: [ZKNS12]). . . . .	3
1.2	Aktueller und Soll-Zustand des Wörterbuch-Imports beim delegs-Projekt. . . . .	4
1.3	Wörterbuch-Import mit Synchronisierungs-Prozess. . . . .	5
2.1	Ein einfaches Kommunikationsmodell (nach: [Wie11]). . . . .	10
2.2	Ein phonetisches Kommunikationsmodell (nach: [Wie11]). . . . .	10
2.3	Ein phonetisches Kommunikationsmodell für Gebärden. . . . .	11
3.1	Genereller Aufbau von HamNoSys-Notationen von Einzelgebärden. Die gestrichelt dargestellten Komponenten sind optional (nach: [Han97]). . . . .	16
3.2	Grundsymbole der Formklassen Faust, Flachhand sowie Einzelfinger (nach: [PLZ <sup>+</sup> 89]). . . . .	17
3.3	Die sechs Grundsymbole für Fingerverbindungen. . . . .	17
3.4	Variationen der Grundsymbole für Handformen (aus: [Han10]). . . . .	17
3.5	Zwischenhandform (links) und unterspezifizierte Vier-Fingerhandform (rechts). . . . .	18
3.6	HamNoSys-Notation für <i>abhängig</i> (oben), in der Notation vorkommende Handformen (unten). . . . .	18
3.7	Gebärde mit der Bedeutung <i>schwimmen</i> in GebärdenSchrift. . . . .	19
3.8	Grundhandformen (links) und Variationen (rechts) (Quelle: [Wöh05]). . . . .	20
3.9	Ausrichtungen der Hand (links) und entsprechende Darstellungen in GebärdenSchrift (rechts) (Quelle: [Wöh05]). . . . .	21
4.1	Krümmungen der Fingergelenke um die lokale X-Achse. . . . .	27

4.2	Fingergelenke und ihre Freiheitsgrade (nach [Alk08]). Das Daumengrundgelenk wird abweichend mit drei Freiheitsgraden modelliert. . . . .	28
4.3	Gültigkeit der Dreiecksungleichung für Winkeldifferenzen. 1. Fall: $ h - j  <  h - k $ , 2. Fall: $ h - j  >  h - k $ . . . . .	33
4.4	Mögliche Zuordnungen der Handformmengen für $\Delta_{G_1, G_3} + \Delta_{G_3, G_2}$ . . . . .	33
5.1	Das Handmodell zur Modellierung der Handformen. . . . .	37
5.2	Die Hierarchie der Knochenstruktur. . . . .	37
5.3	Bedienkonzept zur Verknüpfung von Gebärden. . . . .	41
5.4	WAM-Referenzarchitektur (nach: [PBP06]). . . . .	42
5.5	Die Material-Klassen der Wörterbuch-Einträge. . . . .	43
5.6	Die Material-Klassen der Handform. . . . .	44
5.7	Die Architektur des Verknüpfungswerkzeugs. . . . .	45
5.8	Zwei Gebärden für <i>Abend</i> in GebärdenSchrift. . . . .	46
5.9	Gebärdennotationen und die extrahierten Handformsymbole. . . . .	47
5.10	Handformnotationen und die zugehörigen Handform-Modelle. . . . .	48
5.11	Distanzmessung zweier Handformen. Oben: Die Gelenkkrümmungen beider Handformen im direkten Vergleich. Unten: Gewichtete Distanzwerte der Gelenke. . . . .	49
5.12	Distanzmessung zweier Handformen mit unterschiedlichen Krümmungen der Mittelfingergelenke. . . . .	49
5.13	Screenshots des Verknüpfungswerkzeugs. Oben: Bearbeitung des Eintrags für <i>Durchschnitt</i> . Unten: Wörterbuch-Eintrag mit verknüpftem Fachlexikon-Eintrag (vergl. [Insa]). . . . .	50
6.1	Gebärden für den Begriff <i>Frau</i> in GebärdenSchrift (oben) und in HamNoSys (unten). . . . .	53
6.2	Distanzmessung für <i>Frau Variante 1</i> . . . . .	54
6.3	Distanzmessung für <i>Frau Variante 1</i> mit dem zweitbesten Distanzwert. . . . .	54
6.4	Ergebnisse der Distanzmessungen der Wörterbuch-Einträge für <i>Frau</i> . Für rot dargestellte Abstandswerte weicht die Anzahl der Handformen ab. . . . .	56
6.5	Gebärden für den Begriff <i>Plan</i> in GebärdenSchrift (links) und in HamNoSys (rechts). . . . .	57

Abbildungsverzeichnis	66
6.6 Ergebnisse der Distanzmessungen der Wörterbuch-Einträge für <i>Plan</i> . . . . .	57
6.7 Gebärden für den Begriff <i>Diagnose</i> in GebärdenSchrift (oben) und in HamNoSys (unten) sowie weitere Varianten. . . . .	58
6.8 Ergebnisse der Distanzmessungen der Wörterbuch-Einträge für <i>Diagnose</i> . Für rot dargestellte Abstandswerte weicht die Anzahl der Handformen ab. . . . .	59

# Literaturverzeichnis

- [Alk08] Karen Alkoby: *An analytic model of handshape similarity in american sign language*. Dissertation, 2008.
- [App12a] Apple Inc.: *iOS App Programming Guide*, 2012.
- [App12b] Apple Inc.: *View Controller Catalog for iOS*, 2012.
- [Ben02] Susanne Bentele: *Zu Leistungen und Grenzen von Gebärdenschriftsystemen*. Diplomarbeit, Universität Hamburg, 2002.
- [Ble] Blender Foundation: *Blender*. <http://www.blender.org>, besucht: 10.01.2013.
- [Bra95] Penny Boyes Braem: *Einführung in die Gebärdensprache und ihre Erforschung*. Signum Verlag, 1995.
- [GA10] Andreas Doll Jürgen Engele Joachim Kirsch Siegfried Men-  
se Dieter Reißig Jürgen Salvetter Wolfgang Schmidt Frank  
Schmitz Erik Schulte Katharina Spanel Borowski Werner Wolff  
Laurenz J. Wurzinger Hans Gerhard Zilch Gerhard Aumül-  
ler, Gabriela Aust: *Duale Reihe Anatomie*. Georg Thieme Ver-  
lag, 2010.
- [Han97] Thomas Hanke: *Zur Gestaltung von Gebärdensprachlexika auf  
der Grundlage des Hamburger Notationssystems*. Diplomar-  
beit, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, 1997.
- [Han04] Thomas Hanke: *HamNoSys - Representing Sign Language Data  
in Language Resources and Language Processing Contexts*. In:  
*LREC 2004, Workshop proceedings : Representation and pro-  
cessing of sign languages*, Seiten 1–6, 2004.
- [Han10] Thomas Hanke: *HamNoSys 4 Handshapes Chart*, 2010.  
[http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/dgs-korpus/tl\\_files/  
inhalt\\_pdf/HamNoSys%20Handshapes.pdf](http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/dgs-korpus/tl_files/inhalt_pdf/HamNoSys%20Handshapes.pdf), besucht: 10.01.2013.

- [Insa] Institut für Deutsche Gebärdensprache und Kommunikation Gehörloser der Universität Hamburg: *Fachgebärdenlexikon Gärtnerei und Landschaftsbau*. <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/galex/>, besucht: 10.01.2013.
- [Insb] Institut für Deutsche Gebärdensprache und Kommunikation Gehörloser der Universität Hamburg: *Fachgebärdenlexikon Gesundheit und Pflege*. <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/glex/>, besucht: 10.01.2013.
- [MTA<sup>+</sup>00] John McDonald, Jorge Toro, Karen Alkoby, Andre Berthiaume, Roymieco Carter, Pattaraporn Chomwong, Juliet Christopher, Mary Jo Davidson, Jacob Furst, Brian Konie, Glenn Lancaster, Lopa, Lopa Roychoudhuri, Eric Sedgwick, Noriko Tomuro und Rosalee Wolfe: *An Improved Articulated Model of the Human Hand*. In: *Proceedings of the 8th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Interactive Digital*, Seiten 306–313, 2000.
- [Mül09] Horst M. Müller (Herausgeber): *Arbeitsbuch Linguistik: Eine Einführung in die Sprachwissenschaft*. Ferdinand Schöningh, 2009.
- [PBP06] Carola Lilienthal Petra Becker-Pechau, Bettina Karstens: *Automatisierte Softwareüberprüfung auf der Basis von Architekturregeln*. In: *Software Engineering 2006*, Seiten 27–38, 2006.
- [PLZ<sup>+</sup>89] Siegmund Prillwitz, Regina Leven, Heiko Zienert, Thomas Hanke, Jan Henning und andere: *HamNoSys Version 2.0: Hamburger Notationssystem für Gebärdensprachen. Eine Einführung*. Internationale Arbeiten zur Gebärdensprache und Kommunikation Gehörloser. Signum Verlag, 1989.
- [PvMMH08] Chrissostomis Papaspyrou, Alexander von Meyenn, Michaela Matthaei und Bettina Herrmann: *Grammatik der Deutschen Gebärdensprache aus der Sicht gehörloser Fachleute*. Signum Verlag, 2008.
- [RW12] Klaus M. Rodewig und Clemens Wagner: *Apps entwickeln für iPhone und iPad*. Galileo Computing, 2012.
- [Sch12] Lasse Schneider: *Entwicklung eines Gebärden-Editors unter Usability-Gesichtspunkten. Von Deutscher Gebärdensprache über GebärdenSchrift zu Deutsch*. Diplomarbeit, Universität Hamburg, 2012.
- [Siga] SignPuddle: *SignPuddle Online v2.0*. <http://www.signbank.org/signpuddle/>, besucht: 10.01.2013.

- [Sigb] SignPuddle: *Sutton's SymbolBank*. <http://movementwriting.org/symbolbank/>, besucht: 10.01.2013.
- [Wie11] Richard Wiese: *Phonetik und Phonologie*. Wilhelm Fink GmbH & Co. Verlags-KG, 2011.
- [Wöh03] Stefan Wöhrmann: *GebärdenSchrift lesen lernen*. Das Zeichen, 2003.
- [Wöh05] Stefan Wöhrmann: *Handbuch zur GebärdenSchrift*. Verlag Birgit Jacobsen, 2005.
- [ZKNS12] Felix Zwingenberger, Jörn Koch, Joachim Nitschke und Lasse Schneider: *Zeichen setzen - Gebärdensprache schreiben mit Java*. Javasppektrum, 3, Februar 2012.
- [Zül05] Heinz Züllighoven: *Object-Oriented Construction Handbook*. Morgan Kaufmann Publishers, 2005.

# Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der im beigefügten Verzeichnis angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Ich bin mit einer Einstellung in den Bestand der Bibliothek des Departments Informatik einverstanden.

Hamburg, am 10. Januar 2013

Felix Zwingenberger