

Automatic Pattern Recognition and Historical Handwriting Analysis

20. Internationaler SAOT Workshop

14. und 15. Juni 2013, Erlangen

Bericht von:

Celia Krause, TU Darmstadt

E-Mail: <krause@linglit.tu-darmstadt.de>

Die Veranstaltung fand am 14. und 15. Juni 2013 unter der Ägide der Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT)¹ statt und wurde von Mitarbeitern des BMBF-geförderten Projektes *Schrift und Zeichen. Computergestützte Analyse von hochmittelalterlichen Papsturkunden - Ein Schlüssel zur Kulturgeschichte Europas*² ausgerichtet. Gleich in mehrfacher Hinsicht verfolgte die Tagung transdisziplinäre Ansätze, indem sie nicht nur internationale Wissenschaftler aus verschiedenen Wissenschaftskulturen, sondern auch Vertreter aus unterschiedlichen Wissenschaftstraditionen, also aus konventionell arbeitenden Fachgebieten³ und aus digital orientierten bzw. IT-basierten Disziplinen⁴, an einem gemeinsamen Tisch versammelt hat. Um den Charakter der Veranstaltung zusätzlich zu unterstreichen, wurde jede Sektion außer der letzten durch einen geisteswissenschaftlichen Vortrag eingeleitet, dem dann Vorträge folgten, die sich mit der technischen Umsetzung unterschiedlicher Problemlösungen befassten.

Überblick über die Inhalte des Workshops

Die Forschung am Objekt „Handschrift“, also der mit der Hand ausgeführten Schreibschrift einerseits und dem per Hand erstellten Schriftwerk andererseits zog sich wie ein roter Faden durch das Tagungsprogramm. Inhaltlicher Bezugspunkt waren bereits in der einleitenden Sektion die Papsturkunden des hohen Mittelalters, die im Rahmen des BMBF-Projekts *Schrift und Zeichen* auf zeitliche Veränderungen im Schriftbild, auf Veränderungen in der Konzeption äußerer Merkmale und graphischer Symbole sowie auf Merkmale von Schreiberhänden untersucht werden. Das Projektvorhaben selbst und den Stand der gegenwärtigen Arbeiten beleuchteten VINCENT CHRISTLEIN und THORSTEN SCHLAUWITZ (beide Erlangen) in ihren jeweiligen Vorträgen. Weitere drei Beiträge aus den Folgesektionen (WERNER MALECZEK, THOMAS FRENZ, OTFRIED KRAFFT) nahmen ebenfalls mittelalterliche Urkunden aus der päpstlichen Kanzlei in den Blick. Das Programm gliederte sich in fünf Hauptsektionen, die mit den Stichworten „Traditional Paleography“, „Writer Identification“, „Digital Paleography“, „General Document Analysis“ und „Automatic Handwriting Recognition and Analysis“ überschrieben waren. Damit haben die Veranstalter jene Kategorien ausgewählt, die auch einen Ausgangspunkt in ihrem eigenen Projekt *Schrift und Zeichen* gebildet haben.

Sektion I

In den ersten beiden Sektionen wurden Inhalte und Arbeitsweisen der traditionellen paläographischen Forschung und forensischen Schriftuntersuchung beschrieben (WAGENDORFER, BROMM, MALECZEK). MARTIN WAGENDORFER von der LMU München skizzierte überblicksartig vier wesentliche Arbeitsbereiche der traditionellen Paläographie: die Entzifferung, Datierung und Lokalisierung von Schriften sowie die Identifizierung einzelner Schreiberhände, für die es jedoch noch keine systematische Untersuchung gebe. Aus der Beschäftigung mit Handschriften leitete er

¹ <http://www.aot.uni-erlangen.de/saot/home.html>.

² Informationen zu diesem Projekt, das am 1. 8. 2012 gestartet ist, finden sich auf folgender Website: <http://www5.cs.fau.de/puhma/home/>.

³ Geschichtswissenschaft, historische und forensische Paläographie, Schriftgeschichte, Handschriftenkunde.

⁴ Digitale Paläographie, Angewandte Informatik.

verschiedene Ursachen für die Veränderung des Schriftbildes ab, die er an einigen Fallbeispielen erläuterte. Hierzu gehören neben einigen äußeren Bedingungen wie dem fortschreitenden Alter und der psychischen Verfassung des Schreibers oder einem Wechsel des Beschreibstoffes auch die bewusste Entscheidung des Schreibers, bestimmte Schrifttypen, Buchstabenformen, Sonderzeichen oder Abkürzungen bzw. Ligaturen zu verwenden. Neben den äußeren Charakteristika kommen für Wagendorfer auch inhaltliche Kriterien hinzu, die etwas über die Person des Schreibers verraten können.

GUDRUN BROMM berichtete in ihrem Vortrag über die Arbeitspraktiken am Mannheimer Schrift- und Urkundenlabor. Dabei gab sie einen Überblick über die mechanischen bzw. chemischen Analyseverfahren der forensischen Handschriftenuntersuchung, bei der es im Wesentlichen um die Feststellung der Authentizität von Schriftstücken, die Identifizierung von Autoren, den Nachweis der Entstehungsbedingungen von Schriftstücken, aber auch um die Entzifferung kryptographischer Schriftsysteme geht. Bromm erläuterte unter anderem auch den kriminologischen Zweck einiger Nachweismethoden, mit denen bewusste Manipulationen und Fälschungen aufgedeckt werden können. Derartige Methoden orientierten sich vor allem an einer Liste von allgemeingültigen Handschriftencharakteristika, anhand derer das Schriftbild durch Autopsie des Sachverständigen geprüft werde. Zu den äußeren Umständen für die Veränderung eines Schriftbildes zählte sie u.a. Witterungsbedingungen (Kälte), die Funktionalität des Schreibwerkzeuges sowie die Einwirkung von Rauschmitteln. Während der Vorträge und in der anschließenden Diskussion war bei den Vortragenden der ersten Sektion eine gewisse Skepsis gegenüber der umfassenden Einsetzbarkeit maschineller Methoden zu spüren.

Sektion II

Einen eingehenderen Einblick in die Arbeit eines Paläographen vermittelte der Beitrag von WERNER MALECZEK (Universität Wien) zu Beginn der darauffolgenden Sektion. Gegenstand seines Vortrages waren die Kardinalsunterschriften auf päpstlichen Privilegien des 12. und 13. Jahrhunderts, die aufgrund der Homogenität ihrer Bestandteile für Vergleichsstudien über längere historische Zeiträume geeignet seien. In den meisten Fällen handele es sich um eigenhändige Unterschriften der Kardinäle, in einigen wenigen Fällen habe ein begleitender Schreiber oder Notar die Unterschrift im Namen den Kardinals übernommen. Die Unterschriften seien nicht nur eine Quelle für die Zusammensetzung des Kardinalskollegiums und die Geschichte der Kurie, sondern auch eine Grundlage für prosopographische Studien, die sich aus den Eigentümlichkeiten in der Ausführung der Signaturen ergeben.

Von der gänzlich ‚analog‘ geprägten Methodik Maleczeks, die rein auf der persönlichen Inaugenscheinnahme der Schriftquellen beruhte, leitete der Vortrag von SARGUR SRIHARI (Buffalo, New York) zu Möglichkeiten und Visionen einer automatisch gesteuerten Analyse von Schriftstücken über. Der Fall der Lindbergh-Kindesentführung in den 1930er Jahren, in dem mehrere handgeschriebene Nachrichten der Entführer eine Rolle spielten, sei ein Musterfall für die Prüfung auf mehrere Schreiberhände und eine mögliche intendierte ‚Verstellung‘ der Handschrift. Der Redner wagte auch einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen, im Zuge derer computerbasierte Mustererkennungsverfahren und statistische Analysen eine sinnvolle Ergänzung zu den erprobten Vorgehensweisen sein könnten.

Im Anschluss daran zeigte LAMBERT SCHOMAKER (Rijksuniversiteit Groningen) die Wichtigkeit moderner Software für eine interaktive Unterstützung paläographischer Forschung auf. Schomaker stellte das Groninger Projekt *Monk*⁵ vor, das dem Wissenschaftler neben Möglichkeiten zur webbasierten Annotation digitalisierter Handschriftenseiten zusätzlich Mustererkennungsalgorithmen zur Identifizierung von Handschriften und Text bietet. Zusätzlich kann in Image Scans großer Dokumentsammlungen nach Schlüsselbegriffen und Textpassagen gesucht werden. Zu den vielfältigen Sichtweisen auf das Thema ‚Schreiberidentifizierung‘ zählte ebenso die Erkenntnis, dass

⁵ <http://www.ai.rug.nl/~lambert/Monk-collections-english.html>.

das individuelle Schriftbild biometrischen Verhaltensweisen unterliege, die antrainiert, anatomisch bedingt oder auch willentlich beeinflusst werden können.

Sektion III

THOMAS FRENZ' Beitrag zur Schriftentwicklung an der päpstlichen Kurie im Florenz des 15. Jahrhunderts leitete die dritte Sektion zum Thema ‚Digitale Paläographie‘ ein. Frenz (Universität Passau) gab zunächst einen Überblick über die allgemeinen Entwicklungstendenzen der Schrifttypen im 15. Jahrhundert (karolingische Minuskel, gotische Minuskel, humanistische Minuskel) und erläuterte in einem zweiten Teil die spezielle Ausprägung der Urkundenschrift in Kanzleiregistern und Breven an der Kurie, die entscheidenden Einflüssen durch Sekretäre des Renaissance-Humanismus unterlag.

Der nachfolgende Vortrag von PETER STOKES vom King's College London warf eine Reihe von Fragen auf, mit denen er die digitale Herangehensweise an die Erforschung historischer Dokumente durchleuchtete. So wurde insbesondere hinterfragt, ob die digitalen Methoden in diesem Zusammenhang dem Anspruch der historischen Wahrheitsfindung gerecht werden, ob sie für größere Sammlungen angepasst werden können und welchen Bedeutungsgehalt die Daten besitzen, die die Software generiert hat. Zudem sprach Stokes einen heiklen, aber bedenkenswerten Punkt an: Es stelle sich nicht nur die Frage, wie die geisteswissenschaftliche Forschung durch computerbasierte Methoden unterstützt werden könne, sondern welche Art von Forschungsfragen man überhaupt stellen sollte, um zu stichhaltigen Ergebnissen zu gelangen. Stokes setzte hierfür strukturierte Fragen an das Material voraus.

Der daran anschließende Vortrag von DOMINIQUE STUTZMANN (CNRS Paris) richtete den Blick in Kürze auf zwei Projekte zur digitalen Paläographie in französischer Trägerschaft. Das bereits abgeschlossene Projekt *Graphem*⁶ (2007-2011) sollte durch informationstechnische Analysen zu einem besseren Verständnis der Entwicklung mittelalterlicher lateinischer Schriftformen beitragen. Hierfür sind auch Methoden des Word Spottings und Word Retrievals zum Einsatz gekommen. Das Projekt *ORIFLAMMS*⁷ (2013-2016) verfolgt Forschungsergebnisse aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen, u.a. auf den Gebieten der Bild- und Schrifterkennung, der Kategorisierung und des Clusterings. Stutzmann berichtete in diesem Zusammenhang von seinen Erfahrungen mit einer Visualisierungsmatrix, in die er digitale Bilder datierter Handschriftenseiten aus Frankreichs Katalogen zur Verarbeitung hatte einfließen lassen. Eine Wiederholung der Versuche unter gleichen Bedingungen erzielte unterschiedliche Resultate.

Im letzten Vortrag der Sektion präsentierte JOSEP LLADÓS von der Universitat Autònoma de Barcelona das Projekt *Five Centuries of Marriages*⁸, für das Urkunden mit Hochzeitsbewilligungen aus der Kathedrale von Barcelona als Analyseobjekt ausgewählt wurden. Da diese eine konstante Struktur aufwiesen, eigneten sie sich ebenfalls für Methoden der Mustererkennung. Als Ziele des Unternehmens nannte Lladós die Analyse des Layouts dieser Dokumente sowie die Transkription der gesamten Sammlung. Word Spotting-Verfahren sollten eine Durchsuchbarkeit der Dokumente ermöglichen, die auch eine kontext-sensitive Lokalisierung des Suchwortes in den Image Scans und eine Verknüpfung dieser Suchergebnisse mit den Stichwörtern in den Indizes zulasse. Während der Präsentation bewertete der Vortragende unterschiedliche Herangehensweisen und arbeitete die Vor- und Nachteile verschiedener statistischer und struktureller Word Spotting-Modelle heraus.

Sektion IV

OTFRIED KRAFFT (Philipps-Universität Marburg) eröffnete die vorletzte Sektion zur allgemeinen Dokumentanalyse mit seinem Beitrag zu den urkundlichen Privilegien aus der Kanzlei Papst Urbans II.

⁶ <http://liris.cnrs.fr/graphem/>.

⁷ <http://oriflamms.hypotheses.org> [Ontology Research, Image Features, Letterform Analysis on Multilingual Medieval Scripts].

⁸ <http://dag.cvc.uab.es/5cofm/>.

Ihn interessierte maßgeblich die Gestaltung des Seitenspiegels und die Zusammensetzung seiner Einzelelemente, wobei er den Maßen des Hilfsliniennetzes eine entscheidende Rolle bei der Festlegung der Ausmaße anderer Merkmale auf der Seite einräumte. Zu diesen gehörten etwa die langgezogene Schrift in der ersten Zeile eines Dokuments (Elongata), Initialen und Satz-anfangsmajuskeln oder graphische Zeichen wie Rota und Monogramm. Krafft konstatierte ebenso zeitliche Veränderungen in der Anordnung und Position dieser Gestaltungsmerkmale, in denen sich wiederum bestimmte Eigenheiten und Individualisierungstendenzen einzelner Schreiber oder Gruppen manifestierten. Zuletzt wies der Redner auch auf Probleme hin, die genaue Messungen der Layoutelemente erschwerten, z. B. die organisch bedingte Verformung des Pergaments.

In einem zweiten Vortrag, der die Sektion bedauerlicherweise schon wieder beendete, stellte sich ROBERT SABLATNIG von der Technischen Universität Wien der Herausforderung, digitale Bilder von Palimpsesten und Dokumenten mit verblasstem Text oder ungleichmäßigem Hintergrund so zu bearbeiten, dass sie für Analysen zu Struktur und Inhalt weiterverarbeitet werden können. Anhand zweier slawischer Manuskripte aus dem Projekt *The Enigma of the Sinaitic Glagolitic Tradition*⁹ diskutierte Sablatnig eine Reihe von spektralen Bildverarbeitungsmethoden und Image Enhancement-Verfahren, die den verlorenen Inhalt der Dokumente wieder sichtbar machen bzw. die Lesbarkeit deutlich verbessern können, und stellte sie einander vergleichend gegenüber. Darüberhinaus wurde der *Nomacs Image Viewer*¹⁰, ein frei verfügbares Werkzeug zur Bildbetrachtung, Bildbearbeitung und Durchführung von Bildvergleichen vorgestellt.

Sektion V

Der letzte und zugleich „technikaffinste“ Abschnitt der Tagung beinhaltete drei weitere Vorträge zur automatischen Erkennung und Analyse von Handschriften. MATTHIAS LAWO und BJÖRN GOTTFRIED (BBAW / Universität Bremen) führten der Zuhörerschaft das Programm *Diptychon*¹¹ vor, das dem Bearbeiter von Handschriften bei der Erstellung von Transkriptionen durch Erkennung der Buchstaben und Unterbreitung von Transkriptionsvorschlägen (Vorschläge zur Segmentierung von Zeilen und Glyphen) behilflich sein kann. Textzeilen würden automatisch identifiziert; Worte und einzelne Buchstaben würden segmentiert und könnten markiert werden; ebenso könne der Bearbeiter Abkürzungen und Ligaturen mit Hilfe von Spezialzeichen kenntlich machen. Aus den Daten, die das Programm erhält, könnten - laut den Ausführungen der Vortragenden - Statistiken zur Anzahl der Textzeilen, zum Raum zwischen den Linien sowie zur Menge der Abkürzungen und Buchstaben erstellt werden. Darüberhinaus wies Gottfried darauf hin, dass dem Benutzer nicht nur eine Volltextsuchfunktion zur Verfügung steht, sondern dass er sich unterschiedliche Schreibformen ein und desselben Buchstabens auch in Bildergalerien anzeigen lassen kann. In der anschließenden Diskussion wurde eine Ausgabe dieser Daten in TEI-konformem Format gewünscht.

Daran anschließend zeigte RAGHAVAN MANMATHA von der University of Massachusetts weitere Beispiellösungen für Volltextsuche und Text Retrieval in digitalisierten handschriftlichen Dokumenten. Der Nutzer könne sich die Suchergebnisse in Form von sogenannten ‚snippets‘ in den Image Scans selbst anzeigen lassen und sich durch direktes Anwählen dieser ‚snippets‘ zur Ansicht der gesamten Seite weiterleiten lassen, in der die Position des gefundenen Begriffs markiert sei. Eine technische Herausforderung bei der Vorprozessierung und Segmentierung stellten für Manmatha vor allem die Digitalisierung im Binärformat und die verlustreiche Komprimierung der Dateien dar. Einen weiteren Abschnitt des Vortrags widmete er dem sogenannten ‚Cross-language Retrieval‘. Hierbei handelt es sich um eine Methode, bei der die Sprache bei der Eingabe des Suchwortes von derjenigen der gefundenen Begriffe in den Dokumenten selbst abweichen kann. Außerdem ging Manmatha der Frage nach, wie man Duplikate von Handschriften aufspüren könnte.

Der Abschlussvortrag von LIOR WOLF (Tel Aviv University) war von vornherein als Fragerunde gestaltet. Der Vortragende verblieb mit den Zuhörern in einem kontinuierlichen Zwiegespräch und stellte

⁹ <http://caa.tuwien.ac.at/cvl/research/sinai/>.

¹⁰ <http://www.nomacs.org/>.

¹¹ <http://www.tzi.de/~bjoerng/Diptychon.htm>.

in mehreren kleinen Einheiten Softwarelösungen für unterschiedliche Belange der Handschriftenforschung vor. Hierzu gehörten u.a. ein Tool zum Auffinden von übereinstimmenden Zitaten in Textdokumenten, ein Werkzeug für die Mustererkennung und Transkription mittels ‚optical flow‘, ein Tool, das verschiedene Fragmente ein und desselben Schriftträgers in unterschiedlichen Bibliotheksbeständen aufspüren kann, indem es markante Gestaltungsmerkmale automatisch erfasst und auf Ähnlichkeiten bei anderen Digitalisaten überprüft sowie ein paläographisches Werkzeug für den Abgleich von Schreibstilen.

Conclusio

Die fortschreitende Digitalisierung von Primärquellen trägt nicht nur zu einem mediengeschichtlich bedeutsamen Wandel in Rezeption und Herangehensweise bei. Sie offeriert auch neue Ansätze digitaler Erschließung und Auswertung, die schließlich in neue Formen der Interpretation münden können. Insgesamt gab die Veranstaltung einen lehrreichen Gesamtüberblick über aktuelle Möglichkeiten der Handschriftenerschließung durch Methoden der Mustererkennung. Dabei spielte die Segmentierung und Extraktion von graphischen Elementen und Merkmalen in digitalisiertem Handschriftenmaterial die Hauptrolle. Die Untersuchung der Layoutgestaltung von Dokumenten wurde leider nur an wenigen Stellen ausführlicher behandelt. Vor allem das Word Spotting fand immer wieder Erwähnung; daneben operierten die Wissenschaftler mit weiteren Verfahren wie Text Retrieval, Clustering und Similarity Computation, die durch Algorithmen unterstützt werden. Darüber hinaus wurde etwa das Multispectral Imaging bzw. Image Enhancement genannt.

Der Erlanger Workshop zeigte sehr deutlich, dass die Möglichkeiten der angewandten Informatik auf Seiten der Geisteswissenschaftler aus verschiedenen Blickwinkeln heraus reflektiert werden. Die einen sehen darin pragmatische und zeitsparende Einzellösungen, z. B. für die Aufspürung von besonderen Ligaturen und Abkürzungszeichen in bestimmten Texten, welche Hinweise auf Schreiberidentitäten geben können (WAGENDORFER). Andere werfen mehr einen Blick auf das große Ganze, indem sie theoretische Überlegungen zum Einsatz digitaler Methoden anstellen, z. B. zur Art und Weise, wie ein Paläograph seine Fragen an digitalisierte Handschriften stellen müsste, um aus der systematischen Anwendung von Mustererkennungsverfahren und statistischen Analysemethoden einen Gewinn zu ziehen (STOKES). Wieder andere sehen sich mit der Herausforderung einer ‚Vernaturwissenschaftlichung‘ des geisteswissenschaftlichen Forschungsprozesses konfrontiert, in dem Primärdaten in Versuchsreihen ausgewertet werden. Wie in den Naturwissenschaften auch ergeben sich Unsicherheiten in der Beurteilung der Ergebnisse, wenn diese von den Erwartungen abweichen (STUTZMANN).

Insgesamt haben die einzelnen Beiträge gezeigt, auf welchen Ebenen Paläographen und Historiker erfolgreich mit Informatikern zusammenarbeiten können. Die von KLAUS HERBERS (Nürnberg) zu Beginn der Veranstaltung befürchtete „babylonische Sprachverwirrung“ zwischen den Repräsentanten der einzelnen Disziplinen blieb glücklicherweise aus. Allerdings stand mehrmals die Frage im Raum, ob es abzusehen ist, dass der Computer dem Paläographen künftig die Arbeit abnehmen wird. Der große Vorteil des EDV-Einsatzes – so zeigten besonders die Vorträge der letzten Sektion – liegt sicherlich in einer beschleunigten Erfassung und Bewertung großer paläographischer Materialmengen. Es wurde aber auch an mehreren Stellen gefordert, dass die konventionelle Arbeitsweise nicht aus dem Blick verloren werden darf. Das subjektive Wahrnehmen und Entscheiden des Paläographen sei für die Analyse handschriftlicher Quellen mindestens ebenso wichtig und solle nicht zugunsten einer digital gesteuerten Paläographie aufgegeben werden. Eine Verbindung von Methoden der digitalen Mustererkennung und klassischen historischen Arbeitsweisen scheint daher die erstrebenswerteste Lösung zu sein.

Konferenzübersicht

June 14, 2013

Opening

Welcome

Joachim Hornegger

Vice-President of University of Erlangen-Nuremberg

Message from Chairs

Klaus Herbers, Irmgard Fees

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg / Ludwig-Maximilians-Universität München

Script and Signs. A Computer-based Analysis of High Medieval Papal Charters. A Key to Europe's Cultural History

Vincent Christlein

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Presentation of the Papal Documents Database

Thorsten Schlauwitz

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Section I. Traditional Palaeography

Considerations of the Identification of Scribes: Aims and Methods of Traditional Palaeography

Martin Wagendorfer (German)

Ludwig-Maximilians-Universität München

Forensic Handwriting Analysis

Gudrun Bromm

Mannheim Laboratory for Script and Document Analysis

Section II. Writer Identification

The Right Hand of the Pope: On the Authenticity of the Cardinal Signatures on Papal Privileges in the 12th and 13th Centuries (German)

Werner Maleczek

University of Vienna

Role of Automation in the Examination of Handwritten Items: the Lindbergh Case

Sargur Srihari

University at Buffalo - State University of New York

The Necessity of Simultaneous Multiple Perspectives in Digital Identification of the Hand

Lambert Schomaker

University of Groningen

Section III. Digital Palaeography

The Evolution of Handwriting in the Papal Curia of the 15th Century (German)

Thomas Frenz

University of Passau

In Meaning versus Mining, and Putting the Palaeographer in Charge
Peter Stokes
King's College London

Image Analysis and Clustering of Medieval Scripts: an Evaluation Protocol
Dominique Stutzmann
French National Center for Scientific Research

Handwritten Word Spotting in Historical Documents: the Project Five Centuries of Marriages
Josep Lladós
Universitat Autònoma de Barcelona

June 15, 2013

Section IV. General Document Analysis

Layout and Writer Identification
Otfried Krafft
University of Marburg

Multispectral Image Acquisition and Analysis for Manuscript Research
Robert Sablatnig
Vienna University of Technology

Section V. Automatic Handwriting Recognition and Analysis

Diptychon: a Transcription Assistant System for the Separation of Glyphs in Medieval Handwritings
Björn Gottfried, Matthias Lawo
University of Bremen / Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities

Searching Handwritten Manuscripts
Raghavan Manmatha
University of Massachusetts

Automatic Tools for Historical Manuscript Analysis
Lior Wolf
Tel Aviv University

Concluding Discussion
Kurt Gärtner
Trier University