
Communities in biographischen Netzwerken

Ágoston Zénó Bernád, Maximilian Kaiser
Inst. f. Neuzeit- und Zeitgeschichtsforschung (INZ)
Österreichische Akademie der Wissenschaften

Sebastian M. Mair
Technische Universität Wien

Alexander Rind
Inst. f. Creative Media/Technologies
Fachhochschule St. Pölten

Abstract—Biographical lexica are a rich data source for the Digital Humanities. For example, the connections between places can be studied based on the migrations of scholars. The work at hand resulted from the OpenGLAM.at Cultural Data Hackathon 2017 and describes the analysis of 151 biographies from the *Austrian Biographical Dictionary 1815–1950*. Community detection algorithms were applied to find groups of places that are densely connected internally and sparsely connected between groups. The resulting communities were examined in detail using network visualization.

Zusammenfassung—Biographische Nachschlagewerke sind eine reichhaltige Quelle für Digital Humanities. Beispielsweise können Zusammenhänge zwischen Orten durch die Migration der dort wirkenden Personen erforscht werden. Vorliegender Beitrag entstand im Rahmen des OpenGLAM.at Kulturhackathons 2017 und beschreibt die Analyse von 151 Biographien aus dem *Österreichischen Biographischen Lexikon 1815–1950*. Mittels Community Detection wurden stärker verknüpfte Bereiche des Migrationsnetzwerks ermittelt. In der Visualisierung wiederum konnten diese Communities dann näher erforscht werden.

I. EINLEITUNG

Die Erforschung historischer Personennetzwerke anhand digitalisierter biographischer Nachschlagewerke rückte in den letzten Jahren, wie dies u. a. die Projekte *Deutsche Biographie* [1], [2] und *BiographyNet* [3], [4] zeigen, immer mehr in den Fokus der Digital Humanities [5]. Zu diesen, nach dem Prinzip des Semantic Web konzipierten Vorhaben, gehört auch *Mapping historical networks: Building the new Austrian Prosopographical | Biographical Information System (APIS)*, das sich die semantische Anreicherung des *Österreichischen Biographischen Lexikons 1815–1950* (ÖBL) mittels Methoden der Computerlinguistik zum Ziel setzt [6], [7, S. 464–467].

Das seit 1954 erscheinende ÖBL stellt ein paradigmatisches Beispiel einer grenzüberschreitenden Nationalbiographie dar: Es umfasst nicht nur das Gebiet des heutigen Österreich, sondern den gesamten Raum des Kaisertums bzw. der österreichisch-ungarischen Monarchie und bietet somit ein Abbild zentraleuropäischer Kultur mit all ihren Wandlungen im 19. und 20. Jahrhundert. Die Printversion enthält in bis dato 14 Bänden (68 Lieferungen) über 18.000 Biographien im Buchstabenbereich A–Vo. Das Lexikon durchlief mehrere Etappen der Digitalisierung, die Online-Edition mit Biographien in einem Ad-hoc-XML-Format wurde 2009 umgesetzt [8], [9]. Die XMLs enthalten Name, Geburts- und Sterbedaten (einschließlich Orte), Berufs- sowie Werks- und Literaturangaben in strukturierter Form. Die meisten Informationen befinden sich jedoch im unstrukturierten Haupttext der Biographien.

Im Rahmen des OpenGLAM.at Kulturhackathons 2017 hat sich ein interdisziplinäres Team mit der Erforschung biographischer Daten beschäftigt und ist dabei vor allem folgenden zwei Forschungsfragen nachgegangen:

- Welche Städte hängen über die Wanderungsbewegungen von Personen zusammen (am Beispiel der beruflichen Tätigkeiten „Historiker“ und „Lehrer“)?
- Wie kann man diese Zusammenhänge anhand der extrahierten Named Entities¹ identifizieren und visualisieren?

II. APIS DATENSET HUMANITIES SCHOLARS

Der untersuchte Datensatz [10] entstand im Frühjahr 2016 in Zusammenhang mit einer Projektpräsentation bei der Konferenz „Entangled Worlds – Vernetzte Welten“ am Institut für Mittelalterforschung der ÖAW [11]. Er basiert auf einer Auswahl von 151 Biographien aus dem ÖBL, in denen Orte und Institutionen annotiert wurden. Jede Biographie kann neben ihrer Zuordnung zu einer von 18 Hauptberufsgruppen („Literatur, Buch- und Zeitungswesen“, „Medizin“, „Religionen und Theologie“, „Sozial- und Wirtschaftswissenschaften“, „Politik“, „bildende und angewandte Kunst“ usw.), abhängig vom Wirkungsfeld der biographierten Person, auch noch bis zu 5 berufliche Tätigkeiten zugewiesen bekommen. Jede dieser Tätigkeiten („Altphilologe“, „Kunsthistoriker“, „Bibliothekar“, „Archivar“, „Volkskundler“ usw.) verweist wiederum auf eine der Hauptberufsgruppen. Durch die vielseitigen Lebens- und Karrierewege entstehen so Verflechtungen zwischen diesen Gruppen. Um dieses Phänomen der Interferenz näher zu untersuchen, fiel die Wahl auf thematischen Gründen auf Biographien von „Historikern“, die zu der Gruppe „Geisteswissenschaften“ zählen. Des Weiteren wurden die Daten durch das Kriterium der drei am häufigsten vorkommenden beruflichen Tätigkeiten aus der Berufsgruppe „Unterrichtswesen“ („Lehrer“, „Pädagoge“ und „Schulmann“) nochmals gefiltert.

Die Annotationen erfolgten in der am Austrian Centre for Digital Humanities (ÖAW | ACDH) entwickelten APIS Webapplikation [12], [13, S. 221–222]. Mittels eines Highlighter-Tools können so die Biographietexte unmittelbar über die Oberfläche bearbeitet, die darin enthaltenen Named Entities annotiert und mit Linked-Open-Data-Ressourcen verknüpft werden (Abbildung 1). Aus Datenbanken wie der Gemeinsamen Normdatei (GND) [14] und GeoNames [15] werden dabei je nach Quelle Informationen, wie z. B. Labels von Institutionen, Lebensdaten von Personen oder Geokoordinaten von

¹Als Named Entities werden Satzglieder bezeichnet, die für Namen von Personen, Orten oder Institutionen stehen können.

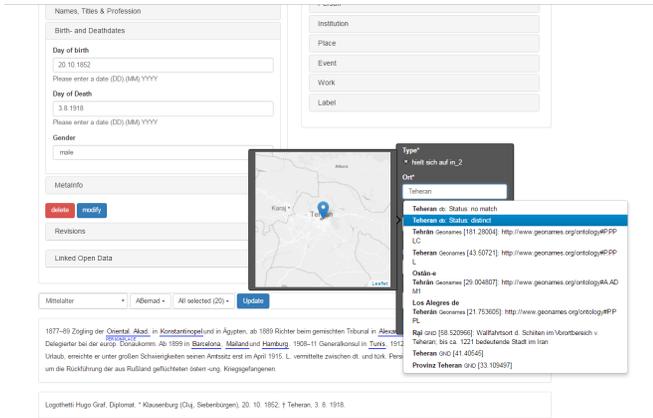


Abbildung 1. APIS Webapplikation

Orten, automatisch übernommen. Die APIS Webapplikation ist als virtuelle Forschungsumgebung konzipiert und bietet dem User neben Möglichkeiten der Datenerfassung, auch die der Datenvisualisierung (z. B. als Karten oder Netzwerkdarstellung) und des Datenexports in verschiedenen Formaten (JSON, GraphML, CSV, Excel).

III. COMMUNITY DETECTION

Seit den Anfängen der sozialen Netzwerkanalyse steht die Untersuchung sozialer Strukturen und Teilgruppen von Graphen (engl. communities) im Fokus der Forschung. Als Thema lässt es sich über die Klassiker der Forschungsliteratur, beginnend in den 1930er-Jahren mit *Who shall survive?* von Moreno [16] bis zu der Untersuchung *Robust action and the rise of the Medici, 1400–1434* von Padgett und Ansell in den 1990er-Jahren [17] nachvollziehen. Im Kontext der historischen Netzwerkforschung findet dieses Thema in unterschiedlichen Bereichen wie z. B. der Mittelalterforschung [18], der Wirtschafts- und Sozialgeschichte [19] oder der Zeitgeschichte [20] Anwendung.

Vor dem Beginn einer derartigen Untersuchung war eine Vorbereitung der Daten erforderlich. Der APIS-Datensatz liegt als Netzwerk von Personen vor, die mit Orten verbunden sind. Diese Architektur wird als Bipartiter Graph bezeichnet. Zur weiteren Analyse wurde dieses Netzwerk auf einen einfacheren ungerichteten Graphen aus Orts-Knoten mit gewichteten Kanten projiziert. Das Gewicht der Kanten berechnet sich hierbei aus der Anzahl der Personen, welche mit zwei Orten verbunden sind. Daraus ergibt sich eine Nachbarschaftsmatrix A_{ij} . Jeder Knoten entspricht einer Zeile/Spalte. Falls zwei Knoten nicht über eine Kante verbunden sind, gilt $A_{ij} = 0$ andernfalls ist $A_{ij} = \omega_{ij}$ das Kantengewicht. Für diese Projektion wurde die Python Bibliothek networkx [21] eingesetzt und der resultierende Graph zur weiteren Analyse zurück in das GraphML Format übertragen.

Die zuvor formulierten Fragestellungen erfordern es zusätzlich zur Bestimmung der gängigen mikroskopischen und makroskopischen Eigenschaften wie Gradzentralität oder Netzwerkdurchmesser, vor allem die mesoskopischen Eigenschaf-

ten des konstruierten Netzwerks zu identifizieren. Welche Gruppen von Orten sind gleichermaßen mit mehreren Personen assoziiert. Übersetzt in Netzwerksprache lautet die Frage: Welche Bereiche innerhalb des Netzwerks sind untereinander stärker verknüpft als mit dem restlichen Netzwerk? Stärker verknüpfte Bereiche innerhalb eines größeren Netzwerks werden als Communities bezeichnet, wobei es zur Zeit keine präzisere, allgemein anerkannte Definition einer Community gibt [22]. Basierend auf unterschiedlichen mathematischen Definitionen von Communities wurde eine Reihe von Community Detection Algorithmen entwickelt, wobei wir den Ansatz der Modularitätsmaximierung mit Girvan-Newman Null-Modell [23] mittels Louvain-Algorithmus [24] angewandt haben. Diese Konzepte sollen im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

Die Modularität Q misst die Wahrscheinlichkeit, dass eine Partitionierung $\Sigma = \{\sigma\}$ des Netzwerks in Gruppen von Knoten vom Zufall abweicht. Dies wird im Vergleich zu einem gegebenen Null-Modell p_{ij} , das unser Wissen ob der Konstruktion des Netzwerkes beinhaltet, berechnet.

$$Q = - \sum_{i \neq j} (A_{ij} - \gamma p_{ij}) \delta_{\sigma_i, \sigma_j} \quad (1)$$

wobei A_{ij} die Nachbarschaftsmatrix ist. σ_i gibt die Community, welcher der Knoten i angehört, an. $\delta_{\sigma_i, \sigma_j}$ ist das Kronecker-Delta, das den Wert 1 annimmt falls $\sigma_i = \sigma_j$ andernfalls den Wert 0. Modularitätsmaximierung hat Probleme, kleine Communities zu finden, dieser Umstand kann durch geeignete Wahl der Auflösung γ kompensiert werden [25]. In Spezialfällen ist es möglich die optimale Auflösung algorithmisch abzuschätzen [26], darüber hinaus gibt es Verfahren plausible Wertebereiche zu finden [27]. In der Praxis wie auch in dieser Arbeit wird die Auflösung allerdings iterativ und mittels Domänenwissen im Rückschluss auf erzielte Netzwerkpartitionierungen angenähert. Das genutzte Girvan-Newman Null-Modell beschreibt, dass jeder Knoten eine gleich große Wahrscheinlichkeit hat, mit jedem anderen Knoten im Netzwerk verknüpft zu sein. So ist die Wahrscheinlichkeit zweier Knoten i und j mit k_i und k_j Verknüpfungen eine gemeinsame Kante zu haben

$$p_{ij} = \frac{k_i k_j}{2m} \quad (2)$$

wobei m die Summe über alle Kantengewichte im Netzwerk ist. Die Maximierung dieser Modularitätsfunktion Q stellt ein NP-hartes Problem dar, der eingesetzte Louvain-Algorithmus ermittelt daher keine exakte, jedoch eine gute Lösung: Zuordnung der Knoten i zu Communities σ_i . In dieser Arbeit wurde die Community Detection über die graphische Oberfläche von Gephi [28] durchgeführt, und bei einer Auflösung von $\gamma = 9.5$ 49 Communities ermittelt.

IV. VISUALISIERUNG

Um die Communities von Orten zu untersuchen und abzuschätzen wie gut sich die Community Detection-Algorithmen für diese Daten eignen, wurden die Visualisierungssysteme

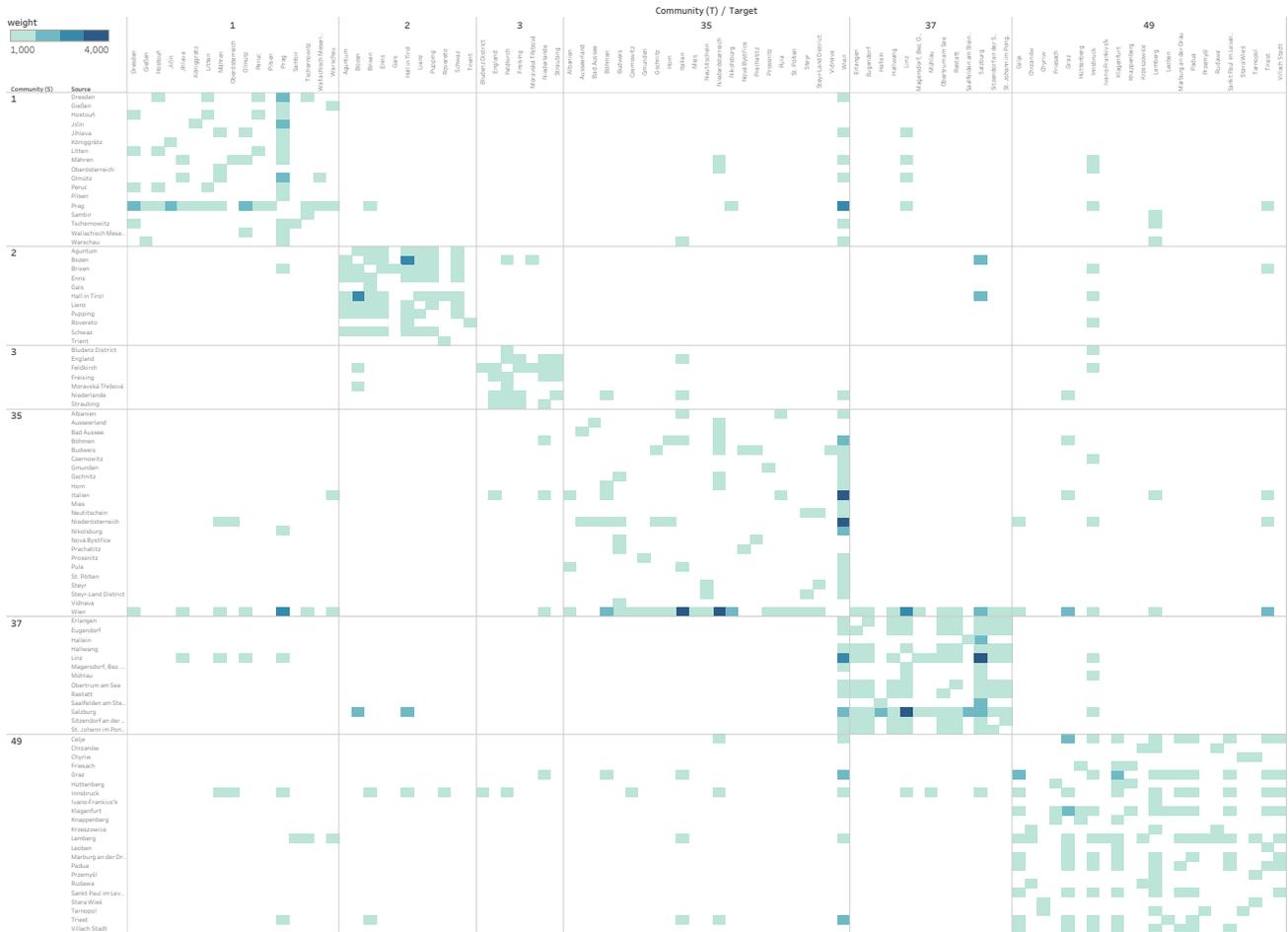


Abbildung 2. Visualisierung der Nachbarschaftsmatrix gruppiert nach Communities (Ausschnitt): Jede Zelle stellt die mögliche Verbindung zwischen zwei Orten aus Zeile und Spalte dar. Die Farbe der Zelle ist umso dunkler je mehr Personen bei beiden Orten erwähnt werden, also je höher das Kantengewicht ist. Ohne Kante bleibt die Zelle weiß. Die stärkere Vernetzung innerhalb der Communities ist hier deutlich sichtbar.

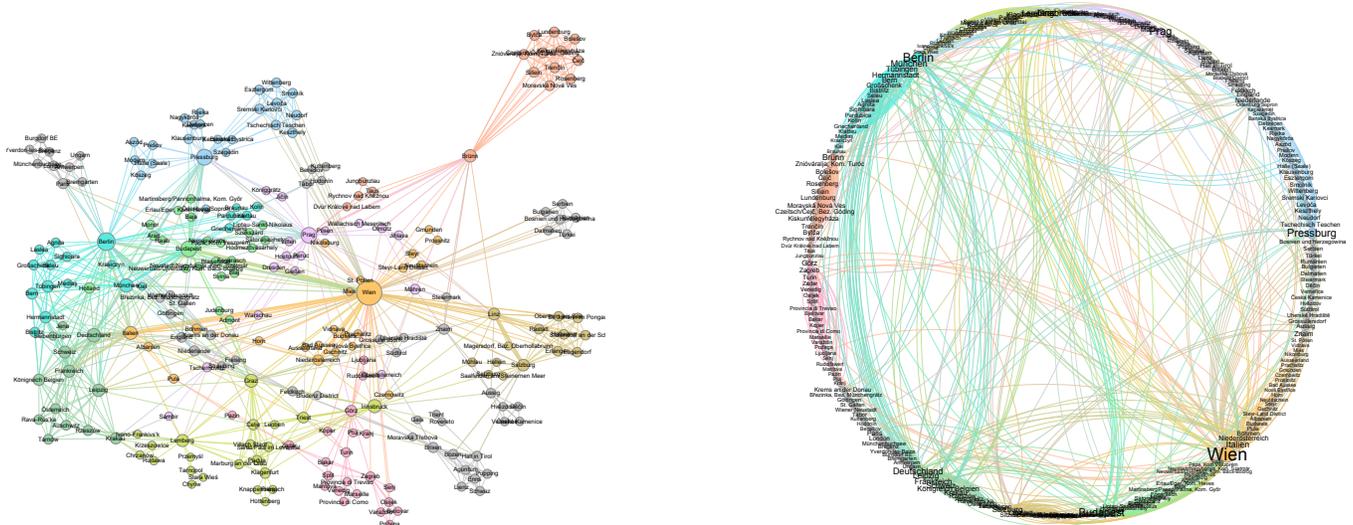


Abbildung 3. Visualisierung der Orte als Netzwerkknoten mit Verbindungen durch Wanderungsbewegungen. Die Farbe der Knoten entspricht der Community und die Größe dem Knotengrad. Links sind die Knoten auf Basis von Kräften positioniert und rechts in einem Kreis sortiert nach Community.

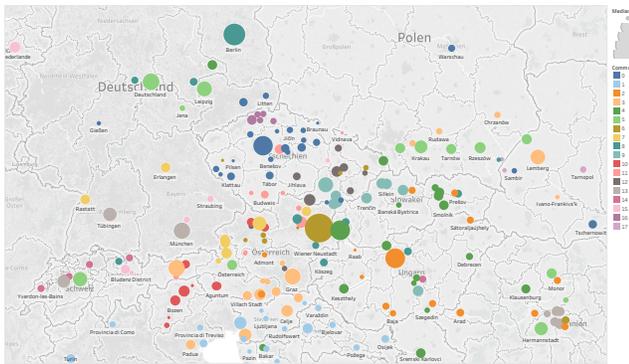


Abbildung 4. Visualisierung der Orte auf einer Landkarte. Die Farbe der Knoten entspricht der Community und die Größe dem Knotengrad.

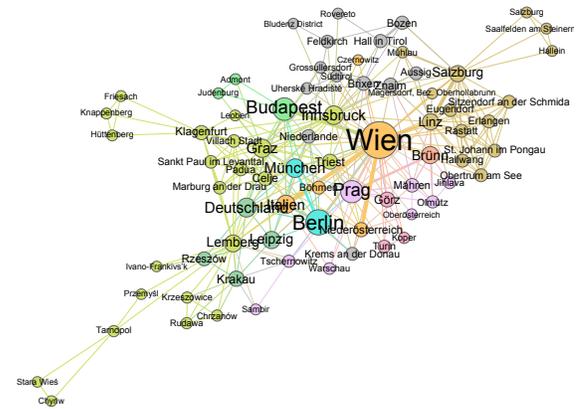


Abbildung 5. Filtern auf die Orte der Communities {Graz, Lemberg, etc.} und {Linz, Salzburg, etc.} und deren unmittelbarer Netzwerk-Nachbarschaft.

Gephi [28] und Tableau [29] eingesetzt. Derartige computerbasierte Visualisierungssysteme stellen interaktive visuelle Repräsentationen von Datensätzen zur Verfügung und unterstützen so Menschen dabei, ein mentales Modell der Datensätze zu entwickeln [30], [31]. Gerade im Bereich der Netzwerkvisualisierung gibt es ein umfangreiches Methodenrepertoire [32].

Prinzipiell bestehen die beiden Möglichkeiten Netzwerke als Matrix oder als Node/Link Diagramm darzustellen. Bei der Matrix-Darstellung wird jede Kante durch eine Tabellenzelle repräsentiert, deren Zeile und Spalte von Ursprungs- und Zielknoten abhängen. Diese Darstellung hat den Vorteil, dass auch größere Netzwerke übersichtlich dargestellt werden können. Wie in Abbildung 2 ersichtlich lassen sich bei geeigneter Sortierung der Knoten Communities gut überprüfen. Im Node/Link-Diagramm werden Knoten als Markierungen wie z. B. Kreise und Kanten als Linien zwischen diesen dargestellt. Diese Darstellung ist weitgehend bekannt und wird häufig verwendet, da es leichter möglich ist Pfade über mehr als eine Kante hinweg zu folgen. Zur Anordnung der Knoten gibt es verschiedene Algorithmen – unter anderem ein Ausbalancieren von an- und abstoßenden Kräften zwischen den Knoten oder die Anordnung der Knoten in einem Kreis (vgl. Abbildung 3).

Auch auf einer geographischen Karte können die Communities angezeigt werden (Abbildung 4). Dabei war es von Vorteil, dass die Orte auf Basis der verknüpften Linked-Open-Data mit Geokoordinaten versehen werden konnten. Alternativ wäre eine Set Visualisierung [33] wie KelpFusion [34] möglich gewesen.

Obwohl die Abbildungen nur das größte zusammenhängende Teilnetzwerk bestehend aus 243 Orten enthalten, ist die Visualisierung bereits überladen. Durch Filtern lassen sich Teile des Netzwerks im Detail erkunden. Beispielsweise zeigt Abbildung 5 Orte zweier Communities sowie Orte anderer Communities, die direkt mit jenen verbunden sind. Durch Verknüpfung mit dem Personen–Ort Netzwerk können auch die zugrundeliegenden Biographien in die visuelle Analyse einbezogen werden (Abbildung 6).

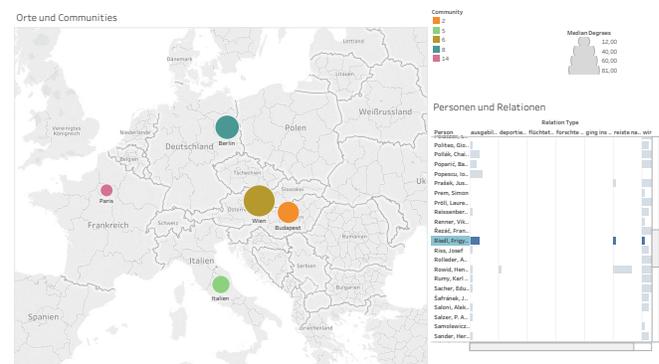


Abbildung 6. Interaktive Verknüpfung der Landkartenansicht von Orten mit den verknüpften Personen. Die gewählte Person hat eine außergewöhnliche Wanderbewegung durch Orte aus fünf Communities vollzogen.

V. RESÜMEE

Anders als bei einer nach Zentralitätsmaßen wie Gradzentralität (engl. degree) oder Zwischenzentralität (engl. betweenness) geleiteten Darstellung, lassen sich über die Communities Gemeinsamkeiten in den Wanderungsbewegungen von Personen hervorheben und identifizieren. Wien war als Hauptstadt der Donaumonarchie bzw. Republik Österreich nicht nur politisches und administratives Zentrum, sondern auch für Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur maßgebend. Die beruflichen Tätigkeiten der ausgewählten Personen wie „Lehrer“, „Historiker“ usw. beschränkten sich hingegen nicht ausschließlich auf die Metropolregionen. Mit der Auswahl des Samples einerseits und der Art von Analyse andererseits wird dadurch ein anderer Blickwinkel auf die Stadt und ihre Bedeutung ermöglicht. Es kann also zusammenfassend gesagt werden, dass es sich bei dieser Methode um einen vielversprechenden Ansatz zur Visualisierung und Analyse biographischer Daten handelt.

DANKSAGUNG

Dank aller Autoren gilt dem Organisationsteam des OpenGLAM.at Kulturhackathons sowie den TeamkollegInnen Christian Erlinger-Schiedlbauer, Janina Hoth und Barbara Kermer. Die Daten wurden im

Rahmen des durch den österreichischen Nationalfonds für Forschung, Technologie und Entwicklung geförderten Projekts *Mapping historical networks: Building the Austrian Prosopographical/Biographical Information System (APIS)* gewonnen und bereitgestellt. Die Analyse wurde teilweise durch Mittel des vorher genannten APIS-Projekts und des *KAVA-Time* Projekts (Austrian Science Fund (FWF): P25489-N23) gefördert.

LITERATUR

- [1] „Deutsche Biographie,” <https://www.deutsche-biographie.de>, Zugriff 24.10.2017.
- [2] S. Stotz, V. Stuß, M. Reinert, und M. Schrott, „Interpersonal Relations in Biographical Dictionaries. A Case Study,” in *BD2015. Biographical Data in a Digital World 2015. Proceedings of the 1st Conference on Biographical Data in a Digital World*, S. ter Braake, A. Fokkens, R. Sluijter, T. Declerck, und E. Wandl-Vogt, Hrsgg., Vol. 1399. CEUR-WS.org, 2015, S. 74–80.
- [3] „BiographyNet,” <http://www.biographynet.nl>, Zugriff 24.10.2017.
- [4] S. ter Braake, A. Fokkens, und F. van Lieburg, „Mining Ministers (1572–1815). Using Semi-structured Data for Historical Research,” in *Social Informatics: SocInfo 2014 International Workshops, Barcelona, Spain, November 11, 2014, Revised Selected Papers*, L. M. Aiello und D. McFarland, Hrsgg. Cham: Springer, 2015, S. 279–283.
- [5] F. Jannidis, H. Kohle, und M. Rehbein, Hrsgg., *Digital Humanities: Eine Einführung*. Stuttgart: J.B. Metzler, 2017.
- [6] Österreichische Akademie der Wissenschaften, Hrsg., *Österreichisches Biographisches Lexikon 1815–1950*, Wien, 1954ff.
- [7] Á. Z. Bernád, „Das Österreichische Biographische Lexikon 1815–1950. Ein Nachschlagewerk im Wandel der Zeit,” in *Hortus Amicorum. Közönlökötet Egyed Emese tiszteletére*, K. A. Bartha, A. Biró, Z. Demeter, und G. N. Tar, Hrsgg., Kolozsvár, 2017, S. 457–467.
- [8] „Österreichisches Biographisches Lexikon 1815–1950 Online Edition,” <http://www.biographien.ac.at>, Zugriff 24.10.2017.
- [9] C. Gruber und R. Feigl, „Von der Karteikarte zum biografischen Informationsmanagementsystem. Neue Wege am Institut Österreichisches Biographisches Lexikon und biographische Dokumentation,” in *Biografische Lexika im Internet. Internationale Tagung der „Sächsischen Biografie“ in Dresden, 30.–31.05.2008*, M. Schattkowsky und F. Metasch, Hrsgg., 2009, S. 55–75.
- [10] Á. Z. Bernád, M. Kaiser, M. Schlögl, und K. Lejtovicz, „APIS Dataset humanities scholars,” Sep. 2017, <https://doi.org/10.5281/zenodo.896281>, Zugriff 24.10.2017.
- [11] Á. Z. Bernád, M. Kaiser, K. Lejtovicz, und M. Schlögl, „Mapping historical networks. Working with biographical data,” in *Entangled Worlds – Vernetzte Welten*, J. Preiser-Kapeller, Hrsg., Wien, im Erscheinen.
- [12] „Testinstanz der Webapplikation APIS,” <https://apisdev.eos.arz.oeaw.ac.at>, Zugriff 24.10.2017.
- [13] K. Lejtovicz und M. Schlögl, „APIS – Eine Linked Open Data basierte Datamining-Webapplikation für das Auswerten biographischer Daten,” in *DHd 2017. Digitale Nachhaltigkeit, Konferenzabstracts, 13.–18.02.2017*, Bern, 2017, S. 220–223.
- [14] „Gemeinsame Normdatei (GND),” <http://dnb.de/gnd>, Zugriff 24.10.2017.
- [15] „GeoNames,” <http://www.geonames.org/>, Zugriff 06.11.2017.
- [16] J. L. Moreno, *Who shall survive?: A new approach to the problem of human interrelations*. Washington: Nervous and Mental Disease Publishing Co, 1934.
- [17] J. F. Padgett und C. K. Ansell, „Robust Action and the Rise of the Medici, 1400–1434,” *American Journal of Sociology*, Vol. 98, Nr. 6, S. 1259–1319, 1993.
- [18] R. Gramsch, *Das Reich als Netzwerk der Fürsten: Politische Strukturen unter dem Doppelkönigtum Friedrichs II. und Heinrichs (VII.), 1225–1235*. Ostfildern: Thorbecke, 2013.
- [19] M. Stark, „Soziale Einbettung eines ländlichen Kreditmarktes im 19. Jahrhundert,” Univ. Dissertation, Trier, 2012.
- [20] M. Düring, „Hilfe für Verfolgte während des Nationalsozialismus,” in *Vom Papier zum Laptop. Perspektiven elektronischer Tools zur partizipativen Visualisierung und Analyse sozialer Netzwerke*, M. Schönhut, M. Gamper, und M. Stark, Hrsgg. Bielefeld: transcript Verlag, 2011.
- [21] A. A. Hagberg, D. A. Schult, und P. J. Swart, „Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX,” in *Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008)*, Pasadena, CA USA, Aug. 2008, S. 11–15.
- [22] S. Fortunato und D. Hric, „Community detection in networks: A user guide,” *Physics Reports*, Vol. 659, S. 1–44, 2016.
- [23] M. E. Newman und M. Girvan, „Finding and evaluating community structure in networks,” *Physical review E*, Vol. 69, Nr. 2, S. 026113, 2004.
- [24] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, und E. Lefebvre, „Fast unfolding of communities in large networks,” *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, Vol. 2008, Nr. 10, S. P10008, 2008.
- [25] S. Fortunato und M. Barthélemy, „Resolution limit in community detection,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, Nr. 1, S. 36–41, 2007.
- [26] M. Newman, „Community detection in networks: Modularity optimization and maximum likelihood are equivalent,” *arXiv preprint arXiv:1606.02319*, 2016.
- [27] V. A. Traag, G. Krings, und P. Van Dooren, „Significant scales in community structure,” *Scientific reports*, Vol. 3, 2013.
- [28] M. Bastian, S. Heymann, und M. Jacomy, „Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks,” in *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009, <http://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154>, Zugriff 25.10.2017.
- [29] „Tableau Desktop,” <https://www.tableau.com/products/desktop>, Zugriff 25.10.2017.
- [30] S. K. Card, J. D. Mackinlay, und B. Shneiderman, Hrsgg., *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.
- [31] H. Schumann und W. Müller, *Visualisierung: Grundlagen und Allgemeine Methoden*. Berlin: Springer, 2000.
- [32] S. Hadlak, H. Schumann, und H.-J. Schulz, „A Survey of Multifaceted Graph Visualization,” in *Proc. Eurographics Conference on Visualization – State of The Art Report, EuroVis STAR*, R. Borgo, F. Ganovelli, und I. Viola, Hrsgg. Eurographics, 2015, S. 1–20.
- [33] B. Alsallakh, L. Micallef, W. Aigner, H. Hauser, S. Miksch, und P. Rodgers, „The State-of-the-Art of Set Visualization,” *Computer Graphics Forum*, Vol. 35, Nr. 1, S. 234–260, 2016.
- [34] W. Meulemans, N. Henry Riche, B. Speckmann, B. Alper, und T. Dwyer, „KelpFusion: A Hybrid Set Visualization Technique,” *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol. 19, Nr. 11, S. 1846–1858, Nov. 2013.