

ChemStrucLearn – KI-basierte Bilderkennung zur Diagnose von Schülerfehlern beim Zeichnen von Strukturformeln

Das Lehrvorhaben ChemStrucLearn zielt darauf ab, angehenden Gymnasiallehrpersonen der naturwissenschaftlichen Fächer die Grundlagen der KI-basierten Bilderkennung zu vermitteln. Im Fokus steht die Anwendung eines YOLO-Modells zur Erkennung handgezeichneter chemischer Strukturformeln. Die Teilnehmenden erlernen die Datensammlung und Annotation, das Training und die Optimierung des Modells sowie dessen Einsatz im Unterricht. Besonderes Augenmerk liegt auf der Erkennung typischer Schülerfehler, der Einrichtung individueller Lernwege und der Integration adaptiven Lernens in den Unterricht.

Verortung in der Lehrpersonenbildung

- ◆ Entwickelt an der Pädagogischen Hochschule Thurgau, der Ostschweizer Fachhochschule und der Universität Konstanz
- ◆ Fach: Chemie, eingebunden in die Fachdidaktik der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer
- ◆ Zielgruppe: Studierende im Lehrdiplomstudium Sekundarstufe 2 (Schweiz) oder Master of Education (Deutschland)
- ◆ Teilnehmendenzahl: 10–25

Adressierte KI-Anwendungen

- ◆ Roboflow (zum Annotieren des Datensatzes)
- ◆ YOLO (zum Erkennen von Objekten)
- ◆ OrChemSTAR (als unterrichtsbezogenes Anwendungsbeispiel)

Vorkenntnisse der Teilnehmenden

Die Teilnehmenden benötigen keine besonderen technischen Vorkenntnisse. Jedoch sollten sie das Lesen und Zeichnen von Strukturformeln sowie Grundlagen der Organischen Chemie beherrschen.

Praktische Tipps zur Durchführung

Das Lehrvorhaben kann modular in bestehende Seminare eingebunden werden. Dabei sollte allerdings beachtet werden, dass das Training der Modelle umfangreiche Rechenzeit benötigt und daher außerhalb der Seminarzeit zwischen zwei Seminareinheiten vorgenommen werden sollte.

Einordnung des Lehrvorhabens

Technische Basiskompetenzen ○ ○ ○ ○ ○		
Allgemeinere Kompetenzen		
Assessment, Feedback, Adaptivität	○ ○ ○ ○ ○	
Dokumentation	○ ○ ○ ○ ○	
Präsentation	○ ○ ○ ○ ○	
Kommunikation/Kollaboration	○ ○ ○ ○ ○	
Recherche und Bewertung	○ ○ ○ ○ ○	
Fachspezifischere Kompetenzen		
Messwert- und Datenerfassung	● ● ● ● ●	KI.MD.T.N1, KI.MD.T.B1, KI.MD.M.N1, KI.MD.M.B1, KI.MD.U.N2, KI.MD.U.B1, KI.MD.U.A1
Datenverarbeitung	● ● ● ● ●	KI.DV.T.N2/3, KI.DV.T.N8, KI.DV.T.B1, KI.DV.T.A1, KI.DV.F.N1/2, KI.DV.M.N1/2, KI.DV.M.B2, KI.DV.U.N1/2, KI.DV.U.A1
Simulation und Modellierung	○ ○ ○ ○ ○	

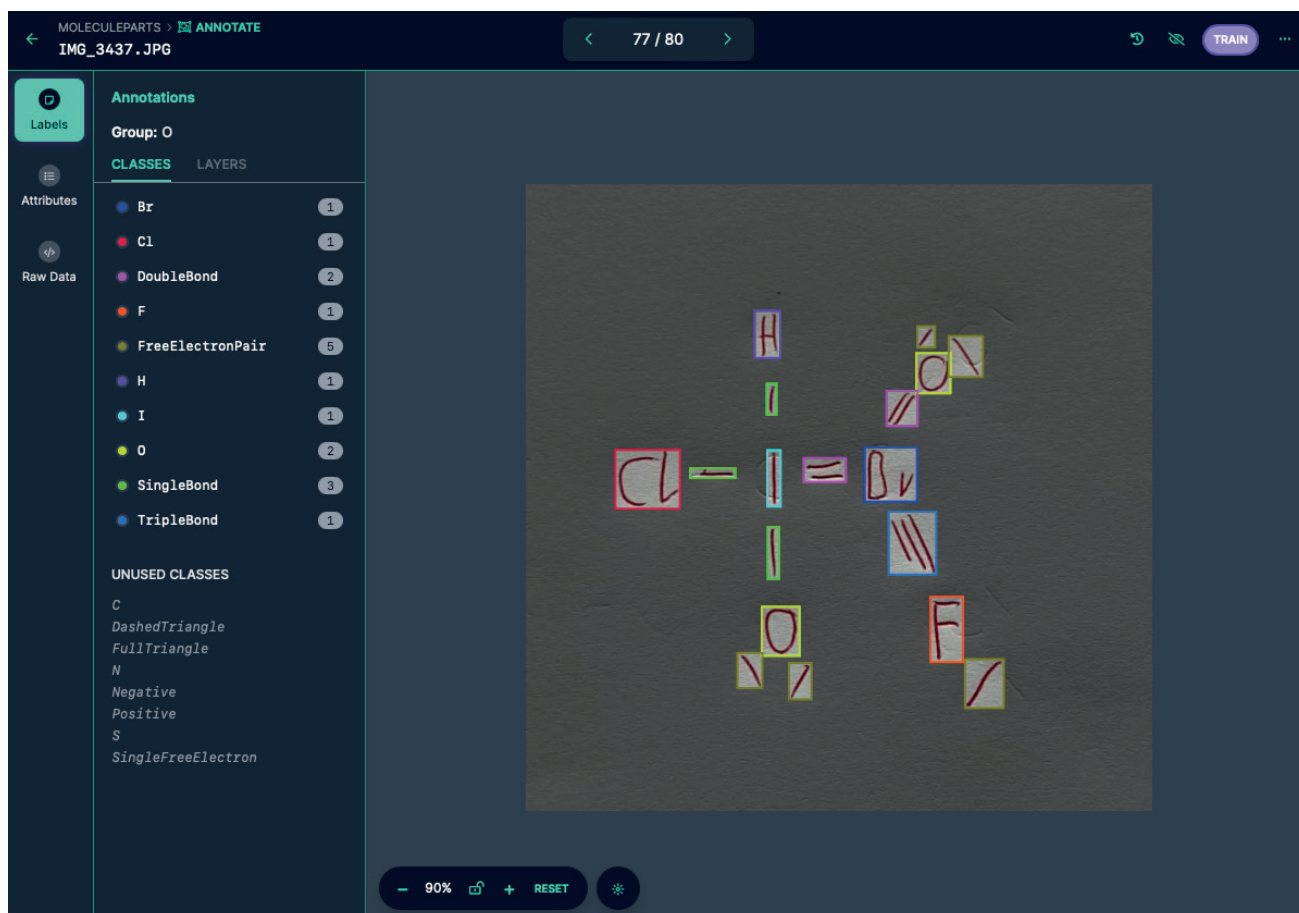
▲ Abb. 1 Adressierte Kompetenzen

Beschreibung des Lehrvorhabens

Das Lehrprojekt ChemStrucLearn richtet sich an angehende Gymnasiallehrpersonen der naturwissenschaftlichen Fächer und hat das Ziel, ihnen die Grundlagen der KI-basierten Bilderkennung zu vermitteln. Sie sollen in die Lage versetzt werden, ein YOLO-Modell (You Only Look Once; Jiang et al., 2022) mit handgezeichneten chemischen Strukturformeln zu trainieren und das Modell im Unterricht zu nutzen. Die Teilnehmenden lernen dabei sowohl die technischen Aspekte der Modellierung als auch die praktischen Anwendungen im Schulalltag kennen und können das Vorgehen in der Entwicklung sowie die Funktionsweise der KI-basierten Augmented-Reality-App OrChemSTAR (Schweizerischer Nationalfonds, 2024) nachvollziehen.

Zu Beginn erhalten die Studierenden eine Einführung in die theoretischen Grundlagen von Künstlicher Intelligenz (KI) und KI-basierter Bilderkennung. Hierbei werden aktuelle Anwendungen dieser Technologien in der Bildung vorgestellt, um ein grundlegendes Verständnis

zu schaffen und mögliche Anwendungsfelder im naturwissenschaftlichen Unterricht aufzuzeigen. Anschließend sammeln die Teilnehmenden handgezeichnete chemische Strukturformeln und annotieren diese mit Roboflow (Roboflow, 2024). Die Erstellung eines geeigneten Datensatzes für das Training des YOLO-Modells steht hierbei im Mittelpunkt (Ultralytics, 2024). Insbesondere erkennen die Studierenden, welchen Einfluss die Häufigkeit des Vorkommens einzelner Objektbestandteile im Trainingsdatensatz für die sogenannte Modellgesundheit hat, und optimieren den Trainingsdatensatz entsprechend. Nach der ersten Datenerstellung und Annotation beginnt die Phase des Modelltrainings. Die angehenden Lehrpersonen richten die Trainingsumgebung ein und trainieren das Modell mit den annotierten Daten. Während dieser Phase des Seminars liegt ein besonderer Fokus auf der Evaluierung und Optimierung der Modellleistung, um sicherzustellen, dass das Modell präzise und zuverlässig arbeiten kann.



▲ Abb. 2 Komponenten chemischer Strukturformeln werden in roboflow annotiert.

In der technischen Anwendungsphase konzentriert sich das Projekt auf die Erkennung typischer Schülerinnen- und Schülerfehler beim Zeichnen von chemischen Strukturformeln. Die Studierenden analysieren häufige Fehler, die Schülerinnen und Schüler beim Zeichnen der Strukturformeln machen und passen die Modellarchitektur oder den Datensatz so an, dass das Modell die handgezeichneten Molekülteile erkennen kann, sodass diese Fehler nach einem Fehlererkennungsalgorithmus aufgedeckt und entsprechende Rückmeldungen gegeben werden können. Diese Funktion soll dazu beitragen, den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler zu unterstützen und ihnen individuelle Hilfestellungen zu bieten. Eine weitere wichtige Anwendungsphase ist die Integration der trainierten Modelle in den Unterricht. Die Teilnehmenden entwickeln entsprechende Unterrichtsmaterialien und -strategien. Sie simulieren Unterrichtseinheiten, in denen das trainierte Modell zum Einsatz kommt, und passen die Materialien basierend auf dem Feedback an. Das Projekt endet mit einer Abschlusspräsentation, in der die

Studierenden ihre Projektergebnisse vorstellen und über ihre Erfahrungen reflektieren. Diese Reflexion ist entscheidend, um den Lernprozess zu bewerten und zukünftige Anwendungen der KI-Modelle im Unterricht zu planen.

Durch ChemStrucLearn sollen (angehende) Lehrpersonen fundierte Kenntnisse in der Anwendung von KI-gestützter Bilderkennung erwerben und in der Lage sein, diese Kenntnisse in ihrem Unterricht anzuwenden. Erwartet wird, dass sie innovative Unterrichtskonzepte entwickeln, die die Fehlererkennung und -rückmeldung durch KI nutzen, und damit den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler verbessern.

Lessons Learned – Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Für die Durchführung des Projekts werden Ressourcen wie der Zugang zu Roboflow und relevanten Datenannotationstools, Computer mit ausreichender Rechenleistung für das Training der Modelle sowie Beispielmaterialien benötigt. Herausforderungen des Projekts können der Zeitaufwand für die Erstellung und Annotation der Datensätze sowie das Training des Modells sein (man benötigt derzeit etwa 16 Stunden für das Modelltraining auf einem Laptop mit einer RTX 5000 und 16GB VRAM). Zudem muss die Integration der Modelle in bestehende Unterrichtskonzepte sorgfältig geplant werden. Insgesamt hat

ChemStrucLearn das Potenzial, angehende Gymnasiallehrpersonen in die moderne Technologie der KI-basierten Bilderkennung einzuführen und ihnen zu zeigen, wie sie diese zur Unterstützung des naturwissenschaftlichen Unterrichts nutzen können. Durch individuelle Rückmeldungen und adaptive Lernwege sollen die Schülerinnen und Schüler besser gefördert und ihr Lernprozess effizienter gestaltet werden. Mit diesem Projekt sollen angehende Lehrpersonen befähigt werden, den Chemieunterricht innovativer zu gestalten und den Einsatz moderner Technologien in der Bildung voranzutreiben.

Über die Autorin und die Autoren

- **Dr. Lars-Jochen Thoms** ist Dozent an der PH Thurgau und Postdoc an der Uni Konstanz und leitet das SNF-Projekt „OrChemSTAR – Organic Chemistry Science Teaching and Learning with Augmented Reality“.
- **Tobias Rothlin** ist Projektmitarbeiter in OrChemSTAR an der Ostschweizer Fachhochschule.
- **Prof. Dr. Mitra Purandare** ist Professorin für AI Applications and Deployment am Institut für Software der Ostschweizer Fachhochschule.
- **Prof. Dr. Frieder Loch** ist Professor für User-Centered Design an der Ostschweizer Fachhochschule.
- **Prof. Dr. Johannes Huwer** ist Brückenprofessor für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der Universität Konstanz und der Pädagogischen Hochschule Thurgau.

Literatur

- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo Algorithm Developments. *Proc. Comp. Sci.*, 199, 1066–1073. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.135>
- Roboflow. (2024). *Roboflow: Roboflow AI Vision – Build better computer vision models, faster*. Abgerufen am 7. Juni 2024, von <https://roboflow.com/>
- Schweizerischer Nationalfonds. (2024). OrChemSTAR – Organic Chemistry Science Teaching and Learning with Augmented Reality. *SNSF Data Portal*. Abgerufen am 7. Juni 2024, von <https://data.snf.ch/grants/grant/221108>
- Ultralytics. (2024). *Ultralytics YOLO documentation*. Abgerufen am 22. Juni 2024, von <https://docs.ultralytics.com>