

Devlog - Computer Vision mit openCV.js

Mattis Thieme

November 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Motivation	4
2	Erstellen der Webseite	6
2.1	openCV.js	6
2.2	Grundaufbau der Webseite	6
2.3	Grundlegende openCV Methoden	8
3	Eingriffe zur Laufzeit	10
3.1	Die Bedeutung von einfachem Testing	10
3.2	Variablen-Slider	10
3.3	Cookies	12
4	Kreiserkennung	13
4.1	Funktionsweise der HoughCircles-Methode	13
4.2	Die korrekten Parameter finden	13
4.3	Buffering der Kreise	13
5	Histogramme	14
5.1	Überlegungen	14
5.2	Die Vorlagen	14
5.3	Erstellung der Histogramme	14
5.4	Vergleich der Histogramme	14
5.5	Erste Ergebnisse	14
6	Template Matching	15
6.1	Funktionsweise	15
6.2	Überlegungen	15
6.3	Neue Vorlagen	15
6.4	Exkurs: Mehrere Matrizen in einem Canvas anzeigen	15
6.5	Erste Ergebnisse	15
6.6	Schlussfolgerungen	15
7	Anpassungen	16

7.1	Kantenerkennung	16
7.1.1	Funktionsweise der Canny-Methode	16
7.1.2	Die korrekten Parameter finden	16
7.2	Matrizen rotieren und transformieren	16
7.3	Neues Problem: Mat-Types	16
7.4	Asynchronität und Ladebalken	16
8	Ergebnisse	17
8.1	Erste Ergebnisse	17
8.2	Zuschneiden der Bilder	17
8.3	Weitere Anpassungen	17
8.4	Finale Ergebnisse	17
9	Fazit	18
9.1	Zusammenfassung	18
9.2	Die größten Probleme	18
9.3	Ausblick	18

1 Einleitung

Probleme der Bilderkennung und Bildverarbeitung gewinnen immer mehr an Relevanz. Kein Wunder: Mit der stetigen Verbreitung von mobilen Endgeräten haben immer mehr Systeme Zugriff auf eine (ziemlich hochwertige) Kamera. Die Möglichkeiten, die sich dadurch ergeben, sind vielfältig: über das Scannen von Dokumenten, hin zur Klassifizierung von Tieren und Pflanzen bis hin zum industriellen Einsatz in der Qualitätskontrolle.

Jedoch geht der Trend auch in die Richtung von Onlineservices und Webanwendungen. Programme die früher noch installiert werden mussten, laufen nun direkt im Browser des Clients. Die Gründe sind vielfältig: volle Plattformunabhängigkeit, leichtes Einspielen von Updates und keine Installation von zusätzlicher Software. Aber wie sieht es mit Bildverarbeitung und Bilderkennung im Webkontext aus? Die bekannteste Bibliothek für Bildverarbeitung, OpenCV, ist ursprünglich in C++ geschrieben und muss somit auf Serverseite laufen. Aber nicht immer ist die Option sinnvoll oder vorhanden. Nicht immer steht die benötigte Rechenleistung zur Verfügung, auch die Latenz kann letztendlich ein Problem darstellen. Ist es möglich diese Probleme auch im Browser des Clients zu lösen? Die Antwort: Ja! Mit openCV.js.

Ich starte diesen DevBlog um mich genau mit genau dieser Bibliothek auseinanderzusetzen und meine Erfahrungen und Erkenntnisse hier zu teilen. Ich werde genau das gerade erwähnte Problem lösen: Bildverarbeitung direkt im Browser des Clients. Aber was genau möchte ich nun erkennen oder verarbeiten?

Mein Ziel ist eine Webanwendung, welche Münzen erkennen kann und diese anschließend ihren Wert zuordnet. Warum ausgerechnet Münzen? Zum einen ist es ein recht komplexes Problem, welches gleich viele verschiedene Aspekte der Bildverarbeitung auf Einaml abdeckt, zum anderen ist es eine Problemstellung, welches sich leicht auf einem anderen System reproduzieren lässt. Alles was du brauchst, ist lediglich eine Webkamera und ein paar Münzen.

Ich habe viele verschieden Ansätze und Ideen, wie ich dieses Problem lösen könnte. Von einfachen Bildoperationen, über die Kreiserkennung bis hin zur Objekterkennung und Musteranalyse. Ob sie alle funktionieren und erfolgreich sind? Keine Ahnung! Jedoch werde ich meine Fortschritte und Erkenntnisse in diesem Blog festhalten und stets meinen Programmcode teilen. Und vielleicht kann ich dir sogar helfen, wenn du vor einem ähnlichen Problem stehen solltest!

Interessiert? Dann lass uns anfangen!

1.1 Motivation

Aber warum das ganze? Einst musste ich (wie du vielleicht auch) ein Problem der Bildverarbeitung lösen, welches zwingend im Webkontext stattfinden sollte. Die Anforderungen waren klar: die Bildverarbeitung sollte direkt im Browser des Clients stattfinden, ohne dass der Nutzer eine zusätzliche Software installieren muss.

Die Bibliothek openCV war natürlich die erste Wahl, jedoch stand ich nun genau vor diesem Problem: wie bekomme ich openCV, eine Bibliothek, die ursprünglich in C++ geschrieben ist, in meiner Webanwendung zum Laufen? Meine Lösung war natürlich openCV.js.

Wenn Probleme im Bereich der Bildverarbeitung gelöst werden sollen, fällt die Wahl häufig auf OpenCV. Und das nicht ohne Grund: OpenCV bietet ein riesiges Spektrum an Funktionen und Algorithmen, von einfachen Bildoperationen hin zu ausgereiften Algorithmen der Gesichtserkennung, Bildsegmentierung und Objekterkennung. Auch Maschinelles Lernen und Deep Learning sind in OpenCV integriert.

Die Wahl der Bibliothek wäre somit schnell getroffen, wenn wir nicht noch ein weiteres Kriterium hätten: die Webanwendung. Da OpenCV jedoch ursprünglich in C++ geschrieben ist, ist das primäre Interface, mit welchem auf die Funktionalitäten zugegriffen wird, auch in C++ verfasst. Es gibt zwar mit Java und Python auch noch weitere alternative Schnittstellen, jedoch soll unsere Webanwendung, wie bereits oben erwähnt, nicht auf einem Server laufen, sondern direkt im Browser des Clients. Die Lösung: openCV.js.

Als relativ neuer Bestandteil des openCV-Projektes, ist openCV.js eine JavaScript-Portierung der OpenCV-Bibliothek. Sie ermöglicht es, OpenCV-Funktionen direkt im Browser auszuführen, ohne dass der Nutzer eine zusätzliche Software installieren muss. Somit können wir die volle Bandbreite der OpenCV-Funktionen nutzen, ohne auf die Vorteile einer Webanwendung verzichten zu müssen.

Obwohl es sich zunächst als die beste Lösung angehört hat, war die Nutzung von openCV.js jedoch kein Selbstläufer. Wie du wahrscheinlich bereits mit Schrecken festgestellt hast, ist die offizielle Dokumentation nur für die C++ Schnittstelle geschrieben, und Tutorials für openCV.js sind leider rar gesät. Die JavaScript-Schnittstelle von openCV ist nun mal die neuste Änderung des mittlerweile 20 Jahre alten Projektes und somit noch nicht so ausgereift und erprobt wie die anderen Schnittstellen.

Genau aus diesen Gründen habe ich mich für das Schreiben dieses Devlogs entschieden. Ich möchte meine Erfahrungen und Erkenntnisse teilen, um anderen Entwicklern zu helfen, die vor dem gleichen Problem stehen. Ich möchte zeigen, dass es gar nicht so kompliziert ist, openCV.js in einer Webanwendung zu nutzen und wie mächtig die Bibliothek tatsächlich ist. Ja es gibt ein paar Eigenheiten und Macken, aber genau diese werde ich erläutern, damit du nicht die gleichen Fehler machst wie sie ich einst gemacht habe.

2 Erstellen der Webseite

2.1 openCV.js

Als aller erstes braucht es natürlich eine aktuelle Version von openCV.js. Diese kann direkt von der offiziellen openCV-Webseite herunterladen:

<https://docs.opencv.org/4.10.0/opencv.js>

Es handelt sich hierbei um eine mittels Emscripten kompilierte Version von OpenCV, welche in JavaScript ausgeführt werden kann. Da der Programmcode nur in Bytecode zur Verfügung steht, ist es nicht möglich, den Code direkt zu lesen oder zu verändern. Dies führt zu dem Problem, dass IDE-Funktionalitäten wie Autovervollständigung oder Syntax-Highlighting leider nicht verfügbar sind.

2.2 Grundaufbau der Webseite

Für unsere Webanwendung benötigen wir zunächst eine simple HTML-Struktur mit mindestens zwei Elementen: einem Video-Element für den Kamerastream und einem Canvas-Element, auf welchem wir die Bildverarbeitungsergebnisse anzeigen können. Beide Elemente sollten idealerweise übereinander liegen und die selbe Größe haben.

Nach einigen Tests habe ich mich für folgende Struktur entschieden:

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="de">
3 <head>
4   <meta charset="UTF-8">
5   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6   <title>Video Player mit Canvas Overlay</title>
7   <link rel="stylesheet" href="style.css">
8   <script src="lib/opencv_4.10.0.js"></script>
9 </head>
10 <body>
11 <div id="mainContainer">
12   <div id="textContainer">
13     <h1>CoinFinder</h1>
14     <h3>Aktueller Wert: <span id="value">0</span></h3>
15   </div>
16   <div class="container" id="videoContainer">
17     <video id="video" width="720" height="540" autoplay muted loop></video>
18     <canvas id="outputCanvas" width="720" height="540"></canvas>
19   </div>
20 </div>
21 </body>
22 </html>
```

Und die dazugehörige CSS-Datei:

```
1 *{
2   box-sizing: border-box;
3 }
4
5 html, body {
6   background-color: #18204d;
7   color: #ffffff;
8   font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
9 }
10
11 h3{
```

```

12     margin: 0 0 0 1em;
13 }
14
15 #mainContainer{
16     position: relative;
17     width: 97vw;
18     height: 97dvh;
19     display: flex;
20     flex-direction: column;
21 }
22
23 #textContainer{
24     display: flex;
25     align-items: center;
26 }
27
28 #textContainer > *{
29     margin: 0 1em 0 1em;
30 }
31
32 button{
33     background-color: #ffa300;
34     color: #18204d;
35     border: none;
36     padding: 0.5em 1em;
37     font-size: 1em;
38     cursor: pointer;
39 }
40
41 #videoContainer{
42     position: relative;
43     height: 100%;
44     width: 100%;
45     flex-grow: 1;
46     align-items: center;
47     justify-content: center;
48     display: flex;
49 }
50
51
52 #video, #outputCanvas {
53     height: 100%;
54     width: 100%;
55     left: 0;
56     top: 0;
57     position: absolute;
58     aspect-ratio: inherit;
59     object-fit: contain;
60 }
61
62 #outputCanvas{
63     image-rendering: pixelated;
64 }
65
66 #mainContainer{
67     border: 0.5em solid #ffa300;
68 }
69
70 #videoContainer{
71     border: 0.5em solid blue;
72 }

```

Nun haben wir ein Canvas-Element, welches über dem Video-Element liegt und exakt die selbe Größe

hat. Dies ermöglicht es mir, die Bildverarbeitungsergebnisse direkt auf dem Canvas zu zeichnen und sie dem Nutzer anzuzeigen. Der Canvas hat zudem die Eigenschaft `image-rendering: pixelated` um auf kleinere Bilder scharf zu zeichnen.

Als nächstes braucht es nun grundlegende Methoden, um auf die Kamera des Nutzers zuzugreifen und den Videostream auf dem Video-Element anzuzeigen.

2.3 Grundlegende openCV Methoden

Um auf die Kamera des Nutzers zuzugreifen, kann man unter anderem ein `openCV-VideoCapture`-Objekt verwenden. Dieses Objekt kann entweder direkt auf ein Video-Element zugreifen oder auf eine Videodatei. Da wir in unserem Fall den Kamerastream verwenden wollen, greifen wir direkt auf das Video-Element zu. Für den Zugriff auf die Webkamera benötigen wir die `getUserMedia()`-Methode des `MediaDevices`-Interfaces. Um sicherzustellen, dass `openCV` vollständig geladen ist, warten wir auf das `loadEvent` des Fensters und initialisieren erst dann die Kamera:

```
1   window.addEventListener("load", function () {
2       video = document.getElementById('video');
3       outputCanvas = document.getElementById('outputCanvas');
4       videoContainer = document.getElementById('videoContainer');
5
6       // get the camera
7       navigator.mediaDevices.getUserMedia({
8           video: true,
9           audio: false
10      }).then(stream => {
11          video.srcObject = stream;
12          video.onloadedmetadata = () => {
13              video.play()
14
15              //print camera stats
16              console.log("Camera resolution: " + video.videoWidth + "x" + video.
17                  videoHeight);
18              console.log("Camera frame rate: " + stream.getVideoTracks()[0].
19                  getSettings().frameRate+ " fps");
20
21              //initialize the inputMat-Matrix
22              inputMat = new cv.Mat(video.height, video.width, cv.CV_8UC4);
23              guiMat = new cv.Mat(video.height, video.width, cv.CV_8UC4);
24              videoCapture = new cv.VideoCapture(video);
25
26              //check if everything is loaded
27              cameraLoaded = true;
28              console.log("Camera loaded");
29              CheckIfLoadingFinished();
30          };
31      }).catch(error => {
32          console.error('Error accessing the camera: ', error);
33      });
34  });
```

Nachdem die Kamera initialisiert ist, kann die `read()`-Methode des `VideoCapture`-Objekts verwendet werden, um den aktuellen Frame des Videostreams in eine `openCV`-Matrix zu konvertieren.

Nun brauchen wir jedoch noch eine Methode, um eine `openCV`-Matrix auf einem Canvas ausgeben zu können. Dafür können wir die `cv.imshow()`-Methode verwenden, welche eine Matrix auf ein Canvas-Element zeichnet. In unserem Fall verwenden wir das `outputCanvas`-Element, welches über dem Video-Element liegt. Die Funktion sieht wie folgt aus:


```

1 function ShowMatrix(src, canvas){
2     cv.imshow(canvas, src);
3 }

```

Hinweis zur Speicherfreigabe: openCV.js verwaltet den Speicher nicht automatisch, wie es bei JavaScript üblich ist. Das bedeutet, dass wir selbst dafür verantwortlich sind, den Speicher freizugeben, sobald wir ihn nicht mehr benötigen. Dies betrifft hauptsächlich Objekte vom Typ `cv.Mat`, welche wir mit der `delete()`-Methode freigeben können. Tun wir dies nicht, verbraucht der Browser mit jedem neuen Aufruf von `new cv.Mat()` oder `cv.imread()` mehr Speicher, bis irgendwann der Browsertab abstürzt. Sollte dein Programm nach einigen Sekunden oder Minuten aufhören zu funktionieren, könnte dies ein Hinweis auf ein Speicherleck sein. Schaue in diesem Fall in die Konsole nach einer entsprechenden Fehlermeldung.

Zu guter Letzt benötigen wir noch einen Hauptloop, welcher die Bilddaten aus dem Video-Element extrahiert, die Kreiserkennung durchführt und das Ergebnis auf dem Canvas-Element anzeigt. Dafür können wir die `requestAnimationFrame()`-Methode verwenden, welche uns eine optimale Bildwiederholrate garantiert. Ich habe zusätzlich einen Bool `"loopActive"` hinzugefügt, um den Loop bei Bedarf auch nur einmalig ausführen zu können. Der Loop sieht wie folgt aus:

```

1 let waitingForAnimationFrame = false;
2 let angle = 0;
3 function mainLoop() {
4     if(!loadingFinished){
5         console.warn("Can't start the loop because something is not loaded yet");
6         return;
7     }
8
9     waitingForAnimationFrame = false;
10
11     console.log("--- loop started");
12
13     videoCapture.read(inputMat);
14     videoCapture.read(guiMat);
15
16     //do something with the matrix
17
18     ShowMatrix(guiMat, outputCanvas);
19
20     if(loopActive){
21         waitingForAnimationFrame = true;
22         requestAnimationFrame(mainLoop);
23     }
24
25     console.log("--- loop ended");
26 }

```

Nun sind wir bereit, mit der Kreiserkennung zu beginnen. Im nächsten Abschnitt werden wir uns die Circle Hough Transform genauer ansehen und sie auf unser Beispiel anwenden.

3 Eingriffe zur Laufzeit

3.1 Die Bedeutung von einfachem Testing

Meine nächste Aufgabe, die Implementierung der Kreiserkennung, erfordert eine Menge an Feintuning und Anpassungen. Jeder Parameter muss sorgfältig gewählt werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Zudem kann ich vorhinein nicht ermittelt werden, welche Parameter die besten sind. Es ist also ein iterativer Prozess, bei dem ich die Parameter anpasse, das Ergebnis betrachte und dann erneut die Parameter anpasse.

Nun stelle man sich vor, man müsste für jede kleine Änderung die Webseite neu laden, die Kamera neu ausrichten und die Münzen neu platzieren. Um diesen Prozess deutlich zu beschleunigen, habe ich mich dazu entschieden, einige Eingriffe zur Laufzeit zu implementieren. Diese Eingriffe sollen es mir ermöglichen, die Parameter der Kreiserkennung und weiterer openCV Funktionen direkt zur Laufzeit zu verändern, ohne die Webseite neu laden zu müssen, und somit schnell die besten Parameter zu finden.

3.2 Variablen-Slider

Meine Idee war es, für jede Variable im JavaScript-Code einen Slider zu erstellen zu können, mit dem ich schnell und einfach den Wert der Variable verändern kann. Dieser Slider soll dann den Wert der Variable anzeigen und bei Veränderung den Wert der Variable ändern.

Für die Slider habe ich die Bibliothek [noUISlider](#) verwendet. Über die data-Attribute von den HTML-Elementen kann unkompliziert der Wertebereich und die Schrittweite des Sliders festgelegt werden.

Nun muss aber standardmäßig ein Event-Listener für jeden Slider erstellt werden, der bei Veränderung den Wert einer Variable ändert. Da ich jedoch nicht für jede Variable einen eigenen Event-Listener erstellen möchte, habe ich mich für einen anderen Ansatz entschieden. Stattdessen soll man direkt im HTML-Element des Sliders angeben können, welche Variable durch diesen Slider verändert werden soll.

Hierfür benötigen wir zum Ersten ein eigenes data-Attribute von HTML, in welchem der Name der zu verändernden Variable angegeben wird. Zum Zweiten benötigen wir eine Funktion, die alle Slider-Elemente durchgeht und für jedes Element den Event-Listener erstellt. Anschließend braucht es noch eine Möglichkeit den String-Namen der Variable in eine Referenz auf die Variable umzuwandeln.

Die Event-Listener Funktion sieht dann wie folgt aus:

```
1 function InitSliders(){
2     // Alle Slider-Container selektieren
3     const sliderContainers = document.querySelectorAll('.sliderContainer');
4
5     sliderContainers.forEach(container => {
6         const sliderElement = container.querySelector('.slider');
7         const valueElement = container.querySelector('.sliderValue');
8
9         const min = parseFloat(container.dataset.min);
10        const max = parseFloat(container.dataset.max);
11        const step = parseFloat(container.dataset.step);
12        const var1 = container.dataset.var1;
13        const var2 = container.dataset.var2;
14        const isRange = container.dataset.range === "true"; // Überprüft, ob
15        //console.log("Data for slider: min: " + min + " max: " + max + " step: " +
16        //    step + " var1: " + var1 + " var2: " + var2 + " isRange: " + isRange);
17        // Startwerte auslesen
```

```

18     let startValues = [];
19     if (isRange) {
20         // Bereichsmodus: Startwerte aus den <span>-Elementen lesen
21         const spanValues = valueElement.querySelectorAll('span');
22         startValues = Array.from(spanValues).map(span => parseFloat(span.
            textContent));
23         if (startValues.length !== 2) {
24             // Fallback: Standardwerte in der Mitte des Bereichs
25             startValues = [min + (max - min) / 3, max - (max - min) / 3];
26         }
27     } else {
28         // Einzelregler: Einzelwert auslesen
29         startValues = [parseFloat(valueElement.textContent) || (min + max) /
            2];
30     }
31
32     // Slider erstellen
33     noUiSlider.create(sliderElement, {
34         start: startValues,
35         range: {
36             'min': min,
37             'max': max
38         },
39         step: step,
40         connect: isRange ? true : [true, false] // Verbindet die Regler bei
            Range-Modus
41     });
42
43     SetSliderValueFromCookie(container.id);
44
45     // Update-Event
46     sliderElement.noUiSlider.on('update', (values, handle) => {
47         if (isRange) {
48             // Bereichsmodus: Werte in <span>-Elementen aktualisieren
49             if (step >= 1){
50                 valueElement.textContent = values.map(value => Math.round(value
                    )).join(' - ');
51             }else{
52                 valueElement.textContent = values.map(value => value).join(' -
                    ');
53             }
54
55             //TODO0: Beide Variablen aktualisieren
56             if (var1 !== undefined && var2 !== undefined){
57                 UpdateVariable(var1, values, 0);
58                 UpdateVariable(var2, values, 1);
59             }else{
60                 console.log("var1 or var2 is undefined. Slider will not change
                    any variables");
61             }
62
63         } else {
64             // Einzelregler: Textinhalt aktualisieren
65             if (step >= 1){
66                 valueElement.textContent = Math.round(values[handle]);
67             }else{
68                 valueElement.textContent = values[handle];
69             }
70
71             if (var1 !== undefined){
72                 // Variable aktualisieren
73                 UpdateVariable(var1, values, handle);
74             }else{
75

```

```

76         console.log("var1 is undefined. Slider will not change any
77             variables");
78     }
79 }
80
81 // Cookie setzen
82 SetSliderCookie(container.id, values);
83 });
84 });
85
86 console.log("Sliders initialized");
87 }

```

Die Funktion `UpdateVariable()` wandelt schließlich den String-Namen der Variable in eine Referenz um und ändert den Wert der Variable. Hierfür wird die `eval()`-Funktion verwendet, die den String als JavaScript-Code interpretiert.

```

1 function UpdateVariable(varName, values, handle){
2     //check if variable exists
3     if (eval('typeof ' + varName) === 'undefined') {
4         console.warn('Variable '+varName+' does not exist');
5         return;
6     }
7
8     //update variable
9     if(eval('typeof ' + varName) === 'number'){
10         eval(varName + ' = ' + parseFloat(values[handle]));
11     }else if(eval('typeof ' + varName) === 'string'){
12         eval(varName + ' = ' + values[handle]);
13     }
14 }

```

Wie du vielleicht gesehen hast, gibt es auch noch die Funktionen `SetSliderValueFromCookie()` und `SetSliderCookie()`. Diese Funktionen dienen dazu, die Werte der Slider in Cookies zu speichern und beim Laden der Webseite wiederherzustellen. So behalten die Slider ihre eingestellten Werte auch nach einem Neuladen der Webseite.

3.3 Cookies

Cookies sind kleine Textdateien, die auf dem Computer des Benutzers gespeichert werden. Sie dienen dazu, Informationen über den Benutzer zu speichern, um die Benutzererfahrung zu verbessern. In meinem Fall möchte ich die Werte der Slider speichern, um sie beim Neuladen der Webseite wiederherzustellen.

Jedoch ist das Speichern von Werten in Cookies nicht ganz trivial: Pro Cookie kann nur ein einziger String mit einer maximalen Länge von 4096 Bytes gespeichert werden. Da die Werte der Slider jedoch Arrays von Zahlen sind, müssen diese erst in einen String umgewandelt werden. Hierfür habe ich mich für die `JSON.stringify()`-Funktion entschieden, die ein JavaScript-Objekt in einen JSON-String umwandelt.

4 Kreiserkennung

4.1 Funktionsweise der HoughCircles-Methode

4.2 Die korrekten Parameter finden

4.3 Buffering der Kreise

5 Histogramme

5.1 Überlegungen

5.2 Die Vorlagen

5.3 Erstellung der Histogramme

5.4 Vergleich der Histogramme

5.5 Erste Ergebnisse

6 Template Matching

6.1 Funktionsweise

6.2 Überlegungen

6.3 Neue Vorlagen

6.4 Exkurs: Mehrere Matrizen in einem Canvas anzeigen

6.5 Erste Ergebnisse

6.6 Schlussfolgerungen

7 Anpassungen

7.1 Kantenerkennung

7.1.1 Funktionsweise der Canny-Methode

7.1.2 Die korrekten Parameter finden

7.2 Matrizen rotieren und transformieren

7.3 Neues Problem: Mat-Types

7.4 Asynchronität und Ladebalken

8 Ergebnisse

8.1 Erste Ergebnisse

8.2 Zuschneiden der Bilder

8.3 Weitere Anpassungen

8.4 Finale Ergebnisse

9 Fazit

9.1 Zusammenfassung

Die Möglichkeit von openCV.js, OpenCV-Funktionen direkt im Browser des Clients auszuführen, eröffnet eine Vielzahl von neuen Anwendungsmöglichkeiten. Rechenintensive Bildverarbeitungsalgorithmen müssen nun nicht mehr auf einem Server laufen, wodurch Kapazitäten frei werden und für andere Aufgaben genutzt werden können. Immer mehr Onlinebesuche finden auf mobilen Geräten statt - die Verwendung der eingebauten Kamera für Bildverarbeitungsaufgaben könnte somit in Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

9.2 Die größten Probleme

9.3 Ausblick