

Bakkalaureatsarbeit

Automatisierung der Erstellung eines Wissensgraphen aus annotierten Bilddateien

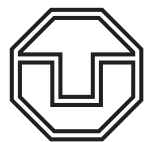
bearbeitet von

Robin Morgenstern

geboren am 27.01.2004 in Chemnitz

Technische Universität Dresden

Fakultät Informatik
Institut für Software- und Multimediatechnik
Lehrstuhl Softwaretechnologie



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



Betreuer: Dr.-Ing. Karsten Wendt
Hochschullehrer: Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Aßmann

Eingereicht am 22. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	1
1.3	Forschungsfrage	1
1.4	Aufbau der Arbeit	1
2	Theoretischer Hintergrund	3
2.1	Wissensgraphen in der semantischen Datenverarbeitung	3
2.2	Ontologien als formale Grundlage für Wissensgraphen	3
2.3	Objekterkennung und Aufbau der annotierten Bilddateien	3
2.4	Large Language Models und Verbindung zu Wissensgraphen	4
2.5	Automatisierte Wissensgraphgenerierung - Stand der Technik	4
3	Methodik	7
3.1	Datenbasis: Struktur und Eigenschaften der annotierten Bilddateien	7
3.2	Anforderung an die Graphstruktur	7
3.3	Konzeption des automatischen Generierungsprozesses	7
3.4	Technische Umsetzung und Implementierungsdetails	7
3.5	Validierungskonzept und Evaluationsmetriken	7
4	Evaluation	9
4.1	Vergleich der erzeugten Wissensgraphstrukturen	9
4.2	Analyse von Qualität, Vollständigkeit und Robustheit	9
4.3	Integration und Verarbeitung durch verschiedene LLM-Models	9
5	Diskussion	11
5.1	Interpretation der Evaluationsergebnisse	11
5.2	Methodische Herausforderungen und Limitationen	11
5.3	Einordnung in den aktuellen Forschungsstand	11
5.4	Beantwortung der Forschungsfrage	11
5.5	Perspektiven zur Weiterentwicklung und industriellen Anwendung	11
6	Literaturverzeichnis	i
A	Appendix	iii
A.1	Additional Information	iii
A.2	More Important Information	iii

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

1.2 Zielsetzung der Arbeit

1.3 Forschungsfrage

1.4 Aufbau der Arbeit

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque,

1 Einleitung

augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consetetuer.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Wissensgraphen in der semantischen Datenverarbeitung

Wissensgraphen (Knowledge Graphs, KGs) sind eine Form der strukturierten Wissensrepräsentation, die sich im Bereich der Künstlichen Intelligenz etabliert haben. Sie bilden durch Entitäten, deren Beziehungen sowie weiteren semantisch beschriebenen Merkmalen, komplexe Sachverhalte ab. Die Knoten eines KGs repräsentieren reale oder abstrakte Objekte. Die Kanten hingegen modellieren Relationen zwischen diesen Entitäten [1]. Wissensgraphen bieten wichtige Vorteile im Gegensatz zu anderen Arten der Wissensrepräsentation. So sind sie, durch ihr graphbasiertes Datenmodell, leicht verständlich und erlauben eine prägnante, intuitive Abstraktion. Sie besitzen außerdem kein festes Schema, was eine flexible Entwicklung ermöglicht [2]. Wissensgraphen verbessern außerdem die Qualität von KI-Systemen, insbesondere für Frage-Antwort-Systeme, die eine besondere Rolle in dieser Arbeit spielen [3].

2.2 Ontologien als formale Grundlage für Wissensgraphen

Ontologien legen die Basis für eine formale Darstellung von Wissen. Sie fungieren dabei als eine Art Konvention oder Richtlinie [2]. Sie sind in der Lage, die Vereinheitlichung terminologischer Konzepte zu fördern und ein konsistentes Verständnis zwischen unterschiedlichen Domänen zu ermöglichen [4]. Eine Ontologie enthält Entitäten, Relationen, Eigenschaften sowie je nach Ontologiesprache auch Axiome [2, 4]. Mithilfe von taxonomischen Relationen können Konzept-Hierarchien zwischen Entitäten definiert werden. Die Beziehungen zwischen einzelnen Entitäten können mithilfe von sogenannte nicht-taxonomische Relationen (auch Object-Properties genannt) beschrieben werden [4]. Ontologien dienen als formales Schema für die Erstellung von Wissensgraphen, und können genauso wie Wissensgraphen als Graphstruktur modelliert werden [2, 3]. Somit sind Wissensgraphen als Instanz einer Ontologie mit Daten anzusehen [5].

2.3 Objekterkennung und Aufbau der annotierten Bilddateien

Objekterkennung (Object Detection) ist ein zentrales Aufgabenfeld im Bereich der Computer Vision. Das Hauptziel der Objekterkennung besteht darin, in einem Bild Instanzen von definierten Klassen zu identifizieren und deren genaue Position im Bild zu bestimmen [6]. Mit dem Aufkommen von Deeplearning im Jahr 2014 wurden viele verschiedene Architekturen von Convolutional Neural Networks (CNNs) entwickelt, die sich in zwei Kategorien einteilen lassen. Zwei-Stufen-Detektoren trennen die Objekterkennung und die Klassifizierung. Beispiele hiervon sind Varianten wie R-CNN, Fast R-CNN und Faster R-CNN. Ein-Stufen-Detektoren hingegen führen die Objektlokalisierung und -klassifizierung gleichzeitig in dem selben Durchlauf aus. In der Regel sind diese Detektoren schneller und damit besser geeignet für Echtzeitanwendungen (wie etwa in einem digitalen Wartungsassistenten). Beispiele hiervon sind YOLO (You Only Look Once) und SSD (Single-Shot Multibox Detector) Architekturen. Die Objekterkennung des

Digitalen Wartungsassistenten beruht auf der SSD-Architektur, da diese versucht die Geschwindigkeit von YOLO mit der Genauigkeit von Zwei-Stufen-Methoden zu vereinen, indem sie Techniken der beiden Ansätze kombiniert [6]. Diese Positionen können auf unterschiedliche Weise bestimmt werden, aber die Option, die im Laufe dieser Arbeit eine Rolle spielt, sind Bounding-Boxes. Dabei ermittelt die Objekterkennung den Begrenzungsrahmen, die Objektklasse sowie einen Konfidenzwert (der die geschätzte Wahrscheinlichkeit für die Klassenzuordnung angibt) [6]. Diese Informationen werden in einer CSV-Datei gespeichert. Bei den annotierten Bilddateien, die im Laufe der Arbeit verwendet werden, handelt es sich um den Output eines trainierten Objekterkennungsmodells. Diese CSV-Datei soll nun in einen Wissensgraph überführt werden, damit LLMs mithilfe dieser Daten Fragen zu den Maschinen beantworten können.

2.4 Large Language Models und Verbindung zu Wissensgraphen

Large Language Models (LLMs) sind Künstliche Intelligenz (KI) Sprachmodelle, die viele Milliarden Parameter umfassen und typischerweise auf der Transformer-Architektur basieren [7, 8]. Dabei fungieren sie als generative mathematische Modelle, die auf Textdaten im Umfang von mehreren Hundert Terabyte trainiert wurden [7]. Diese Modelle berechnen die statistischen Wahrscheinlichkeiten für die möglichen Fortsetzungen einer Wortsequenz, und sagen so neue Token voraus – diese können einzelne Zeichen, Wortteile oder ganze Wörter sein [7]. Somit basieren die Antworten von LLMs nur auf statistischen Korrelationen und weisen kein menschliches Verständnis auf. Aus diesem Grund verfügen LLMs auch über kein tatsächliches Wissen oder Verständnis von Wahrheit oder Falschaussagen [7]. Dies kann dazu führen, dass Halluzinationen (irrelevante oder unsinnige Aussagen, die allerdings natürlich sind) auftreten [7]. Wissensgraphen können dem LLM "Wissen injizieren", um somit wissensbasierte Anwendungen zu ermöglichen, welche logische Schlussfolgerungen erlauben. Aus diesen Gründen werden Wissensgraphen bereits in Frage-Antwort-Systemen eingesetzt [3, 1, 9]. Da der digitale Wartungsassistent ebenfalls ein Frage-Antwort-System darstellt, sind LLMs und ihr Umgang mit Wissensgraphen von großer Bedeutung für diese Arbeit. Die Wissensgraphen werden aus visuellen Daten generiert und ermöglichen die Beantwortung einfacher (einzeln Tripel) sowie komplexerer Abfragen. Diese können über mehrstufiges Schlussfolgern (multi-hop) anhand mehrerer Tripel des Wissensgraphen beantwortet werden [3]. Außerdem tragen die implementierten Wissensgraphen zur Lösung des Black-Box-Problems bei, da man mithilfe dieser die Herkunft einer Antwort erklären und nachvollziehen kann, was das Vertrauen in die Vorhersagen stärken kann [1]. Die Kombination vereint somit die Fähigkeit von Wissensgraphen zur Speicherung und Abfrage von Wissen mit der Ausdrucksstärke von LLMs [1, 9, 7, 8].

2.5 Automatisierte Wissensgraphgenerierung - Stand der Technik

Die automatisierte Wissensgraphgenerierung – auch als Ontology Learning bezeichnet – ist der Prozess der Erstellung oder Erweiterung von Wissensgraphen durch automatische oder semiautomatische Verfahren [4]. Kernmodule der Generierung liegen in der Wissensextraktion sowie der Wissensverlinkung [9]. Die manuelle Erstellung von Wissensgraphen ist ein arbeitsintensiver und zugleich komplexer Prozess [10]. Bei großen Domänen kann es sogar die menschlichen Fähigkeiten übersteigen [4]. Diesen manuellen Prozess versucht die automatische Wissensgraphgenerierung zu minimieren bzw. zu umgehen. Der Stand der Technik umfasst dabei eine Vielzahl an Ansätzen und Technologien. Natural Language Processing (NLP) wird zur Analyse und Extraktion von Informationen aus Texten verwendet [4]. Dies umfasst Techniken wie Named

Entity Recognition (NER), Relation Extraction oder die Analyse lexico-syntaktischer Muster [4, 9, 10]. Auch Methoden des maschinellen Lernens (ML) werden umfassend eingesetzt [9]. Aktuelle Forschung untersucht zudem den Einsatz von LLMs zur Extraktion, Schemaerstellung und Abfragegenerierung im Bereich des Knowledge Graph Engineering (KGE) [5]. Die Konstruktion multimodaler Wissensgraphen ist allerdings weiterhin ein herausforderndes Problem [3]. Bislang sind nur wenige Arbeiten bekannt, die sich mit einem Wissensgraphgenerator aus visuellen Quellen befassen. Genau an diesem Punkt setzt diese Arbeit an, und untersucht, ob ein solcher Generator umsetzbar und effizient ist.

3 Methodik

3.1 Datenbasis: Struktur und Eigenschaften der annotierten Bilddateien

3.2 Anforderung an die Graphstruktur

3.3 Konzeption des automatischen Generierungsprozesses

3.4 Technische Umsetzung und Implementierungsdetails

3.5 Validierungskonzept und Evaluationsmetriken

4 Evaluation

4.1 Vergleich der erzeugten Wissensgraphstrukturen

4.2 Analyse von Qualität, Vollständigkeit und Robustheit

4.3 Integration und Verarbeitung durch verschiedene LLM-Models

5 Diskussion

5.1 Interpretation der Evaluationsergebnisse

5.2 Methodische Herausforderungen und Limitationen

5.3 Einordnung in den aktuellen Forschungsstand

5.4 Beantwortung der Forschungsfrage

**5.5 Perspektiven zur Weiterentwicklung und industriellen
Anwendung**

6 Literaturverzeichnis

- [1] Shaoxiong Ji u. a. “A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition, and Applications”. In: *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* 33 (2 Feb. 2022), S. 494–514. ISSN: 2162-2388. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3070843.
- [2] Aidan Hogan u. a. “Knowledge Graphs”. In: *ACM Computing Surveys* 54.4 (Juli 2021), S. 1–37. ISSN: 1557-7341. DOI: 10.1145/3447772.
- [3] Ciyuan Peng u. a. “Knowledge Graphs: Opportunities and Challenges”. In: *Artificial Intelligence Review* 56.11 (Apr. 2023), S. 13071–13102. ISSN: 1573-7462. DOI: 10.1007/s10462-023-10465-9.
- [4] Lan Yang, Kathryn Cormican und Ming Yu. “Ontology Learning for Systems Engineering Body of Knowledge”. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17 (2 Feb. 2021), S. 1039–1047. ISSN: 1941-0050. DOI: 10.1109/TII.2020.2990953.
- [5] Christian Zinke-Wehlmann und Julia Friedrich, Hrsg. *First Working Conference on Artificial Intelligence Development for a Resilient and Sustainable Tomorrow. AI Tomorrow 2023*. Informatik Aktuell Series. 4 Soft and Missing Spots of Human-Centered AI Implementation. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2024. 1158 S. ISBN: 9783658437053.
- [6] Ravpreet Kaur und Sarbjeet Singh. “A comprehensive review of object detection with deep learning”. In: *Digital Signal Processing* 132 (Jan. 2023), S. 103812. ISSN: 1051-2004. DOI: 10.1016/j.dsp.2022.103812. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsp.2022.103812>.
- [7] Murray Shanahan. “Talking about Large Language Models”. In: *Communications of the ACM* 67.2 (Jan. 2024), S. 68–79. ISSN: 1557-7317. DOI: 10.1145/3624724. URL: <http://dx.doi.org/10.1145/3624724>.
- [8] Haiyan Zhao u. a. “Explainability for Large Language Models: A Survey”. In: *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology* 15.2 (Feb. 2024), S. 1–38. ISSN: 2157-6912. DOI: 10.1145/3639372. URL: <http://dx.doi.org/10.1145/3639372>.
- [9] Sanju Tiwari, Fatima N. Al-Aswadi und Devottam Gaurav. “Recent trends in knowledge graphs: theory and practice”. In: *Soft Computing* 25.13 (Apr. 2021), S. 8337–8355. ISSN: 1433-7479. DOI: 10.1007/s00500-021-05756-8. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-021-05756-8>.
- [10] Christopher Brewster u. a. “Issues in learning an ontology from text”. In: *BMC Bioinformatics* 10.S5 (Mai 2009). ISSN: 1471-2105. DOI: 10.1186/1471-2105-10-s5-s1.

A Appendix

A.1 Additional Information

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

A.2 More Important Information

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, unter Angabe aller Zitate und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Dresden, den 22. Mai 2025