

Proof of Concept (PoC)

ReSort: Regelbasierte Glasfarb-Erkennung

Zielsetzung

Der Proof of Concept (PoC) soll überprüfen, ob eine einfache, regelbasierte Bildverarbeitung auf Basis von HSV-Farbwerten ausreicht, um Glasflaschen zuverlässig nach Farbe (Weiß-, Braun- oder Grünglas) zu erkennen – ohne komplexe KI oder Server-Infrastruktur. Ziel ist es, die technische Machbarkeit mit minimalem Aufwand nachzuweisen. Der Fokus liegt nicht auf Perfektion, sondern auf einem funktionierenden Grundprinzip, das zeigt, dass Farbwerte allein bereits eine verwertbare Entscheidung ermöglichen.

Dabei steht die Einfachheit der Umsetzung im Vordergrund: Die Analyse erfolgt komplett offline auf dem Smartphone, ohne Internet oder Cloud-Verbindung. Die Erkennung basiert ausschließlich auf einfachen mathematischen Regeln (z. B. Wenn Farbton zwischen X und Y liegt, dann Braunglas). Das System soll verständlich und transparent sein, jede Entscheidung soll technisch erklärbar bleiben. Eine hohe Genauigkeit ist wünschenswert, aber wichtiger ist, dass das Verfahren konstant funktioniert und weiterentwickelbar ist.

Langfristig bildet dieser PoC die technische Basis, um in einer späteren Version zusätzliche Funktionen wie Barrierefreiheit, regionale Entsorgungsregeln oder einen didaktischen Lernmodus zu integrieren.

Hypothese

Wenn Glasflaschen mit einer Smartphone-Kamera aufgenommen und anhand ihrer durchschnittlichen Farbwerte im HSV-Farbraum analysiert werden, dann kann eine einfache Regelmenge mit festen Schwellenwerten (für Farbton, Sättigung und Helligkeit) die Farbe der Flasche in mindestens 85 % der Fälle korrekt erkennen, ohne dass eine künstliche Intelligenz oder aufwendige Bildsegmentierung erforderlich ist.

Diese Hypothese basiert auf folgenden Annahmen:

- Glasfarben unterscheiden sich klar in ihren Hue-Bereichen (z. B. Grün $\approx 80\text{--}160^\circ$, Braun $\approx 10\text{--}40^\circ$).

- Weißglas weist geringe Sättigung (S) und hohe Helligkeit (V) auf, wodurch es leicht abzugrenzen ist.
- Lichtverhältnisse und Reflexionen können zwar Messfehler verursachen, lassen sich aber durch einfache Heuristiken (z. B. Glanz-Erkennung) abfangen.

Die Hypothese basiert auf etablierten Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung. Der HSV-Farbraum trennt Farbton, Sättigung und Helligkeit voneinander und eignet sich daher besonders gut für einfache Farbklassifikationen. Frühere Studien (u. a. Gonzalez & Woods, 2018; Shafer, 1985) zeigen, dass farbige Objekte anhand ihrer Hue-Bereiche stabil segmentiert werden können, während neutrale Objekte (wie Weißglas) durch niedrige Sättigung und hohe Helligkeit charakterisiert sind.

Methodik

Um die zuvor formulierte Hypothese zu überprüfen, wurde eine einfache technische Lösung entworfen, die zeigen soll, dass Glasfarben mit regelbasierter Bildverarbeitung erkannt werden können. Die Umsetzung erfolgt in mehreren klar definierten Schritten; von der Aufnahme des Bildes bis zur automatischen Klassifikation. Wichtig dabei ist, dass der gesamte Prozess einfach nachvollziehbar und reproduzierbar ist.

Die Bildverarbeitung wird mit einer mobilen Anwendung umgesetzt.

Zur Auswertung der aufgenommenen Fotos wird das Bild in den sogenannten HSV-Farbraum (Hue, Saturation, Value) umgerechnet. Dieser Farbraum eignet sich besonders gut für Farbanalyse, weil er den Farbton (Hue) klar von Helligkeit (Value) und Sättigung (Saturation) trennt. Dadurch lässt sich eine Flaschenfarbe leichter über feste Regeln bestimmen, unabhängig davon, wie hell oder dunkel das Bild insgesamt ist. Der Algorithmus läuft vollständig offline auf dem Gerät (also ohne Internet).

Der Ablauf innerhalb der App ist bewusst einfach gehalten:

1. Foto aufnehmen:

Der Nutzer macht mit der Smartphone-Kamera ein Bild einer Glasflasche.

2. Region of Interest (ROI):

Aus dem Foto wird automatisch der zentrale Bildausschnitt ausgewählt. Dadurch wird der Fokus auf den Flaschenbereich gelegt (ggf. Unterseite bzw. Flaschenboden), während Hintergrund und Ränder weniger Einfluss haben.

3. Umwandlung in HSV:

Das ausgeschnittene Bild wird in den HSV-Farbraum umgerechnet. Jeder Pixel erhält dabei drei Werte:

- Hue (Farbton) – zeigt die Grundfarbe, z. B. Grün oder Braun,
- Saturation (Sättigung) – zeigt, wie kräftig die Farbe ist,
- Value (Helligkeit) – zeigt, wie hell der Pixel ist.

4. Berechnung von Durchschnittswerten:

Der Algorithmus berechnet aus dem Bildmittelbereich den durchschnittlichen Farbton (Hue), die durchschnittliche Sättigung und Helligkeit. Dunkle oder graue Pixel mit sehr niedriger Sättigung werden vorher herausgefiltert, um Messfehler zu vermeiden.

5. Anwendung einfacher Regeln:

Mit diesen Werten wird entschieden, welche Glasfarbe am besten passt:

- Wenn die Sättigung sehr gering und die Helligkeit hoch ist → Weißglas
- Wenn der Farbton zwischen ca. 10° und 45° liegt → Braunglas
- Wenn der Farbton zwischen ca. 70° und 170° liegt → Grünglas
- Andernfalls wird das Ergebnis als „unsicher“ angezeigt.

6. Ergebnisanzeige:

Die App zeigt die erkannte Farbe, eine prozentuale Confidence-Bewertung und eine kurze Erklärung (Also: Warum wurde diese Farbe erkannt?). Der Nutzer kann das Ergebnis bei Bedarf manuell korrigieren.

Für den Test werden insgesamt 150 Fotos aufgenommen:

- 50 Bilder von Weißglas,
- 50 von Braunglas,
- 50 von Grünglas.

Die Aufnahmen erfolgen mit einem Smartphone unter verschiedenen Bedingungen:

- Tageslicht, Kunstlicht und Schatten,
- Mit und ohne Etikett,
- Leere und teilweise gefüllte Flaschen.

So lässt sich prüfen, ob der Algorithmus auch in realistischen Alltagssituationen stabil funktioniert. Die Fotos werden anschließend mit der App ausgewertet, und das jeweilige Ergebnis (erkannte Farbe, tatsächliche Farbe, Confidence-Wert) wird notiert.

Der PoC gilt als erfolgreich, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Mindestens 85 % korrekte Farberkennung über alle Testfälle.
- Unsicherheitsrate (nicht zuordenbare Bilder) unter 20 %.
- Schnelle Analysezeit pro Foto ggf. 2-3 Sekunden im Durchschnitt.
- Die Erkennungslogik bleibt für Dritte verständlich und erklärbar.

→ Diese Kriterien zeigen, ob das Konzept technisch tragfähig ist und ob es sich lohnt, daraus im nächsten Schritt eine vollwertige Anwendung zu entwickeln.

Die gewählte Methodik ist bewusst einfach und realistisch:

- Sie verwendet nachvollziehbare Regeln statt Black-Box-Entscheidungen.
- Sie erlaubt eine schnelle und erklärbare Bewertung jedes Ergebnisses.
- Der gesamte Ansatz ist didaktisch sinnvoll, weil er Umweltbewusstsein (richtige Glasentsorgung) mit Techniklernen verbindet.

Damit zeigt die Methodik, dass selbst mit einfachen Mitteln; einer Kamera, ein paar mathematischen Regeln und einem kostenlosen Framework, ein funktionierender Farberkennungs-Prototyp erstellt werden kann.