

Drug-Disease-Networks: Innovatives PubPharm-Recherchetool

Drug-Disease-Networks: Innovative search tool for PubPharm

Abstract

In the Specialised Information Service Pharmacy, the cooperation between the University Library and the Institute for Information Systems at Technische Universität Braunschweig results in innovative data retrieval services. Based on basic information technology research, prototypes are developed and evaluated by focus groups of the pharmaceutical research community. Upon successful prototype optimisation, services are implemented in the freely available search platform PubPharm (<https://www.pubpharm.de>).

Recent artificial intelligence models (in detail neural networks) can automatically determine associations between pharmaceutical entities (i.e. clearly definable concepts such as active ingredients, diseases and genes) based on research literature. This research activity at the Institute for Information Systems resulted already in a web service for PubPharm: listing contextualised substances, diseases or genes when searching for active substances or diseases/symptoms. The Drug-Disease-Networks complement this suggestion function and visualise the partly complex entity relationships supporting their interpretation. Links to external data sources, e.g., Comparative Toxicogenomics Database and DrugBank, provide further information.

Keywords: pharmacy, specialised information services, PubPharm, discovery system, machine learning

Zusammenfassung

In enger Zusammenarbeit zwischen der Universitätsbibliothek und dem Institut für Informationssysteme der Technischen Universität Braunschweig im Fachinformationsdienst Pharmazie entstehen innovative Recherchetools, die neue Zugriffspfade für unterschiedliche Informationsressourcen bieten. In der informatorischen Grundlagenforschung werden Prototypen entwickelt und diese von Fokusgruppen der Fachcommunity evaluiert. Erfolgreiche Services werden anschließend in die frei verfügbare Rechercheplattform PubPharm (<https://www.pubpharm.de>) implementiert.

Mithilfe von künstlicher Intelligenz, im Detail mit neuronalen Netzen, können Beziehungen zwischen pharmazierelevanten Entitäten, d.h. klar abgrenzbaren Konzepten wie Wirkstoffen, Erkrankungen und Genen, auf Basis von Forschungsliteratur ermittelt werden. Aus dieser Forschungstätigkeit am Institut für Informationssysteme ist bereits eine Funktion in PubPharm eingegangen: die Anzeige von Vorschlagslisten kontextähnlicher, verwandter Substanzen, Erkrankungen/Symptome und Gene bei einer Suche nach Wirkstoffen bzw. Erkrankungen. Eine Erweiterung dieser Funktion sind die neu integrierten Drug-Disease-Networks. Durch Visualisierung der z.T. komplexen Beziehungen zwischen den Entitäten können diese leichter interpretiert werden. Weiterführende Informationen können über Verlinkungen zu externen Datenquellen (u.a. Comparative Toxicogenomics Database und DrugBank) erhalten werden.

Christina Draheim¹

Janus Wawrzinek²

Stefan Wulle¹

Wolf-Tilo Balke²

1 Technische Universität
Braunschweig,
Universitätsbibliothek,
Braunschweig, Deutschland

2 Technische Universität
Braunschweig, Institut für
Informationssysteme,
Braunschweig, Deutschland

Schlüsselwörter: Pharmazie, Fachinformationsdienste, PubPharm, Discovery System, maschinelles Lernen

1 Kooperation zwischen Universitätsbibliothek und forschender Informatik im Fachinformationsdienst Pharmazie

Der Fachinformationsdienst (FID) Pharmazie wird seit 2015 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Förderprogramm „Fachinformationsdienste für die Wissenschaft“ unterstützt. Ziel dieses Projektes ist es, die Literatur- und Informationsversorgung für die universitäre pharmazeutische Forschung signifikant zu verbessern, was die Weiterentwicklung der Informationsinfrastruktur, die Erforschung und Implementierung innovativer Recherchedienste und die Verbesserung des Volltextzugriffs umfasst [1].

Die Rechercheplattform PubPharm (<https://www.pubpharm.de>), ein Service des FID Pharmazie, wird in enger Abstimmung mit der pharmazeutischen Fachcommunity weiterentwickelt [1], [2]. Eine Herausforderung ist dabei die Interdisziplinarität des Faches. Über die Kerndisziplinen Pharmazeutische und Medizinische Chemie, Pharmazeutische Biologie, Pharmazeutische Technologie, Pharmakologie und Klinische Pharmazie hinaus, gibt es vielfach Überschneidungen zu angrenzenden Fächern, u.a. (Bio-)Chemie, Biotechnologie, Molekularbiologie, weitere Lebenswissenschaften, aber auch Verfahrenstechnik. Eine fachspezifische Anforderung an PubPharm ist daher eine möglichst breite inhaltliche Abdeckung der Publikationen dieser Fächer, und dies über die klassische Literatur hinaus z.B. auch etwa durch den Nachweis von klinischen Studien und Patenten. Ein Überblick über die aktuellen PubPharm-Inhalte und -Funktionen wird in Abschnitt 2 gegeben.

Entscheidend für die Akzeptanz in der Fachcommunity ist nun, dass die Recherche nach Wirkstoffen (bzw. biologisch aktiven Verbindungen) in der unübersehbar großen Anzahl von Ressourcen – bedingt durch die inhaltliche Breite – optimiert wird. Dazu dienen die in PubPharm als Alleinstellungsmerkmale angebotenen innovativen Suchservices. Diese wurden und werden vom Institut für Informationssysteme (IfIS) der Technischen Universität Braunschweig prototypisch unter begleitender Einbindung von Forschenden der Pharmazie entwickelt [2]. Die Universitätsbibliothek Braunschweig bringt dabei die Forschenden der Pharmazie mit der forschenden Informatik (IfIS) zusammen. Diese enge Kooperation zwischen der Universitätsbibliothek und dem IfIS gewährleistet, dass nicht an den Anforderungen des Faches vorbei geforscht und entwickelt wird. Nach positiver Evaluierung durch die Fachcommunity werden neue Services in PubPharm implementiert.

Die enge Verzahnung zwischen der Bibliothek als Garant für nachhaltig betriebene Informationsinfrastruktur und der informationsfachlichen Forschung am IfIS zur Neu-

und Weiterentwicklung von Diensten ist zukunftsweisend. Daraus sind partnerschaftlich entwickelte Services mit hohem Innovationsgrad erwachsen: Durch Erschließung und semantische Anreicherung pharmazeutischer Ressourcen (siehe auch Abschnitt 3) wird die Fachcommunity bei wirkstoffbezogenen Recherchen signifikant unterstützt, z.B. durch die interaktiven Drug-Disease-Networks. Die Entwicklung dieser von der Idee bis zum stabilen Webservice und die aktuell in der BETA-Version verfügbaren Funktionen werden in Abschnitt 3 vorgestellt.

2 Die Rechercheplattform PubPharm – aktuelle Inhalte und Funktionen

Die Rechercheplattform PubPharm vereinigt unterschiedlichste für die Pharmazie relevante Datenquellen in einer Suchoberfläche. Diese werden kontinuierlich aktualisiert und erweitert. Aktuell kann mit nur einer Suchanfrage in über 55 Millionen Nachweisen recherchiert werden: ca. 32 Millionen Publikationen aus der biomedizinischen Datenbank Medline/PubMed [3], weitere Artikel aus Fachzeitschriften (u.a. der Chemie, Pharmakologie und Toxikologie), Artikel angrenzender Disziplinen der Pharmazie, fachspezifische Bücher (darunter E-Books und Dissertationen), Konferenzschriften, Informationen zu klinischen Studien aus dem Studienregister ClinicalTrials.gov [4] und der International Clinical Trials Registry Platform (ICTRP) [5] der Weltgesundheitsorganisation und ein fachspezifischer Ausschnitt an Patenten des Europäischen Patentamtes [6]. Durch die breite inhaltliche Abdeckung, die quantitativ weit über die im Fach etablierten Datenbanken hinausgeht, kann PubPharm nicht nur für die pharmazeutische Forschung, sondern auch für andere Lebenswissenschaften interessant und nützlich sein.

PubPharm ist frei verfügbar und das responsive Design der Rechercheoberfläche ermöglicht ein flexibles Arbeiten mit mobilen Endgeräten. Die standortabhängige Verfügbarkeitsprüfung ermittelt Möglichkeiten für einen unmittelbaren Volltextzugriff auf elektronische Ressourcen [2]. Über verschiedene Sortier- und Filterfunktionen (z.B. für die Einschränkung auf klinische Studien oder aktuelle Publikationen zu COVID-19/SARS-CoV-2) lassen sich Treffer einer Suchanfrage eingrenzen sowie die Suchanfrage verfeinern [7]. Die textbasierten Suchoptionen werden in PubPharm durch die Struktursuche ergänzt [1], [7]. Diese ermöglicht anhand einer molekularen Struktur, einer Suche nach internationalen Freinamen bzw. Trivialnamen oder über Import von SMILES-/InChI-Codes chemische Verbindungen zu identifizieren und u.a. weiterführende Wirkstoffinformationen zu erhalten [8], [9].

Die Anzeige von KI-basierten Vorschlagslisten ist der erste innovative Service, der aus der informationsfachlichen Forschungstätigkeit am IfIS hervorgegangen ist. Wie Abbil-

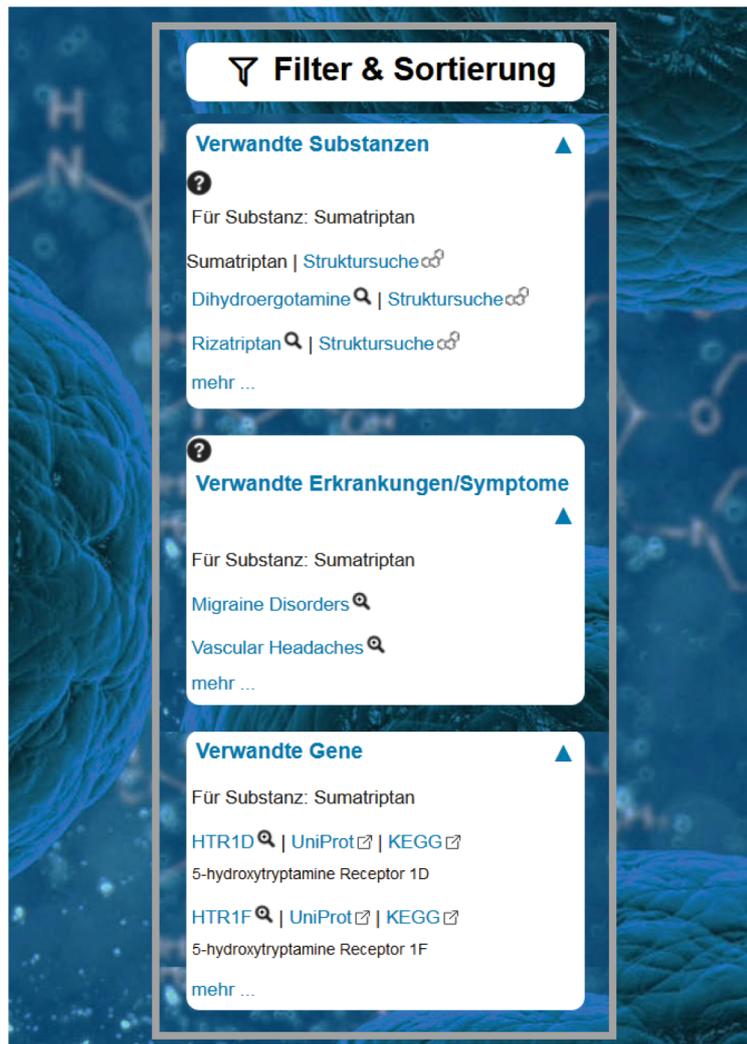


Abbildung 1: Vorschlagslisten kontextähnlicher, verwandter Entitäten, die bei einer Suche mit einem Wirkstoff (hier Sumatriptan) oder einer Erkrankung / einem Symptom in PubPharm generiert werden.

Abbildung 1 zeigt, werden beispielsweise für den Wirkstoff Sumatriptan u.a. weitere Wirkstoffe gelistet, die zur Behandlung der Migräne eingesetzt werden bzw. wurden. Die „verwandten“ pharmazeutischen Entitäten werden allein durch ihre semantische Ähnlichkeit zueinander identifiziert [10]. Die Funktion basiert also nicht nur auf molekularer Ähnlichkeit oder Therapieschemata, sondern kann darüber hinaus auch andere Arten von Beziehungen abbilden. Eine Erweiterung ist die Visualisierung von Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen in Netzwerkansichten (Drug-Disease-Networks) auf Basis des Outputs künstlicher neuronaler Netze (Abschnitt 3) [11], [12].

3 Drug-Disease-Networks

3.1 Entwicklung der Drug-Disease-Networks

Der derzeit exponentielle Anstieg der Anzahl wissenschaftlicher Publikationen stellt – wie auch in anderen Bereichen – Forschende im Fach Pharmazie vor neue Heraus-

forderungen. Keyword-basierte Suchen sind oftmals nicht hinreichend präzise und können im pharmazeutischen und biomedizinischen Bereich zu unübersichtlich großen Treffermengen führen. Daraus resultiert über die bislang übliche Keyword-basierte Suchfunktionalität hinaus ein Bedarf an neuen Zugriffspfaden zu Fachliteratur und Informationsressourcen, die eine effektivere Spezifizierung der individuellen Informationssuche erlauben.

Zu diesem Zweck kann künstliche Intelligenz, insbesondere aus dem Bereich der Neural Language Models (NLMs), d.h. auf die Verarbeitung natürlicher Sprache spezialisierte neuronale Netze, genutzt werden, um automatisch Pharmazie-relevante Entitäten (u.a. Wirkstoffe, Erkrankungen/Symptome und Gene) und ihre Beziehungen untereinander auf Basis einschlägiger Forschungsliteratur zu ermitteln und übersichtlich darzustellen. In PubPharm bilden NLMs sowohl die Grundlage für die Entwicklung der Vorschlagslisten als auch für die Entwicklung von Netzwerkansichten zur Visualisierung von Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen. Das am IfIS aufgebaute NLM lernt für diese Services auf Metadaten (Titel, Abstract) von ca. 32 Millionen Publikationen (Dokumenten-Korpus) aus der biomedizinischen Datenbank

Medline/PubMed [3]. Vor dem Lernprozess müssen alle relevanten pharmazeutischen Entitäten, insbesondere auch solche, die aus mehreren Wörtern zusammengesetzt sind (z.B. „Diabetes mellitus“ oder „ocular hypertension“), im Text erkannt und durch eindeutige Identifikatoren annotiert werden. Dafür werden frei verfügbare automatische Annotations-Tools wie z.B. PubTator [13] eingesetzt und die Texte in geeigneter Weise für den Lernprozess vorbereitet, für Details siehe [14]. Für den Lernprozess wurde das Word2Vec NLM (Skip-gram Model, Implementierung aus der DeepLearning4J Bibliothek) ausgewählt (vgl. [15], [16]). Vereinfacht dargestellt entfernt das NLM hierbei einzelne Wörter aus ihrem jeweiligen Wort-Kontext und lernt im nächsten Trainingsschritt jene Wörter automatisch vorherzusagen, welche die entstandene Lücke am wahrscheinlichsten füllen.

Über einen pharmazeutischen Dokumenten-Korpus werden in PubPharm so für jede pharmazeutische Entität tausende bis hunderttausende verschiedener Wort-Kontexte gelernt. Repräsentiert als Vektoren in einem abstrakten hochdimensionalen Raum, werden dann alle Entitäten mit ähnlichen Wort-Kontexten, d.h. einer ähnlichen Semantik, räumlich nah zueinander positioniert. Mit geeigneten Ähnlichkeitsmaßen kann anschließend die Ähnlichkeit zwischen je zwei Entitäten berechnet werden. Diese Kontextualisierungseigenschaft der Ähnlichkeit kann auf alle pharmazeutischen Entitäten übertragen werden und baut so ein Drug-Disease-Network auf: Steht Wirkstoff A beispielsweise oft im Wort-Kontext mit Wirkstoff B und steht zudem Wirkstoff A oft im Wort-Kontext mit Wirkstoff C, so kann ein gemeinsamer Kontext zwischen B und C über Wirkstoff A vom NLM erlernt werden. Ein ähnlicher Kontext kann dann auf eine intrinsische Ähnlichkeit von Entitäten hindeuten, z.B. auf ähnliche chemische Wirkstoffeigenschaften oder ähnliche therapeutische Einsatzgebiete. So können auch bislang unbeachtete Gemeinsamkeiten zwischen Wirkstoffen aufgedeckt werden. Das heißt, für jeden Wirkstoff werden die Wirkstoff-, Erkrankungs- und Gen-Nachbarn extrahiert und für jedes hinreichend ähnliche Entitätspaar dann ein entsprechender Zusammenhang angenommen [11].

Zwar sind von einer KI angenommene Zusammenhänge oft nur schwer interpretierbar, allerdings können künstliche neuronale Netze tatsächlich nicht nur unspezifische Assoziationen zwischen Entitäten erlernen, sondern auch gezielt Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen vorhersagen. Solche Vorhersagen können dann oft implizit über andere bereits bekannte Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen erklärt werden. Zur Exploration von komplexen pharmazeutischen Assoziationen eignen sich insbesondere Netzwerkansichten (siehe z.B. STITCH [17]). Eine Netzwerkansicht, in der die einzelnen pharmazeutischen Entitäten über Assoziationen miteinander verbunden sind, ermöglicht eine schnelle visuelle Erfassung der bekannten und vorhergesagten Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen und kann die Interpretation von komplexen Zusammenhängen vereinfachen [12].

Insgesamt können die Vorschlagslisten kontextähnlicher, verwandter Substanzen, Erkrankungen/Symptome und Gene sowie die Netzwerkansichten zur Visualisierung von Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen (Drug-Disease-Networks) Forschende beispielsweise bei der literaturbasierten Hypothesenbildung oder bei Untersuchungen zum Drug-Repurposing unterstützen [18].

3.2 BETA-Version der interaktiven Drug-Disease-Networks

Die Drug-Disease-Networks wurden im Frühjahr 2021 in einer BETA-Version in PubPharm integriert und lassen sich über eine Verlinkung unterhalb der zentralen Eingabezeile aufrufen (Abbildung 2).

Abbildung 2 zeigt das Teilnetzwerk einer Beispielsubstanz, wobei assoziierte Wirkstoffe in blau und die Erkrankungen/Symptome in grün hervorgehoben sind. Rote Verbindungslinien (Kanten) zeigen vom NLM gelernte Vorhersagen, typischerweise beschreiben diese Beziehung weniger als drei Publikationen im zugrundeliegenden Dokumenten-Korpus (siehe auch Abschnitt 3.1). Stützen dagegen drei oder mehr Publikationen die Hypothese, werden die Kanten in grün dargestellt und mit der jeweiligen Anzahl versehen.

Eine neue, freie Suche kann mit einem Substanznamen oder einer Erkrankung bzw. einem Symptom über die Eingabezeile gestartet werden (Abbildung 2). Alternativ wird durch Doppelklick auf eine Entität (Substanzname oder Erkrankung/Symptom) das entsprechende Drug-Disease-Network aufgerufen. Neben der Eingabezeile kann die Anzahl der kontextähnlichen, verwandten Substanzen in der Netzwerkansicht eingestellt werden.

Um die Netzwerkansichten übersichtlicher zu gestalten und an die individuellen Bedürfnisse anzupassen, werden verschiedene Optionen angeboten: Über die linke, gedrückte Maustaste kann ein Netzwerk beliebig verschoben werden. Die Entitäten und zugehörigen Kanten lassen sich auf diese Weise ebenfalls einzeln bewegen und beliebig platzieren. Zoomen ist mit dem Scrollrad möglich, und ergänzend wird ein Vollbildmodus angeboten. Über die rechte Maustaste können einzelne Entitäten („Klick“ auf eine Entität) oder alle Wirkstoffe bzw. Erkrankungen/Symptome („Klick“ an einer beliebigen Stelle der Netzwerkansicht) entfernt werden. Ein Einzelklick mit der linken Maustaste auf eine Entität markiert diese und die zugehörigen Kanten und hebt das Teilnetzwerk hervor. Unterhalb der Netzwerkansicht befinden sich die „Association Details“ mit der Listung der kontextähnlichen, verwandten Substanzen, Erkrankungen/Symptome und Gene (Abbildung 3). Weiterführende Informationen können über unterschiedliche Verlinkungen, z.B. zur textbasierten und Struktursuche in PubPharm oder zur Wirkstoffdatenbank DrugBank [8], erhalten werden. Für die Wirkstoff-Erkrankungs-Beziehungen (Drug-Disease-Associations) werden die geschätzte Anzahl der die Hypothese stützende Publikationen angezeigt und die Art der Entitäts-Beziehungen aus der Comparative Toxicogeno-

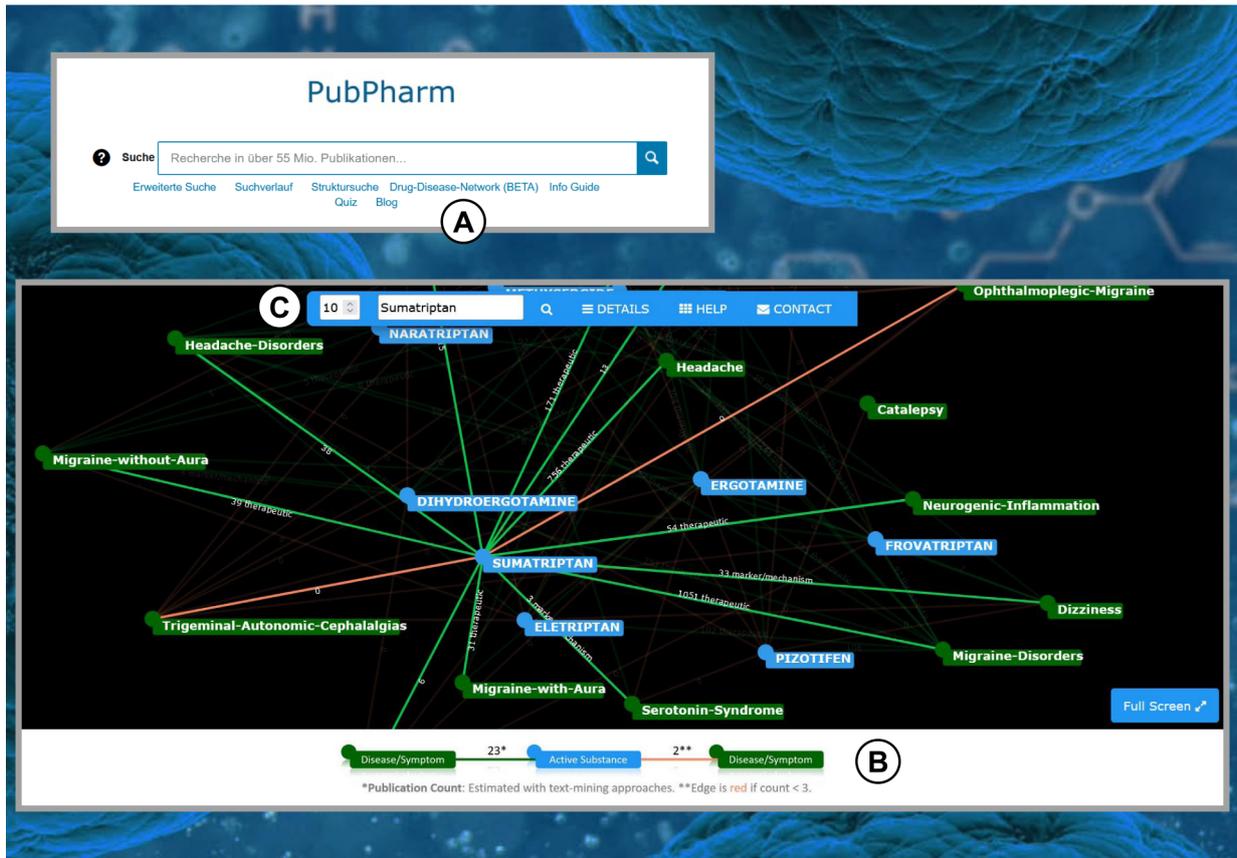


Abbildung 2: Beispiel-Netzwerkansicht für den Wirkstoff Sumatriptan: hervorgehoben ist das Teilnetzwerk mit den nächsten Erkrankungs-Nachbarn. A) Aktueller Zugang zu den Drug-Disease-Networks. B) Legende. C) Eingabezeile und Möglichkeit, die Anzahl der kontextähnlichen, verwandten Substanzen einzustellen.

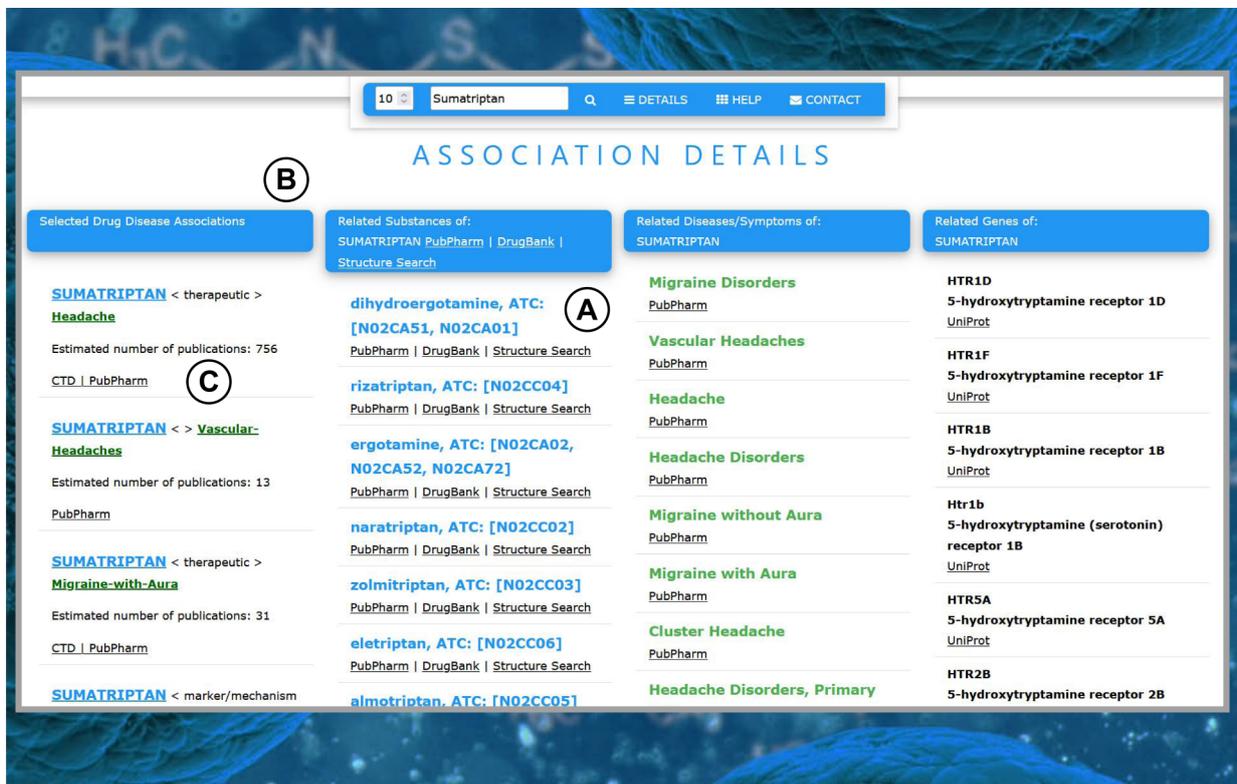


Abbildung 3: Beispiel: „Association Details“ für den Wirkstoff Sumatriptan. A) Über unterschiedliche Verlinkungen können weiterführende Informationen erhalten werden. B) Liste der Drug-Disease-Associations. C) Geschätzte Anzahl die Hypothese stützende Publikationen.

mics Database (CTD) aufgeführt, sofern ein entsprechender Eintrag in dieser Datenbank vorliegt [19].

Nach weiterer Evaluation durch die Fachcommunity werden die Drug-Disease-Networks perspektivisch so in PubPharm eingebunden, dass sie bei einer Suche nach Wirkstoffen und Erkrankungen/Symptomen die Vorschlagslisten kontextähnlicher, verwandter Entitäten als eine weitere Explorationsmöglichkeit ergänzen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Als zentraler Service im FID Pharmazie bietet die wirkstoffzentrierte Rechercheplattform PubPharm einen umfassenden Zugang zu pharmazeutischen Informationsressourcen und unterstützt Forschende durch bedarfsorientierte innovative Recherchetools.

Im kontinuierlichen Austausch mit der Fachcommunity werden potenzielle neue Inhalte und Funktionalitäten identifiziert. So wird perspektivisch der Suchraum von PubPharm auf Forschungsdaten sowie einen Ausschnitt aus der Bielefeld Academic Search Engine (BASE) ausgeweitet [20]. Mittelfristig wird eine neue Gesamtarchitektur für PubPharm etabliert, worin die Services im Sinne eines zentralen Zugangs eingebettet werden, und zudem ein fachspezifisches Repositorium aufgebaut. Aktuell forscht das IfIS an neuartigen narrativen Retrieval-Methoden, die eine präzise und strukturierte Literatursuche ermöglichen [21], [22]. Ziel ist es, Nutzenden eine gezielte Formulierung ihres Informationsbedarfes zu ermöglichen. Ein erster narrativer Service befindet sich aktuell in einer frühen Testphase [23]. Der FID Pharmazie ist selbstverständlich auch am Feedback angrenzender Fachbereiche, insbesondere in den Lebenswissenschaften, zu allen seinen Services interessiert.

Anmerkung

Interessenkonflikte

Die Autoren erklären, dass sie keine Interessenkonflikte in Zusammenhang mit diesem Artikel haben.

Literatur

- Draheim C, Keßler K, Wulle S. PubPharm – die Rechercheplattform. *PZ Prisma*. 2019;26(2):68-74.
- Keßler K, Kroll H, Wawrzinek J, Draheim C, Wulle S, Stump K, Balke WT. PubPharm – Gemeinsam von der informationswissenschaftlichen Grundlagenforschung zum nachhaltigen Service. *ABI Technik*. 2019;39(4):282-94. DOI: 10.1515/abitech-2019-4005
- PubMed [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- ClinicalTrials.gov [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://www.clinicaltrials.gov/>
- International Clinical Trials Registry Platform [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://trialssearch.who.int/>
- European Patent Office [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: https://www.epo.org/index_de.html
- Draheim C, Keßler K, Wawrzinek J, Wulle S. Die Rechercheplattform PubPharm. *GMS Medizin – Bibliothek – Information*. 2019;19(3):Doc23. DOI: 10.3205/mbi000448
- DrugBank [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://go.drugbank.com/>
- National Center for Biotechnology Information. The PubChem Project [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Wawrzinek J, Balke WT. Semantic Facettation in Pharmaceutical Collections Using Deep Learning for Active Substance Contextualization. In: *International Conference on Asian Digital Libraries ICADL 2017: Digital Libraries: Data, Information, and Knowledge for Digital Lives*; 2017 Nov 13-15; Bangkok, Thailand. p. 41-53. (Lecture Notes in Computer Science; 10647). DOI: 10.1007/978-3-319-70232-2_4
- Wawrzinek J, Balke WT. Measuring the Semantic World – How to Map Meaning to High-Dimensional Entity Clusters in PubMed? In: *International Conference on Asian Digital Libraries ICADL 2018: Maturity and Innovation in Digital Libraries*; 2018 Nov 19-22; Hamilton, New Zealand. p. 15-27. (Lecture Notes in Computer Science; 11279). DOI: 10.1007/978-3-030-04257-8_2
- Wawrzinek J, Pinto JMG, Balke WT. Linking Semantic Fingerprints of Literature – from Simple Neural Embeddings Towards Contextualized Pharmaceutical Networks. In: *International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries TPDL 2019: Digital Libraries for Open Knowledge*; 2019 Sep 09-12; Oslo, Norway. p. 33-40. (Lecture Notes in Computer Science; 11799). DOI: 10.1007/978-3-030-30760-8_3
- National Center for Biotechnology Information. PubTator Central [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/research/pubtator/>
- The Apache Software Foundation. Apache Lucene [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://lucene.apache.org/>
- Mikolov T, Sutskever I, Chen K, Corrado GS, Dean J. Distributed representations of words and phrases and their compositionality. In: *NIPS'13: Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems - Volume 2*; 2013 Dec 05-10; Lake Tahoe, Nevada. p. 3111-9.
- Deep Learning for Java [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://deeplearning4j.org/>
- STITCH database [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 19]. Available from: <http://stitch.embl.de/>
- Ashburn T, Thor KB. Drug repositioning: identifying and developing new uses for existing drugs. *Nat Rev Drug Discov*. 2004 Aug;3(8):673-83. DOI: 10.1038/nrd1468
- Comparative Toxicogenomics Database (CTD) [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 18]. Available from: <https://ctdbase.org/>
- BASE (Bielefeld Academic Search Engine) [Internet]. [updated: 2021; cited 2021 Oct 19]. Available from: <https://www.base-search.net/>
- Kroll H, Pirklbauer J, Kalo JC, Kunz M, Ruthmann J, Balke WT. Narrative Query Graphs for Entity-Interaction-Aware Document Retrieval. In: *23rd International Conference on Asia Digital Libraries ICADL 2021: Towards Open and Trustworthy Digital Societies*; 2021 Dec 01-03. p. 80-95. (Lecture Notes in Computer Science; 13133). DOI: 10.1007/978-3-030-91669-5_7

22. Kroll H, Draheim, C. Narrative Information Access for a Precise and Structured Literature Search. O-Bib – Das Offene Bibliotheksjournal. 2021;8(4):1-13. DOI: 10.5282/o-bib/5730
23. Narrativer Prototyp [Internet]. [updated 2021; cited 2021 Dec 02]. Available from: <http://www.pubpharm.de/services/prototypes/narratives/>

Bitte zitieren als

Draheim C, Wawrzinek J, Wulle S, Balke WT. Drug-Disease-Networks: Innovatives PubPharm-Recherchetool. GMS Med Bibl Inf. 2021;21(3):Doc20.
DOI: 10.3205/mbi000509, URN: urn:nbn:de:0183-mbi0005099

Artikel online frei zugänglich unter

<http://www.egms.de/en/journals/mbi/2021-21/mbi000509.shtml>

Veröffentlicht: 20.12.2021

Korrespondenzadresse:

Christina Draheim
Technische Universität Braunschweig,
Universitätsbibliothek, Universitätsplatz 1, 38106
Braunschweig, Deutschland
c.draheim@tu-braunschweig.de

Copyright

©2021 Draheim et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.