**Technischer Aufbau**

**Verwendete Technik**

Für die Umsetzung des Projekts wurden die herkömmlichen Webtechnologien HTML, CSS und JavaScript verwendet. Zusätzlich wurde ein Backend mit PHP umgesetzt, welches wiederum mit einer MySQL-Datenbank zusammenarbeitet. Das Projekt wurde ohne spezielles JavaScript Framework realisiert. An einigen Punkte kamen jedoch Elemente von JQuery und dem damit verbundenen JQuery-UI zur Verwendung. Die Machine-Learning Modelle wurden in Python erstellt und trainiert.

**Umsetzung**

Dieser Abschnitt geht etwas detaillierter auf die Umsetzung verschiedener Aspekte des Projekts ein. Allerdings wurde bei weitem nicht jede Funktion bzw. jede technische Umsetzung beschrieben, da dies den Rahmen der Dokumentation übersteigen würde. Stattdessen wurde versucht, ein Überblick über die wichtigsten Punkte der technischen Umsetzung zu geben.

**Machine-Learning**

Wie bereits erwähnt, wurden alle Modelle mithilfe von Python erstellt und trainiert. Als Machine-Learning Technologie kam Tensorflow und das darauf aufbauende Keras zum Einsatz. Die Modelle der verschiedenen Kategorien sind Großteiles gleich aufgebaut, benötigten aber an einigen Stellen auch individuelle Anpassungen. Die verschiedenen Hyperparameter wurden im Laufe der Entwicklung für die Modelle immer wieder angepasst und so verändert, dass möglichst gute Ergebnisse erzielt werden konnten. Das Modell, welches handgeschriebene Zahlen erkennen kann, wurde noch zusätzlich um eine Funktion erweitert. Dieses Modell verwendet neben dem „MNIST“- Datensatz von Tensorflow auch die durch die Anwendung generierten Bilder für das Training. Die hierfür zuständige Funktion im Modell heißt „load\_images\_to\_data“. Um dies möglich zu machen, waren auch gewisse Änderungen im Bereich der Webanwendung anzupassen. Beispielsweise zu nennen wäre das Labeln der gespeicherten Bilder, für eine spätere korrekte Zuordnung.

**Machine-Learning im Frontend**

Für das Verwenden der Modelle in der Webanwendung wurde Tensorflow.js verwendet. Mit dieser Bibliothek ist es möglich eigene Modelle zu trainieren oder auch einfach nur zu laden. Da die Modelle für dieses Projekt in Python trainiert wurden, mussten diese nur noch geladen werden. Nach dem Laden des entsprechenden Modells, kann ein Tensor an das Modell übergeben werden, worauf eine Vorhersage getroffen werden soll. Somit braucht es nur drei Schritte für das Vorhersagen einer Zeichnung. Laden des Modells, umwandeln der Zeichnung in einen Tensor und anschließend das Durchführen der Vorhersage. Das von der Tensorflow.js Funktion „predict“ zurückgegebene Ergebnis für eine Vorhersage sieht z.B. wie folgt aus.

Ein Bild, das Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung : Ergebnis Tensorflow.js Vorhersage

In diesem Beispiel wurde eine Vorhersage für die Zahlen 0 bis 9 gemacht. In diesem Fall wurde die Zahl 0 mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9% erkannt.  
Für die endgültige Auswertung und Überprüfung der Werte, welche das Modell zurück liefert, mussten jedoch noch zusätzliche JavaScript Funktionen erstellt werden, da sich die Zuordnung der Ergebnisse nur bei der den Zahlen so leicht gestaltet.

**Account-System**

Die Gesamte Anwendung baut auf einem Account-System auf. Das heißt bevor ein Nutzer die Anwendung verwenden kann, muss ein Account erstellt werden und sich anschließend eingeloggt werden. Durch das Einloggen wird mithilfe von PHP eine Session gesetzt, durch welche zugeordnet werden kann, welcher Nutzer aktuell eingeloggt ist. Durch das Verwenden eines solchen Account-Systems, wird es möglich, jedem Nutzer seine individuellen Lernpläne und Lernerfolge zuzuordnen. All diese Informationen, werden in einer MySQL-Datenbank gespeichert. Die folgende Abbildung zeigt die Datenbankstruktur mit ihren Feldern und Beziehungen.

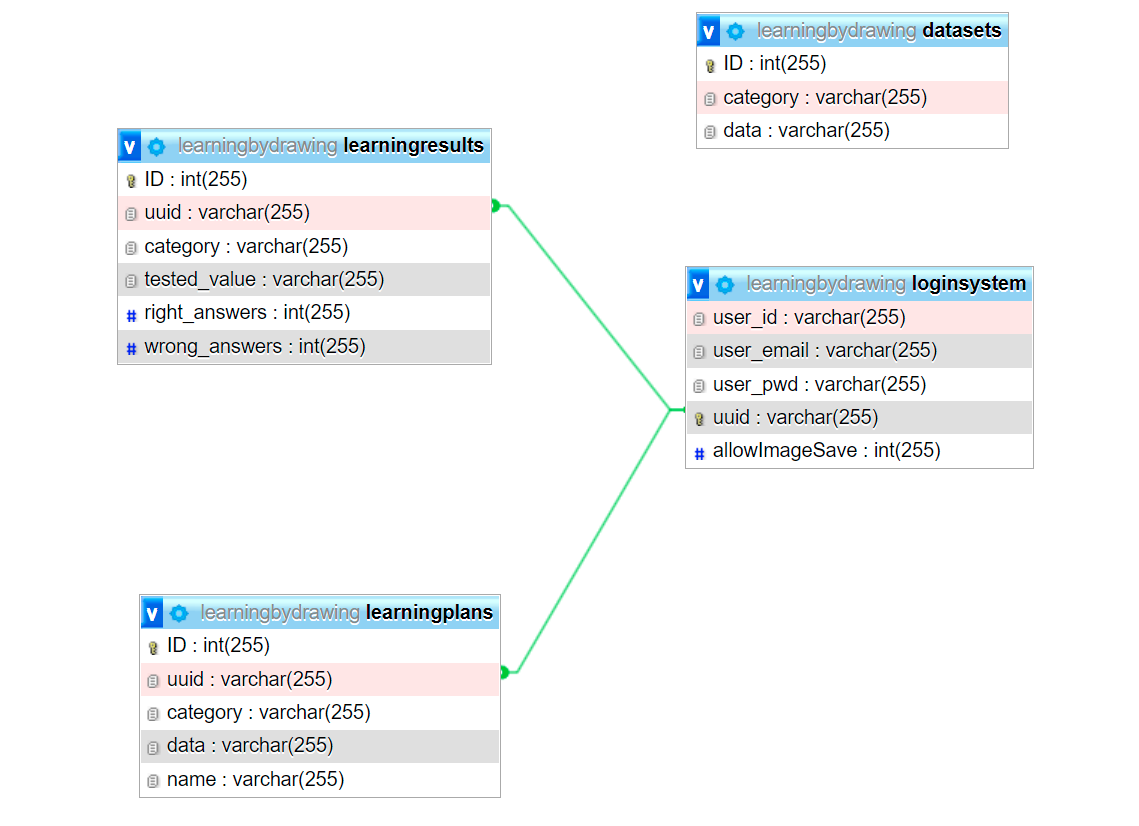


Abbildung : Datenbank Struktur und Beziehungen

Die Tabelle „datasets“ enthält die verschiedenen Kategorien mit den dazugehörigen Daten. Soll der Anwendung eine neue Kategorie hinzugefügt werden, muss einfach ein weitere Datensatz in die Datenbank eingepflegt werden. In der „loginsystem“ Tabelle werden alle direkten Informationen über den Nutzer gespeichert. Also z.B. der Benutzername, die E-Mail oder auch das Passwort. Das Passwort ist nicht im Klartext gespeichert, sondern wurde zuvor mit einem Salted Hash Algorithmus verschlüsselt. Außerdem wird in dieser Tabelle für jeden Nutzer festgehalten, ob das Speichern der gezeichneten Bilder gestattet wurde oder nicht. Die Tabelle „learningresults“ dient zum Speichern der Lernerfolge. Für jede Übung wird die Anzahl der richtigen und falschen Lösungen festgehalten. Über den Fremdschlüssel „uuid“, kann das jeweilige Ergebnis dem richtigen Nutzer zugeordnet werden. In der Tabelle „learningplans“ werden die vom Nutzer erstellten Lernpläne gespeichert. Auch hier erfolgt die Zuordnung über den Fremdschlüssel „uuid“.

**Backend**

Im Backend (backend.php) werden sämtliche Datenbank Transaktionen gehandhabt. Mithilfe von If-Abfragen wird überprüft, welche Transaktion durchgeführt werden soll. Hierbei ist zu erwähnen, dass im Backend auch verschiedene Sicherheitsvorkehrungen getroffen wurden, um die Datenbank vor möglichen Angriffen oder nicht vorgesehenen Nutzeraktionen zu schützen. So wird zum Beispiel sichergestellt, dass die Werte, die vom Frontend and das Backend übergeben werden, alle valide bzw. zulässige Werte sind. Nicht zulässige Werte, die z.B. durch eine DOM Manipulation erzeugt wurden, werden verworfen und nicht gespeichert. Außerdem sind alle Datenbank Transaktionen mit Prepared-Statements umgesetzt, um die Datenbank vor SQL-Injections zu schützen.   
Neben den Datenbank Transaktionen ist auch das Speichern der gezeichneten Bilder im Backend umgesetzt. Jedes Bild erhält das entsprechende Label für die spätere Zuordnung beim Machine-Learning, ein Datumsstempel und eine eindeutige ID als Name. Außerdem wird sichergestellt, dass der Nutzer die Erlaubnis erteilt hat, dass die Bilder gespeichert werden dürfen. Sollte diese Erlaubnis nicht erteilt sein, werden die Bilder nicht gespeichert.

**Machine-Learning Bilderkennung und Resemble.js**

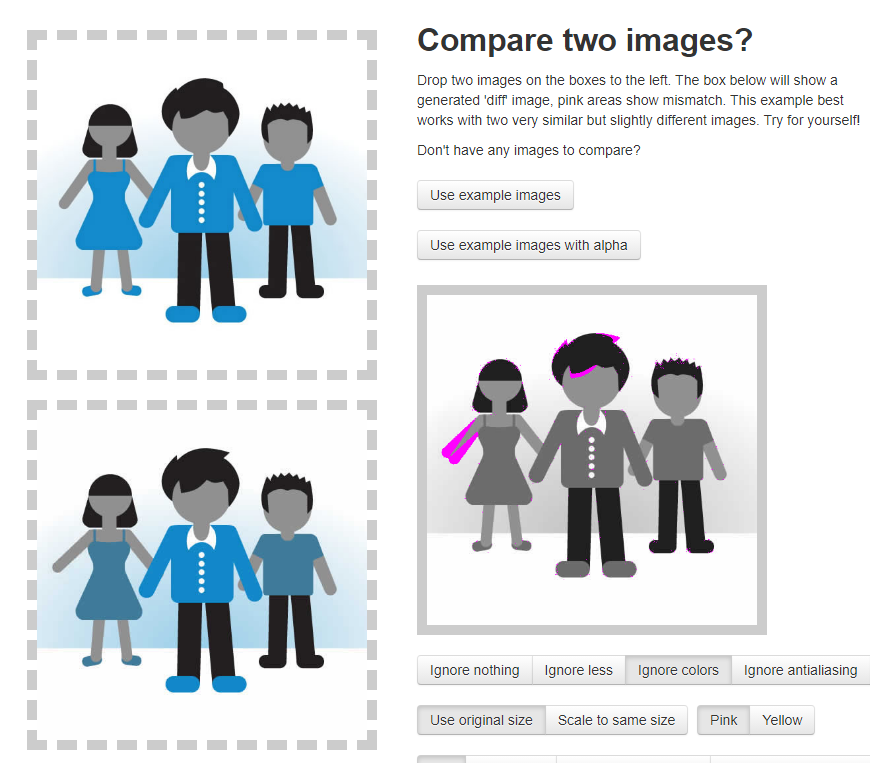
Die Bildverarbeitung im Projekt erfolgt mittels Bilderkennung durch verschiedene Machine-Learning Modelle. Diese Herangehensweise war auch schon in der Konzeptphase des Projekts so geplant. Allerdings kam auch ein Bildvergleich, zwischen optimaler Lösung und erstellter Nutzerlösung, in Frage. Im Rahmen der Recherche einer solchen Lösung tat sich Resemble.js für die Umsetzung eines solchen Bildvergleichs hervor. Nach genauerer Untersuchung dieser Bibliothek wurde allerdings klar, dass schon kleinste Unterschiede in den Bildern zu einer hohen prozentualen Differenz in der Auswertung führen. Auf der Resemble.js Webseite wird ein Beispiel gezeigt, was dies auch nochmal verdeutlicht. 

Abbildung : Resemble.js Bildvergleich Beispiel

Die zwei Links angeordneten Bilder sind die Bilder, die verglichen werden sollen. Das Bild auf der rechten Seite stellt das Ergebnis dar. Im Ergebnisbild sind alle unterschiede Pink markiert. Wie zu sehen ist werden die Bilder Pixelgenau verglichen, was bei einer Freihandzeichnung wie in unserem Fall zu sehr schlechten Ergebnissen führen würde. Außerdem wird für die verwenden von Resemble.js die JavaScript Laufzeitumgebung Node.js benötigt, was in diesem Projekt nicht vorgesehen ist. Aus den genannten Gründen kam die verwendung eines Bildvergleichs bzw. die Verwendung von Resemble.js für dieses Projekt nicht in Frage.