

Schriften des Instituts für Dokumentologie und Editorik — Band 11

Kodikologie und Paläographie im digitalen Zeitalter 4

Codicology and Palaeography in the Digital Age 4

herausgegeben von | edited by

Hannah Busch, Franz Fischer, Patrick Sahle

unter Mitarbeit von | in collaboration with

Bernhard Assmann, Philipp Hegel, Celia Krause

2017

BoD, Norderstedt

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Digitale Parallelfassung der gedruckten Publikation zur Archivierung im Kölner Universitäts-Publikations-Server (KUPS). Stand 4. September 2017.

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

Diese Publikation wurde im Rahmen des Projektes eCodicology (Förderkennzeichen 01UG1350A-C) mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Publication realised within the project eCodicology (funding code 01UG1350A-C) with financial resources of the German Federal Ministry of Research and Education (BMBF).

2017

Herstellung und Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt

ISBN: 978-3-7448-3877-1

Einbandgestaltung: Julia Sorouri, basierend auf Vorarbeiten von Johanna Puhl und Katharina Weber; Coverbild nach einer Vorlage von Swati Chandna.

Satz: Lua \TeX und Bernhard Assmann

MEI Kodierung der frühesten Notation in linienlosen Neumen

Inga Behrendt, Jennifer Bain, Kate Helsen

Zusammenfassung

Das *Optical Neume Recognition Project* (ONRP) hat die digitale Kodierung von musikalischen Notationszeichen aus dem Jahr um 1000 zum Ziel – ein ambitioniertes Vorhaben, das die Projektmitglieder veranlasste, verschiedenste methodische Ansätze zu evaluieren. Die *Optical Music Recognition-Software* soll eine linienlose Notation aus einem der ältesten erhaltenen Quellen mit Notationszeichen, dem *Antiphonar Hartker* aus der Benediktinerabtei St. Gallen (Schweiz), welches heute in zwei Bänden in der Stiftsbibliothek in St. Gallen aufbewahrt wird, erfassen. Aufgrund der handgeschriebenen, linienlosen Notation stellt dieser Gregorianische Gesang den Forscher vor viele Herausforderungen. Das Werk umfasst über 300 verschiedene Neumenzeichen und ihre Notation, die mit Hilfe der *Music Encoding Initiative* (MEI) erfasst und beschrieben werden sollen. Der folgende Artikel beschreibt den Prozess der Adaptierung, um die MEI auf die Notation von Neumen ohne Notenlinien anzuwenden. Beschrieben werden Eigenschaften der Neumennotation, um zu verdeutlichen, wo die Herausforderungen dieser Arbeit liegen sowie die Funktionsweise des *Classifiers*, einer Art digitalen Neumenwörterbuchs.

Abstract

The *Optical Neume Recognition Project* (ONRP) is one branch of *Cantus Ultimus*, a research team overseen by Ichiro Fujinaga at McGill University in Montreal, Canada in association with the SIMSSA project (Single Interface for Score Searching and Analysis), also under Fujinaga's direction at McGill. *Cantus Ultimus* aims to use *optical music recognition* (OMR) technology to develop tools for searching plainchant manuscripts for musical information in much the same way that *optical character recognition* (OCR) is used to search text in digital environments. With thousands of digital manuscripts with musical notation available online, ONRP has begun this process using a tenth-century manuscript, called the *Hartker Antiphoner*, as a prototype. The manuscript comes from the St. Gallen Stiftsbibliothek in Switzerland and has an early chant notation that uses neumes without staff lines. Notated by hand, this Gregorian chant notation poses many research challenges. Gregorian chant shows in its essence the relationship between word and music. As a regular

part of the liturgy, plainchant sets biblical texts to music; given the importance of the texts, they are understandably set very carefully and sensitively. For example, even if a melody is used for two different texts, the notation of the melody changes to reflect the different structure and meaning. With this level of sensitivity, how can we capture the variety of over 300 neume signs and their combinations that we find in the *Hartker Antiphoner*? For this technical issue, we use the *Music Encoding Initiative* (MEI), which is a markup language that has become the standard for the discipline of music. Each sign in a digital image is described within a consistent hierarchy of attributes. MEI is adaptable to every kind of notation because the attributes can be determined freely. Thus, MEI has been used for notations ranging from tablature, to mensural notation, to *Hufnagelnotation* (Morent, Tübingen). The following article describes the process of adaptation of MEI for neume notation without staff lines. In order to explain clearly where the challenges are, the characteristics of the neume notation are briefly described, as well as how the *classifier* (a kind of digital neume dictionary) works.

1 Das *Optical Neume Recognition Project* (ONRP) und die MEI Kodierung

Das *Optical Neume Recognition Project* (ONRP) ist ein Zweig von *Cantus Ultimus*, einem Forschungsteam, das zu dem Verbund verschiedener Forschungsprojekte SIMSSA (*Single Interface for Score Searching and Analysis*) gehört, die unter der Leitung von Ichiro Fujinaga stehen und an der McGill University in Montreal angesiedelt sind. *Cantus Ultimus* beabsichtigt, die optische Wiedererkennungstechnologie für Bilddateien mit Musiknotation weiterzuentwickeln. Das *Optical Neume Recognition Project* (ONRP) ist dasjenige Teilprojekt, das insbesondere mit früher linienloser Notation in Neumen aus Handschriften etwa des 10. bis 12. Jahrhunderts befasst ist.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten von *Cantus Ultimus* sollen Tools erstellt werden, die helfen, nach musikalischer Information in Bilddateien zu suchen – vergleichbar zur optischen Textwiedererkennung, wie es beispielsweise bei *Google Books* geschieht. Mit *Cantus Ultimus* wurde bereits jetzt eine Oberfläche erstellt, genannt *Cantus Ultimus viewer*, auf der Bildseiten von mittelalterlichen Handschriften zu sehen sind, kombiniert mit Informationen zu den Inhalten auf diesen Handschriftenseiten. Diese Informationen stammen aus der bereits existierenden Datenbank *Cantus Manuscript Database*. Für diese Datenbank wurden seit den 1980er Jahren an der *Catholic University of America* unter Leitung von Ruth Steiner mittelalterliche Choralhandschriften katalogisiert. Heute sind mehr als 160 mittelalterliche Codices mit lateinischem, einstimmigen Repertoire des Gregorianischen Chorals in dieser Datenbank enthalten. In den letzten Jahren wurden von einem Teil der Handschriften von wissenschaftlichen

Mitarbeitern der Text wie auch die Gesänge vollständig transkribiert und somit die Datenmenge der *Cantus Manuscript Database* entscheidend erweitert, da hierdurch für die Forschung wichtige neue Suchoptionen ermöglicht worden sind: Auf dieser Grundlage bietet *Cantus Ultimus* heute neben der Abbildung der einzelnen Handschriftenseiten (als Scan), Informationen zum Inhalt und verschiedene Suchmöglichkeiten. Die Suchergebnisse können sogleich in allen Handschriftenseiten nachgeschlagen werden, was den Umgang mit dem Codex enorm vereinfacht.

Eine besondere Herausforderung für *Cantus Ultimus* ist die große Unterschiedlichkeit der musikalischen Notationsstile in den Gregorianikhandschriften. Denn die Handschriften stammen aus ganz verschiedenen Regionen Europas und aus einem Zeitraum, der mehr als 600 Jahre umfasst. Trotzdem lassen sich die Handschriften dieser verschiedenen Notationsstile in zwei große Gruppen aufteilen: in diejenigen Handschriften mit Notation auf Linien, die Informationen zur absoluten Tonhöhe der Melodietöne bieten (*diastematische Notation*), und diejenigen Codices ohne Notation auf Linien, die keine absolute Tonhöhe der Einzeltöne anzeigen (*adiastematische Notation*), sondern pro Silbe die Anzahl der Töne, ihre Relation zueinander (hoch, tief, gleich hoch), sowie rhythmisch-agogische Aspekte beschreiben. Jede dieser Notationen erfordert verschiedene Forschungsansätze, so dass eine Gruppe von *Cantus Ultimus* mit Handschriften mit Liniennotation arbeitet, wohingegen das *Optical Neume Recognition Project* den Fokus auf die Handschriften ohne Liniennotation gelegt hat.

Das Projekt startete mit einer Handschrift des 10. Jahrhunderts in zwei Bänden, dem berühmten *Antiphonar Hartker*, Stiftsbibliothek St. Gallen, CH-SGs 390 und 391, das um 1000 entstanden ist und in Verbindung gebracht wird mit dem St. Galler Mönch Hartker. Diese Handschrift wurde gewählt, da sie eines der frühesten vollständig erhaltenen Antiphonare darstellt und bereits viele Studien zum Codex, beispielsweise hinsichtlich der verschiedenen Schreiber der Notation, erstellt worden sind – Studien, die mit Hilfe von ONRP verifiziert und ergänzt werden sollen (Pouderoijen und de Loos 2009). Die Notation des *Antiphonars Hartker* repräsentiert ein frühes Stadium der Notation mit einer hohen Vielfalt und einem hohen Variantenreichtum der Notationszeichen.

Im *Antiphonar Hartker* sind die Neumen als aufrechte Strichnotation notiert, eine sogenannte *Akzentnotation*, die an einer gedachten horizontalen Linie oberhalb der jeweiligen Textzeile ausgerichtet werden. Dabei erscheinen die Neumenzeichen ohne Linien in das freie Feld (*in campo aperto*) über den Textzeilen. Die Neumen bieten Informationen über die relative Tonhöhe der Melodie, wie weiter unten beschrieben werden wird, und sie bietet außerdem eine große Menge an weiteren Informationen über die Aufführungsweise, und zwar hinsichtlich des Tempos, der Tondauer und Dynamik – dies jeweils mit engstem Bezug zum Text. In unserer heutigen Notation sind wir gewohnt, dass Informationen zur Tonhöhe und Tondauer getrennt gegeben werden von denjenigen über die Art der Aufführung, also zur Art und Weise, wie



Abbildung 1: Neumen des Responsoriums *Hic est Martinus* vom Fest des Heiligen Martins, *Antiphonar Hartker* CH-SGs 391, um 1000, St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. Sang. 391, pag. 141.

ein Ton ausgeführt werden soll. In der frühen Neumennotation gibt es aber kaum Zeichen, die neben Angaben zur Aufführungsweise nicht auch solche zur Tondauer und Tonhöhe machen. Wenn man nun versucht, mit Hilfe von Computertechnik die Notation zu erfassen, muss dieser Andersartigkeit des Konzeptes der Notation Rechnung getragen werden. Es müssen zunächst möglichst viele Informationen, die in der Notation in Neumen enthalten ist, beschrieben werden, damit sie im Anschluss in verschiedenster Kombination von der Computertechnik erkannt werden können.

Über 300 verschiedene Neumen – verstanden in diesem Fall als einzelnes Zeichen wie auch als Kombination von Zeichen – wurden im *Antiphonar Hartker* gefunden. Schätzungsweise 150.000 verschiedene Neumenzeichen sind in den zwei Bänden enthalten. (Berechnet wird dies überschlagsweise mit einer durchschnittlichen Anzahl von 20 Neumen pro Zeile bei durchschnittlich 15 Zeilen pro Seite und insgesamt 502 Seiten.) Sobald man nach bestimmten gleichen Neumenkonstellationen in vielen hundert Bildseiten suchen kann, d. h. nach Mustern der Neumierung, wird sich die wissenschaftliche Erforschung der Neumennotation immens verändern. Weitere Muster werden erkannt werden, solche hinsichtlich der Verwendung der Musiknotation, bei der Herstellung der Handschrift, solche hinsichtlich der Verankerung der Gesänge in der Liturgie, in der dieser Gesänge erklingen sind, sowie hinsichtlich des engen Wort-Ton-Verhältnisses der Gesänge.

2 Music Encoding Initiative (MEI) – Zur Kodierung der Notationszeichen

Eine der besten Möglichkeiten zur Beschreibung der *Music Encoding Initiative* (MEI) ist, diese mit einer menschlichen Sprache zu vergleichen. Sprachen sind Kodierungssysteme, die auf Regeln beruhen, die von denjenigen eingehalten werden, die sich der Sprache bedienen. Wir nennen diese Regeln die Grammatik der Sprache. Eine Grammatik benötigt sowohl Freiräume als auch semantische Eindeutigkeit, und sie muss auch flexibel genug sein, um neue Vokabeln aufzunehmen. Die Regeln (die Gram-

matik) von MEI betreffen die Art und Weise, wie die Beschreibung der musikalischen Notation aufgebaut ist und auch welche Arten von Kennzeichen (Attributen) in diesen Beschreibungen erlaubt sind. MEI hat sich bewährt bei der Vermittlung zwischen dem Verständnis von Notation durch den Musikforscher und den Möglichkeiten, diese Vorstellungen mit Hilfe von Computertechnologie wiederzugeben. Und wie bei einer Sprache benötigt man Zeit und Einsatz, diese zu lernen und aktiv zu beherrschen. In unserem Fall bedeutet dies das Überdenken der Bedeutung von Neumennotation und ihrer Zeichen und des intuitiven Verständnisses der Einzelzeichen, bis man schließlich zu demjenigen gelangt, was durch den Computer dargestellt werden kann. Sobald diese Phase durchschritten ist, sind die Vorteile der Verwendung von MEI bestechend. Dahinter steht eine weltweit organisierte Gemeinschaft von Bibliothekaren, Historikern, Musiktheoretikern, Musikwissenschaftlern und Computerspezialisten. MEI beruht auf den Prinzipien von XML (*Extensible Mark-up Language*). Die MEI-Community hat sich den Idealen Transparenz und freie Verfügbarkeit verschrieben, bekannt unter dem Schlagwort *open source*. Die Grammatik von MEI basiert auf einem strikten System von Hierarchien, so wie dies bei allen Elementen der XML-Familie der Fall ist. Wenn man erneut den Vergleich zur Sprache bemüht, ist der Prozess des MEI-Codes ähnlich der Struktur eines Satzes: Es gibt Elemente, die wesentliche und unverzichtbare Elemente sind wie ein Subjekt und ein Prädikat im Satz. Andere Elemente, wie ein Nebensatz beispielsweise, sind optional. MEI ist erweiterbar, da in die hierarchische Struktur weitere Elemente mit aufgenommen werden können – so beispielsweise Zeichnungen. Alle Dinge, die mit einer Serie von Elementen in einer hierarchischen Struktur beschreibbar sind, können mit XML kodifiziert werden.

Die MEI Kodierung erfordert das Einhalten einer standardisierten Hierarchie. Sie macht aber keine Vorgaben hinsichtlich der Art der Merkmale der Notationszeichen, die enthalten sein müssen. Auf diese Weise kann sie adaptiert werden auf verschiedenste Notationsarten, wie beispielsweise Tabulaturschrift, Mensuralnotation und sogar auf Neumennotation. Für die Mitarbeiter von *Cantus Ultimus* ist entscheidend, dass wir mit offenen und transparenten Methoden arbeiten, damit die MEI der linienlosen Neumennotation möglichst von vielen genutzt oder für andere Notationstypen angewendet werden kann.

Mehrere Jahre zuvor hat Stefan Morent (Tübingen) erstmals MEI angewendet bei Notation mit Neumen auf Linien, namentlich Hufnagelnotation, in seinem Projekt *Digital Music Edition* (DiMusEd). Er hat dabei Gesänge von Hildegard von Bingen in MEI erfasst. Das Beispiel zeigt einzelne Teile dieser MEI Kodierung. Hierbei wirkt die Textsilbe als oberste Bezugsgröße der Struktur. Auf der nächsten Ebene werden die Notationszeichen pro Silbe angegeben. Im oberen Teil des Beispiels ist ein Porrectus (uneume name) angegeben mit den Tönen e, d, e (notiert zu den Attributen oct und pname), die zur Textsilbe »O« gesungen werden. »O« ist die erste Silbe des Gesangs und wird in der Handschrift notiert als rote (angegeben als `<rend color="red">`)

Initiale (angegeben als <syl n="initial">). Die folgende Textsilbe im unteren Teil des Beispiels zur Silbe »splen« trägt zwei Neumen: eine Clivis (Tonhöhen g-e) und einen Pes (Tonhöhen d-e).¹

```
<layer>
<syllable>
  <syl n="initial">
    <rend color="red">0</rend>
  </syl>
  <uneume name="porrectus">
    <note oct="3" pname="e"/>
    <note oct="3" pname="d"/>
    <note oct="3" pname="e"/>
  </uneume>
</syllable>
<syllable>
<syl>splen_</syl>
  <uneume name="clivis">
    <note oct="3" pname="g"/>
    <note oct="3" pname="e"/>
  </uneume>
  <uneume name="pes">
    <note oct="3" pname="d"/>
    <note oct="3" pname="e"/>
  </uneume>
</syllable>
</layer>
```

Beispiel: Hufnagelnotation; Neumen auf Linien in MEI

Die hierarchische Struktur von XML mag auf den ersten Blick schwerfällig wirken, und man fragt sich vielleicht, warum nicht auf kommerzielle Musiksoftware wie beispielsweise dem Schreibprogramm *Finale* zurückgegriffen worden ist oder auf frei zugängliche Schrifttypen wie *Volpiano*. MEI hat mehrere Vorteile: Der erste Vorteil von MEI besteht darin, dass es eine *open source*-Sprache ist. Alle Elemente, die notwendig sind, um zu verstehen, wie MEI funktioniert, sind frei zugänglich. Alle Möglichkeiten zur Weiterentwicklung, zur Adaptierung auf die eigenen Bedürfnisse, stehen frei zur Verfügung. Das Prinzip *open source* ist nicht nur eine politische Überzeugung, sondern auch eine technische Errungenschaft. MEI als *open source*-Technologie weltweit als Standard zu verankern, bedeutet, dass es nicht zu kommerziellen Zwecken missbraucht werden kann. Jede Notationsart wird einmal mit MEI erfasst werden können. Der zweite Vorteil von MEI ist, dass es das Potential hat, einmal zur Standardsprache der Repräsentierung von Musiknotation in einer computergestützten Technologie zu werden. Heute ist es wichtig, dass wir Standards international vereinbaren. Wir benötigen zukünftig eine Sprache, bei der nicht individuelle Methoden vorherrschen, die nur für bestimmte Forschungsprojekte und -vorhaben anwendbar sind, sondern solche, die leicht kompatibel und erweiterbar sind, so dass sie auch von anderen Forschungsprojekten genutzt werden können. Täglich wächst die Anzahl digitaler

¹ Aus Platzgründen wird hier darauf verzichtet, das Wortende ebenfalls zu beschreiben.

Bilddateien von (mittelalterlichen) Handschriften im Internet. Es ist daher wichtig, dass Standards hinsichtlich der Methodik, wie die musikalische Information dieser Bilder erfasst werden soll, eingeführt werden. Einem einzelnen Forscher ist kaum noch möglich, die immens große Menge an digitalen Abbildungen zu überblicken; mit MEI als Standardkodifizierung wird es möglich sein, mit einer großen Menge an Musikdaten in der Zukunft effektiv zu arbeiten. Vielleicht können einmal tausende von Gesängen verglichen werden sowie vollständige Handschrifteninhalte analysiert werden auf der Suche nach wiederkehrenden Strukturen. In jedem Fall ist die Flexibilität der Kodierung ein wesentlicher Faktor. Früher voneinander unabhängige Forschungsprojekte, die zu verschiedenen Themenbereichen der Chorforschung arbeiten, werden zukünftig profitieren können durch den Austausch, der durch MEI ermöglicht wird.

3 Die Notation in Neumen und ihre Herausforderung

Das *Antiphonar Hartker* der Stiftsbibliothek ist eine der frühesten vollständig mit Musiknotation versehenen Handschriften, die uns überliefert ist. Das in diesem Codex enthaltene Musikrepertoire gehört zum Gregorianischen Choral, einem einstimmigen liturgischen Gesang in lateinischer Sprache. Dieses Repertoire wurde, so der heutige Kenntnisstand, zunächst mündlich überliefert. Erste schriftliche Zeugnisse gehen auf das achte Jahrhundert zurück. Das *Antiphonar Hartker* aus dem Jahr 1000 stammt aus der Blütezeit der adiastematischen Notation in St. Galler Neumen. Ohne an dieser Stelle in größere Details eingehen zu können, sei aber doch erwähnt, dass diese linienlose Notation in der Regel keine genauen Intervalle der einzelnen Töne der Melodie angibt. Die Melodie war, wenigstens zum größten Teil, noch hinsichtlich ihres Tonhöhenverlaufs bekannt. Der Reichtum der Notation zeigt sich in Aspekten wie den Folgenden: Die Neumen geben Hinweise hinsichtlich der Tondauer und auch der agogischen Gestaltung der Melodien. Auch gibt es manche Neumenzeichen, die die Aussprache der Vokale und Konsonanten anzeigen, sowie Zusatzbuchstaben bei den Neumen, die beispielsweise Angaben zur Lautstärke sind. Insgesamt zeigt sich durch den Informationsreichtum der Neumenotation sowie durch den Melodieverlauf selbst, dass der Text differenziert betont und vorgetragen werden soll. In der Phase der mündlichen Überlieferung bleibt es nicht bei einer einfachen gesungenen Textrezitation, sondern es entwickelt sich eine aufwendige Melodiegestalt und die einzelnen in den Handschriften notierten Gesänge spiegeln eine bestimmte Textinterpretation wieder.

Umfangreiche Melodierestitutionen der Gesänge des Messrepertoires sind nach dem zweiten Vatikanischen Konzil erstellt worden durch den Vergleich der frühen linienlo-

| | | |
|-----------|---|---------------------------------------|
| Punctum |  | tief |
| Gravis |  | tief, Abstieg um mindestens eine Terz |
| Virga |  | hoch, aufsteigend oder absteigend |
| Clivis |  | hoch-tief |
| Pes |  | tief-hoch |
| Porrectus |  | hoch-tief-hoch |
| Torculus |  | tief-hoch-tief |

Tabelle 1: Einige Grundzeichen der St. Galler Neumennotation

sen Handschriften mit solchen späterer Jahrhunderte mit Liniennotation.² So können die Gesänge rekonstruiert werden hinsichtlich ihres melodischen Tonhöhenverlaufs und hinsichtlich ihrer rhythmisch-agogischen Gestaltung und der liturgischen Praxis in einer Fassung zur Verfügung gestellt werden, die eine größtmögliche Annäherung zur Notation in frühen Neumen darstellt.

Einige Grundzeichen der St. Galler Neumennotation seien in Tabelle 1 dargestellt.

Wie sogleich erkannt werden kann, geben die Grundzeichen der Notation die Anzahl der Töne an sowie die Melodierichtung oder eine melodische Kontur.

Die Neumenzeichen können modifiziert werden, indem sie gedreht werden (so beispielsweise ein *Torculus*: ) , in dem sie vergrößert werden (so beispielsweise der liqueszierende *Climacus*, genannt *Ancus*: ) oder indem ihnen etwas hinzugefügt wird (so beispielsweise die liqueszierende *Virga*: ) oder eine *Virga mit Epistem*: ) . Diese Modifikationen des Grundzeichens haben, wie in vielen Studien von Musikwissenschaftlergenerationen erforscht worden ist, Auswirkungen auf die Anzahl der Töne (Als *Liqueszenz* wird beispielsweise bezeichnet, wenn bei bestimmten Konsonantenkonstellationen zwei aufeinanderfolgende Silben sehr eng miteinander verbunden werden, wobei zusätzliche Zwischentöne entstehen können.) und auf die rhythmische Ausführung der Töne. Zusätzlich können sogar vereinzelt Informationen zu einzelnen Intervallen gegeben werden (Engels 1998; Engels 2006).

Einige Zeichen sind in ihrer genauen Bedeutung noch nicht erschlossen. So stehen die Forscher und Musiker beispielsweise fragend vor dem Notationszeichen *Oriscus*, das isoliert () oder mit vielen anderen Zeichen kombiniert erscheint, und diskutieren auch über das Phänomen der *Liqueszenz*.

² Vergleiche die Arbeiten der Melodierestitutionsgruppe der *Gesellschaft für Studien des Gregorianischen Chorals* (AISCGre), die durch den Solesmer Mönch Dom Eugène Cardine angestoßen worden sind, sowie die Restitutionsarbeiten von Alberto Turco.

Die Software, die für *Cantus Ultimus* entwickelt wird, kann schlussendlich nicht die offenen Fragen beantworten. Aber sie kann helfen, bestimmte Muster und Strukturen in der Notation zu erkennen. Beispielsweise kennt man bereits Neumen, die zum Teil verbunden und zum Teil unverbunden notiert werden, so der *Porrectus* und die *Clivis* (aa sowie ) und fragt sich, ob dies eine Gewohnheit eines bestimmten Schreibers ist oder eine bestimmte (rhythmische?) Qualität hat. Auch sind die Regeln der sogenannten *Neumentrennung* bekannt in Melismen über einer Textsilbe, nach der in auf- und absteigenden Melodiepositionen sowie an den höchsten Stellen der Melodie die getrennte Schreibweise von Notationselementen eine Dehnung der jeweils letzten Note vor der Trennung zum nächsten Zeichen ausdrückt. Aber hält sich jede Handschrift der St. Galler Handschriftenfamilie an diese Regel? Eine größere Feldstudie wäre hier wünschenswert.

Eine *Big Data*-Suchmaschine kann helfen, gleichbleibende Muster wiederzuerkennen. Wie hilfreich ist dies in einem Repertoire, das mündlich überliefert worden ist und in dem viele gleichbleibende Elemente vorhanden sind, die dem Sänger halfen, die vielen Gesänge mit den vielen kleinen Melodiewendungen zu memorieren!

Beispielsweise findet sich im Repertoire eine stabile Verwendung bestimmter Spezialneumen: Der *Intonationstorculus*, notiert mit einer ausladend vergrößerten Torculusneume, steht für drei Töne, wobei die erste Note zur zweiten Note eine aufsteigende kleine Terz oder Quart ist und die zweite zur dritten Note stets ein Halbton. Die Neume kann in anderen adistematischen Notationsfamilien, wie der lothringischen adistematischen Neumenotation, sehr gut erkannt werden. In der St. Galler Familie wird die Neume nicht immer notiert, d. h. häufig findet sich die übliche Torculusneume ohne Modifikation. – Warum ist dies so? Gibt es bestimmte Schreiber, die davon ausgehen, dass der *Intonationstorculus* erkannt wird, auch ohne, dass er eigens durch Veränderung des Zeichens angezeigt werden muss? – In der heutigen Aufführungspraxis wird, sofern diese sich an der Neumennotation orientiert, dieses Neumenzeichen durch eine starke Dehnung der zweiten und dritten Note ausgeführt. Denn stets steht der Wortakzent auf der übernächsten Silbe, und die Note über dem Wortakzent ist einen Ton höher als die mittlere Torculusnote. Dieser *Intonationstorculus* schafft auf diese Weise einen rhythmischen Stau, indem er vor der entscheidenden Silbe mit Wortakzent eine Dehnung erzeugt, gerade, um das gesamte Wort hervorzuheben. Häufig findet man diese Spezialneume bei wichtigen sinntragenden Worten des Gesangstextes. – Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Neume für eine bestimmte Verteilung der betonten und unbetonten Silben auf eine bestimmte Anzahl von Melodietönen steht, dass eine bestimmte Tonfolge (Quart oder kl. Terz + kl. Sekunde) durch die Neume angegeben wird und eine bestimmte rhythmische Gestaltung vorliegt und diese mit einer bestimmten Gestaltung der gesamten Textstelle einhergeht. Dies sind schon viele Informationen für einen Sänger, der den Gesang auswendig memoriert. – Aufgrund der klaren Intervallstruktur kann der *Intonationstorculus* nur an bestimmten Stellen

in der Tonskala auftreten. Wie häufig er in welchen Modi vorkommt, wäre in diesem Fall nicht ein Erkenntnisgewinn zum Wesen des *Intonationstorculus*. Aber die Häufigkeit solcher und ähnlicher musikalisch wiedererkennbarer und gleichbleibender Strukturen könnte die Stilistik bestimmter Repertoireschichten beleuchten. Wurden *Intonationstorculi* mit gleicher Häufigkeit in den Neuschöpfungen, den Gesängen in Heiligenoffizien, des 11. und 12. Jahrhunderts verwendet?

Notation ohne Linien in Neumenschrift eröffnet bereits viele Fragen, die teilweise bis heute nicht geklärt sind. Es gibt aber sogar ein Repertoire, der altspanische Choral, notiert in sogenannten *mozarabischen* Neumen *in campo aperto*, dessen Melodien wir zum größten Teil nicht mehr rekonstruieren können. Denn diese Gesänge sind in keinen Quellen mit Liniennotation enthalten. So fehlt für die Rekonstruktion der Melodien, d. h. der genauen Intervallfolgen, eine verlässliche Quelle.

Das altspanische Choralrepertoire ist in fünf Handschriften enthalten, wovon die frühesten aus dem 10. Jahrhundert stammen (Hornby und Maloy 2013). Nur für etwa ein Dutzend Gesänge ist bekannt, welche Melodien die Neumen ausdrücken. Dieser besondere Tatbestand wie auch das Wissen um die reiche Tradition der mündlichen Überlieferung haben Emma Hornby und Rebecca Maloy motiviert, diese Notation zu untersuchen. In ihren Forschungsprojekten (*Compositional Planning, Musical Grammar and Theology in Old Hispanic Chant*, 1/11/09 bis 1/05/11 und *Understanding Old Hispanic chant manuscripts and melodies*, 1/07/16 bis 1/07/17) erforschten Sie und ihr Team den Zeichenschatz der Neumenschrift sowie die Häufigkeit der Verwendung bestimmter Neumengruppen und deren Position innerhalb des Satzes. Sie sind somit den Notationsgesetzmäßigkeiten äußerst nahe auf die Spur gekommen und haben die Grammatik der altspanischen Musiknotation umfangreich beschrieben.

Obwohl aus genannten Gründen nicht möglich ist, Tonhöhen den einzelnen Neumenzeichen der altspanischen Notation zuzuordnen, konnte aber trotzdem jedes Einzelzeichen hinsichtlich der melodischen Kontur, für das es steht, beschrieben werden. Die Buchstaben N (= neutral), H (= high), L (= lower), S (= same) geben die relative Position der Note in der melodischen Kontur an und bildete den Ausgangspunkt für ihre hoch differenzierte Beschreibung der einzelnen Notationszeichen. Wurden einmal alle mozarabischen Neumenzeichen auf diese Weise erfasst, erschlossen sich durch den Vergleich derjenigen Neumen, die für dieselbe melodische Kontur stehen, die aber verschieden graphisch notiert sind, neue Erkenntnisse. So verhalf die Mustererkennung mithilfe eines zweiten Codes und die Sortierhilfe durch den Computer zum Erkenntnisgewinn. Im *Optical Neume Recognition Project* haben wir erkannt, dass diese Beschreibung der Einzelzeichen mit den Repräsentanten N, H, L und S für alle Notationen mit relativer Tonhöhenangabe genutzt werden kann. Natürlich ist es nur ein bestimmtes Merkmal, das den Zeichen dieser Notationen gemein ist. Ein anderes gemeinsames Element wäre für die Akzentnotation, zu der auch die St. Galler Neumennotation gehört, ihre diagonale Schreibrichtung (Corbin 1977, s. Abb. 2). Doch

| | Punctum | Virga | Pes | Clivis | Torculus | Porrectus | Scandicus | Climacus | Schrift- richtung | Oriscus | Quilisma | Salicus |
|--|---------|-------|-----|--------|----------|-----------|-----------|----------|----------------------|---------|----------|---------|
| St. Gallen (Tafeln 6/7) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| England (Tafeln 30 und 31) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∩ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Zentralfrankreich – St. Benigne (Tafel 21) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| – Chartres (Tafel 25) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| – Nevers (Tafel 29) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| – Normandie (Tafel 23) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Lothringisch (Tafel 18) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Paläofränkisch (Tafel 16) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Bretonisch (Tafel 17) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Aquitanien (Tafel 20) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Katalonien (Tafel 39) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Bologna (Tafel 35) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Benevent (Tafel 32) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |
| Nonantola (Tafel 34) | • | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ┆ | ∧ | ┆ | ┆ | ┆ |

Abbildung 2: Neumentabelle von Corbin (1977).

die Notierung der Neumenzeichen in einer Abfolge von N (neutral, or unknown), H (higher), L (lower), S (same, or unison), A (same, or higher) und U (same, or lower) bietet den Vorteil der Vergleichbarkeit mit Notationen auf Linien. Aufgrund dessen haben wir die 114 einzelne Komponenten, die wir im *Antiphonar Hartker* gefunden haben, erfasst in einer Abfolge dieser Buchstaben. Ein *Punctum* (•) steht beispielsweise für eine Note mit undefinierter (neutral) Tonhöhenbeziehung zum Folgeton und wird daher mit »1-N« angegeben. Zusätzlich geben Kleinbuchstaben Charakteristika der Einzeltöne an: w (wavy), b (curved anticlockwise), c (curved clockwise), a (angled), e (episema), f (flat), j (jagged), l (liquescent), x (extended), y (diagonal right up), k (diagonal right down), q2 (quilisma 2 curves), q3 (quilisma 3 curves). Ein *Tractulus* (•) wird daher mit »1-Nf« beschrieben, ein *Tractulus mit Episem* (•) mit »1-Nfe«. Die *Gravis* (•) erhält die Folge »1-Nfk« und die *Stropha* (•) die Abfolge »1-Nc«. Schon die frühen Neumentabellen ab dem 12. Jahrhundert haben einzelnen Zeichengruppen als eine Neume benannt (Floros 1970, S. 184-207). So ist (•) (in diesem Fall eine *Virga* mit einem *Episem*) nicht eine *Virga mit zwei Puncta*, sondern erhielt den Namen *Climacus*.

Gemeint sind drei absteigende Töne. Um in unserer Kodierung die Trennung der Einzelzeichen innerhalb der Neume anzugeben, nutzen wir den Buchstaben g (gapped). Zusätzlich gibt es Neumen, nach denen die Melodie tiefer oder höher weitergeht; dies geben wir an mit d (down, afterwards lower) oder u (up, afterwards higher). Zu den Neumenzeichen notieren manche Schreiber in den Handschriften auch Buchstaben, die häufig für die Aufführung der Noten relevant sind, so beispielsweise c für *celeriter* (schnell). Solche Zusatzbuchstaben werden ebenfalls angegeben, im Fall von c mit »p:c«.

4 Der *Classifier* – Ein digitales Neumen-Wörterbuch

Auch wenn wir mit MEI die einzelnen Neumen des *Hartker Antiphonars* akkurat wiedergegeben haben, muss immer noch die MEI Kodierung verbunden werden mit dem betreffenden Bildausschnitt im digitalen Scan der Handschriftenseite. Es bleibt, um es auf den Punkt zu bringen, die Frage nach der Verbindung der beiden Wege, mittels derer der Computer Input erhalten kann: einerseits durch Bildverarbeitung und andererseits über den Code.

Im Fall der Handschrift Hartker wurde die Bildverarbeitung bewerkstelligt als Teil eines Systems genannt *Rodan*, welches von Andrew Hankinson im Musiktechnologie-Labor von SIMSSA an der McGill University in Montreal entwickelt worden ist. Jedes Bild ist automatisch binarisiert, was bedeutet, dass in mehreren Bildbearbeitungsprozessen der zunächst farbige Scan der Handschriftenseite in einen schwarz-weiß Scan verwandelt wird. In einem weiteren Schritt müssen schwarze Pixeln, die am Rand durch den Bilduntergrund der Pergamenthandschrift entstanden sind und vom Computer als Notation missdeutet werden könnten, erkannt und gelöscht werden. Hierauf liest eine Software, die auf der Software *Gamera* basiert und OMR-Algorithmen verwendet, auf der Handschriftenseite gleichbleibende Abfolgen von schwarzen und weißen Pixeln und sortiert diese nach ihrer Ähnlichkeit. Die Einzelzeichen werden sortiert gemäß einer Tabelle von Notationszeichen, die wir wie eine Art Neumen-Wörterbuch für die Software verfasst haben und *Classifier* nennen. Mit diesem Wörterbuch kann die Software die Funde jeweils vergleichen. In dem Moment, wo die noch nicht identifizierte Abfolge von schwarzen und weißen Pixeln einem Eintrag im Wörterbuch zugeordnet worden ist und damit einen Namen erhält, ist es möglich, auch den umgekehrten Weg zu gehen und dem einen bestimmten Ausschnitt im digitalen Bild einen MEI-Code zuzuteilen. Dies ist der Verbindungspunkt zwischen Bild und Kodifizierung.

In diesem Prozess lernt der *Classifier* durch die Expertise der Musikwissenschaftler, und umgekehrt profitiert der Musikwissenschaftler von der Schnelligkeit der Datenerfassung durch den Computer. Zunächst benötigt der Computer den Musikwis-

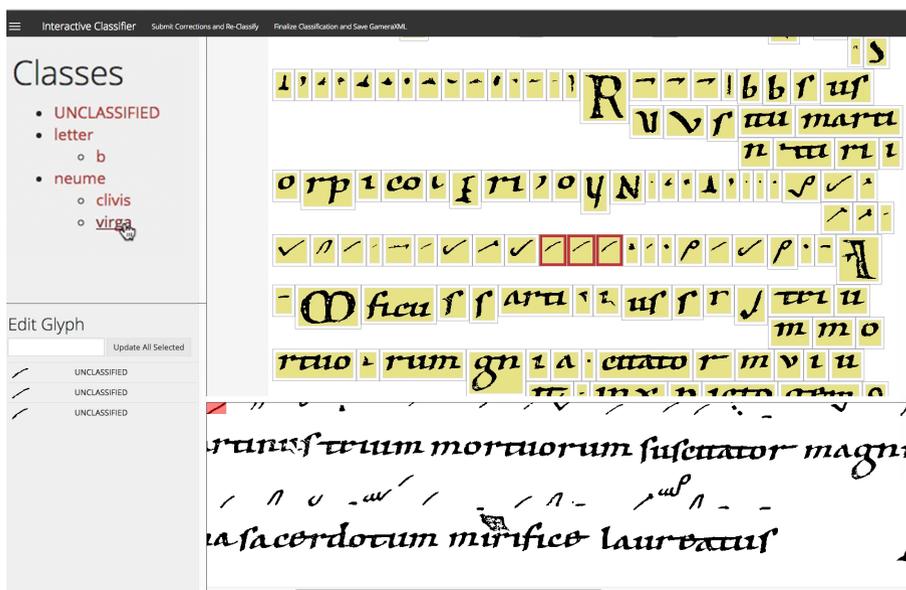


Abbildung 3: Der Musikwissenschaftler markiert drei Neumen im Feld rechts und benennt sie als *Virga*, s. links in dem Beispiel.

senschaftler, um für jeden Eintrag im Neumen-Wörterbuch ein Beispiel zu erhalten. Dieselbe Handschriftenseite wird dann erneut mit der Software durchsucht. Im zweiten Durchlauf wird die Trefferquote schon weit höher sein, da das Neumen-Wörterbuch mehr und mehr Eintragungen erhält in diesem Prozess.

Dem Musikwissenschaftler kommt in diesem Prozess eine wichtige Rolle zu: Er muss interpretieren. Die reine Sortierung nach Mustern weißer und schwarzer Pixel reicht nicht aus. Der Forscher erkennt, ob das Zeichen gegebenenfalls durch den Prozess der Binarisierung ursprünglich anders ausgesehen hat, ob ihm gegebenenfalls ein Teilelement fehlen könnte. In einem solchen Fall muss er im farbigen Digitalisat nachsehen, wie das Notationszeichen dort aussieht und kann dann die richtige Zuweisung im Neumen-Wörterbuch vornehmen.

In diesem Prozess können große Mengen von Neumen auf einen Blick gesehen werden. Bestimmte Gewohnheiten der verschiedenen Schreiber in einer Handschrift können so mit Hilfe des *Classifiers* beobachtet werden. In einem späteren Stadium, wenn weitere Neumenhandschriften mit MEI erfasst sind, können wohlmöglich auch Schreibtraditionen innerhalb beispielsweise der St. Galler Handschriftenfamilie untersucht werden.

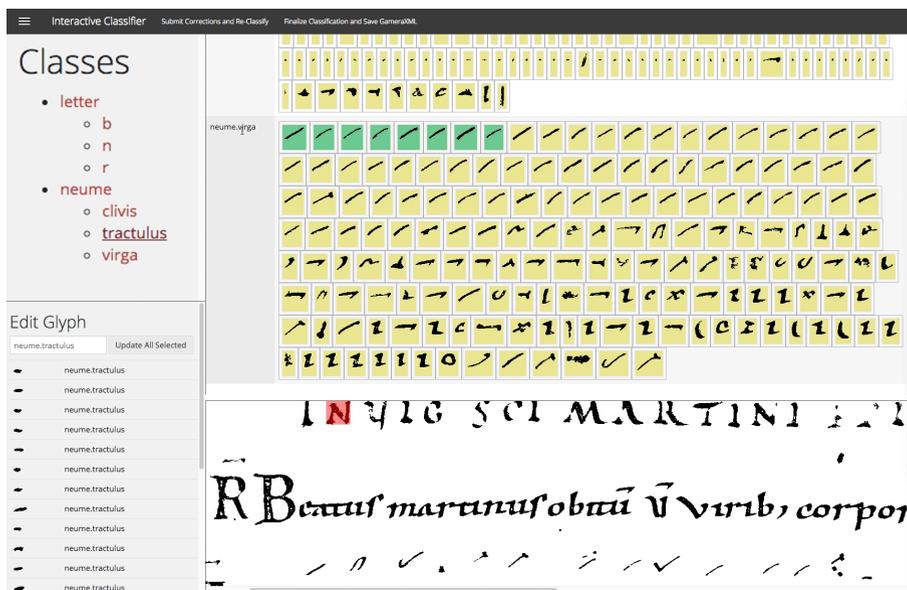


Abbildung 4: Der Classifier sortiert die Zeichen nach Grad ihrer Ähnlichkeit zu derjenigen *Virga*, die der Musikwissenschaftler als Prototyp zuvor markiert hat.

Ein Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die Neumenzeichen der Handschrift nicht zunächst standardisiert werden müssen. Der Computer erfasst alle Zeichen auf der Handschriftenseite, so wie sie dort zu finden sind. Dies ermöglicht den Vergleich desselben Notationszeichens in verschiedensten graphischen Modifikationen.

Beim Prozess der Binarisierung geht naturgemäß viel Information verloren. Deshalb wird der *Classifier* schlussendlich allein so gut sein, so gut händisch Falschzuweisungen der Software gefunden worden sind. Hier ist der Musikwissenschaftler gefragt, der interpretieren und erkennen kann.

Das Wörterbuch besteht momentan aus 114 unverbundene einzelne Komponenten der Notationszeichen. Als nächster Schritt soll dem *Classifier* gezeigt werden, welche Kombinationen von Zeichen über einer Textsilbe des Gesangs möglich sind, d. h. welche »Neumen« es gibt. In der Gregorianikforschung meint der Begriff »Neume« (*neuma*, griech. - der Wink, die Geste) im engeren Sinn alle Musikzeichen als Gesamtheit, die über einer Silbe stehen. Beide Informationen zusammen – jede einzelne Komponente wie auch alle möglichen Kombinationen über einer Textsilbe – lassen schlussendlich den *Classifier* alle Muster der Gruppierung der einzelnen musikalischen Zeichen erkennen.

5 Vom Öffnen der *Büchse der Pandora* – *Big Data* der kleinen und kleinsten Zeichen der Notation in Neumen

Nach der griechischen Mythologie entwichen aus der *Büchse der Pandora*, als diese von ihr geöffnet worden war, alle Übel, Laster und Mühen in die Welt. Die erste Frau, Pandora, erhielt die Büchse vom Göttervater Zeus mit dem strengen Hinweis, diese unbedingt nicht zu öffnen. Doch Pandora öffnete die Büchse. – Aus Neugier? Getrieben von der Sehnsucht, vielleicht Gier, im Gefäß etwas besonders Schönes oder Edles zu finden? – Nichts dergleichen sollte sie finden. Vielmehr entwichen sogleich Krankheiten, Arbeit, Negatives, sogar Tod dem Gefäß und erfassten die gesamte Schöpfung. Und schließlich entwich auch die Hoffnung dem sonderbaren Gefäß. Doch ist die Hoffnung ein Übel? Für manche Menschen bleibt kaum mehr als Hoffnung, um die Gegenwart zu durchdauern. Das Prinzip Hoffnung ist für viele Menschen Ausdruck des Glaubens bzw. Glaube schlechthin: »Die Schöpfung ist der Vergänglichkeit unterworfen, nicht aus eigenem Willen, sondern durch den, der sie unterworfen hat; aber zugleich gab er ihr Hoffnung.« (Römerbrief 8,20). Anders äußert sich Nietzsche, für den Hoffnung erst der Anfang allen Übels ist, wenn er direkt Bezug nimmt auf Pandora: »Zeus wollte nämlich, dass der Mensch, auch noch so sehr durch die anderen Übel gequält, doch das Leben nicht wegwerfe, sondern fortfahre, sich immer von Neuem quälen zu lassen. Dazu gibt er dem Menschen die Hoffnung: sie ist in Wahrheit das übelste der Übel, weil sie die Qual der Menschen verlängert.« (Nietzsche 1878).

Ist es nun ein Übel oder eine positive Entwicklung, wenn man erhofft, dass sich in der großen Menge an Daten mithilfe von Lesehilfen vielleicht neue Muster im großen Neumengetümmel zutage treten lassen? Wird schlussendlich nur gefunden werden, was gefunden werden will? Vielleicht. Und werden die großen Datenmengen den Blick für die Erkenntnis schärfen oder uns die Möglichkeit der Interpretation eher verstellen? Jedenfalls gehört es wohl zur Natur der Forscher, dass sie wie Pandora die Büchse öffnen wollen und werden, und seien darin auch noch so viele Neumen. – Es sei dieser augenzwinkernde Vergleich erlaubt, der insofern hinkt, da die Neumen natürlich keinerlei Übel darstellen, sondern einer der großen Schätze unseres Kulturerbes darstellen. Allein die große Menge an Notationszeichen rief den Vergleich hervor. Jedenfalls haben wir die begründete Hoffnung, dass aufgrund der Nutzung der Computertechnik der optischen Wiedererkennung in Bilddateien neue Forschungsmöglichkeiten entstehen. Denn ihre Anwendung wird den Forschern einmal ermöglichen, viele Handschriften und Notationen gleichzeitig zu untersuchen. Durch die Erweiterung der Datenmenge, die durchsucht werden kann, ist es möglich, neue Forschungsfragen zu kreieren und neue Methoden zu entwickeln für die Erforschung des Choralrepertoires. Die Bedeutung der einzelnen Notationszeichen wird anders als bisher erfasst werden können und es werden neue Erkenntnisse zutage

treten (z. B. hinsichtlich der Aufführungspraxis, des tonalen Systems, der Choralsemio-
logie und Exegese des Textes), weil zusätzlich zum heutigen Kenntnisstand messbare
Daten gesammelt werden hinsichtlich des Vorkommens der Neume in der Hand-
schriftenseite im jeweiligen Wort-Ton-Kontext. Zu einem späteren Zeitpunkt wird es
möglich sein, dass Forscher verschiedenste Kombinationen von Neumen innerhalb des
Repertoires suchen können und damit Muster erkennen, die Grundlage des mündlich
tradierten Choralrepertoires sind. Forscher werden das Verhältnis von Melodieformel
und zugehörigem Akzent einer Textsilbe besser beschreiben können, sowie besser
verstehen, warum bestimmte Melodien oder Melodiebausteine und / oder Text oder
Textbausteine im Repertoire an mehreren Stellen verwendet werden. Andere For-
schungsfragen werden sich mit der Struktur des Gesangs beschäftigen, beispielsweise
mit dessen Tonart, oder es werden dieselben Gesänge verglichen in Handschriften mit
linienloser Notation und solchen, die Liniennotation enthalten. Überhaupt wird die
Suche nach Melodien über die Grenzen von Handschriften hinweg unser Wissen über
ihre Verbreitung des Repertoires in verschiedene Regionen Europas erweitern. Welche
Handschriften dienten in welchen Klöstern als Vorlage für neue Codices? Die Suche
in mehreren Handschriften wird ermöglichen, die Veränderung von Melodien über
die Jahrhunderte hinweg zu studieren – so hinsichtlich des Wegfalls von Tönen in den
Melodien oder des Auftretens von Melodievarianten. Aber auch über die Gestaltung
der Rubriken sowie der Initialen und zur Buchillustration insgesamt werden weitere
Erkenntnisse gemacht werden können. All dies wird zu einem vertieften Verständnis
über die mittelalterlichen Skriptoria und die Gewohnheiten der Schreiber beitragen.

Bibliographie

- Antiphonar Hartker*. St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. Sang. 390/391: *Antiphonarium officii*.
<<http://www.e-codices.unifr.ch/de/list/one/csg/0390>>, <<http://www.e-codices.unifr.ch/de/list/one/csg/0391>>.
- Corbin, Solange. *Die Neumen*. Köln: Volk, 1977.
- DiMusEd: *Digitale Musik Edition / Digital Music Edition*. <http://www.dimused.uni-tuebingen.de/tuebingen_phase2.php>.
- Engels, Stefan. »Adiastematische Neumen mit melodischer Zusatzbedeutung - ein wichtiges Hilfsmittel zur Melodierestitution.« *Beiträge zur Gregorianik (BzG)* 26 (1998). 63-80.
- Engels, Stefan. »Neue Quellen zu Neumen mit adiastematischer Zusatzbedeutung in österreichischen Handschriften.« In Dobszay, László (Hrsg.). *Cantus Planus. Paper read at the 12th meeting of the Study Group, Lillafüred/Ungarn, 23.-28. August 2004*. Budapest: Inst. for Musicology of the Hungarian Acad. of Sciences, 2006. 455-470.
- Floros, Constantin. *Universale Neumenkunde. Ursprung und Deutung der Lateinischen Neumen*. Kassel: Bärenreiter 1970.
- Hornby, Emma und Rebecca Maloy. *Music and Meaning in Old Hispanic Lenten Chants. Psalmi, Threni and Easter Vigil Canticles*. Woodbridge: Boydell & Brewer, 2013.

MEI: *The Music Encoding Initiative*. <<http://music-encoding.org>>.

Nietzsche, Friedrich. *Menschliches, Allzumenschliches I, Ein Buch für freie Geister*. Chemnitz: Schmeitzner, 1878. Zitiert nach <<http://www.textlog.de/21656.html>>.

Old Hispanic Office: *Old Hispanic Office project*. <<http://www.bristol.ac.uk/arts/research/oho-project>>.

Pouderoijen, Kees und Ike de Loos. »Wer ist Hartker? Die Entstehung des Hartkerischen Antiphonars.« *Beiträge zur Gregorianik (BzG)* 47 (2009). 67-86.

SIMSSA: *Cantus Ultimus. The Single Interface for Music Score Searching and Analysis project*. <<http://cantus.simssa.ca>>.