

DA 688

Entwicklung eines Kamerasystems zur Analyse von Hauteigenschaften

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

eingereicht von

Markus Poßegger

Betreuer: Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Winkler Gunter

Technische Universität Graz

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Institut für Elektronik

(Leiter: Univ.-Prof. DI Dr.techn. Wolfgang Pribyl)

Graz, September 2011

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit dokumentiert die Entwicklung eines anwendungsspezifischen Bildverarbeitungssystems zur Analyse von Hauteigenschaften. Das System soll zum einen durch die visuelle Auswertung von spezifischen Teststreifen verschiedene Parameter der menschlichen Haut analysieren können und zum anderen sollen kontrastreiche Abbildungen der Hautoberfläche erstellt werden können.

Ausgehend von dieser Produktidee wurden die Anforderungen gemeinsam mit dem Projektauftraggeber erörtert und festgelegt. So soll das Gesamtsystem ausgesprochen benutzerfreundlich und kompakt gestaltet werden, um auch technischen Laien die Bedienung problemlos zu ermöglichen. Des Weiteren soll das Serien-Produkt mit minimalem Kostenaufwand bei mittleren Stückzahlen hergestellt werden können. Auf Basis dieser Forderungen erfolgte die Erstellung eines umfangreichen Lösungskonzepts für ein kundenspezifisches Kamerasystem in einem Kunststoffgehäuse sowie die Konzeptionierung einer Applikation für die Auswertung der Bildinformationen. Den Abschluss der Arbeit bildete die praktische Realisierung des Kamerasystems in Form eines Funktionsprototyps.

Schlagwörter: Bildverarbeitungssystem, Hautanalyse, Produktentwicklung

Abstract

This diploma thesis describes the development of a customized image-processing system for analyzing skin properties. The system must be able to analyze various parameters of human skin by visual evaluation of specific test strips. Furthermore it has to be possible, to take pictures of the skin surface with the same camera system.

Based on this idea, the product requirements were discussed with the project owner: The whole system has to be extremely user friendly to enable even non-professionals the operation without problems and the production costs in medium volumes have to be minimal. Based on these demands a comprehensive solution concept for the custom camera system with a plastic case and an application for the analysis of image information was created. The completion of the work was the realization of a camera system prototype.

Tags: image processing system, skin analysis, product development

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Projektkurzbeschreibung	1
1.2	Ziele des Gesamtprojekts	2
1.3	Ziele der Diplomarbeit	2
2	Projektorganisation	3
2.1	Standardisierter Entwicklungsprozess	3
2.1.1	Phase 1: Machbarkeit	4
2.1.2	Phase 2: Anforderungen	5
2.1.3	Phase 3: Konzept	6
2.1.4	Phase 4: Entwicklung	7
2.1.5	Phase 5: Realisierung	8
2.1.6	Phase 6: Serienüberleitung	8
2.2	Projektablauf.....	9
3	Anforderungen.....	10
3.1	Anwenderzielgruppe.....	10
3.2	Anwendungsbereich	10
3.3	Gehäuseanforderungen	10
3.4	Softwareanforderungen	11
3.5	Anforderungen Indikatorauswertung.....	11
3.5.1	Auswertung Hautfettindikator	11
3.5.2	Auswertung Hautfeuchteindikator.....	12
3.5.3	Auswertung Hautabdruck	12
3.6	Abbildung der Hautoberfläche	13
4	Hardwarekonzept	14
4.1	Übersicht Hardwarekomponenten	14
4.2	Bildsensor	15
4.2.1	Halbleitersensoren	15
4.2.2	Zeilensensoren	15
4.2.3	Matrixsensoren	16
4.2.4	CCD Sensoren	16
4.2.5	Active Pixel Sensoren.....	19
4.2.6	Vergleich von CCD und Active Pixel Sensoren.....	21
4.2.7	Auswahlkriterien	23
4.2.8	Zusammenfassung	35

4.3	Objektiv	36
4.3.1	Realisierungsmöglichkeiten	36
4.3.2	Optische Begriffe.....	37
4.3.3	Auswahlkriterien	39
4.4	Beleuchtung	45
4.4.1	Lichtquellen	45
4.4.2	Beleuchtungstechniken.....	46
4.4.3	Lösungsansatz.....	48
4.5	Bedienelement	50
4.5.1	Drucktaster	50
4.5.2	Kapazitiver Taster	50
4.5.3	Statusanzeige	52
4.6	Computerschnittstelle	53
4.6.1	Anforderungen.....	53
4.6.2	CameraLink®	54
4.6.3	FireWire®.....	54
4.6.4	Gigabit-Ethernet	55
4.6.5	Universal Serial Bus	56
4.7	Prozessor.....	59
4.7.1	Anforderungen.....	59
4.7.2	Realisierungsmöglichkeiten	60
4.7.3	Auswahlkriterien	61
4.8	Spannungsversorgung.....	63
4.8.1	Anforderungen.....	63
4.8.2	USB2.0 Versorgungsmöglichkeit.....	63
4.9	Kabelverbindung	65
4.9.1	Anforderungen.....	65
4.9.2	Steckverbinder	67
4.9.3	Kabelassemblierung	68
4.10	Gehäuse	69
4.10.1	Allgemeine Anforderungen	69
4.10.2	Gehäuse des Kameramoduls.....	69
4.10.3	Hautauflage.....	69
4.10.4	Kamerahalterung mit Teststreifenaufnahme	70
4.10.5	Designstudie	71
5	Softwarekonzept	73
5.1	Übersicht Softwarekomponenten	73
5.2	Firmware Kamerasystem.....	74
5.2.1	Anforderungen.....	74

5.2.2	USB-Kommunikation	74
5.2.3	Steuerbefehle	75
5.2.4	Übertragung der Bilddaten	76
5.3	Gerätetreiber	76
5.3.1	Realisierungsmöglichkeiten	76
5.3.2	Gerätetreiberfunktionalität	77
5.3.3	Gerätetreiberinstallation	77
5.4	Applikation	78
5.4.1	Allgemeines	78
5.4.2	Programmablauf	78
5.4.3	Bedienkonzept	80
5.4.4	Auswertungen	81
5.4.5	Hautabbildungen	84
5.4.6	Ausgabe der ermittelten Daten	85
6	Hardwareentwicklung	86
6.1	Bildsensor	86
6.1.1	Bildsensorauswahl	86
6.1.2	Spannungsversorgung	87
6.1.3	Daten- und Steueranschlüsse	87
6.1.4	Serielltes Steuerinterface	89
6.1.5	Bilddatenausgabe	90
6.1.6	Beschaltung	92
6.2	Objektiv	94
6.2.1	Objektivauswahl	94
6.3	Beleuchtung	97
6.3.1	Beleuchtungsversuche mit Auflicht	97
6.3.2	Beleuchtungsversuche mit seitlicher Beleuchtung	98
6.3.3	Design des Beleuchtungsmoduls	101
6.4	Mikrocontroller	102
6.5	USB-Schnittstelle	102
6.5.1	Kabelverbindung	103
6.5.2	Filterung der Versorgungsleitungen	103
6.5.3	Filterung der Signalleitungen	104
6.5.4	Einbau des Filters	105
6.6	Spannungsversorgung	106
6.6.1	Versorgung der Leuchtdioden	106
6.6.2	Mikrocontroller- und Bildsensor-Versorgung	107
6.7	Aufbau des Elektronikmoduls	108
6.8	Gehäusekonstruktion	110

6.8.1	Kamerahalter	111
6.8.2	Kameragehäuse.....	112
6.8.3	Bedienelement	113
6.9	Konstruktion des Elektronikmoduls	115
7	Ergebnisse und Ausblick.....	116
7.1	Elektronikmodul	116
7.2	Funktionsprototyp.....	117
7.2.1	Kameramodul	117
7.3	Versuchsbilder	119
7.4	Ausblick.....	121
	Abbildungsverzeichnis.....	123
	Abkürzungsverzeichnis	126
	Tabellenverzeichnis	127
	Literaturverzeichnis	128
	Stichwortverzeichnis.....	129

1 Einleitung

Bildverarbeitungssysteme sind in vielen Anwendungsbereichen zur Bestimmung unterschiedlichster Objekteigenschaften unerlässlich geworden. Vor allem in industriellen Fertigungsprozessen zur Analyse von Oberflächen, zur Kontrolle von Abmessungen oder auch zur Schrifterkennung sind diese Systeme weit verbreitet. Der große Vorteil der berührungslosen Aufnahme von Information und die flexiblen Auswertungs- und Interpretationsmöglichkeiten durch die Bildverarbeitungsrechner sind die Hauptgründe für eine konstante Nachfrage (vgl. [5]).

Eine noch weniger verbreitete Anwendung für Bildverarbeitungssysteme ist die Unterstützung bei der Beratungssituation in Verkaufsräumen für Kosmetikprodukte. Die Analyse von Hauteigenschaften wird zwar seit Jahren durch Geräte verschiedenster Hersteller von Medizinprodukten ermöglicht. Diese Systeme haben jedoch eines gemeinsam: einen relativ hohen Produktpreis.¹ Hier setzt die Idee zur Entwicklung eines kostengünstigen, kompakten und in ein ansprechendes Gehäuse verpackten Kamerasystems an.

1.1 Projektkurzbeschreibung

Eine in der Kosmetikbranche relativ weitverbreitete Methode, den Hautzustand von potenziellen Kunden zu bewerten, ist die Anwendung von Teststreifen, welche mit Indikatorflächen bedruckt werden. Je nach Indikatortyp verändert sich bei Kontakt mit der Haut die Oberfläche und damit das Aussehen des Indikators. Als Beispiel ist in Abbildung 1.1 eine Indikatorfläche dargestellt, welche das Aussehen bei Kontakt mit Hautfett verändert.



Abbildung 1.1: Beispiel Indikatorfläche

Die Auswertung erfolgt in der Regel durch einen subjektiven Vergleich mit drei oder auch mehr bewerteten Vergleichsbildern, welche dem Teststreifen beigelegt sind. Das zu entwickelnde Bildverarbeitungssystem soll diese Auswertung der Indikatoren auf eine objektive Basis stellen und die Durchführung einer Analyse von Hauteigenschaften auch für nicht speziell ausgebildetes Personal ermöglichen. Zur Auswertung der aufge-

¹ Ergebnis einer Marktrecherche durch den Projektauftraggeber

nommenen Abbildungen und zur Darstellung von Ergebnissen soll ein kostengünstiger Computer mit einer einfach zu bedienenden grafischen Benutzeroberfläche eingesetzt werden. Grundsätzlich sollen zwei Hauptfunktionen implementiert werden: Zum einen soll das Bildverarbeitungssystem als Standgerät die bereits angeführte Analyse der Indikatoren ermöglichen und zum anderen soll es eine Möglichkeit geben, mit dem gleichen Kameramodul Abbildungen der Hautoberfläche aufzunehmen. Dazu soll die Kamera von einer Halterung, die auch die Teststreifenaufnahme beinhalten soll, abgenommen werden können. Abschließend sollen die Ergebnisse der Teststreifenbewertungen, die Abbildungen der Hautoberfläche und eventuelle persönliche Daten von einer Applikation den Kundenberatern und Kundenberaterinnen in einer übersichtlichen Form zur Verfügung gestellt werden (vgl. [17]).

1.2 Ziele des Gesamtprojekts

Das Projekt verfolgt das Ziel, ein serientaugliches, preisgünstiges Bildverarbeitungssystem zur Bestimmung von verschiedenen Hautparametern zu entwickeln. Das Projekt umfasst im Wesentlichen folgende Punkte:

- Entwicklung eines anwendungsspezifischen Kameramoduls
- Auslegung der erforderlichen Optik
- Evaluierung und Entwicklung eines Beleuchtungsmoduls
- Auswahl und Implementierung einer Computer-Schnittstelle
- Konstruktion eines ansprechenden und funktionellen Gehäuses
- Programmierung eines Windows-Gerätetreibers
- Programmierung der Bildauswertungssoftware
- Programmierung einer grafischen Benutzeroberfläche
- Produktion und Validierung von Prototypen
- Serienüberleitung des freigegebenen Produkts

1.3 Ziele der Diplomarbeit

Im Zuge der Diplomarbeit sollen folgende Teile des Gesamtprojekts betrachtet werden:

- Projektorganisation für eine Produktentwicklung
- Anforderungen an das Gesamtsystem
- Hardwarekonzept
- Softwarekonzept
- Entwicklung der Hardware bis hin zum Funktionsprototyp

2 Projektorganisation

„Ein Projekt ist ein einmaliges Vorhaben, das aus einem Satz von abgestimmten, gelenkten Tätigkeiten mit Anfangs- und Endtermin besteht und durchgeführt wird, um unter Berücksichtigung von Zwängen bezüglich Zeit, Kosten und Ressourcen ein Ziel zu erreichen.“²

2.1 Standardisierter Entwicklungsprozess

Um die Komplexität eines Entwicklungsprojekts, das das Ziel hat, ein serienreifes Produkt hervorzubringen, überschaubar zu gestalten, ist ein standardisierter Entwicklungsprozess unumgänglich. Die Inhalte der jeweiligen Phasen sollen kurz erläutert werden.

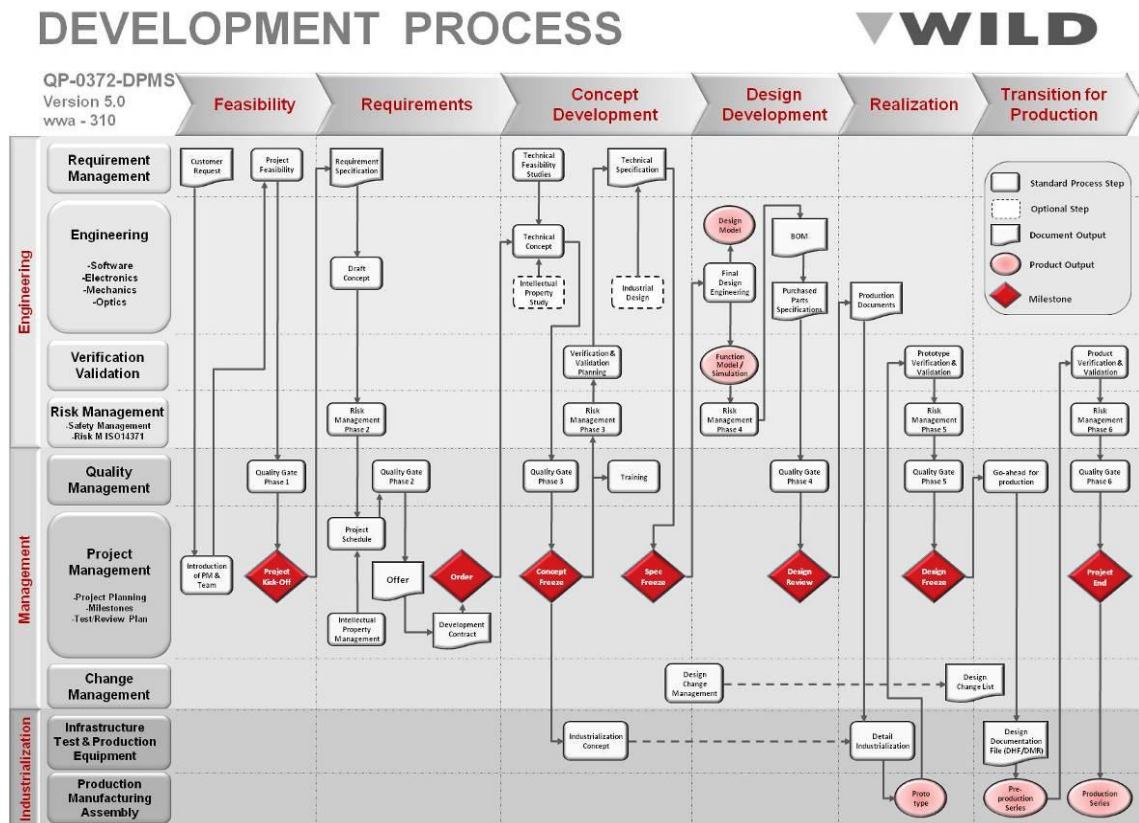


Abbildung 2.1: Entwicklungsprozessbild

Das zugehörige Prozessbild gibt horizontal eine Übersicht über die chronologische Abfolge der einzelnen Projektphasen. Durch die vertikale Einteilung erfolgt die grafische Zuordnung der Prozessschritte zu den jeweils zuständigen Tätigkeitsbereichen: Entwicklung, Management und Industrialisierung.

² EN ISO 9000:2005 – Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe Abschnitt 3.4.3

2.1.1 Phase 1: Machbarkeit

2.1.1.1 Ziel der Phase 1

Diese erste Phase dient der Überprüfung der grundsätzlichen Durchführbarkeit eines Projekts. Zum einen soll auf Basis der Informationen aus der Kundenanfrage geklärt werden, ob die Anforderungen grundsätzlich durch das vorhandene Kompetenzportfolio abgedeckt werden können, zum anderen wird geprüft ob ausreichend Entwicklungsressourcen zur Verfügung stehen, um das Projekt in einem für den Kunden akzeptablen Zeitraum durchführen zu können.

2.1.1.2 Ablauf der Phase 1

Die Kundenanfrage ist der Startpunkt für die Abbildung eines Entwicklungsprojektes im Wild DPMS (kurz für Development Project Management System). Dieses Hilfsmittel sorgt für eine nachvollziehbare und versionsgeführte Dokumentierung des Projektablaufs.

Zu Beginn erfolgt eine erste Definition des zuständigen Projektleiters und des Projektteams. Die Auslastung und Qualifikation aller Beteiligten steht dabei im Vordergrund. Das Team führt nun auf Basis der Informationen aus der Kundenanfrage eine Machbarkeitsprüfung durch. Bei dieser ersten Prüfung steht nicht die technische Umsetzbarkeit im Vordergrund, sondern die Frage, ob das Projekt grundsätzlich mit den vorhandenen personellen wie auch infrastrukturellen Ressourcen in einer für den Kunden akzeptablen Zeit realisiert werden kann. Im Quality Gate 1 wird die Entscheidung, ob dieses Projekt angeboten wird, gemeinsam mit dem Bereichsleiter getroffen und begründet. Wird eine Entscheidung gegen die Angebotslegung getroffen, so ist dies dem Kunden mit einer Begründung mitzuteilen. Bei positivem Ausgang der Prüfung wird mit dem Meilenstein „Project Kick-off“ das Projekt offiziell gestartet.

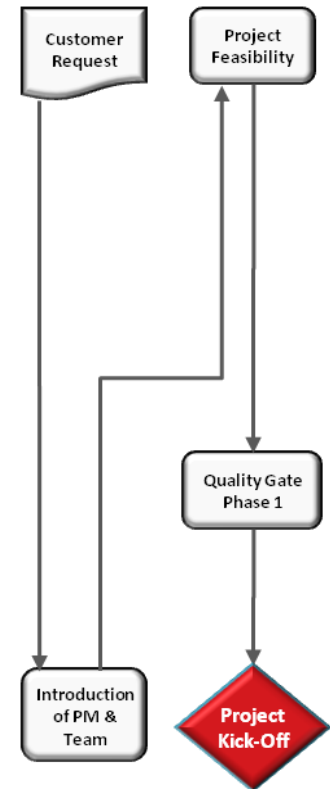


Abbildung 2.2: Ablaufplan Phase 1

2.1.3 Phase 3: Konzept

2.1.3.1 Ziel der Phase 3

Ziel dieser Phase ist es, die einzuhaltenden Pflichten und einen skizzierten Lösungsweg in einem vom Kunden freigegebenen Pflichtenheft zusammenzufassen.

2.1.3.2 Ablauf der Phase 3

Zunächst werden die Anforderungen an das Gesamtprodukt in Anforderungen an einzelne Baugruppen umformuliert. Davon ausgehend werden ein oder mehrere Lösungswege erörtert und für den Kunden zur Entscheidungsfindung aufbereitet. Anschließend organisiert der Projektleiter eine Besprechung zur internen Freigabe der Konzepte. Dabei wird gemeinsam mit einem zweiten Projektleiter, der die bisherige Projektarbeit technisch bewerten kann, aber nicht Teil des Projektteams ist, geprüft, ob die Anforderungen mit den Konzepten erfüllt werden können. Mögliche Probleme und eventuelle Abweichungen sind zu dokumentieren und fließen in die Konzeptbewertung mit ein. Die geprüften Konzepte werden dem Kunden präsentiert. Ziel ist die gemeinsame Festlegung eines Lösungskonzepts (Concept Freeze).

Für das gewählte Konzept erfolgt anschließend eine erste Analyse der Notwendigkeiten für die Serienfertigung (Infrastrukturbedarf, Schulungsbedarf, spezielle Montage/Prüf-Vorrichtungen)

sowie die Planung der Verifikation und Validierung von Prototypen, Erstserie und Serie. Optional wird auch eine Designstudie durchgeführt. Im Zuge dessen sollen ästhetisch relevante Teile unter Berücksichtigung von technischen Zwängen betrachtet werden. Alle Anforderungen und geplante Lösungswege werden nun in einem Pflichtenheft zusammengefasst. Der Kunde bestätigt sein Einverständnis mit dem Inhalt des Pflichtenheftes per Unterschrift. Die Anforderungen an das Produkt und an eventuelle Baugruppen sind somit festgelegt und die Phase ist beendet.

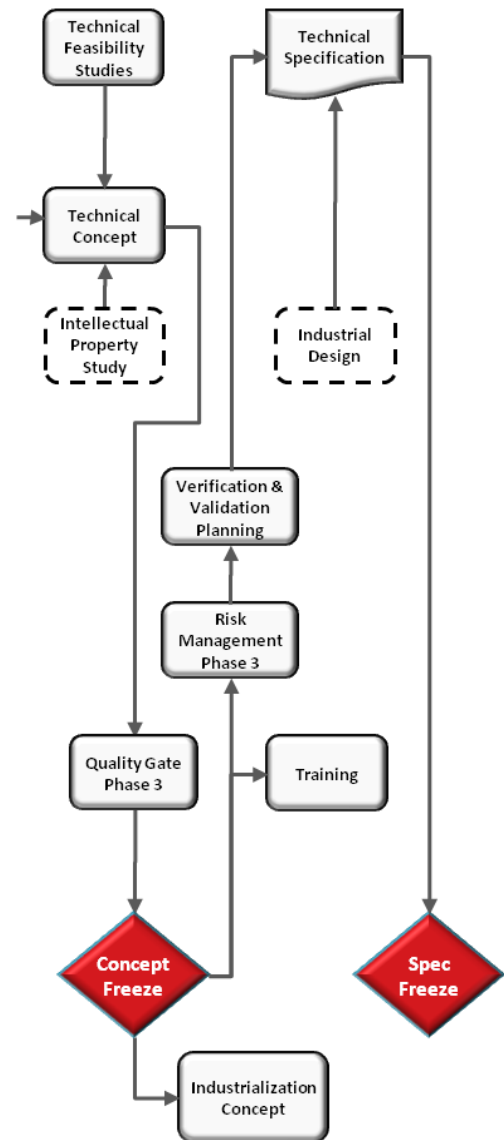


Abbildung 2.4: Ablaufplan Phase 3

2.1.4 Phase 4: Entwicklung

2.1.4.1 Ziel der Phase 4

Ziel dieser Phase ist die Freigabe des Entwicklungsergebnisses in Form von Funktionsprototypen durch den Kunden.

2.1.4.2 Ablauf der Phase 4

Ausgehend von dem, im Pflichtenheft ausformulierten Konzept, werden in der Entwicklungsphase alle Baugruppen bis zu einem Funktionsmodell oder optional auch einem Designmodell entwickelt. Die Risikoanalyse wird anhand des Entwicklungsergebnisses ergänzt, neue Risiken werden bewertet und Maßnahmen zur Beherrschung müssen definiert werden. Um den Serienpreis für das Produkt berechnen zu können, wird anschließend eine Stückliste bestehend aus Fertigungsteilen, Zukaufteilen und Normteilen erstellt. Das und die Ausarbeitung der Spezifikationen für Zukaufteile dienen als Basis für die Lieferantenanfragen des technischen Einkaufs. Anschließend wird im vierten Quality Gate das Ergebnis der Entwicklung in einem internen Design Review geprüft. Das Design wird durch einen zweiten Projektleiter der die bisherige Projektarbeit technisch bewerten kann aber nicht Teil des Projektteams ist, intern freigegeben.

Im Meilenstein Design Review werden die Eigenschaften der Funktionsprototypen und eventueller Designmodelle mit dem Kunden diskutiert. Die Umsetzbarkeit der technischen und allgemeinen Anforderungen wird gemeinsam erörtert. Abschließend erfolgt die Freigabe der Entwicklungsergebnisse durch den Kunden.

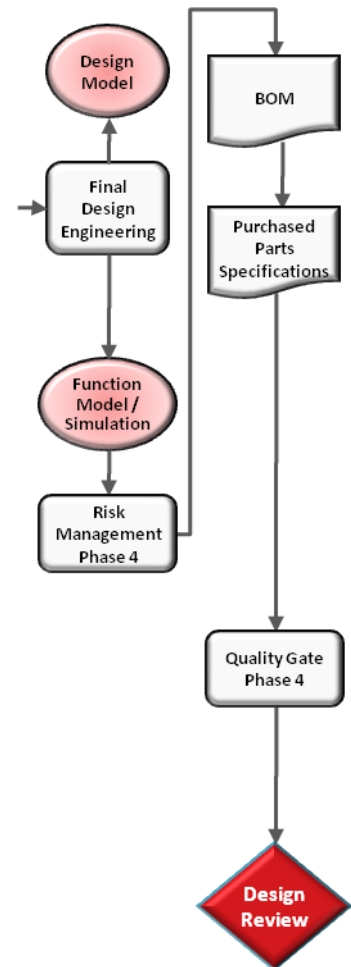


Abbildung 2.5: Ablaufplan Phase 4

2.1.5 Phase 5: Realisierung

2.1.5.1 Ziel der Phase 5

Ziel ist die Herstellung und anschließende Freigabe der seriennahen Prototypen durch den Kunden.

2.1.5.2 Ablauf der Phase 5

Zu Beginn erfolgt die Erstellung und Freigabe der, für die Prototypen-Produktion notwendigen Dokumente und die zur Herstellung und Überprüfung der Prototypen notwendigen Produktionsvorrichtungen werden aufgebaut. Ein seriennaher Prototyp wird hergestellt und dem Kunden zur Validierung übermittelt.

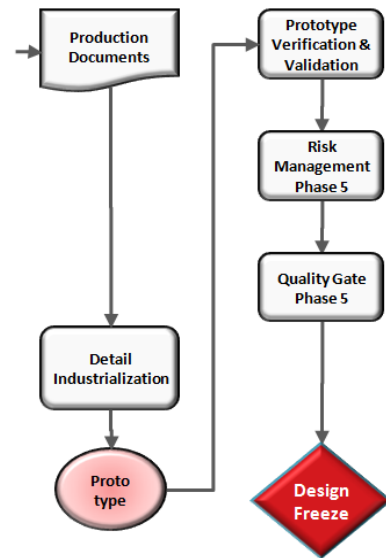


Abbildung 2.6: Ablaufplan Phase 5

Der Prototyp ist von Wild zu verifizieren und vom Kunden zu validieren. Anschließend organisiert der Projektleiter eine Besprechung zur Freigabe des finalen Designs. Die Ergebnisse der Verifikation werden intern diskutiert, das Design wird intern freigegeben. Neue Erkenntnisse sind in die Risikoanalyse einzuarbeiten. Nötige Maßnahmen werden festgelegt. Die Phase wird mit der Abnahme der Prototypen und des finalen Designs durch den Kunden abgeschlossen.

2.1.6 Phase 6: Serienüberleitung

2.1.6.1 Ziel der Phase 6

Ziel dieser Phase ist die erfolgreiche Produktion der Vorserie und die anschließende Freigabe des Produkts für die Serie.

2.1.6.2 Ablauf der Phase 6

Notwendige Montage- oder Prüfvorrichtungen werden je nach Anforderung konstruiert und verifiziert. Der Projektleiter und ein Montageexperte prüfen anschließend die Voraussetzungen für die Serienfertigung. Bei der Fertigung der Vorserie ist, wenn nicht anders vereinbart der Einsatz der Herstellverfahren und Werkzeuge für die Serie vorgesehen.

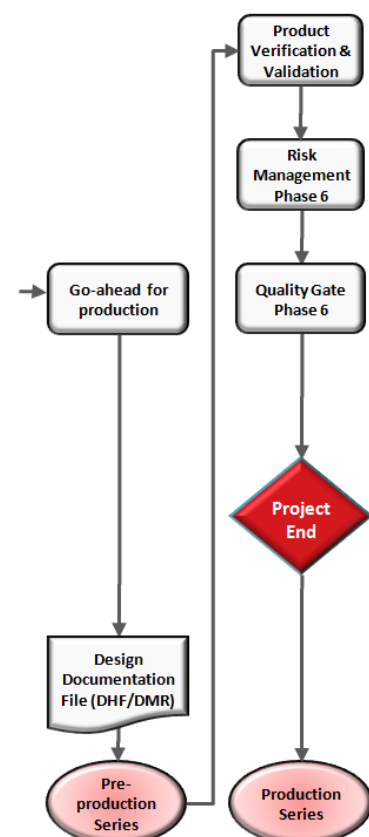


Abbildung 2.7: Ablaufplan Phase 6

Die Erstserie ist von Wild zu verifizieren und vom Kunden zu validieren. Alle zusätzlichen Unterlagen, welche die Verifikation der Erstserie betreffen sowie abgeleitete Maßnahmen sind ebenfalls zu dokumentieren. Die Risikomanagementakte ist zu überprüfen, alle definierten Maßnahmen müssen erfüllt sein. Es erfolgt damit der Abschluss der Risikomanagementakte aus der Entwicklung. Der Projektleiter organisiert eine Besprechung zur Freigabe des Quality Gates Projektabschluss. Die Ergebnisse der Vorserie werden intern besprochen und geprüft. Das Projekt wird intern abgeschlossen. Die Produktion der Serie wird vom Kunden freigegeben. Das offizielle Projektende erfolgt durch eine Projektabschlussbesprechung gemeinsam mit dem Kunden. Für eine nachhaltige Verbesserung erfolgt dabei eine Bewertung des gesamten Projektablaufs durch den Kunden und durch Wild. Damit ist das Entwicklungsprojekt abgeschlossen.

2.2 Projektablauf

Für die Entwicklung des Kamerasystems können die Aufgaben, wie in Abbildung 2.8 dargestellt, auf die einzelnen Phasen aufgeteilt werden.

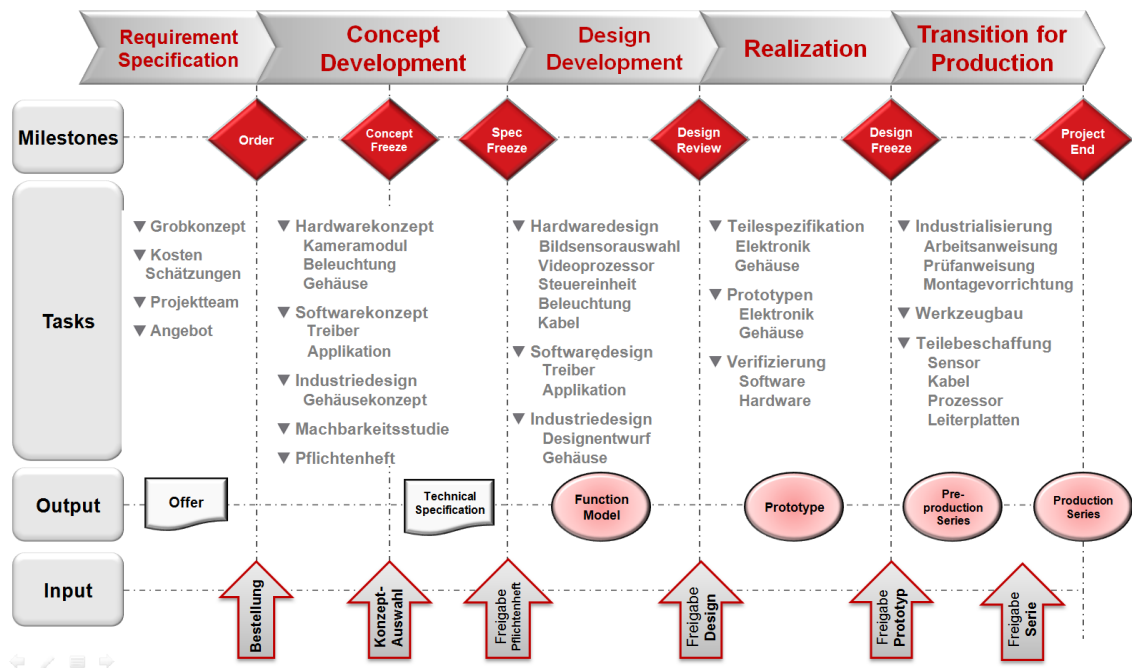


Abbildung 2.8: Inhalt und Ablaufdarstellung der Produktentwicklung

Wie bereits erwähnt, begleitet die vorliegende Diplomarbeit diese Produktentwicklung bis zum Funktionsprototyp.

3 Anforderungen

Die gemeinsame Festlegung der grundsätzlichen Anforderungen an das Gesamtsystem mit dem Projektauftraggeber ist eine wichtige Basis für eine erfolgreiche Produktentwicklung. Im Folgenden sollen die wichtigsten Anforderungen angeführt werden.

3.1 Anwenderzielgruppe

Die Geräte werden vorwiegend von technischen Laien benützt und müssen dementsprechend einfach und intuitiv zu verwenden sein. Rudimentäre Computerkenntnisse müssen allerdings vorhanden sein. Die Bedienung soll für Rechts- und Linkshänder gleichermaßen möglich sein. Auch auf körperlich beeinträchtigte Anwender ist in einem vertretbaren Rahmen Rücksicht zu nehmen. Das Gerät wird entweder an einen vorhandenen Standardcomputer angeschlossen oder es wird zusammen mit einem kostengünstigen Laptop als Gesamtsystem verkauft (vgl. [17]).

3.2 Anwendungsbereich

Das Gerät wird ausschließlich gewerblich benutzt und ist nicht für den privaten Heim-anwender vorgesehen. Das Hautkameranagementsystem ist nicht als Medizinprodukt lt. MPG (kurz für Medizinproduktegesetz) eingestuft. Es wird zur Analyse von Indikatorstreifen, sowie für die Aufnahme von Bildern der Haut verwendet. Die ermittelten Kennwerte dienen als Grundlage für den Vorschlag von diversen Pflegepräparaten. Das Gerät dient nicht zur Erkennung von Krankheiten oder krankhaften Veränderungen der Haut (vgl. [17]).

3.3 Gehäuseanforderungen

Das Kamerasystem ist für den Einsatz in Verkaufsräumen für kosmetische Produkte vorgesehen. Infolgedessen ist ein ansprechendes Design eine grundlegende Anforderung. Es ist aus Kostengründen darauf zu achten, dass die Anzahl der Kunststoffteile so gering wie möglich ist und keine aufwendigen Nachbearbeitungen der Teile notwendig sind. Es soll auch eine Möglichkeit vorgesehen werden, das Gerät mit firmenspezifischen Elementen versehen zu können, sei es durch Lackierung, durch Tauschteile oder durch einfache Aufkleber (vgl. [17]).

3.4 Softwareanforderungen

Die höchste Priorität hat die intuitive Bedienung. Der Benutzer soll in der Beratungssituation nicht durch einen hohen Bedienaufwand abgelenkt werden. Vielmehr soll die Applikation mit so wenig Aufwand wie möglich bedient werden können. Die Applikation soll so gestaltet werden, dass spezifische Funktionen und Einstellungen, die nur selten benötigt werden, in einem Untermenü untergebracht sind. Einstellungen, die für die Funktion des Gerätes maßgeblich sind, dürfen nur mittels Passwort zugänglich sein. Es soll eine Datenbank implementiert werden, in welcher die Ergebnisse der Analysen, die Bilder und eventuelle persönliche Daten abgespeichert werden können.

Die Software soll möglichst ressourcenschonend ausgelegt werden, da das System auch bei Verwendung von eher leistungsschwächeren, aber kompakten Laptops funktionieren soll. Darüber hinaus soll die Softwareapplikation auf verschiedenen Betriebssystemen (Windows 7, Windows XP und Windows Vista) lauffähig sein.

3.5 Anforderungen Indikatoreauswertung

Im Folgenden sind die Anforderungen an die Auswertung der einzelnen Indikatoren angeführt.

3.5.1 Auswertung Hautfettindikator

Zur Abschätzung des Hautfettgehalts werden sogenannte Sebum-Indikatoren verwendet. Eine Indikatorfläche nach dem Kontakt mit der Haut ist in Abbildung 3.1 ersichtlich.

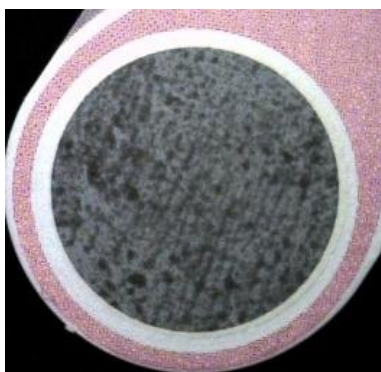


Abbildung 3.1: Testaufnahme Hautfettindikator

Es erscheinen nach der Anwendung dunkle Stellen. Das Kamerasystem soll nun bei entsprechender Beleuchtung feststellen, wie hoch das Verhältnis der hellen zu den dunklen Stellen über der gesamten Indikatorfläche ist. Dieses Verhältnis ergibt den auszugebenden Wert (vgl. [17]).

3.5.2 Auswertung Hautfeuchteindikator

Soll die Feuchtigkeit der Haut bestimmt werden, dann werden Hautfeuchteindikatoren eingesetzt. Diese besitzen eine leicht klebende Oberfläche, welche unter leichtem Druck Hautschuppen aufnimmt. In Abbildung 3.2 ist ein angewandter Teststreifen dargestellt.



Abbildung 3.2: Testaufnahme Hautfeuchteindikator

Hier soll die Größe und Anzahl dieser Schuppen einen indirekten Rückschluss auf die Hautfeuchte zulassen (vgl. [17]).

3.5.3 Auswertung Hautabdruck

Bei diesem relativ aufwendigen Test wird zunächst mittels einer Silikonpaste ein Abdruck von der Haut erstellt. Mit einer Abbildung dieses Hautabdrucks soll durch das Bildverarbeitungssystem eine räumliche Darstellung der Hautoberfläche ermöglicht werden. Der Vorteil eines Hautabdrucks im Vergleich zur Interpretation einer direkten Hautaufnahme liegt in der nicht vorhandenen Beeinflussung des Messergebnisses durch unregelmäßige Hautfärbungen oder durch eventuell vorhandene Körperbehaarung (vgl. [17]).

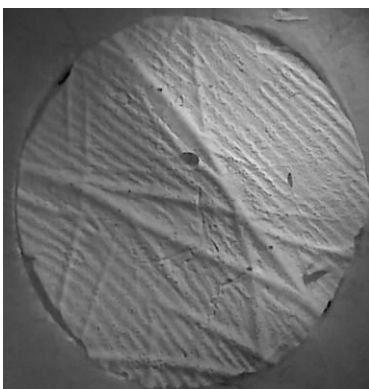


Abbildung 3.3: Testaufnahme Silikonabdruck

3.6 Abbildung der Hautoberfläche

Die Kamera soll dabei vom Probenhalter abgenommen und direkt auf die Hautoberfläche aufgesetzt werden. Durch die Betätigung einer Auslösetaste am Kameramodul soll ein Bild aufgenommen und auf dem Computer abgespeichert werden. Damit der Kunststoff der Kamera nicht direkt mit der Haut in Berührung kommt, kann eine hygienische Papier- oder Kunststoffauflage verwendet werden.

Von diesem Bild erfolgt aus heutiger Sicht keine automatische Auswertung, es dient lediglich zu Dokumentationszwecken. Der Kundenberater soll das Bild hierzu mit einem Kommentar versehen können und dann die Abbildung gemeinsam mit der dokumentierten Aufnahmeposition abspeichern können.

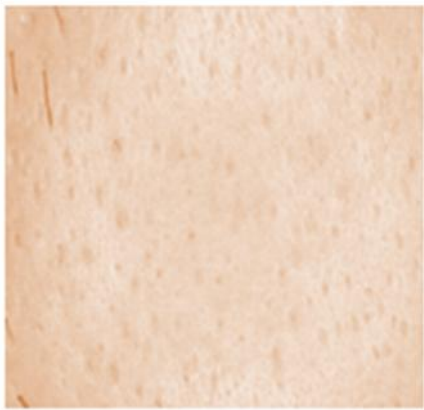


Abbildung 3.4: Testaufnahme Hautoberfläche

Ein Beispiel ist in Abbildung 3.4 ersichtlich. Die Anforderungen an das System sind in diesem Anwendungsfall vor allem eine gleichmäßige Ausleuchtung und eine natürliche Farbwiedergabe.

4 Hardwarekonzept

Das Hauptziel dieses Abschnitts ist es, die Anforderungen an das Gesamtsystem in Anforderungen an die einzelnen Komponenten bzw. Baugruppen umzuformulieren. Anschließend werden für jede Baugruppe die Realisierungsmöglichkeiten und deren Vor- und Nachteile erörtert. Um die BauteilAuswahl in der Designphase möglichst effektiv gestalten zu können, erfolgt zusätzlich eine Vorauswahl von Lösungswegen und Anforderungskriterien.

4.1 Übersicht Hardwarekomponenten

Um die Produkthanforderungen bestmöglich in Anforderungen an die einzelnen Komponenten umformulieren zu können, ist eine Einteilung des Kamerasystems in Baugruppen sinnvoll. Die gewählte Struktur ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

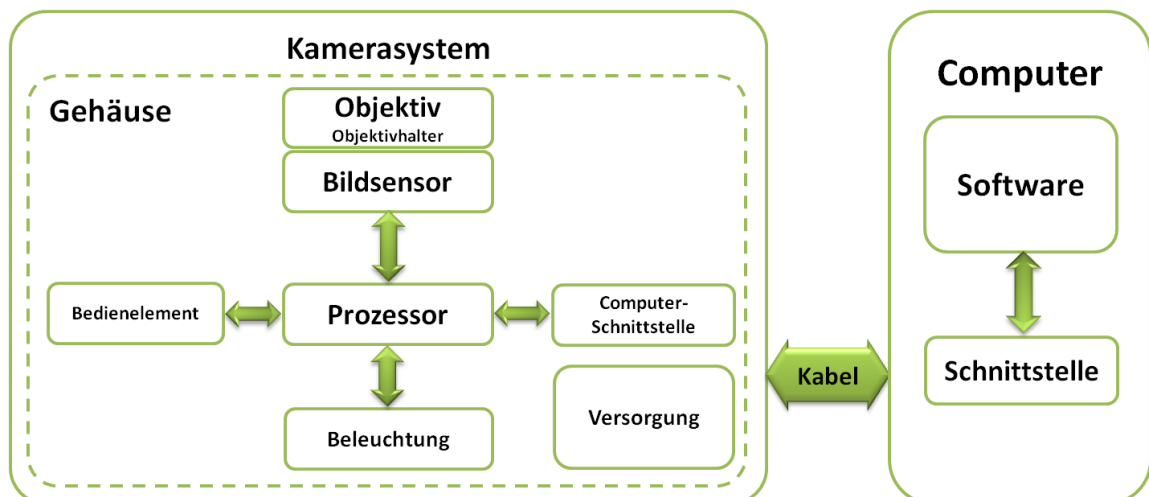


Abbildung 4.1: Übersicht der Komponenten

Bei Bildverarbeitungssystemen sind insbesondere die hohen Systemabhängigkeiten eine Herausforderung. Das Objektiv, der Bildsensor und die Beleuchtung müssen aufeinander abgestimmt sein. Der Prozessor und die Computerschnittstelle müssen die Bilddaten in Echtzeit verarbeiten bzw. weitergeben. Ändert sich eine der Komponenten, muss in vielen Fällen das gesamte System überarbeitet werden. Für Kamerasysteme für die industrielle Bildverarbeitung werden aus diesem Grund meist Komponenten mit technisch besseren Eigenschaften als notwendig eingesetzt, um eine Leistungsreserve zu haben (vgl. [5]). Da diese Leistungsreserve sich meist in einem höheren Preis niederschlägt, soll für das zu entwickelnde Kamerasystem ein auf die Anwendung optimiertes und nicht überdimensioniertes Komponentenportfolio verwendet werden.

4.2 Bildsensor

Die für ein Kamerasystem geforderten Parameter werden in erster Linie von den Eigenschaften des verwendeten Bildsensors bestimmt. Aus diesem Grund bildet auch die Technologieübersicht und Technologieauswahl des Bildsensors den Anfang der Komponentenkonzeption.

4.2.1 Halbleitersensoren

Zur Aufnahme von Bildinformationen im sichtbaren Bereich werden heute überwiegend Halbleitersensoren eingesetzt. Für spezielle Messaufgaben, zum Beispiel für andere Spektralbereiche, existiert eine Vielzahl von weiteren einsetzbaren Technologien. Für ein preissensitives Kamerasystem wie das zu entwickelnde, kommt aber aus heutiger Sicht nur ein Halbleitersensor infrage. Aus diesem Grund bleiben andere Technologien unberücksichtigt (vgl. [5] und [4]).

Die grundlegende Funktion aller Halbleitersensoren beruht auf dem fotoelektrischen Effekt: Licht fällt auf lichtempfindliche Elemente (abgekürzt „Pixel“ für Picture Elements), wodurch Ladungsträger freigesetzt werden. Diese Ladungsträger werden über eine bestimmte Zeit in einem sogenannten Potenzialtopf gespeichert. Die so gespeicherte Ladungsmenge ist somit ein Maß für das während der Belichtungszeit einfallende Licht. Voraussetzung für die Funktion ist somit eine definierte Belichtungszeit und ein definierter Startzustand der einzelnen Sensorelemente (vgl. [5] und [4]).

Laut Demant kann eine grundlegende Unterscheidung von Halbleitersensoren durch zwei Kriterien erfolgen:

- Nach der geometrischen Anordnung der lichtempfindlichen Elemente unterscheidet man zwischen Matrix und Zeilensensoren.
- Nach der Funktionsweise des Auslesens der Pixel-Ladungen kann zwischen CCD (kurz für: Charge Coupled Device) und Active Pixel Sensoren unterschieden werden (vgl. [5], S. 228).

4.2.2 Zeilensensoren

Wie der Name vermuten lässt, bestehen Zeilensensoren aus einer einreihigen Anordnung von lichtempfindlichen Elementen. Daraus ergibt sich, dass ein zweidimensionales Bild erst durch ein Aneinanderreihen von Zeilen entsteht und dass zwischen Bildsensor und Aufnahmeobjekt eine Relativbewegung existieren muss. Die Hauptanwendungsgebiete liegen in der Aufnahme von rotierenden Messobjekten bzw. großen, sich kontinu-

ierlich fortbewegenden Objekten wie zum Beispiel Fertigungsstraßen für Folien oder Tapeten (vgl. [5], S. 259).

Man kann bei einem Teststreifen, welcher in das Kamerasystem eingebracht wird durchaus von einem bewegten Messobjekt sprechen. Bei der manuellen Einführung des Teststreifens durch den Nutzer ist diese Bewegung jedoch keinesfalls kontinuierlich und damit ist auch, anders wie bei einer Fertigungsstraße, die Geschwindigkeit des aufzunehmenden Objekts unbekannt. Wird das Kameramodul für Bildaufnahmen der Hautoberfläche genutzt, existiert des Weiteren im Normalfall keine Relativbewegung zwischen Bildsensor und Objekt. Diese Tatsachen schließen den Zeilensensor für diese Anwendung aus. Auf weitere Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten des Zeilensensors wird daher nicht weiter eingegangen. Diese sind zum Beispiel in [5] S. 259ff ausführlich erklärt.

4.2.3 Matrixsensoren

Bei einem Matrixsensor sind die lichtempfindlichen Elemente in Zeilen und Spalten angeordnet. Im Unterschied zum Zeilensensor können, durch die zweidimensionale Ausdehnung des Matrixsensors, Bilder ohne einer Relativbewegung zwischen Sensor und Objekt durchgeführt werden (vgl. [5], S. 228).

Somit kann eine Festlegung hinsichtlich der geometrischen Anordnung der lichtempfindlichen Elemente zugunsten des Matrixsensors getroffen werden. Demzufolge beziehen sich alle weiteren Betrachtungen auf den Einsatz eines Matrixsensors.

4.2.4 CCD Sensoren

Wie einführend erwähnt, basieren CCD-Sensoren und Active Pixel-Sensoren auf demselben physikalischen Prinzip. Die Unterscheidung der Technologien beginnt bei der Technologie zum Auslesen der Pixel-Ladungen. Beim CCD-Sensor erfolgt der Ladungstransport über ein analoges Schieberegister. Die Ladungen werden durch aufeinanderfolgendes Anlegen einer Spannung von einer Speicherstelle zur nächsten weitergereicht. Je nach Art der Weiterreichung unterscheidet man zwischen:

- Full-Frame CCD
- Frame-Transfer CCD
- Interline-Transfer CCD
- Frame-Interline-Transfer CCD

Die am häufigsten eingesetzte Methode, die Interline-Transfer Methode, soll hier näher erläutert werden. Die anderen Realisierungsarten basieren alle auf dem gleichen Grund-

prinzip und unterscheiden sich lediglich durch die Anordnung der analogen Schieberegister. Ausführlich erläutert sind diese zum Beispiel in [7]S.29ff.

Bei einem CCD-Sensor werden zu Beginn alle Pixel bzw. alle Ladungen gleichzeitig gelöscht. Dies bedeutet, dass bei einem CCD-Sensor automatisch ein Global Shutter realisiert ist (vgl. 4.2.5.2). Nach dem Zurücksetzen der Ladungen beginnt die Belichtungszeit ebenfalls gleichzeitig. Ist der Belichtungsvorgang abgeschlossen, werden alle gesammelten Ladungen, wie in Abbildung 4.2 dargestellt, in die Vertikalen Transportregister verschoben. Damit keine weiteren Ladungsträger durch das einfallende Licht erzeugt werden können, sind diese Transportregister mit einer Metallfolie abgedeckt. Anschließend werden die Pixelladungen über die analogen Schieberegister, welche zur Namensgebung dieses Sensors beigetragen haben, in Richtung des horizontalen Transportregisters verschoben. Das horizontale Schieberegister führt wiederum dem Ausgangsverstärker die Ladungen pixelweise zu. Dieser Verstärker wandelt die Ladung in einen Spannungswert um, welcher anschließend von einem externen Analog-Digital-Wandler digitalisiert wird. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die Tatsache, dass sobald die Ladungen im Transportregister sind, mit dem nächsten Belichtungsvorgang begonnen werden kann.

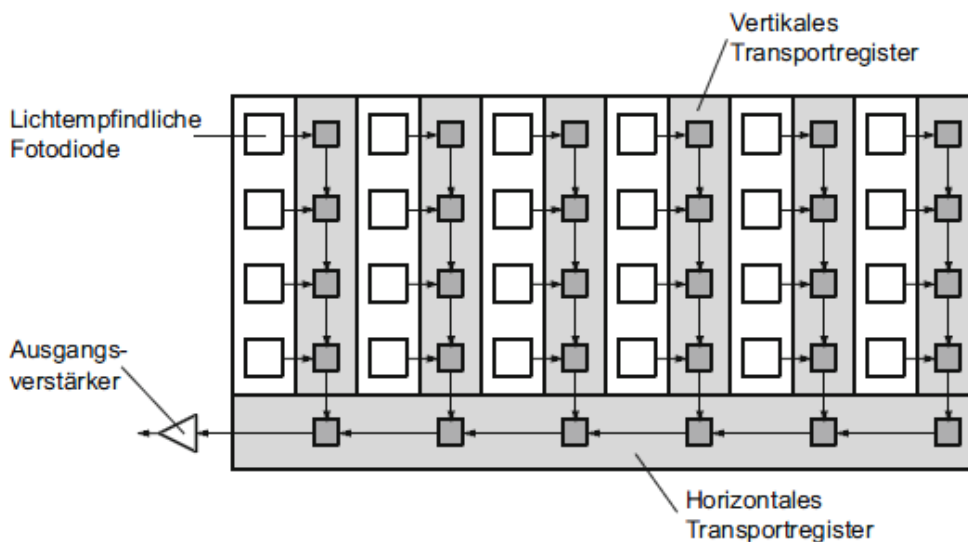


Abbildung 4.2: Aufbau eines Interline-CCD-Sensors ³

Die Vorteile gegenüber eines Active Pixel Sensors sind im Abschnitt 4.2.6.1 zusammengefasst. Diesen vielen Vorteilen des CCD-Sensors stehen nachfolgende charakteristische Nachteile gegenüber:

³ Quelle: Demant 2011. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags

Integrationsdichte: Anders als beim Active Pixel Sensor muss die zeitliche Steuerung und die Analog-Digital-Wandlung von externen Komponenten übernommen werden, da der Fertigungsprozess eine Integration dieser Funktionen nicht zulässt (vgl. [5]).

Smear. Die Abschirmung der Transportregister gegen Licht ist nicht perfekt. Dadurch entstehen störende Ladungsträger. Diese werden beim Auslesen der Ladungsträger aus den Transportregistern zu den Ladungsträgern aus den Pixeln dazugezählt. Dadurch entstehen durchgehende vertikale Schlieren, wie in Abbildung 4.3 dargestellt.



Abbildung 4.3: Beispiel zum Smear Effekt ⁴

Blooming: Das sogenannte Blooming beschreibt das Überlaufen von Ladungen eines überbelichteten Pixels in die umliegenden Pixel. Die Helligkeitsinformation dieser benachbarten Pixel wird dadurch verfälscht. Dieser Überlauf breitet sich meistens entlang der Transportregister, also senkrecht entlang der Spalten, aus. Eine solche lokal begrenzte Überbelichtung kommt zum Beispiel bei Aufnahmen des Sternenhimmels, wie in Abbildung 4.4 dargestellt, vor.



Abbildung 4.4: Beispiel zum Blooming-Effekt ⁵

Der Unterschied der Auswirkung zum Smear-Effekt besteht in der Begrenzung der vertikalen Ausbreitung der Überbelichtung.

⁴ Quelle: <http://www.ccd-sensor.de/html/smear.html> (Stand: 12.03.2011)

⁵ Quelle: <http://www.sbig.de/universitaet/glossar-htm/blooming.htm> (Stand: 27.02.2011)

4.2.5 Active Pixel Sensoren

Der wesentliche Unterschied zwischen Active Pixel und CCD-Sensoren ist die Tatsache, dass bei einem Active Pixel Sensor jedem Pixel ein eigener Verstärker nachgeschaltet ist. Die Ladungen und damit die Helligkeitsinformationen werden also vor Ort in eine äquivalente Spannung umgewandelt. Die Übertragung der Information in Form einer Spannung an den Ausgangstransistor erfolgt nun ähnlich wie in einem RAM-Speicher. Wie in Abbildung 4.5 ersichtlich, besitzt jedes Pixel einen Transistor zur Zeilenauswahl und je Spalte einen Transistor um die aktuelle Spalte auszuwählen. Daher kann frei ausgewählt werden, welcher Spannungswert dem Ausgangsverstärker zugeführt werden soll. Heute verfügbare Active Pixel Sensoren haben, neben den bereits besprochenen Komponenten, auch noch weitere Funktionen am selben Halbleiterbaustein implementiert. So werden die Analog-Digital-Wandlung und die Steuerung der Belichtungszeit häufig direkt am Chip realisiert. Dadurch haben solche Sensoren eine rein digitale Schnittstelle. Bei einem SoC (kurz für: System on Chip) wird zudem die Farbumwandlung, diverse Vorverarbeitungen oder auch eine Datenkompression ohne externe Komponenten vom Bildsensor durchgeführt (vgl. [5], S. 233).

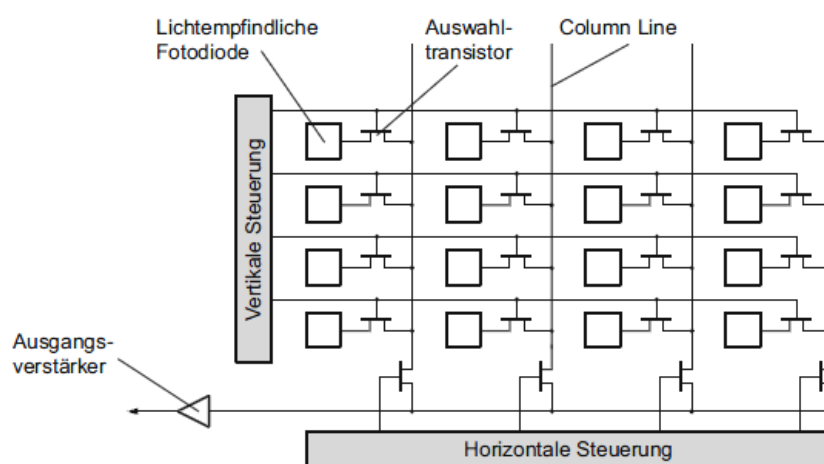


Abbildung 4.5: Aufbau eines CMOS-Sensors ⁶

4.2.5.1 Der Begriff CMOS-Sensor

Active Pixel Sensoren werden heute fast ausschließlich in CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) Technologie gefertigt. Aus diesem Grund hat sich auch der Begriff CMOS-Sensor etabliert. Dies ist historisch gesehen nicht ganz eindeutig. In ([7], S. 40ff) werden unter dem Begriff CMOS-Sensoren auch Passive-Pixel-Sensoren angeführt. Bei diesen Sensoren wird die Ladung nicht direkt am Pixel in eine Spannung um-

⁶ Quelle: [5] 2011. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags

gewandelt (wie beim Active Pixel Sensor), sondern an einen Ausgangsverstärker weitergegeben. Dabei dienen die Transistoren nur als Schalter, um das jeweilige Pixel auslesen zu können. Sensoren dieser Art sind durch das hohe Eigenrauschen des Verstärkers kaum noch im Einsatz und werden auch in Folge nicht weiter betrachtet.

Eine Weiterentwicklung des Active Pixel Sensors bildet der Digital-Pixel-Sensor, bei welchem jedes Pixel eine Art von Analog-Digital-Wandler beinhaltet. Mit dieser Technologie sind Bildraten von bis zu 10.000 Bildern in der Sekunde möglich. Weitere Vorteile sind ein höherer Signal-Rauschabstand und ein größerer Dynamikbereich.⁷ Auch diese CMOS-Sensoren werden nicht weiter betrachtet, da deren Einsatz aus Kostengründen aus heutiger Sicht nicht möglich ist.

4.2.5.2 Steuerung der Belichtungszeit bei Active Pixel Sensoren

Wie beim CCD-Sensor muss auch beim Active Pixel Sensor die Zeit in der die, durch das einfallende Licht generierte Ladung gesammelt wird, definiert sein. Diese bedeutet auch hier muss eine Belichtungssteuerung implementiert sein, welche das Löschen der Ladungen, das Begrenzen der Integrationszeit und das Auslesen zeitlich steuert. Beim Active Pixel Sensor erfolgt dies durch einen Rolling- oder einen Global-Shutter (englisch für Schließer):

Global Shutter: Bei diesem Verfahren werden alle Pixel aller Zeilen zugleich zurückgesetzt. Auch die darauffolgende Belichtung erfolgt für alle Pixel gleichzeitig und gleich lange. Ist der Belichtungsprozess abgeschlossen, müssten die Ladungen gleichzeitig ausgelesen werden. Da aber das Auslesen der Informationen nur sequenziell erfolgen kann, müssen die Ladungsinformationen zwischengespeichert werden. Diese Tatsache führt zu einem stark erhöhten Schaltungsaufwand für jedes Pixel und damit zu einem geringeren lichtempfindlichen Flächenanteil (vgl. [5], S. 234).

Rolling Shutter: Um auf diesen relativ aufwendigen Zwischenspeicher verzichten zu können, wird beim Rolling Shutter das Zurücksetzen und das Belichten nicht zugleich für den gesamten Sensor durchgeführt, sondern Zeile für Zeile. Dabei erfolgen die Vorgänge kontinuierlich mit einem zeitlichen Versatz, der mindestens der Zeit entspricht, welche für den Auslesevorgang einer Zeile benötigt wird (vgl. [5], S. 234).

⁷ Stuart Kleinfelder, Suk Hwan Lim, Xinqiao Liu, Abbas El Gamal: A 10,000 Frames/s 0.18 μm CMOS Digital Pixel Sensor with Pixel-Level Memory, Stanford University 2001

Der zeitliche Ablauf ist in Abbildung 4.6 für beide Shutter-Technologien skizziert. Die Vor- und Nachteile dieser Technologien sind im Abschnitt 4.2.7.9 erläutert.

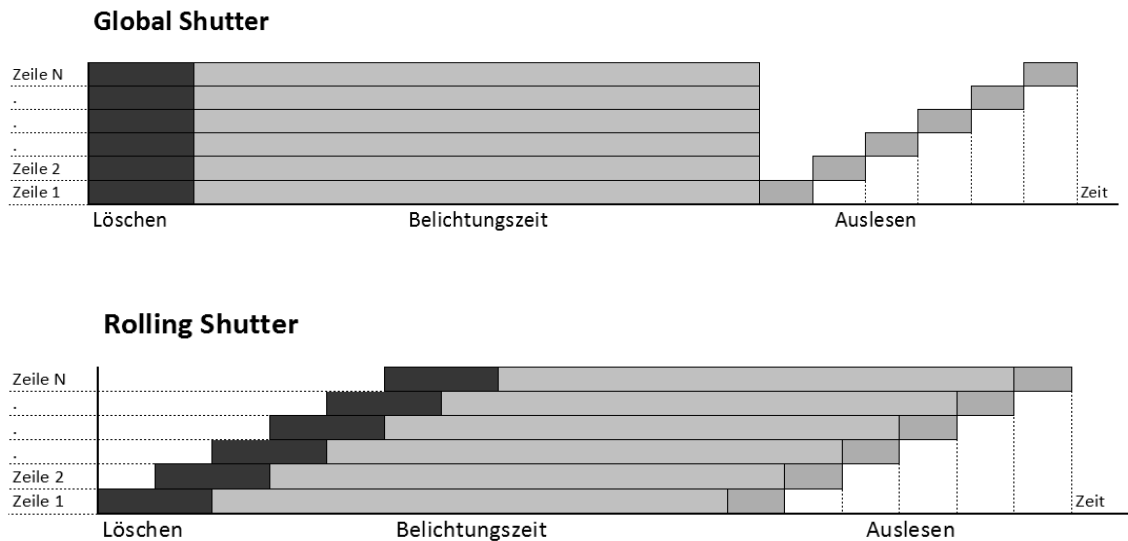


Abbildung 4.6: Zeitlicher Ablauf beim Rolling bzw. Global Shutter

Des Weiteren treten die charakteristischen Nachteile bzw. Fehlerquellen des CCD-Sensors bei Active Pixel Sensoren nur in reduziertem Maße auf:

Geringerer Blooming-Effekt: Bei modernen Active Pixel Sensoren sind häufig Anti-Blooming-Funktionen für jedes einzelne Pixel implementiert, welche diese störenden Effekte stark reduzieren.

Kein Smear-Effekt: Da die Ladung bei jedem Pixel in eine äquivalente Spannung umgesetzt wird, kann kein Smear wie beim CCD-Sensor auftreten.

Charakteristische Nachteile von Active Pixel Sensoren sind das höhere Rauschen durch die Unterschiede der einzelnen Ladungsverstärker, geringere Empfindlichkeit durch einen kleineren Anteil lichtempfindlicher Flächen sowie ein im Allgemeinen geringerer Dynamikbereich (vgl. [5], S. 242).

4.2.6 Vergleich von CCD und Active Pixel Sensoren

Um eine Entscheidung über die einzusetzende Technologie treffen zu können, werden CCD und Active Pixel Sensoren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile betrachtet (vgl. auch [5] S.238ff und [4], S.48). Dabei ist zu beachten, dass die betrachteten Eigenschaften für Standardbauelemente erörtert werden. Spezielle Sensoren, wie die oben erwähnten Digital-Pixel-Sensoren können in Teilbereichen gänzlich unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen.

4.2.6.1 Vorteile von CCD Sensoren gegenüber Active Pixel Sensoren

- Global-Shutter: CCD-Sensoren haben immer einen Global-Shutter. Bei sich schnell bewegendem Objekten kommt es zu keinen Verzerrungen, wie bei den bei Active Pixel Sensoren häufig eingesetzten Rolling Shutter.
- Höherer Dynamikbereich als Standard Active Pixel Sensoren.
- Geringeres Rauschen
- Kleinerer Dunkelstrom
- Der Anteil der fotoempfindlichen Fläche und damit die Empfindlichkeit ist im Allgemeinen beim CCD höher.

4.2.6.2 Vorteile von Active Pixel Sensoren gegenüber CCD Sensoren

- Niedrige Herstellkosten für Massenmarktsensoren (Mobiltelefon, Webcams)
- Niedrigerer Stromverbrauch (allein der Ladungstransport bei den CCD-Sensoren führt schon zu einem höheren Stromverbrauch)
- Active Pixel Sensoren benötigen keine negativen Spannungen
- Höhere Auslesegeschwindigkeit und dadurch höhere Bildraten
- Keine aufwendigen externen Taktgeber notwendig
- Digitale Schnittstelle (Kein externer Analog-Digital-Wandler nötig)
- Windowing (Auslesen von Teilbereichen) möglich
- Geringerer Blooming-Effekt
- Kein Smear-Effekt

Für das zu entwickelnde Kamerasystem sind die wichtigsten Kriterien: ein günstiger Herstellpreis und eine kompakte Bauform. Vergleicht man die Herstellkosten eines Kameramoduls, muss auch die Peripherie berücksichtigt werden. Beim CCD Sensor sind mehrere Versorgungsspannungen (positiv als auch negativ), ein externer Analog-Digital-Wandler und ein Taktgeber nötig. Dies führt zu einem erhöhten Platzbedarf und zu deutlich erhöhten Herstellkosten gegenüber einem Kamerasystem mit einem Active Pixel Sensor. Basierend auf diesen Erkenntnissen kann an dieser Stelle die Auswahl der Active Pixel Technologie erfolgen. Wie schon zuvor der Zeilensensor wird damit auch der CCD-Sensor in den weiteren Betrachtungen nicht mehr berücksichtigt.

4.2.7 Auswahlkriterien

Im Folgenden werden die wichtigsten Kriterien zur Auswahl eines geeigneten Active Pixel Sensors erörtert.

4.2.7.1 Auflösung und Seitenverhältnis

Ein wichtiger Hinweis vorweg: Die hier erläuterte Auflösung beschreibt die örtliche Auflösung eines Bildes. Die Helligkeitsauflösung, also die Anzahl der Quantisierungsstufen bei der Analog-Digital-Wandlung der Helligkeitswerte, wird im Punkt 4.2.7.4 betrachtet.

Bei der Angabe der Auflösung sind zwei Formen üblich, entweder man gibt die Gesamtzahl der Pixel an oder man gibt die Pixelanzahl in horizontaler und in vertikaler Richtung eines Matrixsensors an. Im zweiten Fall kann auch eine Aussage über das Format gemacht werden. In Abbildung 4.7 ist eine Übersicht von derzeit eingesetzten Auflösungen bzw. Seitenverhältnissen zu sehen.

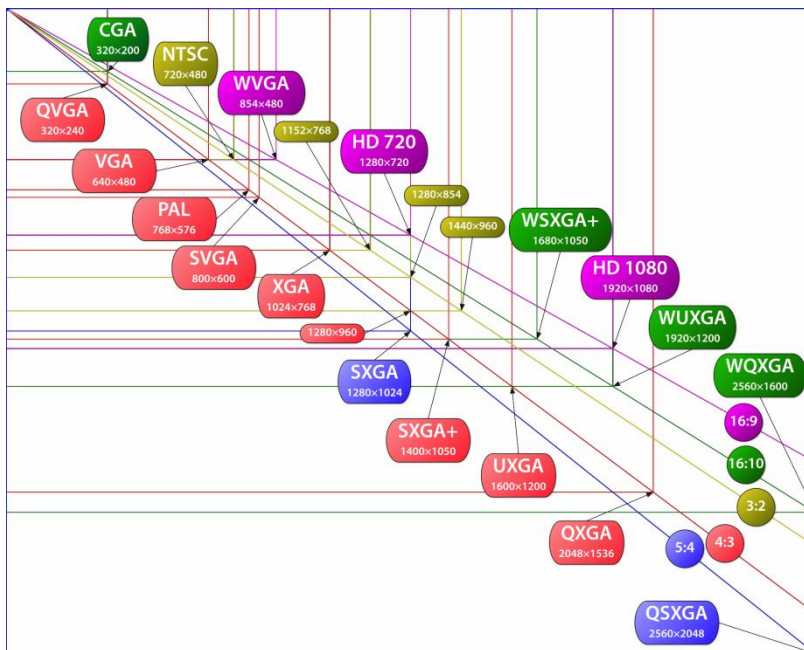


Abbildung 4.7: Übersicht über derzeit gängige Bildformate ⁸

Nach der Definition und einem Überblick gängiger Formate kann nun ein Vergleich mit den Anforderungen des zu entwickelnden Kamerasystems erfolgen. Eine erste indirekte Vorauswahl wurde bereits durch die Verwendung einer Übersicht, welche mit einer Auflösung von ungefähr 5 Megapixeln endet, getroffen. Diese Einschränkung kann sehr einfach getroffen werden, wenn man bedenkt, dass der Rechenaufwand für den Video-

⁸ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Videoauflösung> (Stand: 04.03.2011)

prozessor, die Datenrate und der Rechenaufwand für die Bildverarbeitung mit steigender Auflösung ebenfalls stark ansteigen. Weiters übertreffen Bildsensoren mit solchen hohen Auflösungen bei Weitem die Kostenvorgaben.

Minimale Auflösung: Nach Aufnahme einiger Testbilder und nach Absprache mit dem Projektauftraggeber wird die minimale Auflösung des Kamerasystems mit 0,3 Megapixeln festgelegt. Bildsensoren mit einer geringeren Auflösung sind zudem nur noch für spezielle Anwendungen, zum Beispiel im medizinischen Bereich verfügbar.

Maximale Auflösung: Der auszuwählende Sensor sollte keine Auflösung über 2 Megapixel aufweisen. Das begrenzende Element ist dabei der Videoprozessor, die Computerschnittstelle, sowie die Mindestanforderungen der Rechner auf dem die Bildverarbeitungssoftware laufen soll. Außerdem steigt der Preis mit zunehmender Pixelanzahl ebenfalls an. Bei gleichbleibender Sensorgröße nimmt auch die Pixelgröße und damit die Empfindlichkeit ab. Durch die relativ geringe Gegenstandsgröße ist eine Auflösung von mehr als 2 Megapixeln auch anwendungstechnisch in keiner Weise notwendig.

Seitenverhältnis: Das Seitenverhältnis ist so zu wählen, dass möglichst der gesamte Sensorbereich für das aufzunehmende Objekt genutzt werden kann. Wie in Kapitel 3 beschrieben, haben alle Teststreifen eine runde Indikationsfläche. Die Hautkamera soll quadratische Bilder aufnehmen. Die bestmögliche Ausnutzung der Bildsensorfläche erhält man somit mit einem quadratischen Sensor. Wie in Abbildung 4.7 ersichtlich, ist ein 1:1 Seitenverhältnis nicht als Standard verfügbar. Der Standard, welcher einem Quadrat am nächsten kommt, ist der 5:4 (Blau dargestellt) bzw. der 4:3-Standard (Rot dargestellt). Da nur ein quadratisches Bild ausgewertet werden soll, muss das Bild auf den Seiten abgeschnitten werden. Würde man einen, für Videoaufnahmen heutzutage sehr beliebten Standard, den 16:9-Standard wählen, würden als Beispiel vierzig Prozent der Sensorfläche abgeschnitten werden. Diese Gegebenheiten werden in Abbildung 4.8 veranschaulicht.

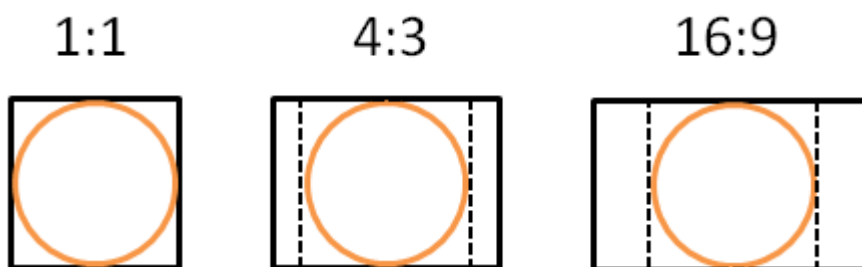


Abbildung 4.8: Betrachtung von Seitenverhältnissen

Viele Active Pixel Sensoren haben eine sogenannte Windowing Funktion implementiert. Dies bedeutet, dass es die Möglichkeit gibt, nur einen Teil der Sensormatrix auszu-lesen (vgl. [5], S. 245). Dies wäre ein Vorteil bei der Verwendung von nicht-quadratischen Sensoren, da die Bereiche, welche nicht angezeigt oder ausgewertet werden, gar nicht erst ausgelesen würden. Damit würde sich, bei gleichbleibender Bildrate die Datenrate entsprechend verringern.

Zusammenfassend kann für die Anzahl und die Anordnung der Pixel Folgendes festgelegt werden: Es soll ein Sensor mit minimal 0.3 Megapixeln, maximal 2 Megapixeln und mit einer möglichst quadratischen Form gewählt werden.

4.2.7.2 Optisches Format

Ein weiterer wichtiger Wert ist das optische Format eines Bildsensors. Dieser Wert lässt einen Rückschluss auf die Sensordiagonale zu und ist eine wichtige Angabe zur Auswahl eines passenden Objektivs. Zu häufigen Verwirrungen führt dabei die historisch bedingte Angabe des Formats in Inch, wobei die Angabe 1/1“ nicht 25,4mm, sondern 16mm bedeutet. Das kommt daher, dass bei Fernsehaufnahmeröhren bei einem Außendurchmesser von einem Inch der Aufnahmebereich 16mm betrug (vgl. [5], S. 239).

Tabelle 4-1: Typische optische Formate

Optisches Format	Breite	Höhe	Diagonale
	[mm]	[mm]	[mm]
1/1"	12,8	9,6	16
2/3"	8,8	6,6	11
1/2"	6,4	4,8	8
1/3"	4,8	3,6	6

Bei der Auswahl des optischen Formats und damit der geometrischen Sensorgrößen können folgende Tendenzen berücksichtigt werden (vgl. [5] und [7]):

Obere Grenze: Sensoren mit einem größeren Format als 1/4“ bei VGA Auflösung haben hohe Empfindlichkeiten, sind aber im höheren Preisbereich angesiedelt (Chipfläche kostet Geld). Nicht nur den Sensor selber, auch das Objektiv wird teurer und größer.

Untere Grenze: Umso kleiner die Sensoren, umso kleiner auch die einzelnen Pixel (bei gleicher Auflösung) und umso kleiner dadurch die Empfindlichkeit. Daher muss bei

Sensoren mit extrem kleinem Format (kleiner 1/9“) durch besondere Maßnahmen die Empfindlichkeit erhöht werden. Diese führt ebenfalls zu einem Anstieg des Preises.

Für das zu entwickelnde Kamerasystem sollte also ein Sensor mit einem optischen Format von maximal 1/4“ und minimal 1/9“ eingesetzt werden.

4.2.7.3 Aufnahme von Farbinformationen

Alle Halbleitersensoren können nur die Intensität des Lichts als sogenannte Helligkeitswerte aufnehmen. Diese Helligkeitsinformation ist sowohl für den, für das menschlichen Auge sichtbaren Bereich als auch für den Infrarot- oder Ultraviolett-Bereich definiert. Festgelegte Farbinformationen existieren allerdings nur für den sichtbaren Wellenlängenbereich von 380nm bis 780nm. Die Wellenlänge und damit die Farbe kann jedoch nicht direkt durch einen Halbleitersensor bestimmt werden. Nachfolgende Lösungsmöglichkeiten führen trotz dieser Einschränkung zu Bildern, welche mit Farbinformationen hinterlegt sind. Dabei sind die Farbinformationen in der Regel in drei Anteile zerlegt: Rot, Grün und Blau (kurz RGB). Mit der Variation der Intensitäten der einzelnen Anteile kann durch additive Farbmischung theoretisch jede Farbe nachgebildet werden (vgl. [7], S. 46f). Für die Teststreifenanalyse ist grundsätzlich keine Farbinformation nötig. Da jedoch Hautaufnahmen in Farbe möglich sein sollen, ist der Einsatz eines Farbsensors notwendig.

Falschfarbendarstellung: Eine sehr einfache Art ein Schwarz-Weiß-Bild mit Farbinformationen zu versehen, ist es jedem Helligkeitswert einen RGB-Farbwert zuzuweisen. Diese Zuordnung erfolgt durch eine hinterlegte Tabelle. Wie der Name des Verfahrens bereits vermuten lässt, ist es nicht das Ziel die Farben des Aufnahmeobjekts zu erfassen, sondern durch eine nachträgliche Färbung die Informationen der einzelnen Helligkeitswerte mit einer für den Menschen deutlicher wahrnehmbaren Farbinformation zu hinterlegen. Diese Variante wird häufig bei Aufnahmen im nicht-sichtbaren Bereich eingesetzt. Ein gutes Beispiel ist die Aufnahmedarstellung bei einer Wärmebildkamera. Hier werden den wärmeren Stellen eher rötliche Farbtöne und den kälteren Stellen eher bläuliche Farbtöne nachträglich zugeordnet (siehe Abbildung 4.9). Aber auch im sichtbaren Bereich kann das Verfahren genutzt werden, um bei Graustufenbildern mit relativ wenig Kontrast eine bessere Unterscheidung der Bereiche zu ermöglichen (vgl. [7], S.47). Betrachtet man Abbildung 3.1, so kann festgestellt werden, dass die Abbildung der Indikatorfläche genau diesen Fall eines kontrastarmen Grauwertbildes darstellt. Mit einer Falschfarbendarstellung könnte daher bei der Anwendersoftware eine, für den Nutzer

anschauliche Art der Darstellung der Teststreifen erfolgen. Für die Hautaufnahme ist dieses Verfahren jedoch unbrauchbar, da eine natürliche Darstellung gefordert ist.

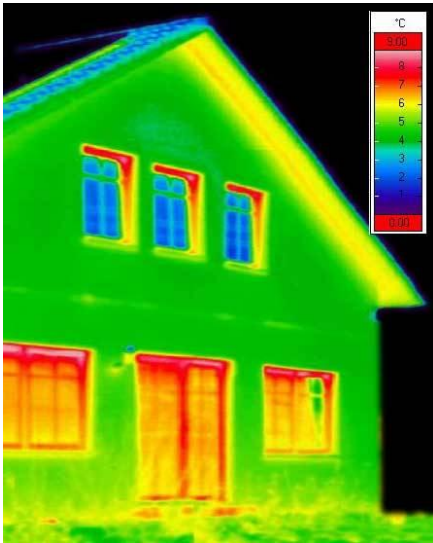


Abbildung 4.9: Beispiel für eine Falschfarbendarstellung⁹

Drei-Chip-Farbkamera: Eine aufwendige aber sehr hochwertige Möglichkeit Farbinformationen des abzubildenden Objektes aufzunehmen, ist es, das Abbild über einen Strahlteiler in eine rote, eine grüne und eine blaue Komponente aufzuteilen und je einem Bildsensor zuzuführen.

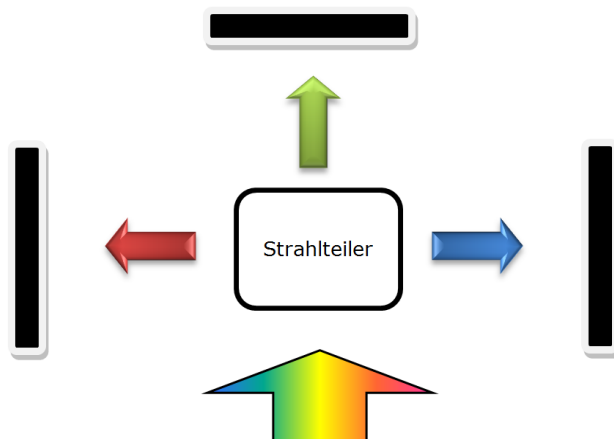


Abbildung 4.10: Schematische Darstellung eines Drei-Chip-Farbsensors

Vor allem durch den Strahlteiler ist eine kostengünstige und kompakte Realisierung solcher Sensoren schwierig. Ein weiteres Problem ist die Genauigkeit, mit der die Ab-

⁹ Quelle: www.u-t-b.at/vermessungstechnik/index.php/produkte/waermebildkamas-thermografie.html
(Stand 26.02.2011)

bilder auf den jeweiligen Sensor projiziert werden. Jeder Versatz würde hier zu einer Verfälschung der Farbinformation führen. (vgl. [5], S. 238)

Ein-Chip-Farbkamera: Eine relativ einfache und zurzeit weitverbreitete Möglichkeit Farbbilder aufzunehmen, ist der Einsatz von nur einem Sensor in Kombination mit einer Farbfiltermaske (kurz: CFA für Color Filter Array), welche direkt auf dem Sensor aufgebracht ist. Diese Maske lässt für jedes Pixel nur jeweils einen Farbbereich (Rot, Grün oder Blau) passieren. Wichtig ist dabei ein charakteristisches Filtermosaik, welches dafür sorgt, dass die Filter so angeordnet werden, dass die benachbarten Pixel jeweils andere Farbbereiche erfassen. Die Farbinformation für jedes Pixel kann nun durch die Interpolation der Farbinformationen der umliegenden Pixel errechnet werden. In Abbildung 4.11 ist das derzeit am häufigsten eingesetzte Farbfilter, das Bayer Pattern dargestellt (vgl. [5], S. 239).

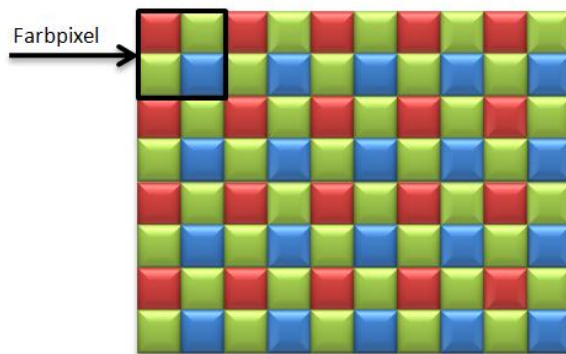


Abbildung 4.11: Bayer-Farbfilter ¹⁰

Bei der in Abbildung 4.11 dargestellten Anordnung, dem Bayer Pattern, bilden als Beispiel vier Pixel ein Farbpixel. Dabei fällt auf, dass das grüne Pixel doppelt in jedem Farbpixel vorkommt. Dies bildet die höhere Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges für die Farbe Grün nach. Für die anschließende Interpolation der Farbwerte, die entweder am Computer oder am Bildsensor erfolgen kann, sind verschiedenste Algorithmen im Einsatz. Ein möglicher Algorithmus ist in ([7], S. 48f) ausführlich erklärt. Die in modernen Farbbildsensoren zum Einsatz kommenden Algorithmen sind weitaus komplexer und im Allgemeinen auch gut gehütete Firmengeheimnisse ([7], S. 50).

Neben der einfachen Bauart gibt es auch Nachteile: Durch die Tatsache, dass die Farbwerte interpoliert werden, kommt es zu Unterabtastung und damit zu Bildstörungen. Ein Beispiel ist Abbildung 4.12 zu sehen: Links das Original, rechts eine farbinterpolierte Aufnahme.

¹⁰ Nach Bryce E. Bayer 1976, Eastman Kodak Company (Rochester, NY, USA)



Abbildung 4.12: Nachteil durch die Farbinterpolation¹¹

Durch die Farbfilter wird weiters auch die Empfindlichkeit gesenkt, da die Filter keine idealen Übertragungseigenschaften besitzen und auch den Durchlass-Farbbereich dämpfen (vgl. [5], S. 238).

Spektralabhängige Sensoren: Diese Sensoren nutzen die wellenlängenabhängige Eindringtiefe von Licht in Silizium. Diese führt dazu, dass blaues Licht nicht so weit eindringt wie grünes oder rotes Licht. Das Prinzip wird in Abbildung 4.13 deutlich.

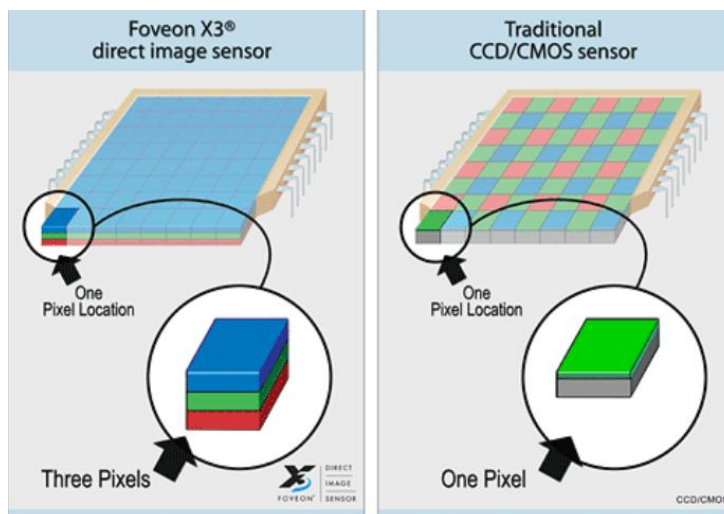


Abbildung 4.13: Prinzip der 3-Schicht-Kamera¹²

Man kann sich den Sensor in drei Schichten vorstellen, wobei jede Schicht einen anderen Spektralbereich absorbiert. Im Gegensatz zum Ein-Chip-Farbsensor hat man hier die volle Farbauflösung zur Verfügung. Nach Demant konnte sich diese Technologie aber bisher noch nicht am Markt durchsetzen. Auch Erhardt spricht von Kinderkrankheiten, wie zum Beispiel sehr hohem Bildrauschen (vgl. [5] und [7]).

Zusammenfassend kann an dieser Stelle, durch eindeutige Kostenvorteile die Wahl eines Sensors mit Bayer Pattern erfolgen. Die Falschfarbendarstellung wird eventuell in

¹¹ <http://en.wikipedia.org/wiki/Demosaiicing> (Stand: 26.02.2011)

¹² Quelle: <http://www.foveon.com/article.php?a=68> (Stand: 26.02.2011)

der Bildverarbeitungsapplikation eingesetzt, um die relativ kontrastarmen Indikatorflächen der Teststreifen je nach Grauwert einzufärben und damit die Unterschiede für den Nutzer hervorzuheben. Weiters könnte bei der Teststreifenanalyse auf die Farbinterpolation verzichtet werden. Das hätte den Vorteil, dass die in Abbildung 4.12 dargestellten Nachteile nicht auftreten würden.

4.2.7.4 Bilddatenformat

Moderne Bildsensoren wandeln die analogen Helligkeitswerte bereits am Chip in digitale Werte um. Üblich ist dabei eine Helligkeitsauflösung von 8Bit (256 Quantisierungsstufen) oder 10Bit (1024 Quantisierungsstufen). Wie oben erläutert wird meist auch die Interpolation der Farbwerte am Sensor durchgeführt. Entsprechend dieser Daten unterstützen gängige Bildsensoren verschiedene Bildausgabeformate.¹³

RAW-Format: Die einfachsten Active Pixel Sensoren geben die vom Analog-Digital-Wandler quantisierten Helligkeitswerte der einzelnen Pixel direkt aus. Dabei ist zu beachten, dass im Falle eines Bayer-Pattern-Farbsensors die Interpolation der Farben noch durchzuführen ist. Da es sich in diesem Fall um Rohdaten handelt, wird es auch RAW-Format (englisch für roh) genannt.

RGB-Format: Bietet der Sensor dieses Format an, ist es offensichtlich, dass die Interpolation der Farbwerte, das sogenannte Debayering, bereits am Sensor erfolgt ist. Die Farbbildinformationen liegen somit für jedes Pixel als digitale Rot-, Grün- und Blauwerte vor. Der Vorteil dieses Formats ist die Tatsache, dass das Interpolieren bereits erfolgt ist. Der Nachteil ist, dass durch das Berechnen der drei Farbwerte die Datenrate um den Faktor drei gegenüber dem RAW-Format zunimmt. Aus diesem Grund könnte es auch von Vorteil sein, die Bilddaten im RAW-Format zu übermitteln und die Farbinformation im Computer zu errechnen.

YUV-Format: Ein weiteres verfügbares Ausgangsformat ist das YUV-Format. Bei diesem Format stellt der Y-Wert die Helligkeitsinformation (im Prinzip ein Schwarz-Weiß-Bild) dar. Die U- und V-Werte stellen die Farbinformation als Differenzsignale dar. Der Vorteil bei diesem Format ist, dass Kompressionsverfahren relativ leicht umgesetzt werden können. Da das menschliche Auge Helligkeit besser auflösen kann als Farbe, kann die Farbinformation mit einer geringeren Auflösung übertragen werden, ohne dass es zu gravierenden Qualitätseinschränkungen für den Betrachter kommt. Diese nicht übertragenen Farbinformationen müssen allerdings vor der Darstellung wieder interpoliert werden, was wiederum zu Farbfehlern an Kantenübergängen führt (vgl. [5]).

¹³ Vergleich der Eigenschaften von Omnivision Sensoren auf www.ovt.com (Stand: 04.03.2011)

Für das zu entwickelnde Kamerasystem wäre es am komfortabelsten, mit dem RGB-Format zu arbeiten. Sollte der Datendurchsatz nicht ausreichen, muss auf das RAW-Format zurückgegriffen werden. Die Verwendung des YUV-Formats hat keine Vorteile und wird aus jetziger Sicht nicht angestrebt.

4.2.7.5 Bildrate

Die mögliche Anzahl von Bildern, die ein Sensor pro Sekunde liefert, ist ein wichtiges Kriterium bei, sich gegenüber der Kamera bewegend Aufnahmeobjekten. Für die vorliegende Anwendung ist im Bezug auf die Bildrate der Hautkameramodus der wichtigste Anwendungsfall. Hier wird die untere Grenze durch die menschliche Wahrnehmung gegeben sein. So sollte das Bild nicht, wie bei den ersten Generationen von kostengünstigen Webcams, im Sekundentakt aktualisiert werden, da dadurch das Gesamtprodukt einen trügerischen Eindruck machen würde. Die obere Grenze wird sich durch die gleichen Faktoren wie bei der Auflösung ergeben: durch den Videoprozessor, durch die Computerschnittstelle, sowie die Mindestanforderungen an den Computer, auf dem die Bildverarbeitungssoftware laufen soll. Es muss daher in der Designphase ein Kompromiss zwischen Auflösung, Bild und Datenrate gefunden werden. Als erste Einschränkung kann nach einigen Vorversuchen die untere Grenze mit 5 Bildern pro Sekunde (kurz: fps für Frames per Second) angenommen werden. Darunter liegende Werte sind nach Rücksprache mit dem Projektauftraggeber nicht akzeptabel. Die obere Grenze wird aus derzeitiger Sicht bei 15 fps liegen, da ab diesem Wert keine Verbesserung der Kontinuität festgestellt werden konnte.

4.2.7.6 Schnittstelle

Die Ausgabe der Bilddaten erfolgt bei modernen Active Pixel Sensoren rein digital. Dabei sind parallele oder auch serielle Ausgabeschnittstellen üblich. Parallele Schnittstellen haben eine Busbreite je nach Helligkeitsauflösung von 8 oder 10 Bit. Damit der Prozessor feststellen kann, wann gültige Daten anliegen, gibt es einen sogenannten Pixeltakt. Bei seriellen Schnittstellen reduziert sich die Anzahl der notwendigen Verbindungen zwischen Bildsensor und Prozessor, allerdings ergeben sich bei vergleichbaren Datenraten enorm hohe Übertragungsraten. Daher wird ein Sensor mit paralleler Bilddatenausgabe bevorzugt.

Zur Synchronisation der Bilddaten stehen drei Signale zur Verfügung:

- Pixeltakt: Ein digitales Signal, welches das Anliegen gültiger Bilddaten am Ausgang des Bildsensors anzeigt.

- Zeilentakt: Dieses digitale Signal zeigt den Beginn einer neuen Zeile an.
- Bildtakt: Hiermit wird ein neues Bild angekündigt.

Um die vielen Funktionen eines Active Pixel Sensor nutzen zu können, ist es weiters notwendig, dass der Prozessor mit der Verarbeitungseinheit des Sensors kommunizieren kann. Hier hat sich eine serielle Schnittstelle durchgesetzt. Über diese Schnittstelle können die Funktionen, wie Bildskalierung, Belichtungszeit, Weißabgleich, Auswahl des Datenformats und vieles mehr von einem externen Prozessor gesteuert werden.¹⁴

4.2.7.7 Bildrauschen

Unter Bildrauschen versteht man die überlagerten Störungen bei Bildaufnahmen, welche keinen Zusammenhang mit dem Bildinhalt aufweisen. Bei einem Active Pixel Sensor gibt es verschiedene Rauschquellen:

Photonenrauschen: Beim Photonenrauschen handelt es sich um die Auswirkung der Schwankung der Lichtempfindlichkeiten einzelner Pixel (vgl. [5] S.241).

Fixed Pattern Noise: Die Ladungsverstärker der einzelnen Pixel unterscheiden sich untereinander hinsichtlich ihrer Verstärkung und ihrer Arbeitspunkte. Dies hat zur Folge, dass die Ausgangsspannungen der einzelnen Pixel bei gleicher Ladung unterschiedlich sind. Diese Unterschiede überlagern das aufgenommene Bild als ein ortsfestes Rauschen, das sogenannte Fixed Pattern Noise (vgl. [5] S.233).

Thermisches Rauschen: Durch thermische Effekte im Halbleiter werden Ladungen spontan generiert. Diese Ladungen werden, auch wenn kein Licht auf die Pixel trifft, erzeugt und daher wird die Auswirkung im Allgemeinen als Dunkelstrom bezeichnet. Da der Dunkelstrom mit steigender Temperatur zunimmt, ist beim Kameramodul darauf zu achten, dass wärmeabgebende Bauelemente, wie zum Beispiel Spannungsregler, mit möglichst großer Distanz zum Bildsensor angeordnet werden.

4.2.7.8 Empfindlichkeit und Quanteneffizienz

Bei Halbleitersensoren werden Ladungsträger durch einfallende Photonen erzeugt. Der Idealfall wäre, dass jedes Photon einen Ladungsträger erzeugt. Dies ist in der Praxis jedoch nicht möglich. Einerseits treffen Photonen lichtunempfindliche Bereiche, andererseits werden aus physikalischen Gründen nicht alle Photonen, welche auf lichtempfindliche Flächen treffen auch umgewandelt. Die erste Eigenschaft wird durch den sogenannten Füllfaktor beschrieben. Dieser Wert gibt das Flächenverhältnis von lichtemp-

¹⁴ Vergleich der Schnittstellendefinitionen der Markführer Aptina und Omnivision.

findlichen zu lichtunempfindlichen Bereichen eines Bildsensors an. Um die Güte des gesamten Umwandlungsprozesses zu beschreiben, wurde als eine Art Wirkungsgrad die sogenannte Quanteneffizienz eingeführt. Dieser Wert beschreibt das Verhältnis der erzeugten Elektronen zu den aufgetroffenen Photonen. Eine gängige Methode die Empfindlichkeit bei schlechtem Füllfaktor zu erhöhen ist in Abbildung 4.14 dargestellt. Bei dieser Methode werden Lichtstrahlen, welche eigentlich nicht auf den lichtempfindlichen Bereich fallen würden, durch sogenannte Mikrolinsen auf die lichtempfindlichen Bereiche umgelenkt (vgl. [5], S.240).

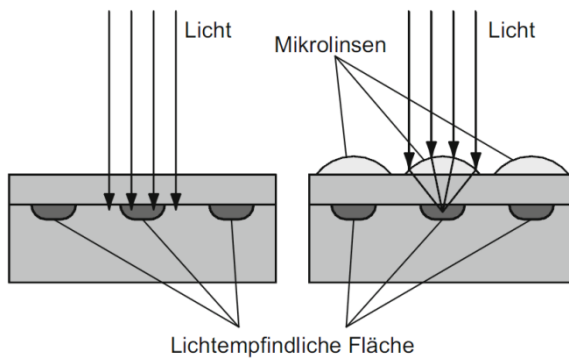


Abbildung 4.14: Mikrolinsen und ihre Wirkung ¹⁵

Mit dieser Technologie können somit die Eigenschaften des Bildsensors verbessert werden. Bei Einsatz eines Bildsensors mit einem Bayer-Farbfiler werden die Mikrolinsen und die Farbfiler bzw. Wellenlängenfilter häufig kombiniert. Der Einsatz eines solchen Sensors wird angestrebt.

Um die Empfindlichkeit von Halbleiterbildsensoren anzugeben und zu vergleichen, wird in der Regel die Einheit $V/lx.s$ (kurz für: Volt pro Lux Sekunde) eingesetzt. Diese Einheit beschreibt, welche Spannung in Volt am Ausgang des Ladungsverstärkers in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke in Lux und der Belichtungszeit in Sekunden auftritt ([4], S. 17). Eine zu geringe Empfindlichkeit führt bei schlechten Lichtverhältnissen zu längeren Belichtungszeiten bzw. zu sehr niedrigen Signalpegeln und damit zu einem relativ erhöhten Rauschanteil im Bild. Dieses Rauschen ist für die Bildverarbeitung sehr störend, da zum Beispiel die Kanten eines Objekts schwerer zu erkennen sind.

Für das zu entwickelnde Kamerasystem wird nach Testaufnahmen mit verschiedenen Bildsensoren und in Rücksprache mit dem Projektauftraggeber eine minimale Empfindlichkeit von $1V/lx.s$ festgelegt.

¹⁵ Quelle: [5] 2011. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags

4.2.7.9 Belichtungssteuerung

Im Abschnitt 4.2.5 werden die beiden Möglichkeiten zur Steuerung der Belichtungszeiten angeführt. An dieser Stelle sollen die Vor- und Nachteile des Rolling- bzw. des Global-Shutters erörtert werden, um anschließend die einzusetzende Variante festlegen zu können.

Die Vorteile des Rolling-Shutters sind der einfachere Aufbau, der höhere Anteil der lichtempfindlichen Flächen und ein, im Allgemeinen, günstigerer Preis (vgl. [5], S. 234). Ein gravierender Nachteil des Rolling-Shutters wird in Abbildung 4.15 ersichtlich:

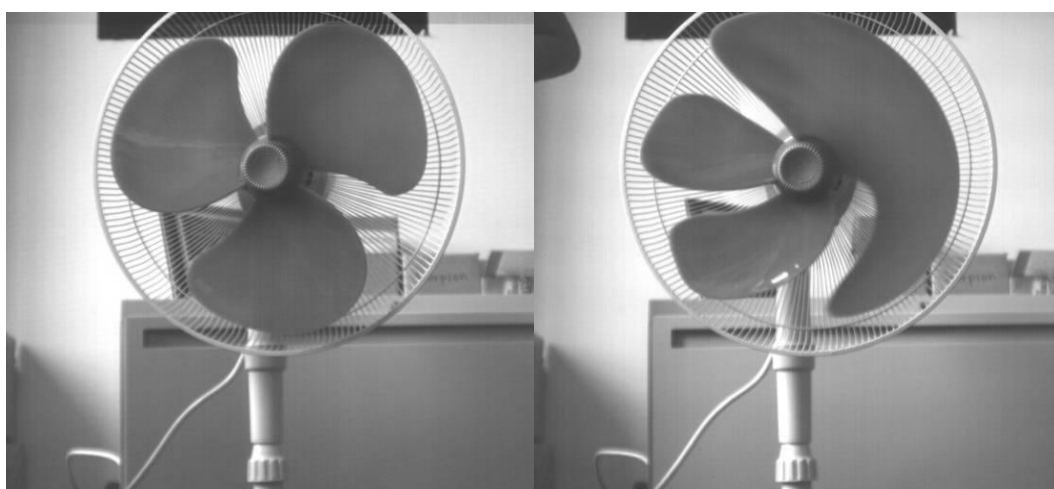


Abbildung 4.15: Aufnahme eines sich schnell drehenden Objekts ¹⁶

Im linken Bild wurde die Aufnahme mit einem Bildsensor mit Global-Shutter gemacht, im rechten Bild kam ein Rolling-Shutter zum Einsatz. Die Verzerrung bei Aufnahmen von sich schnell bewegenden Objekten ist charakteristisch für die Rolling-Shutter Technologie und kann durch die Versatzzeit der Belichtungsvorgänge jeder Zeile (siehe Abbildung 4.6) erklärt werden.

Der wichtigste Vorteil eines Global-Shutters ergibt sich infolgedessen, durch die Tatsache, dass aufgrund der gleichzeitigen Belichtung aller Zeilen keine Verzerrungen wie beim Rolling-Shutter auftreten.

Stellt man die Eigenschaften der Belichtungssteuerungsarten den Anforderungen gegenüber, wird Folgendes deutlich: Das abzubildende Objekt ist im einen Fall ein ruhender Teststreifen und im anderen Fall die Hautoberfläche, bei welcher ebenfalls von einem Objekt ohne Relativbewegung gegenüber der Kamera ausgegangen werden kann. Das führt dazu, dass der Nachteil des Rolling-Shutters, nämlich die Verzerrungen der Aufnahme bei sich schnell bewegenden Objekten, für diesen Anwendungsfall keine

¹⁶ Quelle: www.ptgrey.com/support/kb/index.asp?a=4&q=115 (Stand: 01.02.2011)

Bedeutung hat. Die Vorteile beim Einsatz des Rolling-Shutters, insbesondere der preisliche Vorteil, überwiegen deutlich. So kann eine Entscheidung bezüglich der Steuerung der Belichtungszeit zugunsten des Rolling-Shutters getroffen werden.

4.2.8 Zusammenfassung

Im ersten Teil dieses Abschnitts erfolgte eine Übersicht über grundlegende Realisierungsmöglichkeiten. Durch die jeweilige Gegenüberstellung der Eigenschaften mit den notwendigen Anforderungen wurde, wie in Abbildung 4.16 dargestellt, eine erste Vorauswahl zu verwendender Bildsensoren getroffen.

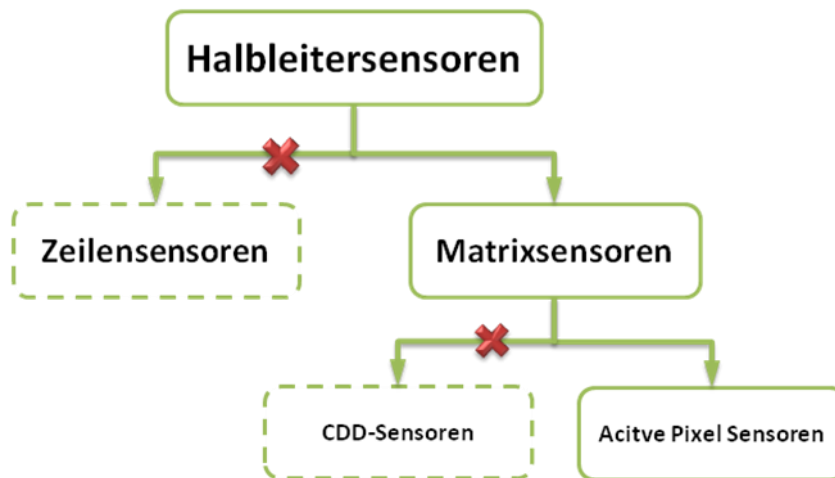


Abbildung 4.16: Auswahl der Bildsensortechnologie

Die Entscheidung über den Einsatz von Halbleitersensoren mit matrizenförmiger Anordnung der lichtempfindlichen Elemente (kurz: Pixel) konnte aufgrund der Anforderungen an Herstellpreis und kompakter Bauform relativ einfach getroffen werden. Die Wahl, ob nun ein CCD oder ein Active Pixel Sensor eingesetzt werden soll, gestaltete sich schon erheblich aufwendiger. In vielen gängigen Kamerasystemen für die Bildverarbeitung ist nach wie vor der CCD-Sensor im Einsatz. Vor allem die rasche Entwicklung der CMOS-Technologie in den letzten Jahren und die damit verbundene Steigerung der Integrationsdichten führten jedoch dazu, dass die Nachteile des Active Pixel Sensors gegenüber dem CCD Sensor mehr und mehr kompensiert wurden (vgl. [5]). Insbesondere für ein preissensitives Kamerasystem überwiegen die Vorteile eines modernen Active Pixel Sensors deutlich.

Nach Auswahl der einzusetzenden Technologie erfolgte im zweiten Teil dieses Abschnitts eine Übersicht über die Auswahlkriterien von Bildsensoren und eine erste Gegenüberstellung mit den Anforderungen. In Tabelle 4-2 soll auch das Ergebnis dieses Teils kurz zusammengefasst werden.

Tabelle 4-2: Bildsensor Auswahlkriterien

Kriterium	Auswahl
Auflösung	0.3MP – 2MP
Seitenverhältnis	Ideal 1:1, verfügbar: 4:3, 5:4
Optisches Format	1/9“ – 1/4“
Farbaufnahme	Bayer-Pattern
Bildrate	5fps – 15fps
Bilddatenformat	RAW oder RGB
Belichtungssteuerung	Rolling Shutter
Empfindlichkeit	Min. 1V/lx.s

Diese Vorgaben sind bei der Auswahl des Bildsensors in der Designphase zu berücksichtigen. Aber auch bei der Konzeptionierung der weiteren Komponenten wird mehrfach auf diese Kriterien zurückgegriffen werden müssen.

4.3 Objektiv

Der zu erfassende Sichtbereich wird über ein Objektiv auf die Bildsensorfläche abgebildet. Der beste Bildsensor und die besten Bildverarbeitungsalgorithmen führen nicht zum gewünschten Ergebnis, wenn das Objektiv grundlegende Qualitätskriterien nicht erfüllt bzw. nicht richtig positioniert ist. Abweichungen müssen, sofern möglich, durch aufwendige Bildvorverarbeitungsprozesse korrigiert werden. Im schlechtesten Fall ist die Information im Bild nicht mehr aufzufinden und damit eine Bildverarbeitung nicht durchführbar (vgl. [4]).

Weiters bestimmt das Objektiv im Wesentlichen den notwendigen Objektabstand und damit die Abmessungen des Kameramoduls und beeinflusst daher maßgeblich das Gehäusedesign und damit die Ergonomie des Kamerasystems.

4.3.1 Realisierungsmöglichkeiten

Objektive für Bildverarbeitungssysteme sind in verschiedensten Varianten und mit verschiedensten Funktionen erhältlich. Zwei Hauptanforderungen für das zu entwickelnde Kamerasystem, der günstige Herstellungspreis und die kompakte Bauform, werden jedoch

nur selten erfüllt¹⁷. Es wird daher auf Objektive, welche vordergründig für den Massenmarkt eingesetzt werden, zurückgegriffen.

Diese kostengünstigen Objektive haben keine, während dem Betrieb veränderbaren Eigenschaften (wie zum Beispiel eine Autofokusfunktion) und weisen in den meisten Fällen ein Außengewinde auf, mit welchem sie in einen Halter geschraubt werden können. Der Objektivhalter kann sich in einem Gehäuseteil befinden oder kann auch direkt auf der Leiterplatte des Kameramoduls angebracht sein. Mit diesem Gewinde ist meist zu gleich die einzige Einstellmöglichkeit umgesetzt. So ist es möglich, den Abstand zwischen Objektiv und Bildsensor und damit die Abbildungsebene auf den Sensor einzustellen. Damit diese Kalibrierung von Hand gut funktionieren kann, sind im Allgemeinen Feingewinde, also Gewinde mit geringerer Steigung im Einsatz. Ein Beispiel für ein solches Objektiv mit Feingewinde ist in Abbildung 4.17 veranschaulicht.



Abbildung 4.17: Beispiel für ein M12x0.5 Objektiv¹⁸

Hierbei handelt es sich um den weitverbreiteten S-Mount Standard. Oft wird auch die Bezeichnung des Gewindes nach ISO 965-1 für Feingewinde verwendet. Im Falle eines S-Mount Objektivs ist dies M12x0.5, wobei das „M“ metrische ISO-Gewinde kennzeichnet, die „12“ den Außendurchmesser mit 12mm angibt und die Zahl „0.5“ den Abstand zwischen zwei Gewindespitzen und damit die Gewindesteigung mit 0.5mm definiert. Somit ist eine grobe Festlegung hinsichtlich der Realisierung erfolgt und es kann im Folgenden eine Definition der Anforderungen an die Objektivparameter erfolgen.

4.3.2 Optische Begriffe

Im Folgenden sollen die wichtigsten Grundbegriffe eines optischen Systems erläutert werden.

4.3.2.1 Abbildungsgesetze

¹⁷ Ergebnis einer Marktpreisrecherche von Objektiven für Bildverarbeitungssysteme vom 08.10.2010.

¹⁸ Quelle: www.lechner-cctv.de (Stand 08.10.2010)

Die Abbildung eines Gegenstandes auf einen Bildsensor wird zur einfachen mathematischen Beschreibung meist, wie in Abbildung 4.18 gezeigt, idealisiert als Abbildungssystem mit einer dünnen Linse dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Linse, deren eigene geometrische Ausdehnung keinen Einfluss auf die Abbildungseigenschaften hat (vgl. [5]).

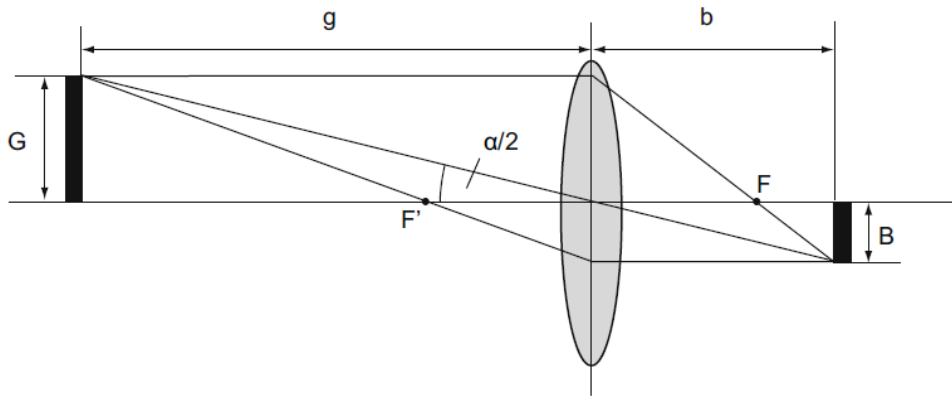


Abbildung 4.18: Abbildungssystem mit einer dünnen Linse¹⁹

Dabei bezeichnet man den Abstand der Linse zum Gegenstand als Gegenstandsweite g , und den Abstand zur Sensoroberfläche als Bildweite b . Die Gegenstandshöhe ist mit G und die Bildsensorhöhe ist mit B abgekürzt. Die Distanz vom Linsenmittelpunkt zum Brennpunkt F der Linse wird als Brennweite f bezeichnet.

Mit diesen Notationen und der idealisierten Darstellung der dünnen Linse kann die Abbildungsgleichung für dünne Linsen wie folgt formuliert werden:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad (4-1)$$

Mit der Gleichung für den Abbildungsmaßstab (4-2)

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (4-2)$$

können nun die Gegenstandsweite und die Bildweite in Abhängigkeit der Brennweite und der Gegenstandsweite dargestellt werden:

$$B = \frac{f}{g-f} G \quad (4-3)$$

¹⁹ Quelle: [5], S.267 Mit freundlicher Genehmigung des Verlags

4.3.2.2 Blendenzahl

Die auf den Bildsensor einfallende Lichtmenge wird durch die sogenannte Blende des Objektivs bestimmt. In Abbildung 4.19 ist eine vereinfachte Darstellung angeführt.

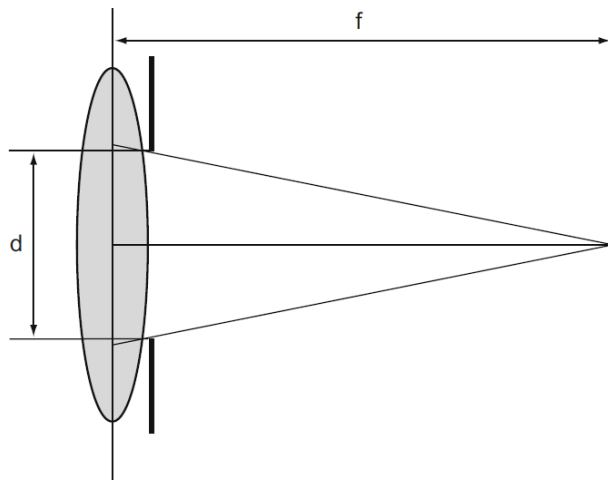


Abbildung 4.19: Skizze zur Erklärung der Blendenzahl²⁰

Dabei beschreibt die Blendenzahl k das Verhältnis zwischen Brennweite f und dem Blendendurchmesser d . Mit steigender Blendenzahl nimmt der Blendendurchmesser somit ab und es fällt weniger Licht auf den Bildsensor (vgl. [5]).

4.3.3 Auswahlkriterien

Bei der Auswahl eines Objektivs sind vorab drei grundlegende Fragen zu beantworten (vgl. [14]):

- Sichtfeld: Wie groß sind die abzubildenden Objekte?
- Arbeitsabstand: Aus welcher Entfernung nimmt das Kamerasystem die Abbildung auf?
- Sensorformat: Wie groß ist der Sensor, der die Abbildung aufnimmt?

Weiters sind noch die Parameter Schärfentiefe und die Abbildungsfehler zu beachten.

4.3.3.1 Sichtfeld

Um das Objektiv dimensionieren zu können, ist es wichtig, den vom Sensor zu erfassenden Bereich zu definieren. Dieser Bereich ist im Allgemeinen größer zu dimensionieren, als die maximal auftretenden Abmessungen des abzubildenden Gegenstands. Insbesondere, wenn keine exakten Vorhersagen über die Positionierung des Gegen-

²⁰ Quelle: [5], Mit freundlicher Genehmigung des Verlags

stands im Sichtfeld gemacht werden können. Dies ist zum Beispiel bei einer Nummern-tafelerkennung bei vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen der Fall. Durch die Freiheitsgrade, die dort der Autofahrer besitzt, muss die gesamte Straßenbreite erfasst werden und der eigentlich interessante Gegenstand muss erst im vielfach größeren Abbild gesucht werden.

Für das zu entwickelnde Kamerasystem ist es wichtig diese Freiheitsgrade durch eine entsprechende Teststreifenaufnahme einzuschränken, da man durch eine Überdimensionierung des Sichtfeldes Auflösung für das Messobjekt verlieren würde. Außerdem gibt die Größe des Sichtfeldes auch die Größe der Hautauflage vor und beeinflusst dadurch auch die Gehäusegröße.

Bei der Dimensionierung des Sichtfeldes wird von einem maximal erlaubten Versatz des größten Messobjektes, dem Hautfaltenabdruck, von 1mm ausgegangen. Dieser Anspruch muss bei der Gehäusekonzeptionierung im Abschnitt 4.10 berücksichtigt werden. Durch diesen geringen erlaubten Versatz wird der Bildsensor bestmöglich ausgenutzt. Weiters kann festgelegt werden, dass der relativ breite Randbereich des Hautabdrucks keinerlei Information enthält und daher nicht als abzubildendes Objekt gewertet wird. Eine ebenfalls zu betrachtende Anwendungssituation ist die Hautabbildungsfunktion. Diese soll zur Betrachtung kleinerer Bereiche der Haut genutzt werden. Gemeinsam mit dem Projektauftraggeber wird festgelegt, dass die durch den Silikonabdruck vorgegebenen Abmessungen auch für die Hautabbildung ausreichen.

Wie in Abschnitt 4.2.7.1 bereits erläutert, handelt es sich bei allen abzubildenden Teststreifenflächen um runde Objekte. Daher würde für die Auswertung dieser Teststreifen eine quadratische oder sogar runde Bildaufnahme ausreichen. In Abbildung 4.20 ist als Beispiel ein 4:3 Sensor mit unterschiedlichen vom Objektiv ausgeleuchteten Bereichen dargestellt.

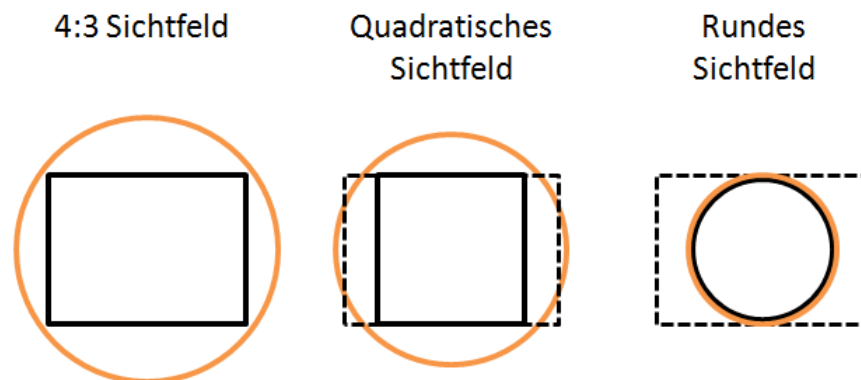


Abbildung 4.20: Ausgeleuchtete Bereiche bei einem 4:3 Sensor

Die orangen Kreise kennzeichnen den vom Objektiv ausgeleuchteten Bereich. Die schwarzen Linien umranden den vom Kamerasystem zu erfassenden Sichtbereich. Die gestrichelten Linien stellen den Teil, des vom Bildsensor zwar aufgenommenen aber für die Bildverarbeitung nicht verwendeten Bereichs, dar. Für die direkte Abbildung der Haut wäre grundsätzlich auch eine runde Form ausreichend. Um flexibler zu sein, sollen aber auch quadratische Bilder machbar sein. Daher ist das runde Sichtfeld ausgeschlossen. Auch ein 4:3 Sichtfeld bringt aufgrund der aufzunehmenden Objektformen keine Vorteile. Somit kann an dieser Stelle das Sichtfeld als Quadrat mit 22mm Kantenlänge festgelegt werden.

4.3.3.2 Objektabstand

Der notwendige Abstand des Messobjektes zum Bildsensor ist eine wichtige Größe um die Anforderungen an das Gehäuse ausformulieren zu können.

Für industrielle Bildverarbeitungssysteme wird meist der Arbeitsabstand angegeben. Diese Größe gibt die Entfernung zwischen Objektivvorderkante und dem abzubildenden Objekt an (vgl. [14]). Diese Abstandsdefinition macht im Falle von kleinen Abständen und Objektiven mit Außengewinde aber keinen Sinn, da durch das Einstellen des Objektivs durch das Einschrauben des Objektivs sich auch der Arbeitsabstand verändern würde. Daher wird für diese Anwendung der Gesamtabstand zwischen dem Messobjekt und der Bildsensoroberkante zur Dimensionierung des Objektivs verwendet. In Abstimmung mit dem Gehäusedesign, soll dieser Abstand zwischen 40mm und 70mm liegen.

4.3.3.3 Abbildungsfehler

Im Folgenden sind die wichtigsten Abbildungsfehler angeführt:

Chromatische Aberration: Licht unterschiedlicher Wellenlänge wird unterschiedlich stark gebrochen. Wie in Abbildung 4.21 skizziert, führt diese Tatsache dazu, dass sich die verschiedenen Farben nicht in einer Ebene fokussieren lassen. Dadurch bilden sich farbabhängige Unschärfen in der Abbildung, welche als störende Farbränder sichtbar werden. Um diesen Fehlern entgegenzuwirken, werden Linsensysteme mit mehreren Linsen eingesetzt. Durch entsprechende Anordnung der Linsen kompensieren sich diese Fehler weitgehend. Reicht dies zum Beispiel für sehr genaue Messaufgaben nicht aus, ist eine monochromatische Beleuchtung notwendig (vgl. [5]). Dies könnte auch für das zu entwickelnde Kamerasystem interessant sein: Da für die Teststreifen keine Farbinformation notwendig ist, könnte eine monochromatische Lichtquelle zum Einsatz kommen.

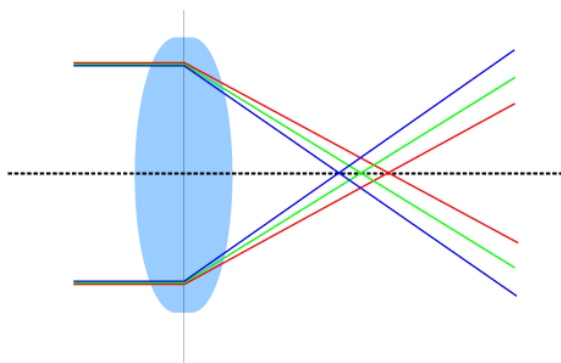


Abbildung 4.21: Skizze zur chromatischen Aberration²¹

Bildfeldwölbung: Da das Abbild durch das Objektiv auf einer gewölbten Fläche erzeugt wird, können nicht alle Bereiche scharfgestellt werden. In Abbildung 4.22 ist diese Gegebenheit skizziert. Auch hier kann durch Mehrlinsensysteme eine Korrektur erfolgen.

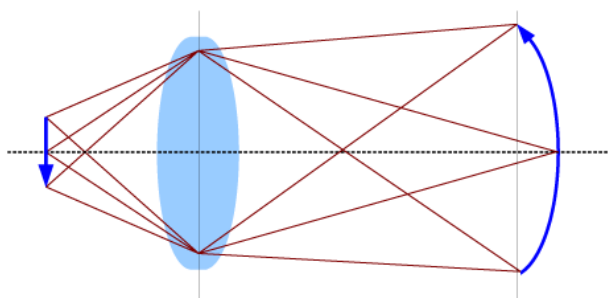


Abbildung 4.22: Skizze zur Bildfeldwölbung²²

²¹ Quelle: http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/opt_linsen/5c_chromatisch.htm
(Stand: 20.11.2010)

²² Quelle: http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/opt_linsen/5e_bildfeld.htm
(Stand: 20.11.2010)

Verzeichnung: Die Verzeichnung stellt einen geometrischen Abbildungsfehler dar. Dabei verändert sich der Abbildungsmaßstab mit zunehmender Entfernung eines Bildpunktes zur optischen Achse. Diese Krümmung führt, wie in Abbildung 4.23 dargestellt, je nach Änderungstendenz zu einer kissenförmigen oder zu einer tonnenförmigen Bildverzerrung.



Abbildung 4.23: Skizze zur Verzeichnung²³

4.3.3.4 Optisches Format

Wie im Abschnitt 4.2.7.2 bereits erläutert, beschreibt das optische Format den maximalen Durchmesser des Sensors. Das Objektiv muss dafür sorgen, dass der gesamte Bildsensor ausgeleuchtet wird. Daher muss das optische Format mindestens gleich dem optischen Format des Sensors sein. Da Fehler wie Bildfeldwölbung und Verzeichnung sich vor allem im Randbereich des Objektivs auswirken, ist es ein deutlicher Vorteil, wenn man ein größeres optisches Format als eigentlich erforderlich auswählt (vgl. [4]).

4.3.3.5 Schärfentiefe

Die Schärfentiefe ist ein Maß dafür, in welchem Bereich die Gegenstandsweite variieren kann und dabei das Abbild noch scharf dargestellt wird. In Abbildung 4.24 sind zwei Strahlenwege eingezeichnet. Dabei ist die Linse so angeordnet, dass ein Objekt in einem gewissen Abstand g_0 vor der Linse in der Bildebene scharf dargestellt wird. Das bedeutet, der Sensor befindet sich im Abstand b_0 hinter der Linse. Bleibt die Anordnung gleich und das Objekt wird näher herangebracht, so verschiebt sich die Ebene, in der das Objekt scharf abgebildet werden würde. Da der Sensor aber an seiner Position bleibt, schneiden die Lichtstrahlen die Bildebene zu früh und anstatt eines Punktes entsteht ein Zerstreungskreis mit einem Durchmesser C . Von einer detektierbaren Unschärfe kann erst gesprochen werden, wenn der Zerstreungskreis größer als ein Pixel ist, da vorher die Auffaserung des Lichtpunktes nicht bemerkbar ist (vgl. [5]).

²³ http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/opt_linsen/5f_verzeichnung.htm
(Stand: 20.11.2010)

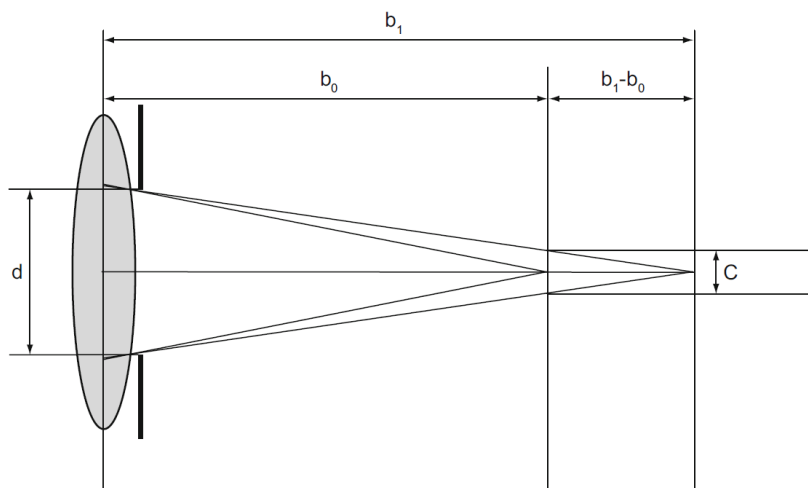


Abbildung 4.24: Skizze zur Schärfentiefe²⁴

Die Schärfentiefe wird durch die Blendenzahl beeinflusst: je kleiner die Blendenöffnung, desto größer die Schärfentiefe. Dies ist einfach in der Abbildung 4.24 zu sehen. Würde man hier die Blende verkleinern, so würde der Zerstreuungskreis ebenfalls kleiner werden und damit die Unschärfe. Weiters ist die Schärfentiefe noch von der Brennweite und dem Objektabstand abhängig, je kleiner die Brennweite und je größer der Abstand, desto größer die Schärfentiefe.

Da für das zu entwickelnde Kamerasystem ein Objektiv mit fixen Einstellungen zum Einsatz kommt, ist darauf zu achten, dass alle abzubildenden Objekte scharf dargestellt werden. Dies würde bedeuten, dass sich sowohl alle Teststreifen im gleichen Abstand zum Bildsensor befinden müssen, als auch die Hautoberfläche müsste durch die Hautauflage auf gleiche Distanz gehalten werden. Mit einer entsprechend großen Tiefenschärfe kann auch ein Versatz der aufzunehmenden Objekte erlaubt sein, was wiederum die Gestaltung der Teststreifenaufnahme einfacher macht. Weiters ist nach einigen Testaufnahmen festzuhalten, dass Unschärfe bei der Hautaufnahme sehr viel weniger als störend empfunden wird, als eine Unschärfe bei den Aufnahmen für die pixelgenauen Bildverarbeitungsprozesse für die Teststreifen.

4.3.3.6 Zusammenfassung

Auf den Bildsensor soll ein quadratischer Bereich mit 22mm Kantenlänge abgebildet werden. Der Objektabstand soll zwischen 40mm und 70mm betragen, wobei ein höherer Objektabstand besser für die Schärfentiefe ist, jedoch das Gehäusedesign schwieriger gestalten kann. Die Brennweite des Objektivs soll nach (4-3) zwischen 2,5 und 4,3 mm liegen.

²⁴ Quelle: [5], S.272 Mit freundlicher Genehmigung des Verlags

4.4 Beleuchtung

„Wir nehmen mit der Kamera nicht das Messobjekt auf, sondern dessen Wirkung auf die gegebene Beleuchtung.“²⁵

Die Beleuchtung ist insbesondere im Falle des zu entwickelnden Kamerasystems von großer Bedeutung. Angesichts der verschiedenen Messobjekte, welche alle mit dem gleichen Bildsensor und der gleichen Optik abgebildet werden müssen, ist die Wahl und Anordnung der Beleuchtung die Basis für eine funktionierende Bildauswertung.

4.4.1 Lichtquellen

Grundsätzlich sind Bildaufnahmen auch mit Tageslicht möglich. Durch die Tageszeit- und Wetterabhängigkeit ist dies jedoch in den meisten Fällen keine geeignete Lichtquelle für Bildverarbeitungssysteme. Vielmehr muss die Gehäusekonstruktion bestmöglich dafür sorgen, dass kein Tageslicht die Bildaufnahme beeinflusst.

4.4.1.1 Laser

Laserlicht ist eine extrem schmalbandige Beleuchtung und durch die gute Fokussiermöglichkeit insbesondere für Strukturbeleuchtungen im Einsatz. In Abbildung 4.25 ist ein Beispiel mit gitterförmigem Laserlicht dargestellt.

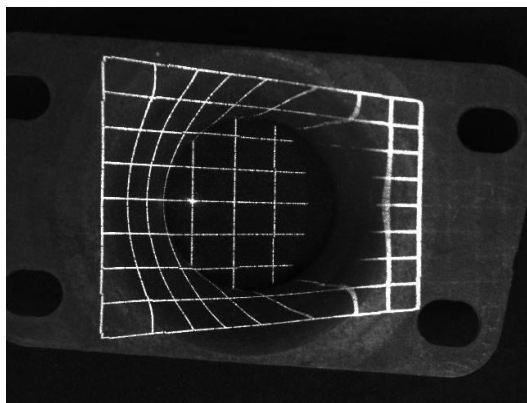


Abbildung 4.25: Beispiel Strukturbeleuchtung²⁶

Wie in dieser Abbildung zu sehen ist, kann ein Rückschluss auf die räumlichen Eigenschaften des Objekts an Hand dem Verlauf der Gitternetzlinien erfolgen (vgl. [5]). Diese Methode wäre eine Möglichkeit den Faltest zu auswerten. Allerdings ist diese Variante aufgrund der zu hohen Systemkosten auszuschließen.

²⁵ Aus Azad P.; Gockel T.; Dillmann R.: *Computer Vision*. Elektor-Verlag, 2009

²⁶ Quelle: <http://www.vision-doctor.de/de/laser-beleuchtung.html> (Stand: 17.10.2010)

4.4.1.2 Leuchtstoffröhren

Leuchtstoffröhren sind für Bildverarbeitungssysteme praktisch nur noch für sehr großflächige Messobjekte im Einsatz. In ringförmiger Bauform findet man sie noch in der Mikroskopie (vgl. [5]). Aufgrund der zu großen Abmessungen und des notwendigen Vorschaltgerätes ist diese Art der Beleuchtung aber hier nicht einsetzbar.

4.4.1.3 Leuchtdioden

Leuchtdioden oder kurz LED (für Light Emitting Diode) sind die heutzutage am häufigsten eingesetzten Lichtquellen für die industrielle Bildverarbeitung. Dies ist durch die vielen Vorteile von Leuchtdioden zu erklären (vgl. [5] und [4]):

- Hohe Effizienz bzw. geringer Stromverbrauch
- Geringe Wärmeentwicklung
- Hohe Lebensdauer
- Kompakte Abmessungen
- Kostengünstig
- Unempfindlich gegen leichte Erschütterungen
- Verschiedenste Wellenlängen verfügbar
- Einfach auf Leiterplatten zu montieren
- Einfache Ansteuerung

Diese Eigenschaften machen Leuchtdioden zur idealen Lichtquelle für das zu entwickelnde Kamerasystem. Die Anforderungen der einzelnen Messmodi sind durch die Wahl der richtigen Eigenschaften und durch die richtige Anordnung der Beleuchtung zu erfüllen.

Im Folgenden sollen verschiedene, in der industriellen Bildverarbeitung eingesetzte, Beleuchtungsverfahren auf ihre Eignung für die vorliegenden Anwendungsfälle geprüft werden. Wenn möglich soll auch eine erste Vorauswahl über die grundsätzliche Anordnung der Beleuchtung getroffen werden.

4.4.2 Beleuchtungstechniken

Die folgenden Beleuchtungsmöglichkeiten orientieren sich an der praxisnahen Darstellung aus [6] und den Erläuterungen aus [5], [7] und [4]. Aufgrund der gegebenen Anforderungen werden Beleuchtungen für transparente Objekte nicht betrachtet.

4.4.2.1 Hintergrundbeleuchtung

Hier wird das abzubildende Objekt von unten beleuchtet. Die Kamera kann also nur die Außenkontur des Objekts betrachten. Diese Methode eignet sich sehr gut zur Kontrolle der Außenabmessungen von Werkstücken. Für die vorliegende Messaufgabe ist diese Anordnung jedoch nicht einsetzbar.

4.4.2.2 Direktes Auflicht

Hierbei wird die Beleuchtung meist ringförmig um das Kameraobjektiv angeordnet. Der Vorteil liegt in der gleichmäßigen Beleuchtung und der geringen Schattenbildung. Der große Nachteil dieser Variante sind die starken Reflexionen, welche zum Beispiel auf glatten Metallflächen auftreten können (vgl. [6]). Diese Reflexionen sind sowohl für die Abbildung der Haut als auch für die Abbildung der Teststreifen sehr störend, da diese im Allgemeinen eine lokale Überbelichtung im Kamerabild bewirken. Dies kann dazu führen, dass das Bild an dieser Stelle nicht ausgewertet werden kann.

4.4.2.3 Diffuses Auflicht

Der Problematik der Reflexionen wird entschieden durch den Einsatz einer diffusen Beleuchtung entgegengewirkt. Dabei wird beispielsweise durch Positionierung eines milchigen Glases direkt vor der Beleuchtung das Licht zerstreut. Im Kamerabild werden somit die durch Reflexionen entstehenden lokalen Überbelichtungen reduziert und das Bild wird sehr viel gleichmäßiger ausgeleuchtet (vgl. [5]). Daher ist eine diffuse Beleuchtung zu bevorzugen.

Der Vorteil der gleichmäßigen Ausleuchtung durch die Beleuchtung von oben ist zugleich auch der größte Nachteil bei Betrachtung des Hautabdrucks. Hier würde diese Art der Beleuchtung keine räumliche Interpretation der Hautoberfläche zulassen.

4.4.2.4 Seitliche Beleuchtung

Positioniert man eine Beleuchtung seitlich des Messobjektes, sodass das Licht schräg von einer Seite einfällt, so kommt es hinter Erhöhungen zu einer Schattenbildung. Dadurch erhält man einen besseren Kontrast, wie es im rechten Teil der Abbildung 4.26 ersichtlich ist. Links ist zum Vergleich eine Abbildung des Hautabdrucks die mit einer gleichmäßigen Beleuchtung von oben aufgenommen wurde.

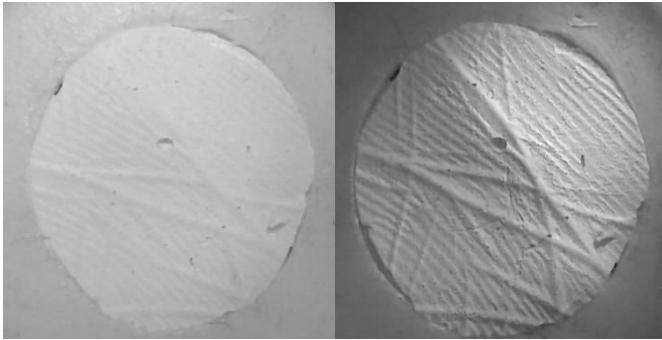


Abbildung 4.26: Vergleich von Aufsicht und seitlicher Beleuchtung

Auch die Problematik von Reflexionen ist durch eine seitliche Beleuchtung leichter zu unterdrücken. Dies ist mit dem Reflexionsgesetz erklärbar, welches besagt, dass der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel entspricht (vgl. [9]). Daraus folgt, dass flach einfallendes Licht zwar reflektiert wird, jedoch nicht in das Kamerabild zurück, wie Abbildung 4.27 illustrieren soll.

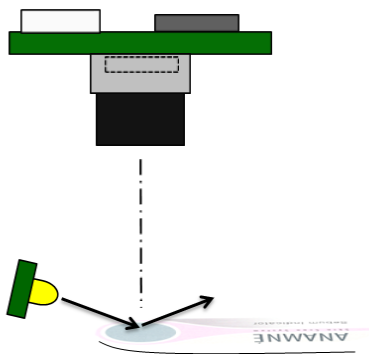


Abbildung 4.27: Reflexion bei seitlicher Beleuchtung

4.4.3 Lösungsansatz

In der Designphase sollen die folgenden Lösungsmöglichkeiten geprüft werden.

4.4.3.1 Beleuchtung für den Hautabdruck

Es soll eine seitliche Beleuchtung eingesetzt werden. Durch die Auswertung der Breiten der Schattenwürfe ist zudem eine Abschätzung der Faltentiefe bzw. der Abdruckhöhe durchführbar. Eine Tatsache, die für die Auswertung bzw. Darstellung durch die Applikation sehr anschauliche Ergebnisse liefern kann. Der Beleuchtungswinkel sollte nicht zu steil sein, damit auch kleine Falten noch vermessen werden können. Auf der anderen Seite darf er auch nicht zu flach sein, da dadurch Unebenheiten des Silikonabdruckes als dunkle Stellen im Bild erscheinen. Verläuft eine Hautfalte parallel zum einfallenden Licht, so wirft diese Falte keinen Schatten. Beleuchtungen aus mehreren Richtungen, welche sequenziell eingeschaltet werden, sollen daher vorgesehen werden.

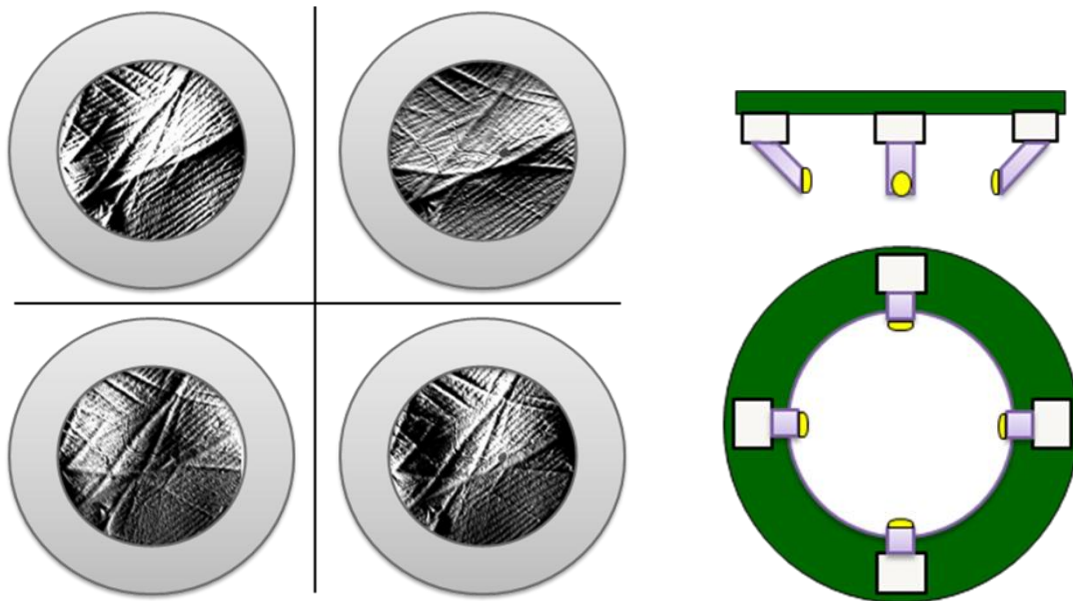


Abbildung 4.28: Beleuchtung eines Hautabdrucks aus verschiedenen Richtungen

Dabei soll die Kamera durch den Ausschnitt des Beleuchtungsmoduls hindurch auf das abzubildende Objekt „sehen“.

4.4.3.2 Beleuchtung für die Teststreifen und die Haut

Aufgrund der zu erwartenden Reflexionen soll entweder ein diffuses Auflicht oder eine seitliche Beleuchtung aus mehreren Richtungen zugleich eingesetzt werden.

Lösungsansatz 1:

- Diffuses, weißes Auflicht für die Beleuchtung von Hautfett- und Hautfeuchteindikatoren sowie für die direkten Hautaufnahmen
- Seitliches Licht aus verschiedenen Richtungen für die Aufnahmen des Hautabdrucks. Das Licht kann auch monochrom sein.

Bei dieser Variante würde der Vorteil der gleichmäßigen Ausleuchtung durch das Auflicht für die Hautaufnahmen genutzt werden. Die seitliche Beleuchtung wird für die Hautfaltenmessung optimiert. Sie könnte auch monochrom sein, was im Allgemeinen Vorteile bringt, da keine Farbfehler des Objektivs oder des Bildsensors zum Tragen kommen.

Lösungsansatz 2:

- Seitliche Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen für die Auswertung der Faltentiefe mit weißen Leuchtdioden

- Für die Beleuchtung von Hautfett und Hautfeuchteteststreifen, sowie für die direkten Hautaufnahmen wird die Beleuchtung für alle Richtungen aktiviert.

Hier ist der Vorteil, dass weniger Leuchtdioden benötigt werden und eine Beleuchtung von der Seite keine Reflexionen im Kamerabild verursacht. Allerdings ist hier die gleichmäßige Beleuchtung schwieriger zu realisieren. Aufgrund der geringeren Kosten und des geringeren Platzbedarfs wird diese Lösung aber trotzdem bevorzugt.

4.5 Bedienelement

Gemeinsam mit dem Projektauftraggeber wird festgelegt, dass für den Hautabbildungsmodus eine Art Auslöser vorgesehen sein soll. Für die Teststreifen soll dies nicht notwendig sein. Hierbei soll das Kamerasystem die Teststreifen automatisch erkennen, ein Bild aufnehmen und die jeweilige Analyseverfahren abarbeiten.

Das Bedienelement soll so positioniert sein, dass es gut erreichbar ist und zugleich sollen versehentliche Betätigungen vermeidbar sein. Je nach Möglichkeit sollte auf Kanten und Rillen im Kunststoffgehäuse zugunsten einer guten Reinigbarkeit verzichtet werden.

4.5.1 Drucktaster

Ein Drucktaster, der entweder auf eine Leiterplatte aufgelötet wird oder direkt am Gehäuse befestigt ist, ist eine einfache und kostengünstige Lösung. Nachteil wäre hierbei, dass es ein bewegliches Kunststoffteil zur Betätigung geben muss und dass eine nicht unerhebliche Bauhöhe berücksichtigt werden muss.



Abbildung 4.29: Beispielfoto Drucktaster²⁷

4.5.2 Kapazitiver Taster

Die indirekte Messung der Kapazitätsänderung, die bei Berührung einer Sensorfläche mit dem Finger auftritt, kann als Detektor für eine Tastenberührung genutzt werden. Bei kapazitiven Tastern handelt es sich im Allgemeinen um einen Näherungssensor, der

²⁷ Quelle: www.tycoelectronics.com (Stand: 09.01.2011)

auch unter einer Abdeckung aus Kunststoff positioniert sein kann. Der große Vorteil ist, dass kein mechanisch bewegtes Teil vorhanden sein muss, dass die Oberfläche dadurch nicht unterbrochen und dadurch leicht zu reinigen ist und dass die Sensorfläche, wie in Abbildung 4.30 dargestellt, einfach als Kupferfläche auf einer Leiterplatte ausgeführt werden kann.

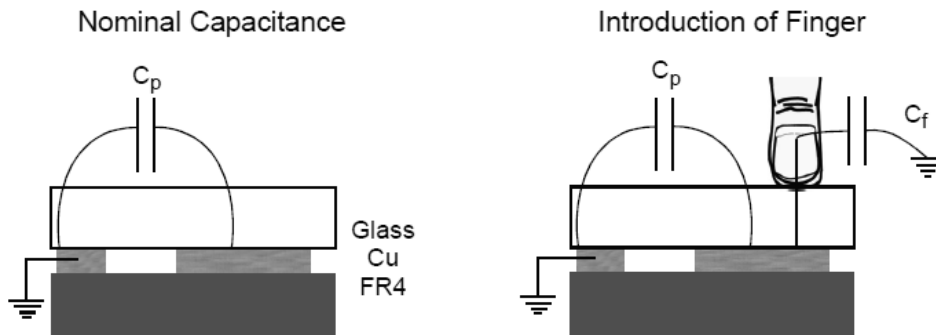


Abbildung 4.30: Prinzip des kapazitiven Tasters²⁸

Zur Auswertung der Kapazitätsänderung sind kostengünstige integrierte Bauteile am Markt. Aber auch Hersteller von Mikrocontrollern haben diese Anwendung für sich entdeckt. Beispielsweise stehen hinter den Namen QTouch (©Atmel Cooperation) oder MTouch (©Microchip Technology Inc) keine aufwendigen neuen Bausteine für Näherungssensoren. Es sind „nur“ Softwarebibliotheken, welche mit einem Standard-Mikrocontroller und einer Kupferfläche eine einfache und extrem kostengünstige Realisierung von kapazitiven Tastern ermöglichen. Die jeweiligen Realisierungen sind zum Beispiel ausführlich in [2] beschrieben.

Nachteil ist, dass diese Art von Tastern bei einem in der Hand gehaltenen Gerät sehr leicht unbeabsichtigt betätigt werden können. Durch konstruktive Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Reduktion der Empfindlichkeit und eine Vertiefung im Kunststoffgehäuse, welche den Sensorbereich kennzeichnet, könnte dieses ungewollte Betätigen erschwert werden. Noch besser wäre es, den Taster nicht als Einzelsensor auszuführen, sondern als sogenannten Slide-Sensor. Diese Bezeichnung beschreibt eine Anordnung von mehreren Sensorflächen in einer Reihe, wobei jede eine eigene Auswertung besitzt. Eine mögliche Anordnung mit drei Elementen ist in Abbildung 4.31 dargestellt.

²⁸ Quelle: Perme T.: AN1101 Introduction to Capacitive Sensing. Microchip Technology Inc, 2007

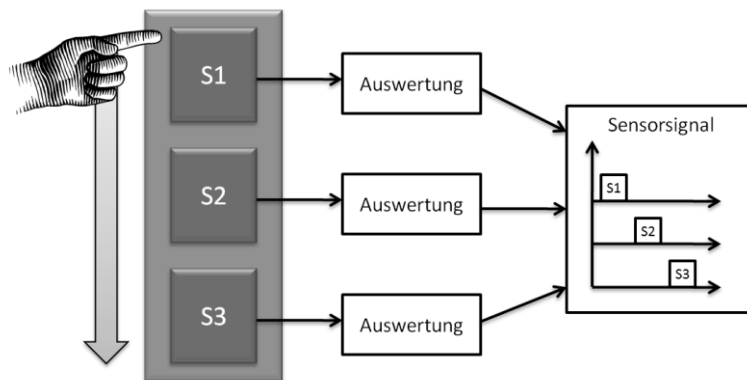


Abbildung 4.31: Kapazitiver Slide Sensor

Diese Variante wird zum Beispiel zur Einstellung der Lautstärke bei Musikabspielgeräten oder zur Einstellung der Temperatur bei Heizungssteuerungen eingesetzt. Für das Bedienelement am Kameramodul hätte diese Variante den großen Vorteil, dass nur eine kontinuierliche Bewegung des Fingers über das Sensorfeld als gültiger „Tastendruck“ erkannt werden könnte. Dadurch würden Fehlauflösungen wirkungsvoll verhindert. Ein weiterer Vorteil wäre die Flexibilität, da zum Beispiel eine Bewegung in die entgegengesetzte Richtung einer anderen Funktion zugeordnet werden könnte.

An dieser Stelle kann noch keine Entscheidung über die einzusetzende Tastervariante getroffen werden. In der Designphase erfolgt abhängig vom Gehäusekonzept die Umsetzung einer dieser Lösungswege.

4.5.3 Statusanzeige

Um dem Nutzer eine Rückmeldung über den Gerätezustand zu geben, soll eine Gerätebeleuchtung im Bereich des Bedienelements implementiert werden. Dies kann durch Leuchtdioden auf der Leiterplatte des Tasters in Kombination mit sehr dünnen und daher lichtdurchlässigen Kunststoffteilen erfolgen.

4.6 Computerschnittstelle

Für die Übertragung von Daten von einem Peripheriegerät zu einem Computer ist eine Vielzahl von Schnittstellen standardisiert. Im Folgenden soll aus diesem Angebot eine zur Anwendung passende Schnittstelle ausgesucht werden.

4.6.1 Anforderungen

Allgemein formuliert sind die wichtigsten Anforderungen an die Computerschnittstelle folgend zu beschreiben:

- Datenrate ausreichend für die Übertragung von Livebildern
- Geringe Latenzzeit (Kein merkbarer Zeitversatz bei der Videoübertragung)
- Bidirektionale Kommunikation möglich
- Kein Einbau von zusätzlichen Hardwarekomponenten notwendig
- Gerätestromversorgung über die Schnittstelle
- Verfügbarkeit von Standardkabeln

4.6.1.1 Bidirektionale Kommunikation

Es muss gewährleistet sein, dass Daten von der Kamera zum Computer und Steuerinformationen vom Computer zur Kamera gleichzeitig übertragbar sind. Auf keinen Fall darf die Bearbeitung von Steuerfunktionen die Echtzeitfähigkeit bei der Bildübermittlung beeinflussen.

4.6.1.2 Datenrate

Die Datenrate der Livebildübertragung vom Kamerasystem zum Computer erhält man durch Multiplikation der Anzahl der Pixel eines Einzelbildes mit der verwendeten Anzahl der Speicherstellen je Pixel und der Anzahl der pro Sekunde übertragenen Bilder.

Dabei beschreibt die Anzahl der Speicherstellen eines Pixels beim RAW-Format die Anzahl der Quantisierungsstufen der Helligkeitswerte (z. B.: 8 Bit entsprechen 256 Quantisierungsstufen). Beim RGB-Format werden bei 8 Bit Auflösung bereits 24 Bit pro Pixel benötigt, da die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau jeweils mit 8 Bit beschrieben werden.

Für das zu entwickelnde Kamerasystem wurden folgende Werte als Minimum definiert:

- Anzahl der Pixel: 480x480 (Verwendung einer Fensterfunktion des Bildsensors)
- Speicherstellen pro Pixel: 8 Bit (RAW-Format)
- Bilder pro Sekunde: 5 fps

Daraus ergibt sich aus (4-4) eine minimale Datenrate von 9,216 Mbit/s (kurz für: Megabit pro Sekunde).

$$480 \times 480 \text{ Pixel} \times 8\text{Bit} \times 5\text{fps} = 9,216 \text{ MBitps} \quad (4-4)$$

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen werden hier folgende Schnittstellen näher betrachtet:

- CameraLink®
- FireWire®
- Gigabit-Ethernet
- USB 2.0

Es existiert eine Vielzahl weiterer Schnittstellenstandards, welche aber aufgrund zu geringer Datenraten nicht weiter betrachtet werden.

4.6.2 CameraLink®

Wie der Name bereits vermuten lässt, wurde dieser Schnittstellenstandard speziell für die Übertragung von Bilddaten entwickelt. Das Besondere an dieser Schnittstelle ist die Tatsache, dass durch die parallele Datenübertragung sehr hohe Datenraten mit über 2Gbit/s (kurz für: Gigabit pro Sekunde) möglich sind. Da diese Schnittstelle auf Standard-Computern in der Regel nicht vorgesehen ist, ist eine spezielle Einsteckkarte notwendig. Diese Karte sorgt für viele Vorteile: Der Prozessor des Computers wird kaum belastet, da die Bilddaten direkt in den Arbeitsspeicher geschrieben werden. Außerdem sind auch noch aufwendigere Einsteckkarten verfügbar, welche verschiedenste Bildvorverarbeitungen durchführen können (vgl. [5], S. 252). Diese notwendige Einsteckkarte ist, bezogen auf das zu entwickelnde Kamerasystem, zugleich aber auch der größte Nachteil. Eine wichtige Voraussetzung für die Schnittstelle ist die Verfügbarkeit bzw. das Vorhandensein auf Standardrechnern und Laptops. Daher kann diese Schnittstelle trotz ihrer vielen Vorteile nicht eingesetzt werden.

4.6.3 FireWire®

Eine Kooperation von Apple und Sony entwickelte diesen seriellen Bus, welcher unter der Bezeichnung IEEE1394a im Jahre 1995 spezifiziert wurde. Dieser Standard legte die maximale Datenrate mit 400Mbit/s fest. Eine Erweiterung des Standards mit höheren Datenraten (bis 3200Mbit/s) wurde 2002 veröffentlicht. Diese Schnittstelle wird aufgrund vieler Vorteile sehr häufig für industrielle Bildverarbeitungssysteme eingesetzt (vgl. [5]):

- Hot-Plugging-Fähigkeit: Dies bedeutet, dass Geräte im laufenden Betrieb an- und abgesteckt werden können und der Rechner automatisch das Gerät anspricht.
- Spannungsversorgung über den Bus: 12 V und bis zu 500–750 mA stehen zur Verfügung. Dies ist allerdings nur bei der 6-poligen Variante gegeben. Bei der 4-poligen Variante ist dies nicht der Fall.
- Automatische Erkennung der Übertragungsrate von Peripheriegeräten
- Kaskadieren mehrerer Geräte ist möglich

Bei der Betrachtung aktuell erhältlicher Computer kann festgestellt werden, dass bei hochpreisigeren Systemen eine FireWire Schnittstelle zwar vorgesehen ist, in allen betrachteten Fällen handelt es sich dabei aber um die 4-polige Variante ohne Stromversorgungsmöglichkeit für das Peripheriegerät.²⁹ Aus diesem Grund kann die FireWire Schnittstelle nicht eingesetzt werden, da das zu entwickelnde Kamerasystem ohne externe Versorgung auskommen soll.

4.6.4 Gigabit-Ethernet

Die Standardschnittstelle für Computer-Netzwerke ist insbesondere in der dritten Generation mit 1000 Mbit/s Übertragungsrate für die Bilddatenübertragung interessant geworden. Durch die gute Verfügbarkeit der Systemkomponenten, die hohe Datenübertragungsrate und die Möglichkeit von langen Kabelverbindungen sind immer mehr Kameras für die industrielle Bildverarbeitung mit dieser Schnittstelle ausgerüstet. Durch die Zweckentfremdung ist allerdings die Kompatibilität unter den Systemkomponenten nicht automatisch gegeben und auch die Standardprotokolle sind nur bedingt geeignet (vgl. [5]).

Die Gigabit Ethernet-Schnittstelle ist bei gängigen Computern relativ weit verbreitet. Für das zu entwickelnde Kamerasystem jedoch, ist diese Schnittstelle aus einem ähnlichen Grund wie die FireWire Schnittstelle nicht einzusetzen: Die Stromversorgung des Kamerasystems würde nur bei Power-over-Ethernet kompatiblen Schnittstellen möglich sein. Diese Schnittstelle ist vor allem bei Laptops nur in Ausnahmefällen verfügbar. Daher ist auch diese Schnittstelle nicht verwendbar.

²⁹ Betrachtung der Produktportfolios von DELL, HP, Toshiba (Stand: 09.10.2010)

4.6.5 Universal Serial Bus

Die derzeit für die Verbindung von Peripheriegeräten mit einem Computer am häufigsten eingesetzte Schnittstelle ist die USB-Schnittstelle (kurz für: Universal Serial Bus). Die einfache Versorgung der Geräte über den Bus, die Verfügbarkeit auf praktisch jedem Computer und die vielen anwenderfreundlichen Eigenschaften verhalfen dieser Schnittstelle zum Erfolg. Für die industrielle Bildverarbeitung wurde die USB-Verbindung erst mit Einführung des High-Speed-USB Standards mit 480MBit/s interessant. Dieser Standard wurde im Jahr 2000 in der USB Spezifikation 2.0 veröffentlicht. Demnach sieht gegenüber der FireWire-Schnittstelle folgende Nachteile: eine geringere EMV-Festigkeit, eine höhere Belastung des Prozessors und eine geringere Echtzeitfähigkeit. Dies verhindere, dass sich USB bisweilen in der industriellen Bildverarbeitung durchsetzen konnte (vgl. [5]).

Für das zu entwickelnde Kamerasystem überwiegen die Vorteile von USB jedoch deutlich. Da es, wie im Abschnitt 4.7 erläutert wird, bereits integrierte Bausteine am Markt gibt, welche USB kompatibel sind, ist eine kostengünstige Implementierung sehr wahrscheinlich. Daher kann an dieser Stelle die USB-Schnittstelle für die Kommunikation mit dem Computer ausgesucht werden.

Die wichtigsten Eigenschaften werden im Folgenden näher betrachtet.

4.6.5.1 Busstruktur

Die logische Struktur bei USB ist sternförmig. Das bedeutet, dass es einen sogenannten USB-Host gibt, welcher im Standardfall im Computer implementiert ist und die gesamte Bussteuerung übernimmt. Am Host können bis zu 127 Geräte, sogenannte Devices, angeschlossen und vom Host angesprochen werden. Jedes dieser Geräte hat ein oder auch mehrere sogenannte Interfaces. Zum Beispiel hat ein USB-Speicher nur eine Funktion als Massenspeichergerät und damit nur ein Interface, ein externer USB-CD-Brenner jedoch kann sowohl als Massenspeicher als auch als Audiogerät beim Abspielen von Musik-CDs fungieren. Dieses Gerät hat somit 2 Interfaces.

Jedes Interface hat einen oder auch mehrere sogenannte Endpoints (englisch für Endpunkte), welche Pufferspeicher darstellen, die vom Host gelesen (In-Endpoint) oder beschrieben (Out-Endpoint) werden können. In Abbildung 4.32 sind die Bestandteile zusammenhängend dargestellt.

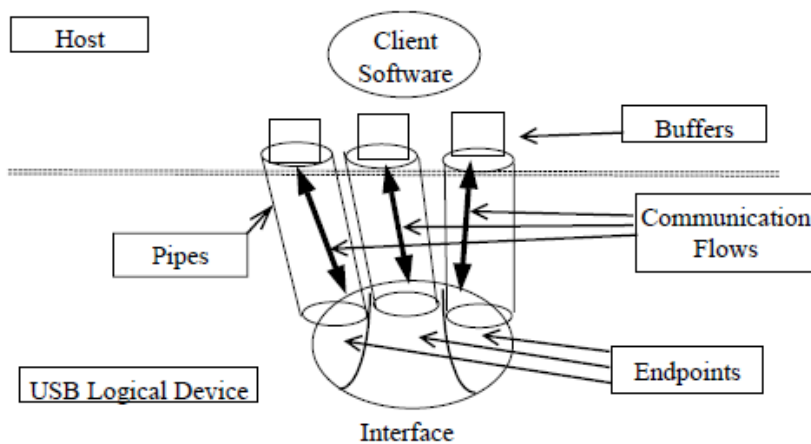


Abbildung 4.32: Übersicht über die logischen USB Komponenten³⁰

Wie gezeigt erfolgt der Zugriff auf diese Endpoints über sogenannte Pipes. Dies ist jedoch eine logische Betrachtung. Es existiert nur eine Verbindung über das USB-Kabel, über welche der gesamte Datenaustausch vollzogen wird.

Physikalisch gesehen handelt es sich bei USB um eine Baumstruktur. Am Host sind also nicht direkt bis zu 127 Geräte anschließbar. Dafür gibt es Verteiler, sogenannte Hubs, über die der Host mit den Geräten kommunizieren kann. Für die Software sieht es jedoch so aus, als wären die Geräte direkt am Host angeschlossen (vgl. [16]).

4.6.5.2 Konfiguration

Nach dem Anstecken eines USB-Gerätes wird dieses zurückgesetzt und meldet sich mit der Adresse 0 beim Host an. Der Host vergibt nun eine Adresse zwischen 1 und 127 und liest anschließend die Eigenschaften des Gerätes aus. Damit der Host die Konfiguration auslesen kann und auch eine Adresse vergeben kann, ist immer ein Endpoint 0 implementiert. Dieser kann im Gegensatz zu allen anderen Endpunkten, sowohl beschrieben als auch ausgelesen werden. Über diesen Endpoint holt sich der Host nun alle notwendigen Informationen wie zum Beispiel eine Produktidentifikationsnummer oder die Anzahl der Endpunkte in Form von sogenannten Deskriptoren (vgl. [16]).

4.6.5.3 Transfermodus

Für die USB-Endpoints sind je nach Anforderung vier verschiedene Transfermodi spezifiziert:

Control-Transfer: Diese Transferart hat die höchste Priorität und ist gegen Übertragungsfehler geschützt. Sie wird vor allem für die Kommunikation mit dem Endpoint 0

³⁰ Quelle: USB Implementers Forum: Universal Serial Bus Specification Revision 2.0, 2000

verwendet, kann aber auch für die Übertragung sehr kleiner Datenmengen genutzt werden (vgl. [16]).

Interrupt-Transfer: Dieser Modus wird zur Übertragung von kleinen Datenmengen, welche in unregelmäßigen Zeitabständen zur Verfügung stehen und zum Computer übertragen werden müssen, verwendet. Vor allem Eingabegeräte wie Maus oder Tastatur nutzen diesen Modus. Die Daten sind mit einer Prüfsumme gesichert, beim Auftreten von Übertragungsfehlern erfolgt bis zu dreimal eine Wiederholung des Sendevorgangs. Die Bezeichnung Interrupt-Transfer ist etwas irreführend, da ein USB-Gerät keine Möglichkeit hat, einen Interrupt (englisch für: Unterbrechung) auszulösen. Vielmehr ist es so, dass das Gerät lediglich in fixen Zeitabständen abgefragt wird (vgl. [16]). Dieser Modus könnte theoretisch für das Auslesen des Bedienelements zum Einsatz kommen.

Bulk-Transfer: Für große Datenmengen, die nicht zeitkritisch sind, kommt dieser Modus zum Einsatz. Das Hauptanwendungsgebiet sind die USB-Massenspeicher. Die relativ großen Datenpakete haben keine hohe Priorität und werden erst abgearbeitet, wenn alle anderen Transfers abgeschlossen sind. Wie beim Interrupt Transfer sind die Daten mit einer Prüfsumme gesichert und es erfolgt ebenfalls beim Auftreten von Übertragungsfehlern bis zu dreimal eine Wiederholung des Sendevorgangs (vgl. [16]). Dies führt jedoch zu einer beschränkten Echtzeitfähigkeit bei großen Datenraten.

Isochroner Transfer: Der große Vorteil dieser Transferart ist die Zuweisung einer garantierten Datenrate durch den Host. Allerdings gibt es keinen Schutz vor Übertragungsfehlern wie bei den anderen Transferarten. Diese werden lediglich erkannt, es erfolgt jedoch keine automatische Wiederholung des Sendevorgangs. Dieser Modus wird vor allem für die Übertragung von Echtzeit Audio- oder auch Videodaten eingesetzt, da hier die konstante Übertragung ohne Verzögerungszeiten besonders wichtig ist (vgl. [16]). Daher soll dieser Modus auch für die Übertragung der Bilddaten des zu entwickelnden Kamerasystems zum Einsatz kommen. Beim Auftreten von Übertragungsfehlern wird das entsprechende Datenpaket von der Applikation verworfen, und durch das vorhergehende Bild ersetzt. Daher sieht der Nutzer das gleiche Bild zweimal hintereinander. Bei entsprechender Datenrate ist aber davon auszugehen, dass dies der Nutzer nicht bemerkt.

4.6.5.4 Geschwindigkeitsklasse

Für den USB-Standard sind die in Tabelle 4-3 angeführten Geschwindigkeitsklassen festgelegt worden. Die neueste Klasse bildet USB Super-Speed. Der Standard wurde

2008 in der Version 3.0 der USB Spezifikation implementiert. Allerdings sind aktuell noch kaum Endgeräte oder USB-Controller am Markt, welche diesen Standard erfüllen.

Tabelle 4-3: USB-Geschwindigkeitsklassen

Geschwindigkeitsklasse	Datenrate
Low-Speed	1,5 Mbit/s
Full-Speed	12 Mbit/s
High-Speed	480 Mbit/s
Super-Speed	5 Gbit/s

Um die erforderliche Klasse festlegen zu können, wird die minimale Datenrate zur Übertragung der Bilddaten aus Abschnitt 4.6.1.2 von 9,216 Mbit/s mit der möglichen Datenrate der Schnittstelle verglichen. Einem ersten Vergleich nach müsste USB-Full-Speed mit 12Mbit/s ausreichen. Dies ist jedoch nur die Brutto-Datenrate, daher die Übertragungsgeschwindigkeit von Daten und dem Protokollüberhang, wie zum Beispiel der Prüfsumme. Bei USB-Full-Speed wird eine maximale Datenübertragungsrate von 8,184 Mbit/s im isochronen Transfer Modus ermöglicht (vgl. [16]). Dies reicht für die Applikation eindeutig nicht mehr aus. Zudem würde bei weiteren Geräten am Bus die Datenrate weiter eingeschränkt werden. Es muss daher definitiv ein High-Speed Gerät realisiert werden.

4.7 Prozessor

Wie in der Komponentenübersicht in Abbildung 4.1 ersichtlich, bildet der Prozessor die zentrale Verbindungsstelle aller Module.

4.7.1 Anforderungen

Die Aufgaben können wie folgt beschrieben werden:

Bildsensor: Steuerung des Sensors über ein serielles Interface je nach aktueller Anforderung und Auslesen der Bilddaten.

Beleuchtung: Ansteuerung der Leuchtdioden-Gruppen je nach aktuellem Messmodus.

Bedienelement: Jeder Tastendruck muss erkannt und dem externen Rechner über die USB-Schnittstelle mitgeteilt werden.

Kommunikation mit dem Computer über die USB-Schnittstelle: Dieser Punkt ist das entscheidendste Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Prozessors. Der Prozessor

muss in der Lage sein, die Übertragungsraten für USB2.0 High-Speed zu liefern und die Bilddaten in Echtzeit zu senden.

4.7.2 Realisierungsmöglichkeiten

Nach einer Betrachtung der verfügbaren Bausteine und der Stückpreise sind folgende Lösungsmöglichkeiten als realistisch einzustufen:

4.7.2.1 USB-Videocontroller (ASIC)

Die Forderung nach kostengünstigen USB-Kameramodulen für den Massenmarkt wurde insbesondere durch die weite Verbreitung von sogenannten Webcams erhöht. Auch die Unterhaltungsindustrie hat die Verwendung von USB-Kameramodulen zur Erkennung von Handbewegungen zur Steuerung interaktiver Spiele für sich entdeckt.³¹

Diese Entwicklungen führten zu Kooperationen von Bildsensorherstellern und Prozessorherstellern und in weiterer Folge zur Markteinführung von anwendungsspezifischen, integrierten Bausteinen sogenannten ASICs (kurz für: Application Specified Integrated Circuit)³². Diese Bausteine übernehmen die Steuerung des Bildsensors und die direkte Ausgabe der Bildinformationen an eine USB-Schnittstelle. Der große Vorteil dieser Lösung wäre die Tatsache, dass in den meisten Fällen Gerätetreiber vom Hersteller zur Verfügung stehen und nicht erst programmiert werden müssen. Weiters entfällt die Firmware-Programmierung, da die Funktionen zum Großteil hardwaremäßig implementiert sind und die Steuerung über den Gerätetreiber erfolgt.

Der größte Nachteil ist die schlechte Verfügbarkeit. Durch die Fokussierung dieser Produkte auf den Massenmarkt sind für diese Bausteine in allen betrachteten Fällen nicht akzeptable Mindestbestellmengen veranschlagt. Ein weiterer Nachteil ist die Spezialisierung. Daher ist die Anzahl von frei zu verwendenden Ein-oder Ausgängen stark eingeschränkt. Da die Nachfrage nach kostengünstigen und kundenspezifischen Kamerasystemen weiter ansteigt, ist es anzustreben das Kamerasystem flexibel zu gestalten, um auch zukünftige Kundenwünsche erfüllen zu können. Aus diesen Gründen wird dieser Lösungsweg nicht weiter verfolgt.

4.7.2.2 Mikrocontroller mit USB2.0 Interface

Eine weitaus flexiblere Variante ist der Einsatz eines Mikrocontrollers mit integriertem USB-Interface. Bei Mikrocontrollern handelt es sich um Prozessoren, die auf dem glei-

³¹ Beispiel: Sony Eye Toy auf <http://de.playstation.com/>

³² Vergleich der Auflistung auf <http://www.ovcam.org/ov511/cameras.html> vom 12.12.2010

chen Halbleiterbaustein auch Peripheriemodule wie zum Beispiel Analog-Digital-Wandler implementiert haben (vgl. [8]). Grundsätzlich bestünde auch die Möglichkeit, einen Standard-Mikrocontroller ohne USB2.0 Interface mit einem externen Schnittstellentreiberbaustein zu verwenden. Mit dieser Variante könnte jedoch der erforderliche Produktpreis nicht eingehalten werden.³³

Vor einigen Jahren gab es für die Kommunikation eines Mikrocontrollers mit einem USB-Host nur die Möglichkeit relativ teure USB-Schnittstellentreiber einzusetzen, oder die USB-Kommunikation softwaremäßig zu implementieren. Die zweite Variante hatte den klaren Nachteil, dass der Prozessor mit der Kommunikation alleine schon ausgelastet war und daher die Lösung meist nur für USB Low Speed (1.5Mbit/s) ausgelegt war.³⁴ Eine durchgeführte Bauteilrecherche zeigt, dass die Mikrocontrollerhersteller die Nachfrage offensichtlich erkannt und nun viele Controller mit integrierter USB-Schnittstelle anbieten. Wie im Abschnitt 4.6.5 festgestellt wurde, ist die erforderliche Datenrate für das Kamerasystem nur mit dem USB-High-Speed Standard realisierbar. Diese Forderung schränkt die Anzahl der einsetzbaren Bauteile stark ein, da die meisten Mikrocontroller nur den Full-Speed Modus implementiert haben. Weiters ist es wichtig, dass der Mikrocontroller die Bilddaten ohne größere Verzögerung verarbeiten kann und die notwendigen Taktgeschwindigkeiten unterstützt. Der Prozessor muss nicht nur die Bilddaten durchreichen, vielmehr müssen die Bilddaten durch Information über Zeilenende und Bildende ergänzt werden. Daher ist dieses Auslesen und Weitergeben der Bilddaten als der zeit- und ressourcenkritischste Zustand zu betrachten und besonders bei der Bauteilauswahl und Firmwareprogrammierung zu berücksichtigen.

4.7.3 Auswahlkriterien

4.7.3.1 Speicherkapazität

Der Speicher für die Daten und die Firmware soll nach Möglichkeit direkt am Mikrocontroller implementiert sein. Da die Bilddaten nur in die Pufferspeicher des USB-Moduls geschrieben werden und von dort direkt an den Computer versendet werden, ist das Zwischenspeichern von ganzen Bildern oder Bildteilen nicht notwendig. Bei externen Speicherbausteinen ist zudem mit höheren Zugriffszeiten zu rechnen.

³³ Ergebnis einer Bauteilrecherche vom 21.10.2010

³⁴ Realisierungsbeispiel (Stand: 21.10.2010):

http://www.mikrocontroller.net/articles/USB#Implementierung_in_Software_auf_Atmel_AVR_2

Für die Entwicklung soll der ausgewählte Mikrocontroller mit einem möglichst großen internen Speicher verfügbar sein. Nach Entwicklung und Validierung der Firmware ist der notwendige interne Speicher entsprechend auszulegen.

4.7.3.2 Rechengeschwindigkeit

Wie bereits zuvor beschrieben, ist der zeitkritischste Vorgang das Auslesen und das Weitergeben der Bilddaten an die USB-Schnittstelle. Nach Auswahl des Bildsensors in der Designphase ist die notwendige Rechengeschwindigkeit zu spezifizieren.

4.7.3.3 Ein- und Ausgänge

Bildsensor: Wie in Abschnitt 4.2.7.6 beschrieben, geben moderne Bildsensoren die Daten in standardisierten Formaten über eine 8 oder 10 Bit Schnittstelle aus. Zur Synchronisation müssen zudem die 3 Statussignale des Sensors ausgelesen werden: der Pixeltakt, der Zeilentakt und der Bildtakt. Daher sind mindestens 11 Eingänge vorzusehen. Weiters wird der Bildsensor über ein serielles Interface gesteuert. Dieses besteht aus einem Takt und einem Datensignal. Im Idealfall hat der einzusetzende Mikrocontroller ein Kommunikationsmodul, welches dieses Übertragungsprotokoll unterstützt.

Bedienelement: Wird das Bedienelement mit einem einfachen Taster realisiert, so ist nur ein Standard-Eingang notwendig. Soll jedoch ein kapazitiver Slide-Sensor implementiert werden, sind je nach eingesetzter Technologie entsprechend mehr Ein- und Ausgänge notwendig. Es kann jedoch auch ein Auswertebaustein für kapazitive Taster genutzt werden, wodurch sich die Anzahl der Ein- und Ausgänge verringern würde. Die notwendige Anzahl kann somit erst nach Auswahl der Taster-Technologie erfolgen.

Beleuchtung: Für jede Beleuchtungsgruppe muss ein Ausgang zur Verfügung stehen. Je nach realisiertem Lösungsweg (siehe Abschnitt: 4.4.3) sind 4 oder mehr Ausgänge notwendig.

Schnittstelle: Das Dateninterface für die USB-High-Speed Schnittstelle muss im Controller implementiert sein. Das Modul soll die Spezifikation 2.0 des USB-Standards einhalten. Generell sollte bei der Auswahl des Mikrocontrollers darauf geachtet werden, dass eine Reserve an freien Ein- bzw. Ausgängen vorhanden ist. Dies hat den Vorteil, dass flexibler auf Änderungen des Konzepts reagiert werden kann.

4.8 Spannungsversorgung

Nach Auswahl der wichtigsten Komponenten und der Definition der einzusetzenden Computer-Schnittstelle soll nun die Erörterung der Spannungsversorgung erfolgen.

4.8.1 Anforderungen

Die Höhe der Spannungen und der jeweilige Strombedarf sind von den einzelnen Bauteilen abhängig und erst nach deren Auswahl in der Designphase genauer spezifizierbar. Die erforderlichen Spannungen sind möglichst effizient zu erzeugen, um die Wärmeentwicklung im Gerät auf ein Minimum zu beschränken und die zur Verfügung stehende Energieversorgung optimal zu nutzen. Dies ist insbesondere bei der Versorgung des Gerätes durch den USB notwendig, da hier die Spezifikationen einzuhalten sind (vgl. [17]).

4.8.2 USB2.0 Versorgungsmöglichkeit

Ein großer Vorteil der USB Schnittstelle ist die Möglichkeit Peripheriegeräte direkt zu versorgen. Im Folgenden sind die wichtigsten Eigenschaften und Beschränkungen der Versorgung aus der USB2.0 Spezifikation zusammengefasst.

4.8.2.1 Geräteklasse

Bezogen auf die Versorgungsmöglichkeit sind in der USB2.0 Spezifikation verschiedene Geräteklassen definiert. Für vom Bus versorgte Endgeräte existieren zwei verschiedene Klassen: Low-Power und High-Power Geräte. Jedes Gerät, das am Bus angesteckt wird, wird zunächst als Low-Power Gerät eingestuft und dem Gerät stehen maximal 100mA (kurz für: Milliampere) zur Verfügung. Nach der Anmeldung des Geräts am Host kann das Gerät nachfragen, ob es in den High-Power-Modus wechseln darf. Der Host entscheidet abhängig von der aktuellen Anzahl zu versorgender Geräte und deren Strombedarf über diesen Wechsel. Bei zu hoher Auslastung wird die Anfrage abgelehnt. In diesem Fall kann das Endgerät nicht in den High-Power-Modus wechseln und somit nicht oder nur teilweise seine Funktion erfüllen. Erlaubt der Host den Wechsel, schaltet das Gerät in den High-Power-Modus und kann nun mit der erhöhten Stromversorgungsmöglichkeit von bis zu 500mA arbeiten. Es ist daher anzustreben, dass das Kamerasystem mit der Stromversorgung, die im Low-Power-Modus spezifiziert ist, auskommt.

4.8.2.2 Versorgungsspannungsbereich

Im Low-Power-Modus ist ein Versorgungsbereich von 4,4V bis 5,25V (kurz für Volt) spezifiziert und im High-Power-Modus sind 4,75V bis 5,25V möglich. Daher ist die untere Grenze mit 4,4V anzunehmen und das Kameramodul entsprechend auszulegen.

4.8.2.3 Maximale Last

Die Last, die auf der Geräteseite an der Busversorgung auftreten darf, ist laut Spezifikation auf 10 μ F (kurz für: Mikrofarad = 10⁻⁶ Farad) mit einem parallelen Widerstand von 44 Ω (kurz für: Ohm) begrenzt.

4.8.2.4 Ruhemodus

Wird der Computer in den Ruhemodus (gängiger Begriff: Standby-Modus) versetzt gelten auch für die USB-Endgeräte kleinere Stromverbrauchsgrenzen. Im Falle von Low-Power Geräten sind 0,5mA spezifiziert und bei High-Power-Geräten sind 2,5mA erlaubt. Diese Angabe bezieht sich allerdings auf den Mittelwert des Stroms, es sind kurzzeitige höhere Stromaufnahmen wie in Abbildung 4.33 dargestellt zulässig.

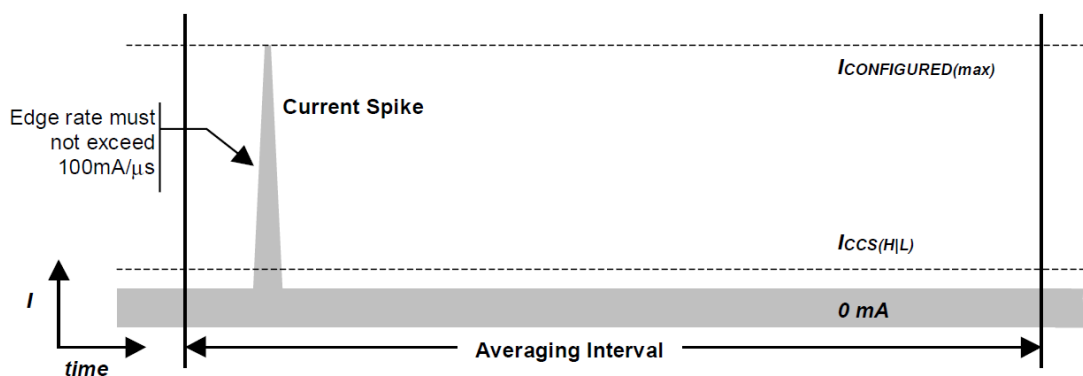


Abbildung 4.33: Spezifizierte Stromaufnahme im Ruhemodus³⁵

Es muss sichergestellt werden, dass der Prozessor für die Einhaltung der Grenze sorgen kann. Eine Möglichkeit ist es, einen eigenen abschaltbaren Spannungsregler für die Peripherie einzusetzen und diesen durch den Prozessor abzuschalten. Der Prozessor selbst muss mit entsprechenden Stromsparmodi ausgerüstet sein, um den spezifizierten Stromverbrauch einhalten zu können.

Eine Detaillierung der Anforderungen an die Versorgung kann erst nach der Auswahl der Komponenten in der Designphase erfolgen.

³⁵ Quelle: USB2.0 Spezifikation, 2000, S. 80

4.9 Kabelverbindung

Die hohen Taktraten, welche sich bei einer High-Speed-USB-Übertragung ergeben, erfordern eine hochwertige Kabelverbindung. Die sich dadurch ergebenden Anforderungen sollen im Folgenden erörtert werden.

4.9.1 Anforderungen

Die USB2.0-Kabelverbindung zwischen dem Computer und dem Kamerasystem soll sowohl die Versorgungs- als auch die Signalleitung beinhalten. Die in der USB2.0 Spezifikation standardisierte Belegung ist in Tabelle 4-4 angeführt. Die Kontaktnummern beziehen sich dabei auf die Standardbelegung des USB-A bzw. des USB-B Steckers.

Tabelle 4-4: USB2.0 Signalbelegung

Kontakt	Signalname	Farbe
1	VBUS	Rot
2	D-	Weiß
3	D+	Grün
4	GND	Schwarz

Im High-Speed Mode werden an das Übertragungsmedium sehr hohe Anforderungen hinsichtlich Störsicherheit und Signalintegrität gestellt. Der spezifizierte Aufbau eines USB2.0 Kabels ist in Abbildung 4.34 dargestellt.

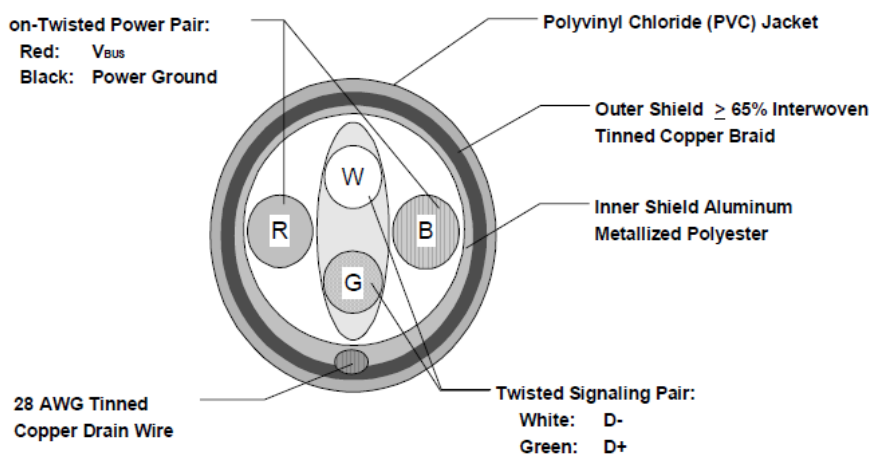


Abbildung 4.34: Typischer Aufbau eines USB2.0- Kabels³⁶

³⁶ Quelle: USB2.0 Spezifikation, 2000, S. 85

Wie zu sehen ist, besteht die Signalleitung aus einem verdrehten Leiterpaar mit eigener Schirmung. Bei den Datenübertragungssignalen D+ und D- handelt es sich um zueinander symmetrische Signale. Die Übertragung über ein verdrehtes Adernpaar (englisch: twisted pair) hat zur Folge, dass sich die Felder von elektromagnetischen Störeinflüssen gegenseitig aufheben und somit im Idealfall keinen Einfluss auf das Signal haben. Die zusätzliche Schirmung dient der Unterdrückung von Gleichtaktstörungen und der Reduzierung von Störabstrahlungen. Die maximale Kabellänge ist aufgrund einer spezifizierten maximalen Laufzeit von 30ns (kurz für: Nanosekunde) auf fünf Meter beschränkt. Für das Datenadernpaar sind 28AWG (entspricht 0,32mm Leitungsdurchmesser) spezifiziert (vgl. [16]).

Die Versorgungsleitungen befinden sich außerhalb des Datenleitungsschirms. Hier ist es von besonderer Bedeutung, dass der maximale Spannungsabfall und damit der maximale Leitungswiderstand in der Spezifikation begrenzt ist. Dies hat zur Folge, dass bei größeren Leitungslängen auch größere Leitungsdurchmesser verwendet werden müssen. Der Zusammenhang ist in Tabelle 4-5 ersichtlich.

Tabelle 4-5: Kabeldurchmesser der Versorgungsleitung

AWG-Zahl	Durchmesser in mm	Erlaubte Leitungslänge in m
AWG 28	0,32	0,81
AWG 26	0,40	1,31
AWG 24	0,51	2,08
AWG 22	0,64	3,33
AWG 20	0,81	5,00

Erklärung AWG: AWG ist die Abkürzung für American Wire Gauge. Die AWG-Zahlen stellen eine Codierung für Leitungsquerschnitte bzw. Leitungsdurchmesser dar. Das 1857 eingeführte System bezieht sich auf die Anzahl der Ziehschritte beim Herstellvorgang von Drähten. Daher bedeutet auch eine steigende AWG-Zahl einen geringeren Querschnitt bzw. Durchmesser. Die Umrechnung von AWG in den Durchmesser in mm erfolgt durch die Formel (4-5).³⁷

$$d(\text{in mm}) = 0,127\text{mm} * 92^{\frac{36-AWG}{39}} \quad (4-5)$$

³⁷ Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/American_Wire_Gauge (Stand: 12.01.2011)

4.9.2 Steckverbinder

Um eine Fehlverkabelung durch den Benutzer zu verhindern, wurde im USB2.0 Standard festgelegt, dass der Host nur Typ-A Buchsen beinhaltet und Endgeräte, sofern die Kabelverbindung nicht fix verbunden ist, die Typ-B Buchse implementiert haben. Die beiden verschiedenen Stecker- bzw. Buchsen sind in Abbildung 4.35 dargestellt.

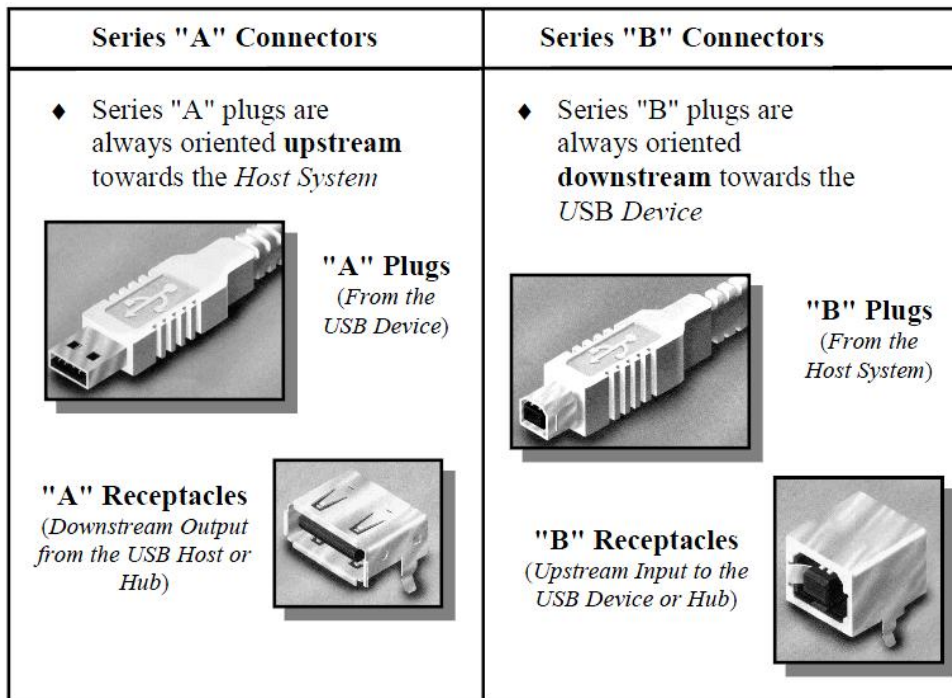


Abbildung 4.35: USB2.0-Steckverbinder ³⁸

Das Kamerasystem gilt als USB-Endgerät und damit wäre eine Typ-B-Buchse und ein Kabel mit einem Typ-A Stecker für die Computerseite und einem Typ-B Stecker auf der Geräteseite eine spezifizierte Möglichkeit. Diese Variante mit einer lösbaren Verbindung hat zum einen den Vorteil, dass Standardkabel verfügbar sind und zum anderen sind alle Komponenten elektrisch und mechanisch spezifiziert.

Der Nachteil ist, dass durch die Buchse ein zusätzliches Bauteil notwendig wäre und durch die lösbare Verbindung ein unbeabsichtigtes Abstecken des Kameramoduls sehr wahrscheinlich ist. Aus diesem Grund wird aus jetziger Sicht ein Kabel mit offenen Enden, welches direkt an die Leiterplatte gelötet wird, eingesetzt.

³⁸ Quelle: (USB2.0 Spezifikation, 2000, S. 113)

4.9.3 Kabelassemblierung

Eine in der USB2.0 Spezifikation vorgeschlagene Kabelkonfiguration ist in Abbildung 4.36 dargestellt.

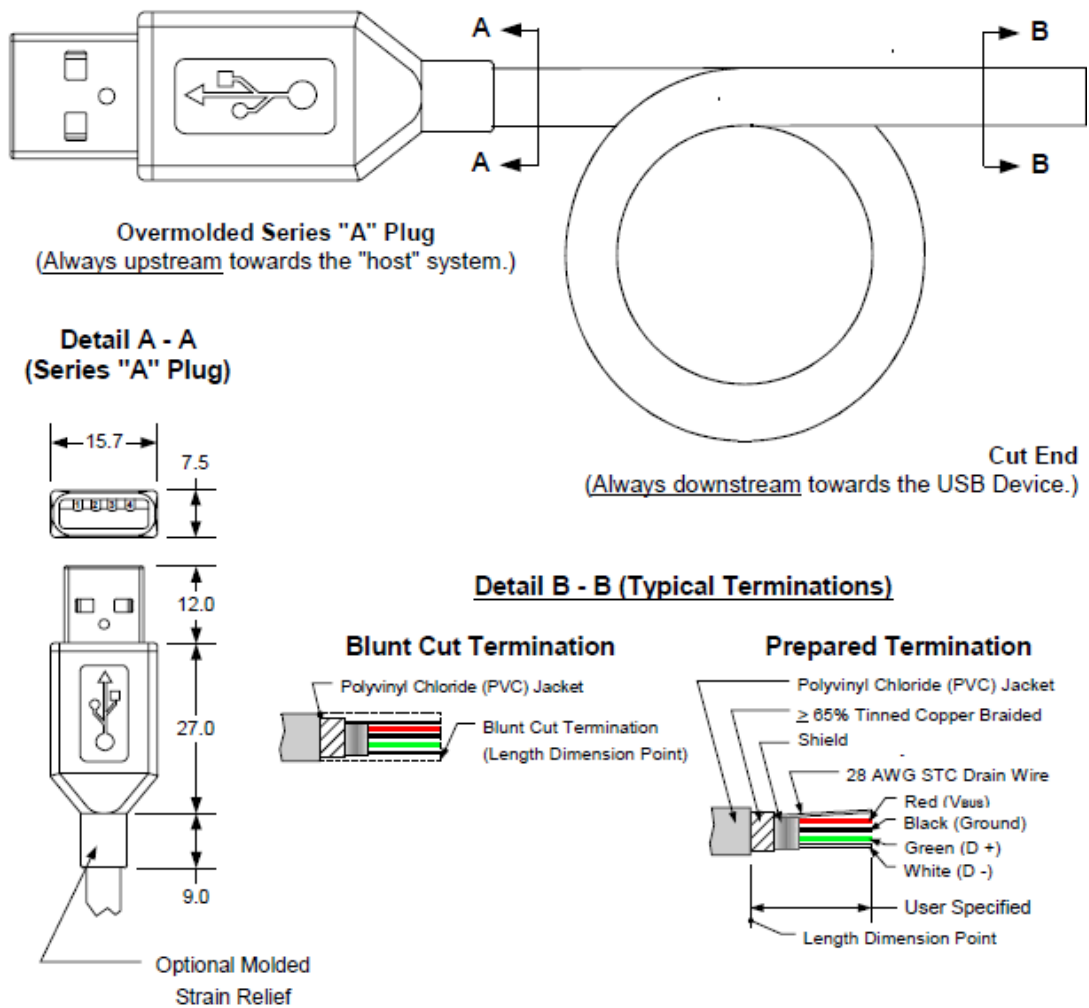


Abbildung 4.36: Kabelassemblierung mit Typ-A-Stecker und offenem Ende³⁹

Die Kabelfarbe soll zum Gehäuse passen und ist vom Industriedesigner zu spezifizieren. Die Farben Weiß und Schwarz sind aus Kostengründen zu bevorzugen. Auf eine Spiralisierung von Teilen des Kabels kann aus derzeitiger Sicht verzichtet werden. Die Länge des Kabels wird gemeinsam mit dem Projektauftraggeber auf 1,5 Meter festgelegt. Für die Prototypen werden mit großer Wahrscheinlichkeit frei verfügbare Standardkabel angepasst. Im Zuge der Serienüberleitung wird eine kostenoptimierte Alternative gesucht werden.

³⁹ Quelle: (USB2.0 Spezifikation, 2000, S. 91)

4.10 Gehäuse

Das Kamerasystem soll aus zwei Teilen bestehen: Ein abnehmbares Kameramodul und ein Kamerahalter, welcher zugleich die Teststreifen zur Analyse aufnehmen kann. Für die Herstellung kommt aus heutiger Sicht, aufgrund der Anforderungen an Preis und Gewicht nur ein Spritzgussteil aus Kunststoff infrage.

4.10.1 Allgemeine Anforderungen

4.10.1.1 Reinigung

Alle äußerlichen Teile der Geräte und des Zubehörs müssen gegen herkömmliche Haushaltsreinigungsmittel und Desinfektionsmittel auf Alkoholbasis beständig sein. Rillen oder vorstehende Kanten sind aufgrund der schlechten Reinigbarkeit zu vermeiden.

4.10.1.2 Biokompatibilität

Alle Teile, welche im bestimmungsgemäßen Gebrauch direkt in Kontakt mit der menschlichen Haut kommen, müssen biokompatibel sein. Im Allgemeinen kann durch die Herstellerangaben des Kunststofflieferanten eine ausreichende Biokompatibilität nachgewiesen werden.

4.10.2 Gehäuse des Kameramoduls

Das Kameramodul ist der Teil des Kamerasystems, der häufig in die Hand genommen werden muss und dementsprechend auch ergonomischen Ansprüchen genügen soll. Die Kamera muss ein Design erhalten, das bereits beim Abnehmen der Kamera aus der Halterung eine richtige Haltung (lagerichtiges Kamerabild am Monitor) suggeriert (vgl. [17]). Besonders wichtig ist, dass der innere Aufbau des Moduls, so gestaltet wird, dass alle vorgegebenen Abstände mit entsprechender Toleranz einzuhalten sind. Dies ist zum einen der Objektabstand zum Bildsensor und zum anderen die richtigen Abstände und Anordnungen der Beleuchtung.

4.10.3 Hautauflage

Die Hautauflage kann Teil des Kameramoduls sein, wobei auf eine gute Reinigbarkeit zu achten ist. Bei der Wahl des Kunststoffs müssen dementsprechend die häufige Reinigung und der Kontakt mit der Haut berücksichtigt werden. Es kann sich aber auch um ein einfaches Kunststoffteil handeln, welches nach Gebrauch entsorgt wird.

4.10.4 Kamerahalterung mit Teststreifenaufnahme

Der Halter hat folgende Aufgaben:

- Aufnahme und korrekte Positionierung der Teststreifen
- Ablage und Halterung für die Kamera
- Sicherstellen der Standfestigkeit des Kamerasystems

Aus heutiger Sicht ist es nicht erforderlich, dass irgendwelche elektrischen Komponenten im Kamerahalter eingebaut sind. Es ist jedoch denkbar, die gesamte seitliche Beleuchtung oder auch nur Teile davon in den Probenhalter einzubauen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass kein eigener Anschluss für die Stromversorgung vorgesehen ist. Diese müsste zum Beispiel über federnde Kontakte aus der Kamera erfolgen, was mit entsprechendem Aufwand verbunden ist (vgl. [17]).

Für die korrekte Funktion der Bildaufnahme ist die Ausrichtung des Kameramoduls gegenüber der Teststreifenaufnahme sehr wichtig. Eine Möglichkeit wäre es, das Modul mit Permanentmagneten auszustatten. Diese halten die Kamera auf dem Probenhalter und sorgen gleichzeitig für die gleichbleibende Ausrichtung.

In Abbildung 4.37 ist ein erstes Grobkonzept für die Anordnung der Komponenten im Gehäuse ersichtlich.

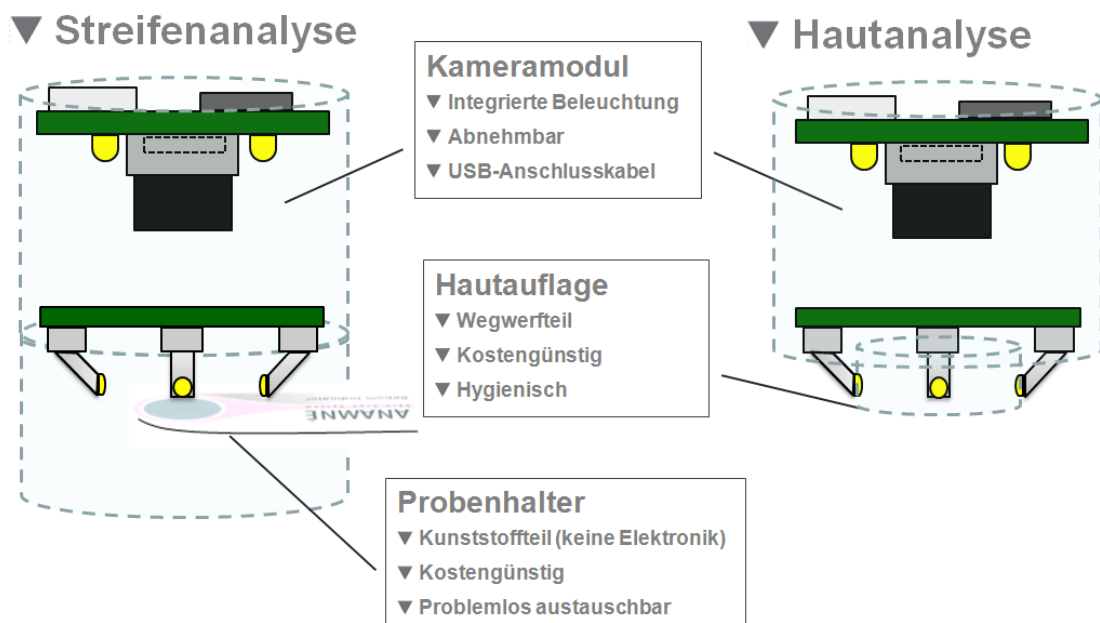


Abbildung 4.37: Gehäusekonzept

4.10.5 Designstudie

Auf Grundlage der oben genannten Anforderungen wird gemeinsam mit einem Industriedesigner eine Designstudie durchgeführt. Das Ergebnis sind mehrere Designansätze, welche in den folgenden Abbildungen ersichtlich sind.

4.10.5.1 Stehende Anordnung

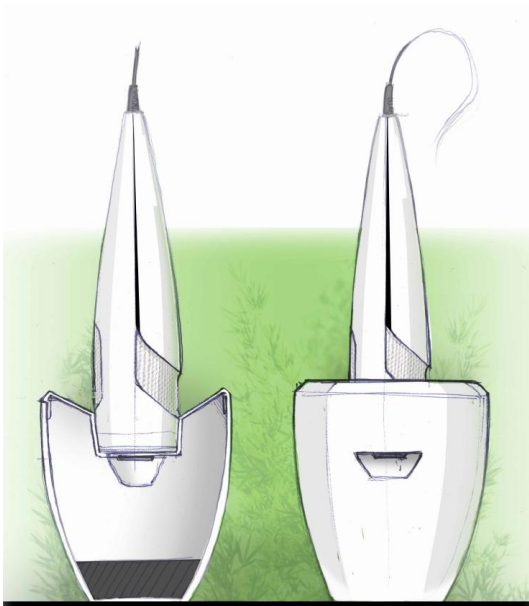


Abbildung 4.38: Designstudie 1 (Stehende Anordnung)

Die stehende Anordnung hat den Vorteil, dass die Kamera von allen Seiten aus dem Halter genommen werden kann. Der große Nachteil ist, dass der Aufbau relativ hoch ist und dadurch instabil sein kann. Das nach oben hin verlaufende Kabel ist ebenfalls ein Problem für die Stabilität.

4.10.5.2 Liegende Anordnung

Die relativ flache Anordnung des Kameramoduls führt zu einer erhöhten Stabilität. Der sich ergebende Verlauf des Kabels ist im Vergleich zur stehenden Anordnung ebenfalls vorteilhafter. Die Teststreifen werden im vorderen Bereich eingeführt.

Der große Nachteil ist die nicht intuitive Entnahme der Kamera aus dem Halter. Durch die sehr flache Anordnung ist es nicht möglich, die Kamera ohne umzugreifen aus dem Halter zu nehmen und sofort richtig in der Hand zu halten.

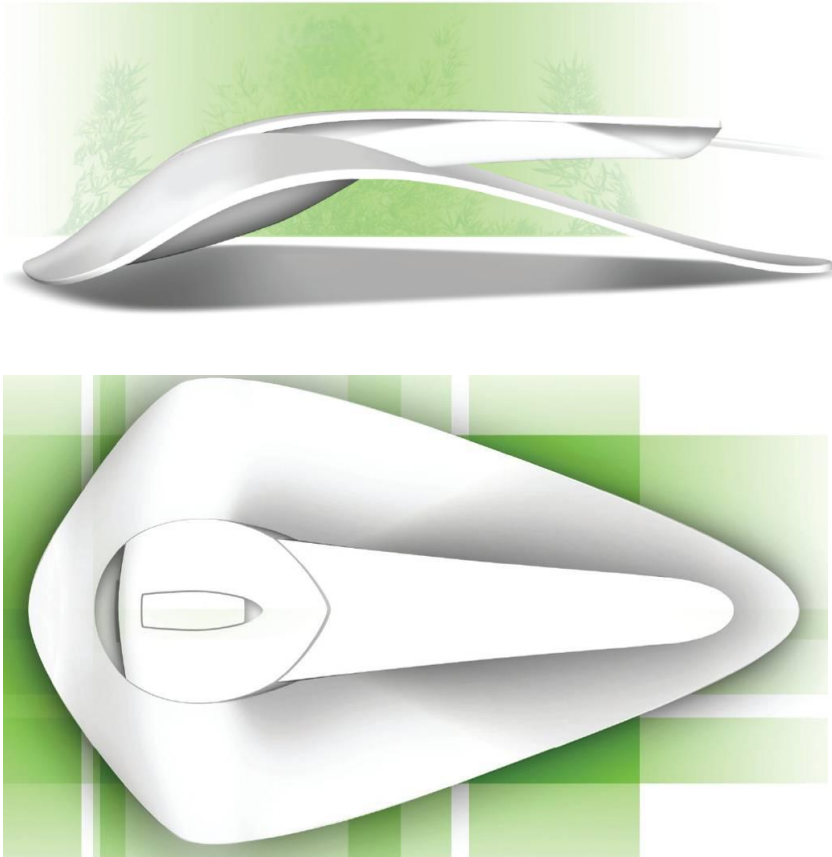


Abbildung 4.39: Designstudie 2 (Liegende Anordnung)

4.10.5.3 Schräge Anordnung

Als Kompromiss zwischen Stabilität und einfacher Kameraentnahme wird eine leicht schräge Anordnung, wie in Abbildung 4.40 gezeigt, gewählt.



Abbildung 4.40: Designstudie 3 (Schräge Anordnung)

Die in der Draufsicht blattförmige Kontur des Halters (siehe. Abbildung 4.39 unten) soll auch für die schräge Anordnung umgesetzt werden.

5 Softwarekonzept

5.1 Übersicht Softwarekomponenten

Die gesamte Software soll modular entwickelt werden. Um die Programmierung in der Designphase effektiv durchführen zu können, ist es notwendig, für jedes Modul die durchzuführenden Aufgaben und die Schnittstellen zu den anderen Modulen zu definieren. In Abbildung 5.1 ist die gewählte Aufteilung dargestellt.

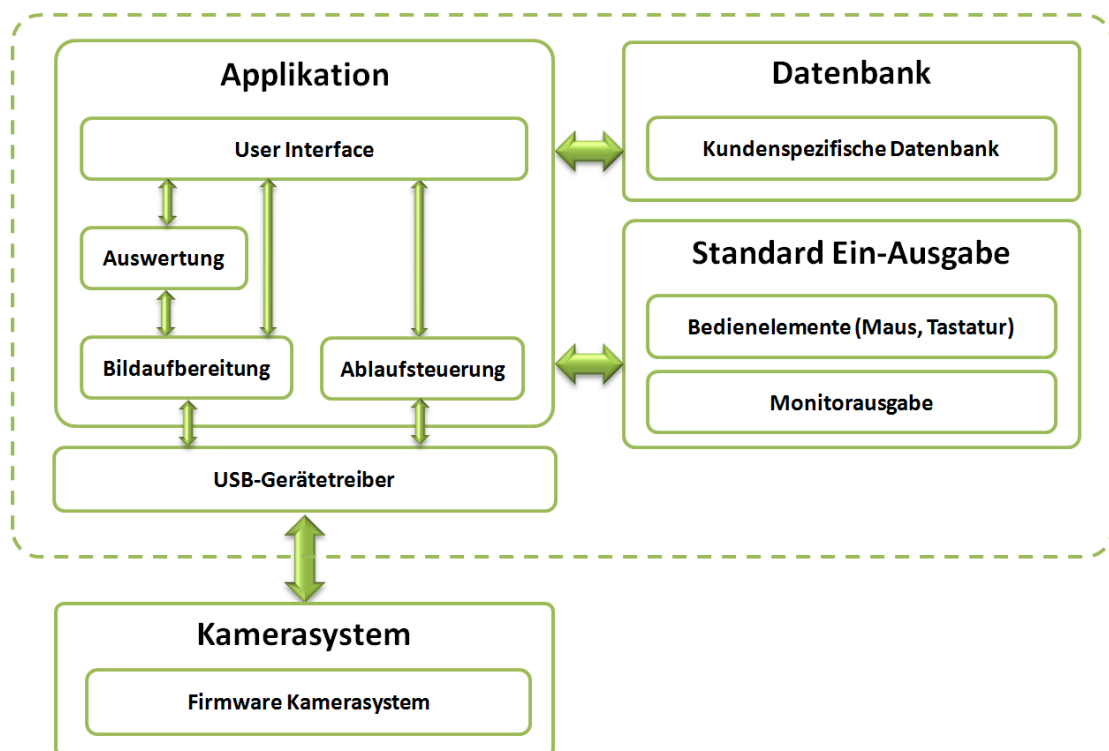


Abbildung 5.1: Übersicht Software

Die Firmware des Kamerasystems soll so einfach und effektiv wie möglich ausgeführt sein. Um mit einem möglichst kostengünstigen Prozessor am Kameramodul auskommen zu können, sollen so viele Rechenprozesse wie möglich zum Computer hin ausgelagert werden.

Beim User-Interface (englisch für Bedienoberfläche) steht eine bestmögliche Bedienbarkeit und ein ansprechendes Grafikdesign im Vordergrund. Außerdem soll das User-Interface möglichst einfach an Sonderwünsche von Großkunden angepasst werden können. Dies gilt ebenso für die Datenbank. Hier sollen die persönlichen Daten und die Messergebnisse der Testpersonen gespeichert werden.

5.2 Firmware Kamerasystem

5.2.1 Anforderungen

Unter Firmware (abgeleitet von englisch „firm“ = fest) versteht man Software, die im Allgemeinen einmalig in elektronische Geräte einprogrammiert wird und dort Steuerungsaufgaben selbstständig durchführt. Der Begriff leitet sich davon ab, dass Firmware funktional fest mit der Hardware verbunden ist. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von eingebetteter Software (vgl. [18]).

Die Firmware des Kamerasystems soll grundsätzlich folgende Aufgaben erfüllen:

- Kommunikation mit dem Computer über USB
- Umwandlung der Befehle von der Applikation in Steuersignale für den Bildsensor, die Beleuchtung und die Spannungsversorgung
- Auslesen der Bilddaten und der Synchronisationssignale und Weitergabe an die USB-Schnittstelle
- Auslesen des Zustandes des Bedienelements und Weitergabe an die USB-Schnittstelle

Um das Endgerät so günstig wie möglich gestalten zu können, soll sämtliche Bildverarbeitung am Computer erfolgen. Das hat weiters den Vorteil, dass bei Änderungen der Auswertevorschriften oder anderer Anforderungen, die Firmware und damit das Gerät selbst nicht geändert werden muss.

5.2.2 USB-Kommunikation

Der Mikrocontroller muss für die ordnungsgemäße Initialisierung unter Einhaltung der USB 2.0 Spezifikation sorgen können. Wie in Abschnitt 4.8.2 bereits erläutert, darf das Gerät während der Initialisierung nicht mehr als 100mA verbrauchen. Daher sollte der Mikrocontroller sämtliche nicht benötigte Peripherie deaktivieren können. Benötigt das Gerät im Betrieb mehr Strom als 100mA, kann es, nach erfolgreicher Anmeldung am Bus, beim Host anfragen, ob es in den High-power-Modus wechseln darf. Da dies jedoch auch vom Host abgelehnt werden könnte, ist es ein Ziel mit 100mA auszukommen.

Zur Kommunikation bzw. dem Datenaustausch mit dem Computer sollen aus heutiger Sicht folgende Endpunkte mit einem gemeinsamen Interface initialisiert werden:

Endpunkt 0: Bidirektionale Kommunikation im Control-Transfer-Modus. Dieser Endpunkt ist bei jedem USB-Gerät vorzusehen, da die Initialisierung nur über diesen Endpunkt möglich ist. Bei den meisten USB-Geräten bleibt dieser Endpunkt für den eigentlichen Betrieb unbenutzt. Für das zu entwickelnde Kamerasystem könnten jedoch die Übertragung der Steuerbefehle vom Computer zum Gerät und die Übertragung von Status- oder Fehlermeldungen vom Gerät zum Computer über diesen Endpunkt erfolgen.

Endpunkt 1: Ausgangsendpunkt im Isochronen-Transfer-Modus. Über diesen Endpunkt sollen die Bild- und Synchronisationsdaten an den Computer übertragen werden. Dazu soll vom Host eine Reservierung einer fixen Bandbreite erfolgen. Die notwendige Datenrate wird im Zuge der Designphase ermittelt.

Endpunkt 2: Ausgangsendpunkt im Interrupt-Transfer-Modus. Über diesen Endpunkt soll der Status des Bedienelements in regelmäßigen Abständen an den Computer übertragen werden.

5.2.3 Steuerbefehle

Der Mikrocontroller soll folgende Steuerbefehle von der Applikation entgegennehmen und in Steuersignale an die Peripherie umwandeln:

- Einstellen des auszulesenden Bildbereichs: Dem Pixelsensor soll der auszulesende Bereich vorgegeben werden können. Übergabewerte sind zwei Pixelkoordinaten, welche ein Rechteck aufspannen.
- Einstellen der Bildrate: Um gegebenen Falls die Anzahl der pro Sekunde zu übertragenden Bilder anpassen zu können, ist eine Funktion zu implementieren, die den Bildsensor und die Datenübertragung entsprechend konfiguriert. Übergabewert ist die Bildrate in fps (kurz für Frames pro Sekunde).
- Je nach Funktionsumfang des Kamerasensors sollen möglichst alle Funktionen über die Applikation eingestellt werden können. Zum Beispiel das Einstellen der Belichtungszeit. Die entsprechenden Befehle und Funktionen sind in der Designphase zu detaillieren.
- Ansteuerung der Beleuchtung: Jede der Leuchtdioden-Gruppen soll getrennt angesteuert werden können. Übergabewert ist eine Zahl, die die Leuchtdioden-Gruppe kennzeichnet. Aus heutiger Sicht soll je eine Funktion für das Ein- und das Ausschalten implementiert werden.
- Suspend-Mode: Wird der Computer in einen Ruhemodus versetzt, müssen alle USB-Geräte in den sogenannten Suspend-Mode wechseln. Wie im Abschnitt

4.8.2.4 bereits erläutert, darf der gesamte Stromverbrauch in diesem Modus 0,5mA nicht überschreiten. Der Mikrocontroller muss dazu den Bildsensor und die Beleuchtung deaktivieren und sollte zudem selbst in einen Strom sparenden Modus wechseln.

5.2.4 Übertragung der Bilddaten

Die Bilddaten kommen über eine parallele Schnittstelle vom Bildsensor. Es kann sich dabei um Daten im RAW-Format handeln oder auch um Bilder, die bereits mit Farbinformation hinterlegt sind. Das Format ist vom Sensor abhängig, dadurch wird eine Festlegung erst nach Auswahl des Bildsensors getroffen. Das zur Übertragung der Bilddaten an den Computer erforderliche Datenformat wird darauffolgend festgelegt. Es muss eine Möglichkeit der Synchronisation der übertragenen Bilder geschaffen werden, damit der Gerätetreiber Anfang und Ende einer Zeile und Bildes einfach feststellen kann. Dies kann durch Pausen im Datenstrom erfolgen oder auch durch signifikante Bitfolgen, die in den Datenstrom eingefügt sind.

5.3 Gerätetreiber

Ein Gerätetreiber dient als Kommunikationsschnittstelle zwischen einem Gerät und dem Betriebssystem und in weiterer Folge zwischen dem Gerät und der Applikation. Die Gerätetreiber sollen unter den Betriebssystemen Windows XP, Windows Vista und Windows 7 funktionieren.

5.3.1 Realisierungsmöglichkeiten

Folgende Möglichkeiten sind grundsätzlich bei der USB-Treibererstellung vorhanden:

- Es wird eine Standard-USB-Klasse verwendet
- Es wird ein anwendungsspezifischer Gerätetreiber implementiert

5.3.1.1 USB-Geräteklassen Treiber

Damit nicht für jedes USB-Gerät ein spezifischer Gerätetreiber programmiert, mitgeliefert und am Zielrechner installiert werden muss, sind im USB-Standard verschiedene Geräteklassen definiert, für welche aktuelle Betriebssysteme bereits den zugehörigen Standardtreiber zur Verfügung stellen. Die Information, zu welchen Geräteklassen sich ein Gerät zählt, wird in der Initialisierungsphase dem Host mitgeteilt (vgl. [16]).

Der Vorteil bei Verwendung einer vordefinierten Gerätetreiberklasse ist, dass das Betriebssystem und eventuell auch andere Programme, diesen Gerätetreiber ohne Weiteres

verwenden können. In dieser Applikation ist dies jedoch nicht erforderlich, es kann sogar aus strategischen Gründen so gewollt sein, dass keine andere Software auf die Kamera zugreifen kann. Zum Beispiel soll dieses Gerät nicht mit einer anderen Bilderfassungssoftware zusammenarbeiten können (vgl. [17]).

Nachteilig ist die Tatsache, dass das Gerät nur die in der Geräteklasse vorgesehen Funktionen nutzen kann. Dadurch ist diese Lösung weniger flexibel.

5.3.1.2 Anwendungsspezifischer USB-Gerätetreiber

Da durch die verschiedenartigen Funktionen die Zuordnung zu einer Klasse schwierig ist und der anwendungsspezifische Gerätetreiber den Vorteil hat, flexibler gestaltet werden zu können wird gemeinsam mit dem Projektauftraggeber entschieden, dass ein spezifischer Gerätetreiber entworfen werden soll. Weiters soll es für den Anwender nicht möglich sein, die Software mit einem anderen Endgerät oder die Hardware mit einer anderen Applikation zu nutzen.

5.3.2 Gerätetreiberfunktionalität

Der Gerätetreiber muss sämtliche für die Kommunikation mit dem Betriebssystem erforderliche Funktionalität aufweisen (vgl. [17]):

- Automatische Initialisierung des Gerätes
- Der Gerätetreiber kann auf alle notwendigen Endpunkte des Gerätes zugreifen
- Die Umwandlung vom RAW-Format des Bildsensors in Windows Bitmaps kann vom Gerätetreiber durchgeführt werden

5.3.3 Gerätetreiberinstallation

Die Gerätetreiberinstallation muss auf allen spezifizierten Betriebssystemen automatisiert ablaufen. Dafür sind alle erforderlichen Installationsdateien bereitzustellen. Aus heutiger Sicht wird dem Gerät ein kostengünstiges Speichermedium beigelegt. Darauf werden die Gerätetreiber und die Applikation gespeichert sein. Eine eigene Installationsanwendung soll mit minimal notwendigem Zutun des Nutzers die Installation der erforderlichen Programme abwickeln.

5.4 Applikation

Im Folgenden sollen die Anforderungen an die Applikation erläutert werden. Ein erstes Konzept, welches einem Softwaredesigner als Vorgabe dient, wird unter Berücksichtigung der, durch die Hardware gegebenen, technischen Möglichkeiten erarbeitet.

5.4.1 Allgemeines

Die Applikationssoftware soll unter den Betriebssystemen Windows XP, Windows Vista und Windows 7 laufen. Als Grundgedanke für die Entwicklung soll eine möglichst nutzerfreundliche Applikation entwickelt werden, die nur wenig Erfahrung im Umgang mit dem Computer voraussetzt. Zudem sollen die grafischen Benutzeroberflächen so gestaltet werden, dass auch eine Darstellung auf kleineren Bildschirmen erfolgen kann.

5.4.2 Programmablauf

Gemeinsam mit dem Projektauftraggeber wird der in Abbildung 5.2 dargestellte Programmablauf definiert. Dabei erfolgt die Einteilung des Programms in einzelne Applikationsfenster, welche wiederum in drei Gruppen eingeteilt sind.

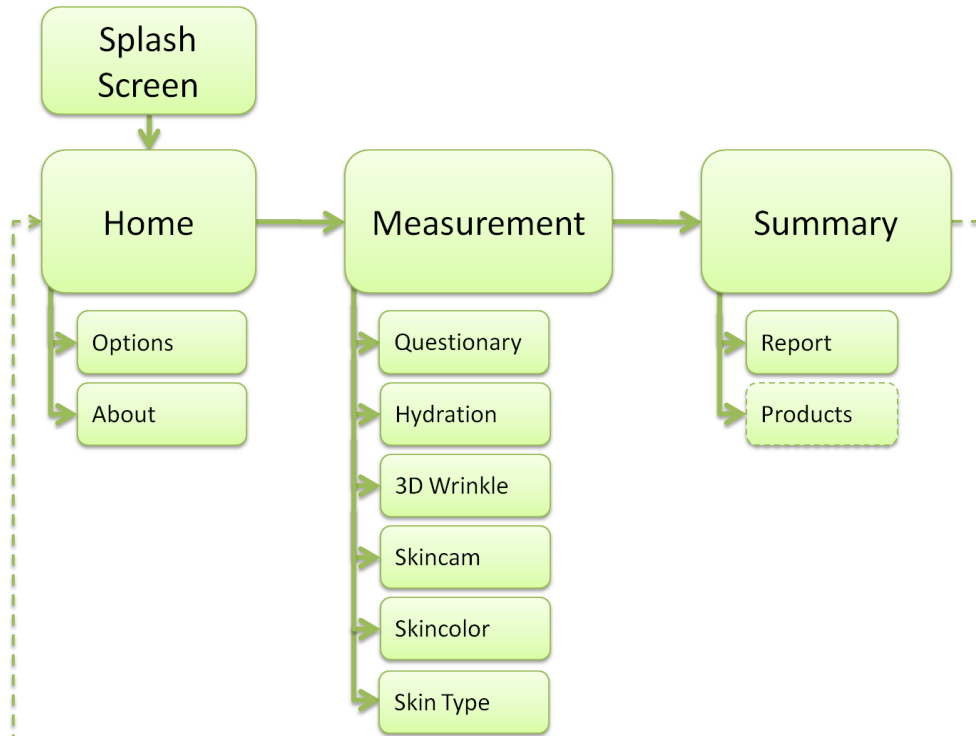


Abbildung 5.2: Programmablauf

5.4.2.1 Programmstart

Das Programm startet mit einer Einblendung eines frei anpassbaren Bildfensters (Splash Screen), welches zum Beispiel das Firmenlogo des Kunden beinhaltet. Nach dem Laden der Applikation erscheint ein Startbildschirm (Home). Hier hat der Nutzer die Möglichkeit Einstellungen (Options) vorzunehmen, weitere Informationen zum Programm einzusehen (About) oder mit der Messung zu starten.

5.4.2.2 Messmodus

Nach dem Starten einer neuen Messung hat der Benutzer die Möglichkeit, persönliche Daten der Testperson aufzunehmen. Diese Daten werden dann später im persönlichen Auswerteprotokoll mit angeführt und in der Datenbank abgespeichert. Zusätzlich sollen mittels virtuellen Schieberegler Werte eingegeben werden können, die nicht durch eine Messung abgedeckt werden, aber für die Beurteilung des Hautzustandes erforderlich sind. Als Beispiel kann die Größe der Poren genannt werden.

Ein Standard-Ablauf ist wie folgt definiert:

- Fragenkatalog
- Hautfettauswertung
- Hautfeuchteauswertung
- Hautabdruckauswertung
- Direkte Bildaufnahmen der Haut

Der Nutzer soll jederzeit die Möglichkeit haben, manuell eine andere Messung auszuwählen, die Messungen zu beenden und die Auswertung aufzurufen oder auch eine Messung zu wiederholen, wobei der „alte“ Messwert durch den neuen ersetzt wird.

5.4.2.3 Übersicht der Ergebnisse

Sind die Messungen beendet, sollen alle Ergebnisse in einer übersichtlichen Darstellung zusammengefasst werden. Weiters soll es die Möglichkeit geben, einen Bericht automatisiert erstellen zu können und es soll eine Produktpräsentation das Verkaufsgespräch unterstützen.

5.4.3 Bedienkonzept

5.4.3.1 Navigationsleiste

Da die Applikation viele verschiedene Messungen beinhalten und trotzdem übersichtlich und einfach zu bedienen sein muss, soll eine spezielle Anordnung von Schaltflächen, eine sogenannte Navigationsleiste, implementiert werden.

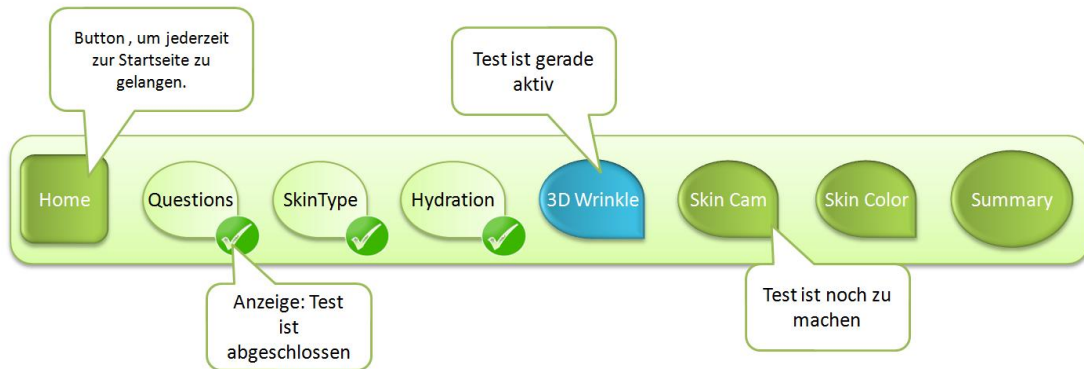


Abbildung 5.3: Navigationsleiste

Wie aus dem Bild ersichtlich, kann der aktuelle Stand der Messungen aus dem Erscheinungsbild der einzelnen Schaltflächen abgeleitet werden. Messungen, die bereits durchgeführt worden sind, besitzen eine aufgehellte Farbe und sind zusätzlich mit einem grünen Haken gekennzeichnet. Die Schaltfläche, die mit der aktuell am Bildschirm befindlichen Seite übereinstimmt, ist blau eingefärbt.

5.4.3.2 Auswahl der durchzuführenden Auswertung

Die in Abbildung 5.3 ersichtlichen Schaltflächen können dazu benutzt werden, um mit einem Mausklick zum jeweiligen Messmodus zu gelangen. Da die Bedienung eines Computereingabegerätes im Zuge der Beratungssituation aber sehr störend ist, wird eine automatische Erkennung der eingeführten Teststreifen implementiert.

Die Teststreifen werden dazu mit einem einfachen Muster bedruckt. Die Kamera befindet sich, wenn keine Messung aktiv ausgewählt wurde, in einem Suchmodus: Es werden fortlaufend Bilder von dem Kameramodul zum Computer geschickt, in welchen die Applikation nach den Mustern sucht. Wurde ein gültiges Muster erkannt, wechselt die Applikation automatisch in den entsprechenden Messmodus.

Um ein durchgängiges Bedienkonzept zu ermöglichen, soll sich im Sichtfeld der Kamera auf der Teststreifenaufnahme eine eindeutige Kennzeichnung befinden, mit der die Software erkennen kann, dass sie sich das Kameramodul in der Haltung befindet. Diese Signatur kann auch nur dann sichtbar sein, wenn sich kein Indikator im Gerät

befindet. Es soll sich dabei um eine einfache Struktur oder ein einfaches Symbol handeln, das die Bilderverarbeitungssoftware mit wenig Aufwand erkennen kann. Wird die Kamera nun aus dem Halter genommen, wechselt die Applikation in den Hautkamera-modus (vgl. [17]).

5.4.4 Auswertungen

5.4.4.1 Teststreifenerkennung

Da mit der Signatur der Teststreifen zugleich verhindert werden soll, dass andere Teststreifen als die des Projektauftraggebers zum Einsatz kommen können, wird an dieser Stelle auf eine Erläuterung der Muster und der Auswertung verzichtet.

5.4.4.2 Bestimmung des Auswertebereichs

Bei allen derzeit definierten Indikatoren sind die Messflächen rund. Daher ist die erste Aufgabe der Bildverarbeitung, dass die Messfläche im aufgenommenen Kamerabild gesucht wird. Dies erfolgt durch zwei orthogonale Suchlinien die, ausgehend vom Mittelpunkt des Bildes, den Übergang von der dunklen Messfläche zum wesentlich helleren Umrandungsstreifen des Indikators sucht. Diese vier gefundenen Punkte beschreiben den gesuchten Kreis vollständig. Alle Auswertungsvorschriften sind anschließend für den Bereich innerhalb des Kreises durchzuführen (vgl. [17]).

Ist die Messstreifenaufnahme im Kamerahalter so konzipiert, dass nur ein sehr geringer Versatz möglich ist, kann auch überlegt werden, den Messbereich immer gleich zu definieren. Dies hätte allerdings den Nachteil, dass das nicht ordnungsgemäße Einlegen der Teststreifen nicht erkannt werden könnte. Im Falle der Suche eines Kreises ist dies sehr wohl möglich, daher wird auch diese Variante bevorzugt.

5.4.4.3 Hautfettauswertung

Sobald die Software den Hautfettteststreifen erkannt hat, bekommt der Nutzer eine Rückmeldung und die Applikation wechselt in den Hautfettauswertungsmodus. Wenn die Erkennung nicht eindeutig ist, erscheint eine Fehlermeldung am Bildschirm. Beim Hautfettteststreifen nimmt die Software automatisch an, dass es sich dabei um eine Messung an der Stirn handelt. Trifft das zu, muss der Benutzer nur den Teststreifen wieder aus dem Gerät entfernen, und die Auswertung beginnt. Wurde der Test jedoch an einer anderen Stelle durchgeführt, muss der Benutzer nach dem Einführen des Streifens den Ort mit der Maus markieren, an dem der Test abgenommen wurde. Dazu ist im Bild ein Modell eines menschlichen Körpers in mehreren Ansichten zu sehen. Der Be-

nutzer kann nun mit der Maus auf den betreffenden Körperteil klicken und die Software speichert die Position und macht diese zusätzlich durch einen Pin ersichtlich. In diesem Fenster kann nun mit der rechten Maustaste und entsprechenden Mausbewegungen der angezeigte Körperteil gedreht werden. Ist die gewünschte Stelle sichtbar, lässt der Benutzer die rechte Maustaste los und klickt mit der linken Maustaste auf die betreffende Stelle. Mit der Lupenfunktion (+ und -) ist auch ein Zoomvorgang möglich.

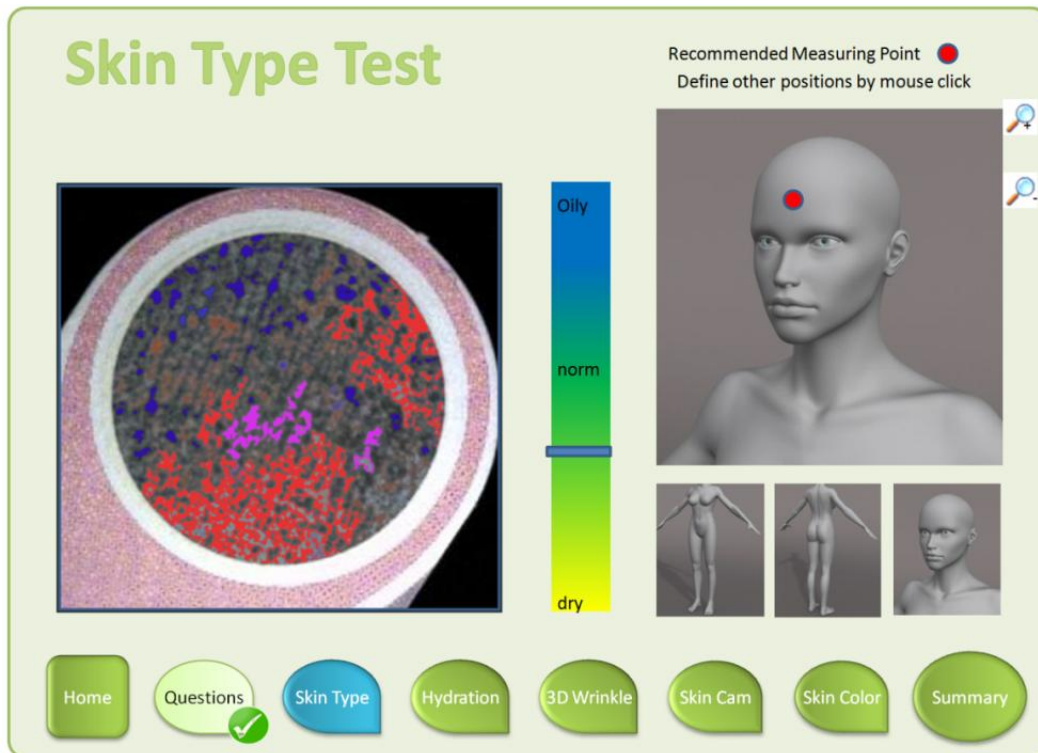


Abbildung 5.4: Grafische Oberfläche der Hautfettauswertung

Es ist nun die Aufgabe der Bildverarbeitung das Verhältnis dunkler Pixel innerhalb der Messfläche zur gesamten Pixelanzahl der Messfläche zu bestimmen. Dabei sollen mehrere Helligkeitsbereiche definiert und per Schwellwertoperation die entsprechenden Pixel extrahiert werden.

Der Vorgang der Auswertung ist für den Nutzer nicht ersichtlich, da im Normalfall keine Zwischenschritte angezeigt werden und die Dauer des Vorgangs sehr kurz ist. Damit der Nutzer den Messvorgang nachvollziehen kann, soll jedoch bewusst die Darstellungen bzw. die Berechnung in mehreren Schritten und mit zeitlicher Verzögerung durchgeführt werden. Das bedeutet, das aufgenommene Bild wird zeilenweise in Abhängigkeit der Helligkeit der Pixelwerte mit Farbinformationen hinterlegt (vgl. auch 4.2.7.3). Das Endergebnis ist auf einem Schieberegler ersichtlich.

5.4.4.4 Hautfeuchteauswertung

Mit dem Hautfeuchteindikator wird der Feuchtigkeitsgehalt der Haut abgeschätzt. Im Prinzip bleiben hier Hautschuppen auf einer Klebefläche hängen. Tendenziell befinden sich nun, je trockener die Haut ist, mehr Hautschuppen auf der Indikatorfläche.

Die Auswertung für diesen Teststreifen funktioniert ähnlich wie bei der Hautfettauswertung. Der Unterschied besteht darin, dass die hier die hellen Punkte auf einer dunklen Messfläche in ein Verhältnis zu bringen sind.

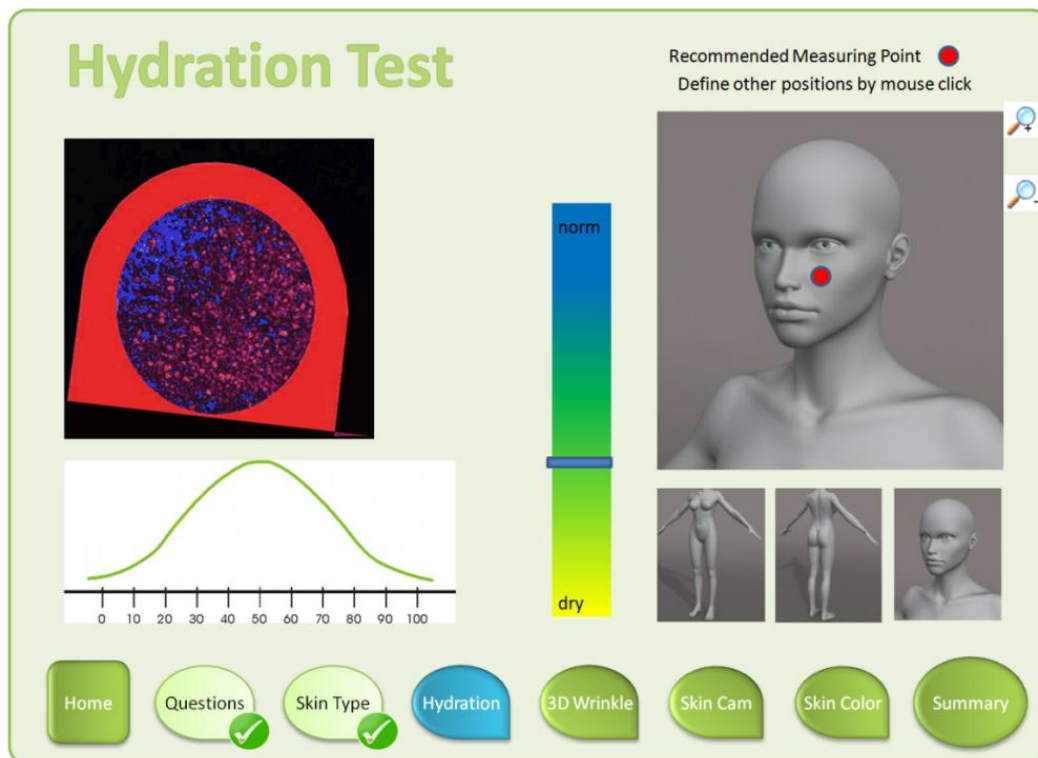


Abbildung 5.5: Grafische Oberfläche der Hautfeuchteauswertung

5.4.4.5 Auswertung des Hautabdrucks

Der Hautabdruck soll die Abschätzung der Faltentiefen ermöglichen. Dafür wird ein Silikonabdruck an der betreffenden Stelle angefertigt. Aufgrund der in 4.4.3.1 beschriebenen, seitlichen Beleuchtung aus mehreren Richtungen, ergibt sich hinter einer Erhebung auf dem Hautabdruck ein Schattenwurf. Die Breite dieses Schattens ist messbar und damit kann nun ein Rückschluss auf die ungefähre Tiefe der Falten getroffen werden. In einer dreidimensionalen Darstellung sollen die so ermittelten Tiefeninformationen anschaulich dargestellt werden.

Als Messwert sollen die maximale Faltentiefe und der Mittelwert zur Verfügung stehen. Zusätzlich soll der Benutzer noch die Möglichkeit haben, eine Linie auf dem Hautabdruck zu definieren (grüne Linie in Abbildung 5.6). Entlang dieser Linie werden die

vorhandenen Tiefeninformationen in einem Diagramm in der Mitte angezeigt und stellen somit eine Art Querschnitt der Hautoberfläche dar.

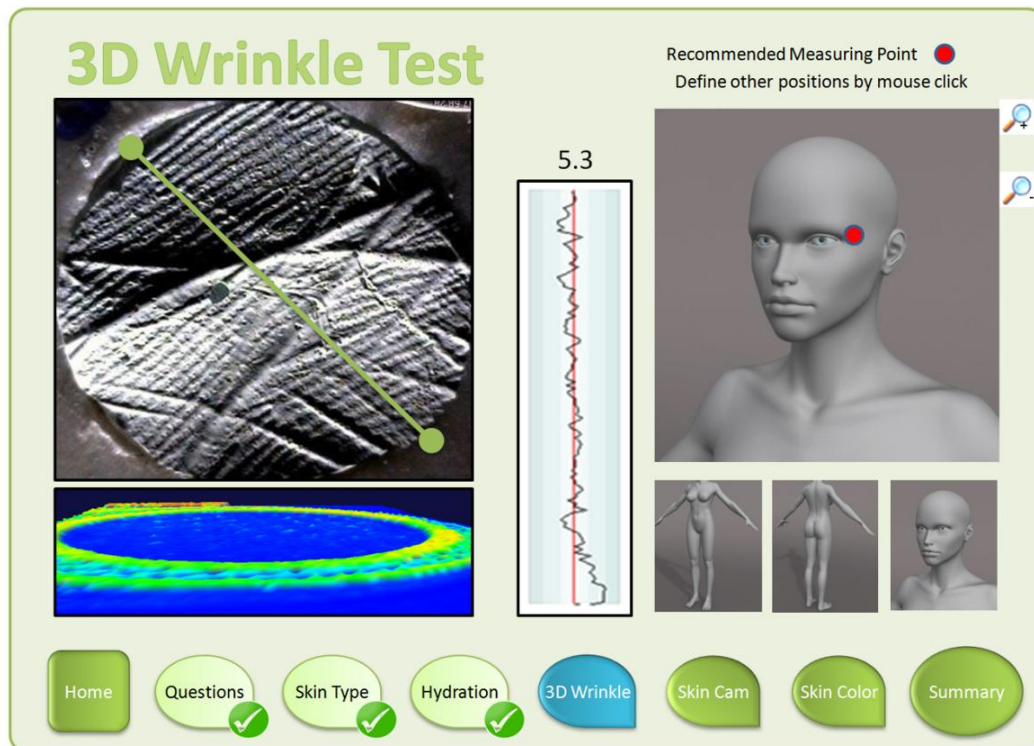


Abbildung 5.6: Grafische Oberfläche der Hautfaltenauswertung

5.4.5 Hautabbildungen

Durch Abnehmen der Kamera vom Unterteil wird automatisch der Bildaufnahmemodus aktiviert und das entsprechende Fenster geöffnet. Als Hauptelement des Fensters erscheint ein laufend aktualisiertes, von der Kamera aufgenommenes Bild (Livebild). Ist der Nutzer mit dem Inhalt des Bildes einverstanden, erfolgt die Bildspeicherung nach Betätigen der Taste am Kameramodul.

Das aufgenommene Bild erscheint nun im Fenster, in dem vorher das Livebild zu sehen war. Unterhalb des Bildfensters besteht dann die Möglichkeit, noch einen Kommentar zum eben aufgenommenen Bild einzugeben. Ist dies nicht gewünscht, kann es auch leer bleiben. Das letzte Kamerabild bleibt solange eingefroren, bis der Benutzer über die Maus den Aufnahmeort am Körpermodell festgelegt hat. Danach erscheint wieder das Livebild. Das soeben aufgenommene Bild wird nun verkleinert am Rand sichtbar und hat einen eingefärbten Rahmen, der mit der Farbe der Kennzeichnung am Körpermodell übereinstimmt. Möchte der Benutzer ein bereits aufgenommenes Bild genauer betrachten, kann es durch einen Mausklick im großen Bildfenster angezeigt werden (vgl. [17]).

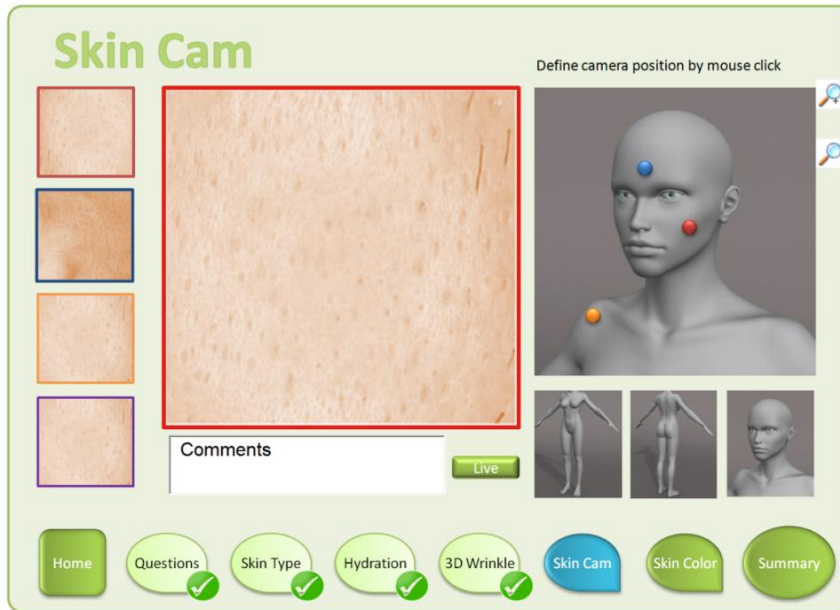


Abbildung 5.7: Grafische Oberfläche des Hautkameranodus

5.4.6 Ausgabe der ermittelten Daten

Sind alle Messungen durchgeführt worden, erfolgt die Darstellung einer Zusammenfassung. Hier sind alle Ergebnisse ersichtlich, die sowohl auf Messergebnissen beruhen oder auch im Fragebogen ermittelt wurden. Um alle Ergebnisse wie in Abbildung 5.8 gezeigt gemeinsam darstellen zu können, muss eine Normierung zum Beispiel in schlecht, gut und sehr gut erfolgen.

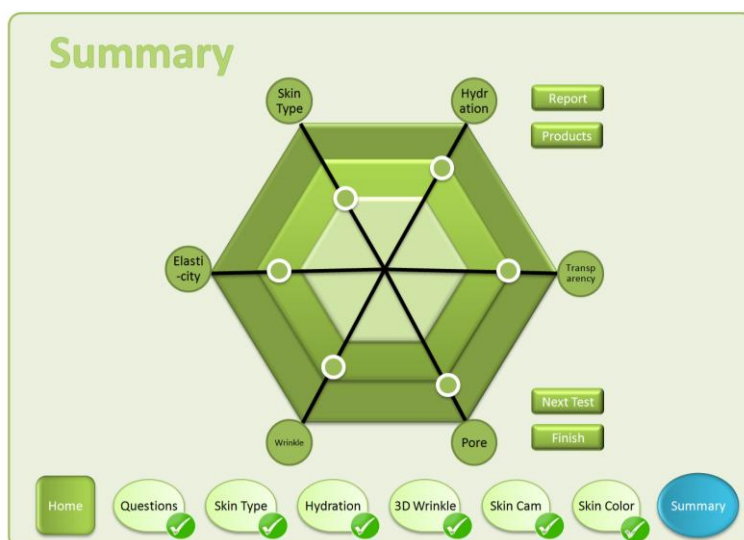


Abbildung 5.8: Grafische Oberfläche der Zusammenfassung

Die Daten sollen nun zum einen in einer Datenbank abgelegt werden können, zum anderen soll es die Möglichkeit geben ein Dokument mit einer Übersicht der Ergebnisse zu erzeugen, welches dann ausgedruckt oder über Email versandt werden kann.

6 Hardwareentwicklung

Nach Festlegung der geforderten Eigenschaften und des technischen Konzepts aus Abschnitt 4 werden alle notwendigen Komponenten ausgewählt, das Elektronikmodul entwickelt und das Gehäuse konstruiert.

6.1 Bildsensor

Wie schon bei der Konzepterstellung soll auch bei der Entwicklung der Hardware als erste Komponente der Bildsensor definiert werden.

6.1.1 Bildsensorauswahl

Auf Basis der in Abschnitt 4.2.7 festgelegten Auswahlkriterien wird der Bildsensor OV7740 von Omnivision ausgewählt. Die Eigenschaften sind in Tabelle 6-1 zusammengefasst (vgl. [10]).

Tabelle 6-1: Eigenschaften des OV7740

Parameter	Wert
Auflösung (Anzahl der Pixel)	VGA (640x480)
Bildrate	60fps (VGA)
Empfindlichkeit	6 V/Lx.s
Belichtungssteuerung	Rolling Shutter
Pixelgröße	4,2µm x 4,2µm
Optisches Format	1/5"
Gehäuse	BGA
Farbinformation	Bayerpattern
Ausgangsformate	RAW (8 oder 10 Bit) oder YUV (8 Bit)

Insbesondere die hohe Empfindlichkeit und ein relativ günstiger Stückpreis sind die Vorteile dieses Sensors. Das optische Format von 1/5" lässt zudem den Einsatz relativ günstiger Standard-Objektive zu. Ein weiteres Kriterium ist die Verfügbarkeit. So sind sehr viele Bildsensoren nur für den Massenmarkt angedacht und demzufolge nur mit Mindestbestellmengen von 50.000 Stück und mehr verfügbar. Dies ist eine ähnliche Problematik, wie bei den USB-Videocontrollern (siehe 4.7.2.2).

6.1.2 Spannungsversorgung

Der OV7740 hat zur Reduzierung der Anzahl verschiedener externer Versorgungen integrierte Spannungsregler, welche die Referenzspannungen für den analogen Schaltungsteil und die Prozessorkernversorgung für den digitalen Teil zur Verfügung stellen. Wie in Tabelle 6-2 aufgelistet, sind getrennte Versorgungsanschlüsse für den Analog- und den Digitalteil vorhanden, um Störungskopplung zu vermeiden (vgl. [10]).

Tabelle 6-2: Versorgungsanschlüsse des OV7740

Bezeichnung	Beschreibung	Spannung	Beschaltung
AVDD	Analoge Versorgung	Min. 3.0V Max. 3.6V	1µF gegen AGND
AGND	Analoge Masse	0V Analog	
DOVDD	Versorgung der I/Os	Min. 1.7V Max. 3.47V	1µF gegen DGND
DVDD	Versorgung des internen Prozessors	Intern erzeugt	1µF gegen DGND
DGND	Digitale Masse	0V Digital	
VREFH	Interne Referenzspannung	Intern erzeugt	1µF gegen AGND
VREFN	Interne Referenzspannung	Intern erzeugt	1µF gegen AGND

Die analoge Versorgung ist hauptsächlich für die Ladungsverstärker und für den Analog-Digital-Wandler im Einsatz. Weiters fällt der sehr weite Spannungsbereich für die Versorgung der digitalen Ein- und Ausgänge (kurz: I/Os, englisch für Inputs/Outputs) von 1,47V bis 3,47V auf. Diese Flexibilität ist notwendig, damit der Bildsensor zu unterschiedlichen Standardlogikpegeln kompatibel ist. Sinnvollerweise sollen die logischen Pegel der Bildsensor I/Os und der Prozessor I/Os gleichwertig sein, um keine Probleme mit den Schaltschwellen der jeweiligen Eingänge zu bekommen (vgl. [10]).

6.1.3 Daten- und Steueranschlüsse

Alle betrachteten Bildsensoren arbeiten mit einem ähnlichen Prozessorinterface. In Abbildung 6.1 ist der innere Aufbau des OV7740 skizziert und die Ein- und Ausgänge des OV7740 sind in Tabelle 6-3 zusammengefasst.

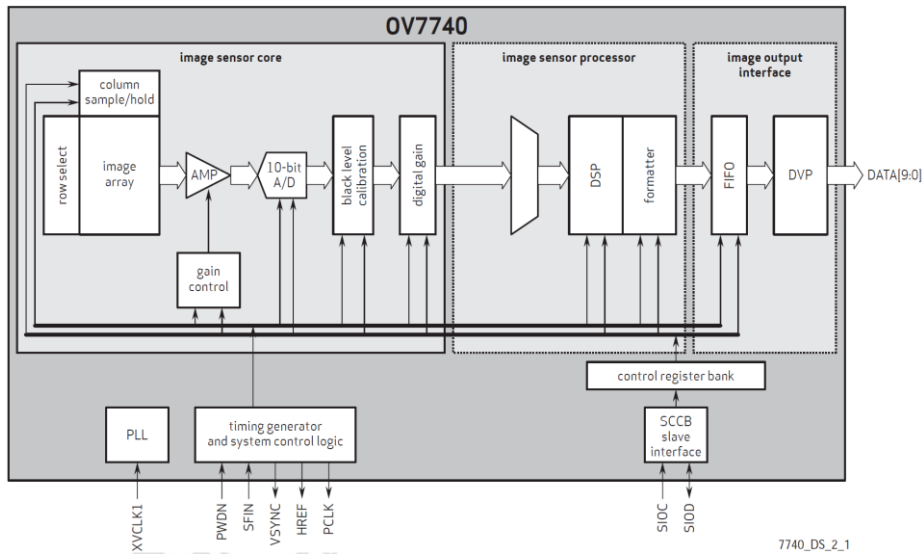
Abbildung 6.1: Blockschaltbild des Bildsensors ⁴⁰

Tabelle 6-3: Daten und Steueranschlüsse des Bildsensors

Signal	Beschreibung	Beschaltung
RESET	Rücksetzeingang (invertiert)	Zu einem Prozessorausgang mit Pull-up-Widerstand
SFIN	Bildsynchronisation für Mehrkameraanwendung	Nicht verwendet
SIOC	Takt des seriellen Steuerinterface	Zum I2C Modul des Prozessors mit Pull-up-Widerstand
SIOD	Daten des seriellen Steuerinterface	Zum I2C Modul des Prozessors mit Pull-up-Widerstand
VSYNC	Digitaler Impuls zeigt den Beginn eines neuen Bildes an.	Zu einem Prozesseingang
HREF	Steigende Flanke zeigt den Beginn einer neuen Zeile an. Fallende Flanke zeigt das Ende einer Zeile an.	Zu einem Prozesseingang
PCLK	Synchronisationsausgang Pixeldaten	Zu einem Prozesseingang
XVCLK	Externer Takteingang	Zu Taktgenerator (6-27MHz)
DATA9..2	8Bit Pixeldaten	Zu Prozesseingängen (LSB = DATA2)
DATA1..0	LSBs bei 10Bit	Nicht benutzt.

⁴⁰ Quelle: Omnivision Technologies: OV7740 Product Brief 2010

6.1.4 Serielles Steuerinterface

Alle Omnivision Bildsensoren haben eine einheitliche, serielle Schnittstelle, über die die Konfigurationsregister des Bildsensorprozessors beschrieben und ausgelesen werden können. Dabei wird ein standardisiertes Protokoll ähnlich dem I2C-Protokoll eingesetzt (vgl. [10]). Daher soll auch der Prozessor dieses Protokoll unterstützen. Der große Vorteil dieser Schnittstelle ist, dass nur zwei Leitungen notwendig sind: eine Taktleitung und eine Datenleitung. Der Prozessor fungiert dabei als Master und gibt dem Bildsensor den Takt für die Datenübertragung über die bidirektionale Datenleitung vor. Das Protokoll sieht für einen Schreibzugriff auf ein Bildsensorsteuerregister den in Abbildung 6.2 dargestellten Ablauf vor.

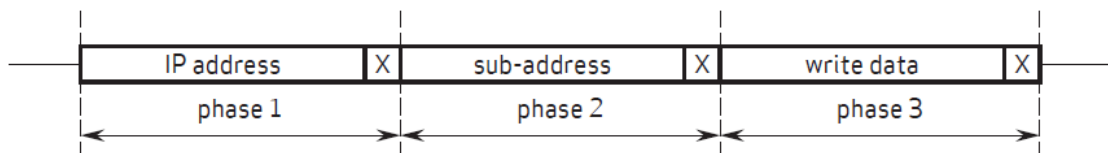


Abbildung 6.2: Protokollstruktur für einen Schreibzugriff⁴¹

Die „IP address“ ist die Adresse des Bildsensors. Diese ist für den Bildsensor fix vergeben. Die „sub-address“ ist ein Zeiger auf das zu beschreibende Register, in das der Wert „write data“ geschrieben werden soll.

Bei einem Lesezugriff sendet der Master zuerst die Adresse des Bildsensors und den Zeiger auf das auszulesende Register. Anschließend sendet der Bildsensor den angeforderten Wert an den Master. Die zwei-teilige Protokollstruktur ist in Abbildung 6.3 dargestellt.

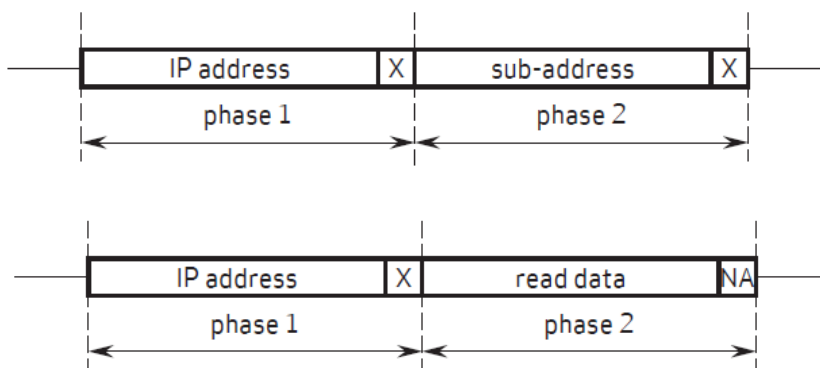


Abbildung 6.3: Protokollstruktur für einen Lesezugriff⁴²

⁴¹ Quelle: Omnivision Tech.: *Serial Camera Control Bus*. Omnivision Tech., 2007

⁴² Quelle: Omnivision Tech.: *Serial Camera Control Bus*. Omnivision Tech., 2007

6.1.5 Bilddatenausgabe

Auch bei der Ausgabe der Bilddaten hat sich ein Standard mit einem parallelen Dateninterface und zusätzlichen Synchronisationssignalen etabliert. Für den OV7740 ist ein Auslesevorgang eines 8 Bit RAW-Bildes wie folgt definiert:

- Ein neues Bild wird durch einen digitalen Impuls am VSYNC-Ausgang (Bedeutung siehe Tabelle 6-3) des Sensors angekündigt.
- Nach einer definierten Zeit wird durch eine steigende Flanke am HREF-Ausgang (Bedeutung siehe Tabelle 6-3) des Sensors der Start der ersten Zeile angezeigt.
- Jetzt wird mit jeder steigenden Flanke des Pixeltakts ein digitalisierter Helligkeitswert eines Pixels ausgegeben.
- Wurden alle Digitalwerte der Pixel der Zeile ausgegeben, wird dies durch die fallende Flanke am HREF-Ausgang angezeigt.
- Nach einer Pause, deren Länge abhängig von der Anzahl der auszulesenden Pixel je Zeile ist, wird die nächste Zeile durch die steigende Flanke am HREF-Ausgang angezeigt.
- Dies wiederholt sich, bis auch die letzte Zeile vollständig ausgelesen wurde. Der Beginn des nächsten Bildes wird wieder mit einem Impuls am VSYNC-Ausgang angekündigt.

Pixeltakt: Im Datenblatt des OV7740 wird nur ein maximaler Pixeltakt von 48MHz im YUV-Format bzw. 24MHz im RAW-Format angegeben. Um die notwendige Auslesegeschwindigkeit bzw. den notwendigen Arbeitstakt des Prozessors definieren zu können, wird die Frequenz des Pixeltakts bei verschiedenen Modi gemessen. Zur Messung wird ein Evaluierungsboard der Firma Omnivision eingesetzt. Die Ergebnisse der Messung sind in Tabelle 6-4 zusammengefasst.

Tabelle 6-4: Analyse des Pixeltakts

Auflösung	Bildrate in fps	Ausgabeformat	Taktfrequenz in MHz
640x480	60	Sensor RAW	24
640x480	30	Sensor RAW	12
640x480	15	Sensor RAW	6
640x480	10	Sensor RAW	4
640x480	7,5	Sensor RAW	3
640x480	5	Sensor RAW	2
640x480	60	RGBRAW	24
640x480	30	RGBRAW	12
640x480	15	RGBRAW	6
640x480	10	RGBRAW	4
640x480	7,5	RGBRAW	3
640x480	5	RGBRAW	2
640x480	60	YUV	48
640x480	30	YUV	24
640x480	15	YUV	12
640x480	10	YUV	8
640x480	7,5	YUV	6
640x480	5	YUV	4

YUV: Dass, im Abschnitt 4.2.7.4 bereits erwähnte, YUV Format wird für diesen Bildsensor zur Ausgabe von Farbbildern eingesetzt. Wie aus Tabelle 6-4 ersichtlich ist, ergibt sich die doppelte Datenrate beim Einsatz dieses Ausgabeformats. Würde man jeden der drei Werte für jedes Pixel übertragen, würde sich jedoch die dreifache Datenrate ergeben. Die Ursache dieser Verringerung liegt in der Anwendung eines sehr einfachen Komprimierungsalgorithmus, dem YUV422. Dabei wird der Y-Wert, also die Helligkeitsinformation, für jedes Pixel übertragen und die U- und V-Werte (die Farbinformationen als Differenzsignale) werden abwechselnd nur für jedes zweite Pixel übertragen.

Sensor RAW: Beim Sensor RAW Format handelt es sich um die Rohdaten, die direkt vom Analog-Digital-Wandler kommen. In diesem Fall werden die im Sensor integrierten Bildaufbereitungs-Algorithmen nicht angewandt.

RGBRAW: Das RGBRAW Format ist eine Art Zwischenstufe. Hier erfolgt zwar keine Farbinterpolation, es können jedoch alle digitalen Bildfunktionen genutzt werden. Die vom Hersteller verwendete Bezeichnung ist dabei etwas irreführend, da keine Farbinformation interpoliert wird.

Da die Farbinterpolation für einen modernen Computer im Bezug auf Leistungsressourcen kein Problem darstellt⁴³ und durch die Übertragung der Bilder im sogenannten RGBRAW Format nur die halbe Datenrate vom Mikrocontroller zu verarbeiten ist, wird an dieser Stelle definiert, dass die Farbinterpolation erst am Computer durchzuführen ist und daher der Sensor die Bilddaten im RGBRAW Format ausgeben soll.

Mit dem Funktionsprototyp sollen die Bilddaten mit einer Bildrate von 7,5 Bildern pro Sekunde und mit einer Auflösung von 640x480 Pixeln im RGBRAW Format ausgegeben werden können. Dies führt zu einem Pixeltakt von 3MHz.

6.1.6 Beschaltung

Das Rücksetz-Signal und die Leitungen für das serielle Steuerinterface sind mit je einem Pull-up Widerstand versehen. Bei solch einem Pull-up handelt es sich um einen Widerstand, der eine Signalleitung mit einem definierten Spannungspotenzial verbindet und damit den logischen Zustand dieses Signals festlegt, wenn das Potenzial nicht von einem Ausgang definiert wird. Im Falle des invertierten Rücksetz-Signals wird mit dem Widerstand der Eingang auf logisch 1 gesetzt. Der Mikrocontroller kann den Bildsensor zurücksetzen, in dem er diese Pegel auf logisch 0 zieht.

Für das serielle Interface sind die Pull-up-Widerstände notwendig, da es sich dabei um sogenannte Open-Drain-Ausgänge handelt. Bei diesen Ausgängen handelt es sich, wie in Abbildung 6.4 vereinfacht dargestellt, um einen Feldeffekt-Transistor, bei dem der unbeschaltete Drain Anschluss den Anschluss für den Ausgang bildet.

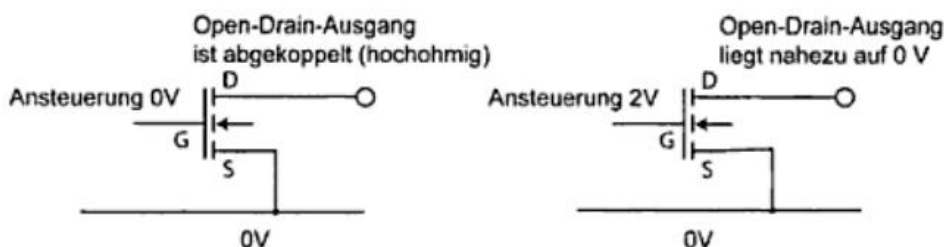


Abbildung 6.4: Open-Drain-Ausgang⁴⁴

⁴³ Ergebnis eines Leistungstests mit verschiedenen Computern vom 20.03.2011.

⁴⁴ Quelle: Wüst K.: Mikroprozessortechnik: Grundlagen, Architekturen und Programmierung von Mikroprozessoren, Mikrocontrollern und Signalprozessoren. Vieweg + Teubner, 2009.

Diese Art von Ausgängen haben somit 2 mögliche Zustände:

- Bei 0V am Eingang sperrt der Transistor und der Ausgang ist hochohmig.
- Eine positive Spannung, zum Beispiel 2V führt dazu, dass der Transistor leitend wird und der Ausgang somit auf 0V gezogen wird.

Dieses Verhalten hat den Vorteil, dass mehrere dieser Ausgänge, wie es bei einem seriellen Bus üblich ist, elektrisch verbunden werden können, ohne dass die Gefahr eines Kurzschlusses besteht. Der logisch 1 Pegel wird auf der Leitung durch einen Pull-up Widerstand nicht dominant definiert. Das bedeutet, wenn ein Busteilnehmer den Ausgang auf logisch 0 setzt, ist dies gegenüber dem logisch 1 Pegel dominant (vgl. [18] und [8]). Ein Nachteil ist, dass bei einem Wechsel von logisch 0 auf logisch 1 die gesamte Buskapazität umgeladen werden muss und der Ladestrom durch den Pull-up Widerstand begrenzt wird. Daher bestimmt die Größe des Widerstands die Zeit, die zum Umladen benötigt wird und damit die maximal mögliche Taktfrequenz des Busses.

Auf Basis dieser Informationen kann die Beschaltung, wie in Abbildung 6.5 gezeigt, festgelegt werden.

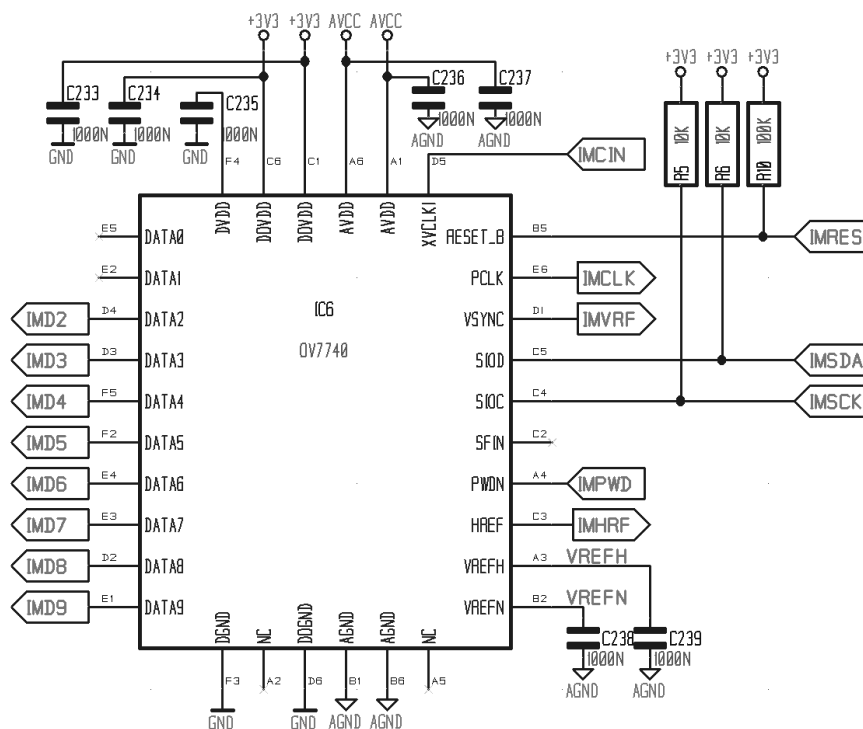


Abbildung 6.5: Beschaltung Bildsensor

Die zur Verfügung zu stellende Spannungsversorgung des Bildsensors wird zusätzlich im Abschnitt 6.6.2 erläutert.

6.2 Objektiv

Auf Basis der Abschätzungen in der Konzeptphase erfolgt die Auswahl von drei Objektiven mit unterschiedlichen Brennweiten.

6.2.1 Objektivauswahl

Ziel ist es, die Bildsensorfläche optimal auszunutzen und eine möglichst hohe Tiefenschärfe zu erhalten. Die variable Größe in diesem Aufbau ist, bei vorgegebenem Objektiv, der Abstand zum Abbildungsobjekt. Zur Auswahl des Objektivs wird ein Referenzbild verwendet, welches die gleichen Abmessungen besitzt, wie der geforderte Abbildungsbereich.

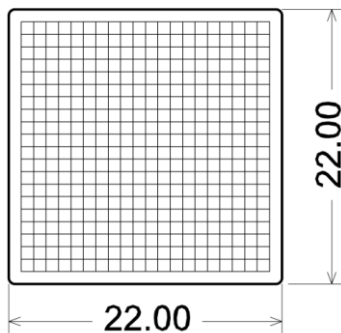


Abbildung 6.6: Referenzbild

Durch das Linienraster kann sowohl die Bildschärfe bewertet, als auch Verzerrungen durch das Objektiv veranschaulicht werden. Für die Bewertung der Bildschärfe wird die Aufnahme des Referenzbildes stark vergrößert betrachtet. Zur Veranschaulichung sind zwei Vergleichsbilder in Abbildung 6.7 angeführt.

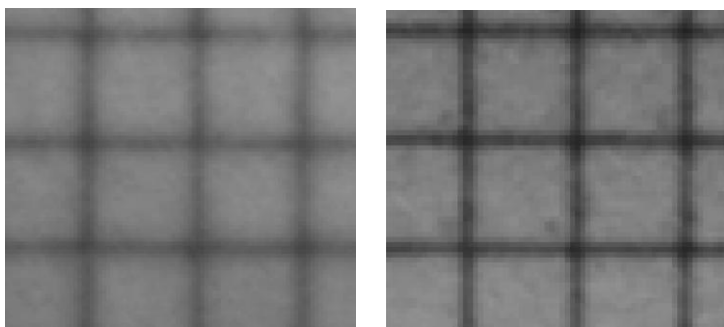


Abbildung 6.7: Bewertung der Bildschärfe

Die einzusetzenden Objektive sind, wie in Abbildung 4.17 gezeigt, mit einem Außengewinde versehen. Bei der Montage in der Serienproduktion muss daher das Objektiv eingeschraubt werden und dabei die Abbildung scharf gestellt werden. Um dies reproduzierbar und unabhängig von subjektiven Betrachtungen machen zu können, ist es an-

gedacht, mithilfe der Abbildung eines Referenzbilds ähnlich dem oben dargestellten, eine Analyse der Linienübergänge in zum Beispiel vertikaler Richtung zu machen, wie es in Abbildung 6.8 skizziert ist.

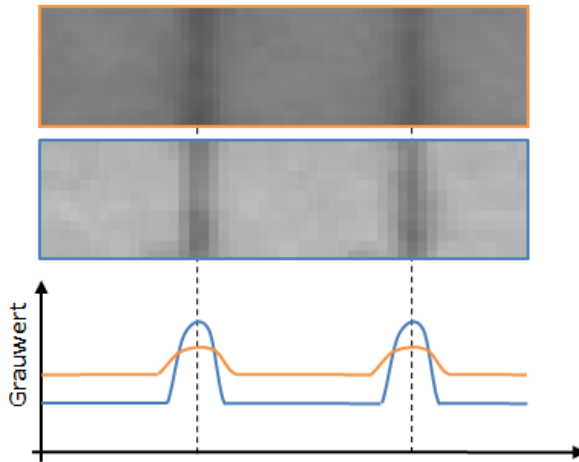


Abbildung 6.8: Konzept zur Objektivjustierung

Mithilfe einer Kalibrierungssoftware soll so eine optimale Justierung in kürzester Zeit erfolgen können. Dazu wird bei der Serienmontage das Objektiv eingeschraubt und es erfolgt eine Anzeige, ob der optimale Punkt bereits erreicht wurde. Dieser optimale Punkt ist tendenziell dann erreicht, wenn der Grauwert ein lokales Maximum und die Linienbreite ein Minimum erreicht.

6.2.1.1 Objektiv mit 2,97mm Brennweite

Bei diesem Objektiv mit einer Brennweite von 2,97mm liegt der optimale Abstand vom Bildsensor zum Abbildungsobjekt im Bereich von 52mm.

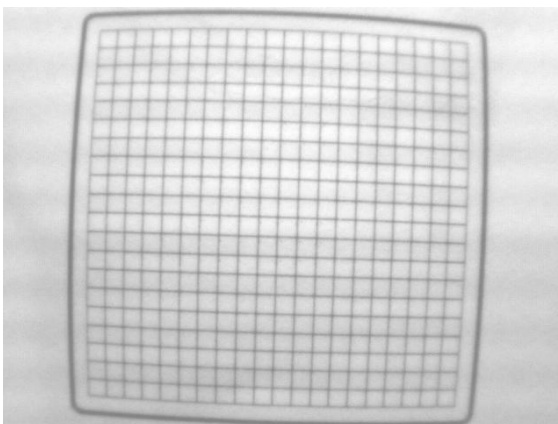


Abbildung 6.9: Testbild mit 2,97mm Brennweite

Der geringe Objektstand wäre ein Vorteil für ein kompaktes Kameragehäuse. Allerdings sind die Nachteile der sehr geringen Schärfentiefe von ungefähr 1mm erheblich.

6.2.1.2 Objektiv mit 3,6mm Brennweite

Beim Einsatz des Objektivs mit einer etwas größeren Brennweite (3,6mm) muss der Abstand zum Objekt nach (4-3) vergrößert werden, um eine gleichbleibende Bild- und Gegenstandsweite zu erhalten.

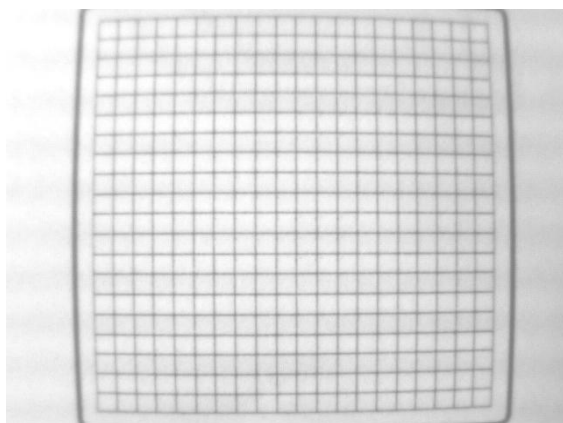


Abbildung 6.10: Testbild mit 3,6mm Brennweite

Hierbei ergibt sich ein Abstand von ungefähr 58mm. Wie zu erwarten, ergibt sich sowohl eine tendenzielle Verbesserung der Tiefenschärfe als auch eine Reduzierung der Bildfeldwölbung.

6.2.1.3 Objektiv mit 4,3mm Brennweite

Bei diesem Objektiv muss das abzubildende Objekt bereits in einem Abstand von 70mm angeordnet sein. Hier muss geprüft werden, ob dies mit dem Gehäusedesign realisiert werden kann. Für die Qualität der Abbildung und vor allem für die Tiefenschärfe wäre der Einsatz dieses Objektivs zu bevorzugen.

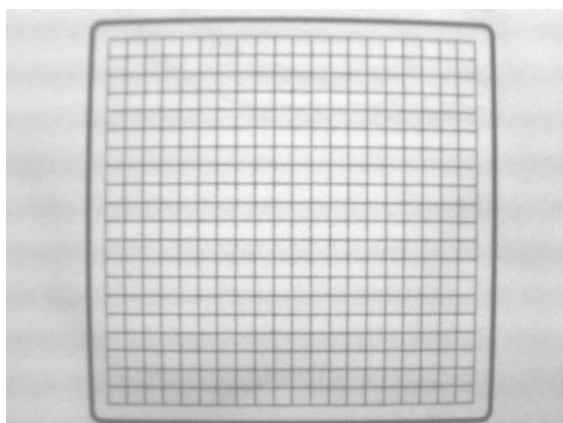


Abbildung 6.11: Testbild mit 4,3mm Brennweite

6.3 Beleuchtung

Die in Abschnitt 4.4.3 erarbeiteten Lösungsansätze sollen überprüft werden. Dazu werden Leiterplatten mit verschiedenen Anordnungen der Leuchtdioden realisiert.

6.3.1 Beleuchtungsversuche mit Auflicht

Die Beleuchtung von oben wird mit den in Abbildung 6.12 dargestellten Leiterplatten geprüft. Es werden einfache weiße Leuchtdioden mit diffuser Linse verwendet, um den in Abschnitt 4.4.2.3 erwähnten lokalen Überbelichtungen entgegenzuwirken.

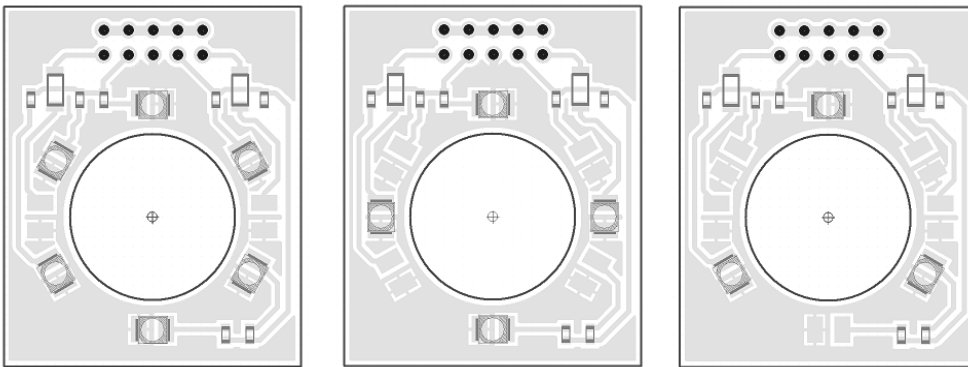


Abbildung 6.12: Versuchsprototypen Auflicht

Bei allen drei Anordnungen besteht trotz der diffusen Linse das Problem von lokalen Überbelichtungen und Reflexionen. Dabei ist der Teststreifen zur Abschätzung der Hautfeuchte mit der glänzenden Indikatorfläche das größte Problem, wie Abbildung 6.13 zeigt.



Abbildung 6.13: Testbild des Hautfeuchteindikators mit Auflicht

Auch alle anderen Aufnahmesituationen leiden unter der lokalen Überbelichtung im Kamerabild durch die Reflexionen bzw. die allgemein ungleichmäßige Ausleuchtung.

Aufgrund dieser Erkenntnisse soll versucht werden, auch die vollflächige Ausleuchtung mit der seitlichen Beleuchtung zu realisieren.

6.3.2 Beleuchtungsversuche mit seitlicher Beleuchtung

Es werden Leuchtdioden eingesetzt, die ein weißes Licht parallel zur Leiterplatte abstrahlen. Die Linse der Leuchtdiode ist dabei diffus ausgeführt. Da das Gehäuse an der Stelle des Moduls so kompakt wie möglich sein soll, wird die Ausfräsung durch die die Kamera durchsieht, mit den gleichen Abmessungen des quadratischen Sichtfelds der Kamera realisiert. Ein gewisser Abstand von der Innenkante der Ausfräsung zu den Leuchtdioden sorgt dafür, dass kein direktes Licht der Leuchtdioden in die Kamera kommt. In Abbildung 6.14 ist eine Zeichnung eines realisierten Versuchsmoduls zu sehen.

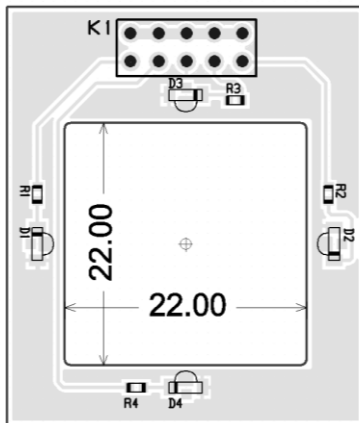


Abbildung 6.14: Beleuchtungsmodul mit einer Leuchtdiode je Seite

Die Leuchtdioden werden nach unten hin abgeschattet, da nur die seitliche Lichtabstrahlung erwünscht ist. Für den Versuchsaufbau wurde dies mit schwarzem Klebeband realisiert. Beim fertigen Produkt soll diese Abschattung durch das Gehäuse erfolgen.

In Abbildung 6.15 sind Versuchsaufnahmen mit vier verschiedenen Beleuchtungsrichtungen ersichtlich. Dabei wurde der Hautabdruck in einem Abstand von ungefähr 5mm unter der Beleuchtung platziert und nacheinander wurden die einzelnen Leuchtdioden eingeschaltet.

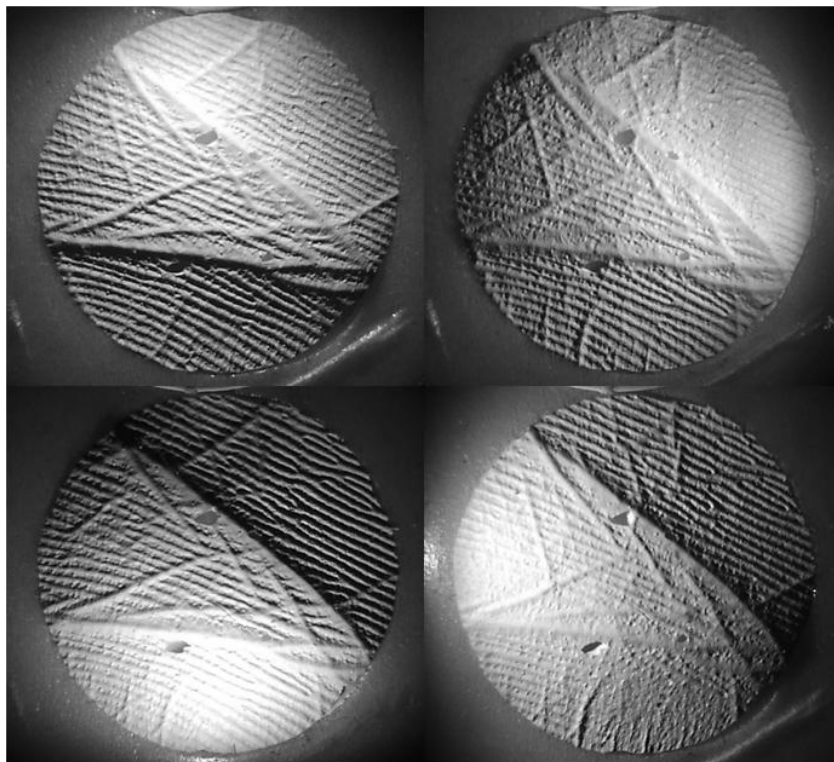


Abbildung 6.15: Beleuchtungsversuch mit einer Leuchtdiode je Seite

Wie auf den Abbildungen zu sehen ist, ist eine relativ starke lokale Überbelichtung auf der jeweiligen Seite der eingeschalteten Beleuchtung vorhanden. Dies liegt an dem sehr kurzen Abstand von der Leuchtdiode zu den auszuleuchtenden Objekten. Auf der gegenüberliegenden Seite ist der Hautabdruck relativ gleichmäßig ausgeleuchtet. Auch die Kontraste sind akzeptabel. Versuchsweise werden aus diesen Grauwertbildern einfache Schwarz-Weiß-Bilder generiert. Dies bedeutet, dass ein bestimmter Grauwert als Grenze ausgewählt wird. Alle Pixel, deren Wert darunter liegt, werden nun Schwarz dargestellt, alle darüber entsprechend Weiß. Anschließend werden die Bilder einfach übereinandergelegt. Das Ergebnis ist in Abbildung 6.16 dargestellt.

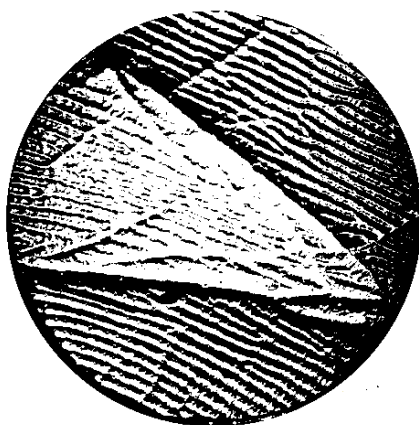


Abbildung 6.16: Schwarz-Weiß-Bild des Hautabdrucks

Bei gleichzeitigem Einschalten aller Leuchtdioden wird die relativ ungleichmäßige und vor allem in den Ecken unzureichende Ausleuchtung bemerkbar. Verdeutlicht wird dies in der Testaufnahme in Abbildung 6.17.



Abbildung 6.17: Ausleuchtung mit einer Leuchtdiode je Seite

Dies ist für die Ausleuchtung der Hautoberfläche nicht akzeptabel. Um eine Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung zu erreichen, werden daher weitere Anordnungen der Leuchtdioden untersucht.

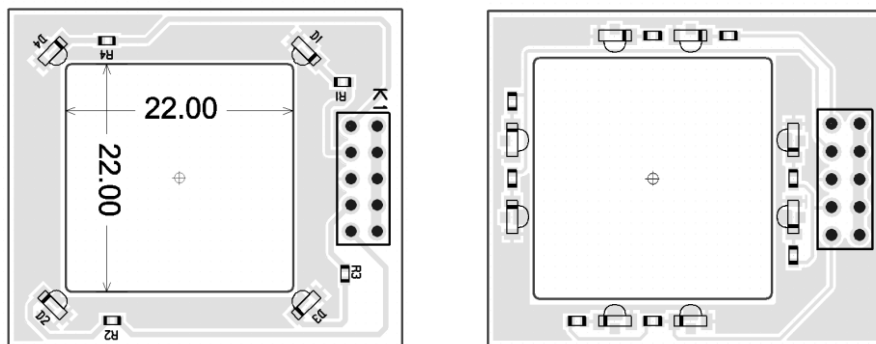


Abbildung 6.18: Weitere Beleuchtungsmodule

Das auf der rechten Seite in Abbildung 6.18 dargestellte Beleuchtungsmodul verfolgt den Ansatz, dass durch Anordnung der Leuchtdioden in den Ecken die Ausleuchtung verbessert wird. Beim linken Modul wird die Anzahl der Leuchtdioden je Seite verdoppelt. Nach den Beleuchtungsversuchen mit den Modulen kann Folgendes festgestellt werden:

Das rechte Beleuchtungsmodul führt zu keiner Verbesserung, da es hier zu starken lokalen Überbelichtungen in den Ecken kommt und die Beleuchtung zur Mitte hin rasch abnimmt.

Die Vergrößerung der Anzahl der Leuchtdioden bringt eine offensichtliche Verbesserung. Allerdings sind auch hier noch eine Überbelichtung im Bereich der Leuchtdioden und die geringe Ausleuchtung des mittleren Bereichs ersichtlich (siehe Abbildung 6.19).

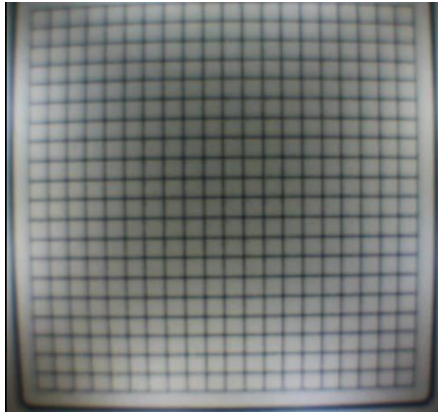


Abbildung 6.19: Ausleuchtung mit zwei Leuchtdioden je Seite

6.3.3 Design des Beleuchtungsmoduls

Die Erkenntnisse aus den vorhergehenden Versuchen führen zu einer weiteren Erhöhung der Anzahl von Leuchtdioden und es soll, soweit es die Kompaktheit des Gehäuses zulässt, der Abstand der Leuchtdioden zum Messobjekt erhöht werden, um die lokalen Überbelichtungen zu minimieren. Weiters soll die Leiterplatte mit schwarzem, möglichst matten Lötstopplack überzogen sein, um Reflexionen zu unterdrücken. Auf Basis dieser Forderungen entsteht das in Abbildung 6.20 gezeigte Beleuchtungsmodul.

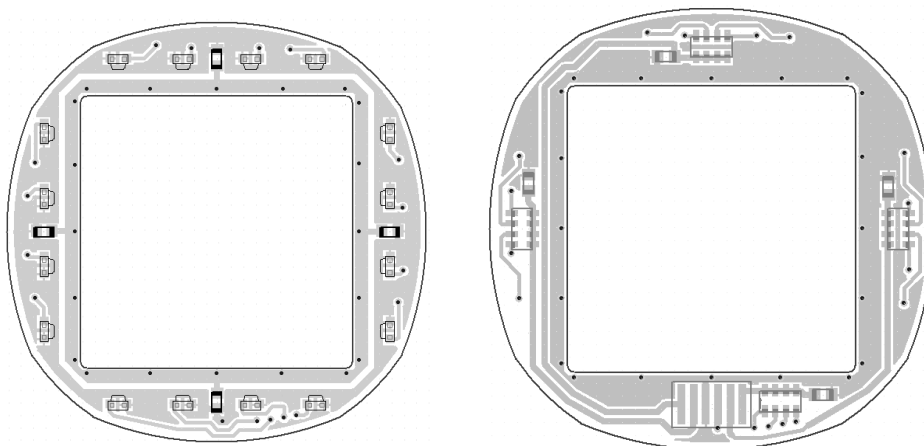


Abbildung 6.20: Leiterplattendesign des Beleuchtungsmoduls

Wie auf der rechten Seite zu sehen ist, wird die Anzahl der Leuchtdioden auf vier pro Seite verdoppelt. Weiters ist der Abstand zur Kante der Ausfräsung und damit der Objektabstand um 2mm größer geworden. Auf der Oberseite der Leiterplatte befinden sich die zugehörigen Vorwiderstände, welche in Viererpaketen ausgeführt sind.

Die Ergebnisse der Beleuchtungsversuche werden in Abbildung 6.21 gezeigt.

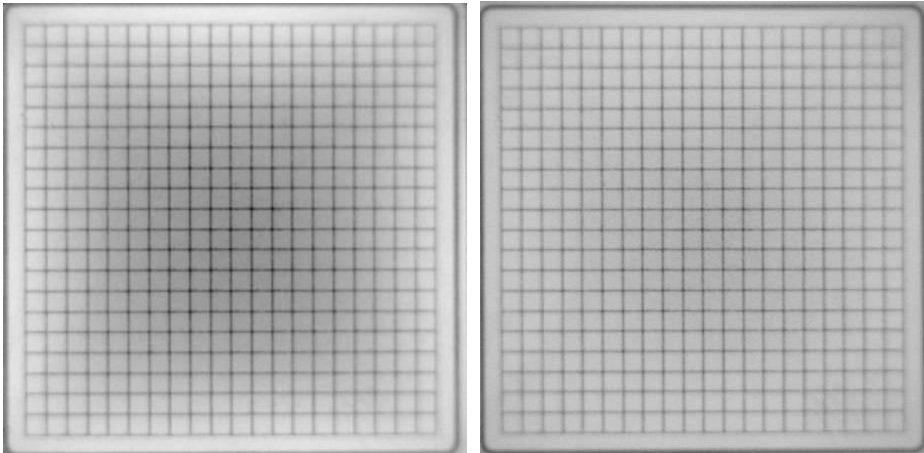


Abbildung 6.21: Beleuchtungsversuch mit vier Leuchtdioden je Seite

In der linken Abbildung ist das Modul ungefähr fünf Millimeter über dem Objekt positioniert. Hier ist die Ausleuchtung schon deutlich besser, jedoch sind noch immer Ungleichmäßigkeiten vorhanden. Bei der Abbildung rechts ist der Abstand auf neun Millimeter erhöht worden. Durch diese Vergrößerung des Abstandes wird die Ausleuchtung noch gleichmäßiger. Durch die höhere Anordnung der Beleuchtung wird jedoch auch der Kontrast bei Beleuchtung des Hautabdrucks geringer, da die Beleuchtung nicht mehr so flach einfällt. Daher soll, um eine ausreichend gute Kompromisslösung zu finden, bei der Gehäusekonstruktion der Abstand der Beleuchtung zu den Messobjekten mit sechs bis acht Millimetern berücksichtigt werden.

6.4 Mikrocontroller

Zur Kommunikation mit dem Computer und zur Steuerung des Kameramoduls wird, wie in Abschnitt 4.7 beschrieben, ein Mikrocontroller aus der Atmel SAM3U Serie mit einem USB2.0-Interface eingesetzt. In Absprache mit dem Projektauftraggeber wird auf eine detailliertere Beschreibung der eingesetzten Komponenten und deren Beschaltung an dieser Stelle verzichtet.

6.5 USB-Schnittstelle

Die USB-Schnittstelle am Kameramodul bildet die einzige elektronische Schnittstelle des Gerätes. Um die Störfestigkeit zu erhöhen und die Störaussendung zu minimieren, sollen daher Entstörfilter vorgesehen werden. Dies und die Realisierung der Kabelverbindung sollen im Folgenden erläutert werden.

6.5.1 Kabelverbindung

Für die Kabelverbindung wird ein Standardkabel mit einem USB-A Stecker und offenen Enden, wie in Abschnitt 4.9 erläutert, eingesetzt. Daher müssen am Kameramodul durchkontaktierte Bohrungen entsprechender Größe vorgesehen werden, in welche die Kabelenden eingelötet werden können.

Für die Montage bedeutet diese zu löten Kabelverbindung einen zusätzlichen Aufwand. Sollte eine große Produktnachfrage größere Fertigungsmengen mit sich bringen, ist es daher angedacht, ein anwendungsspezifisches Kabel mit einem Standardstecker fertigen zu lassen. Dies ist aber aufgrund der relativ hohen Einrichtungskosten erst für größere Stückzahlen rentabel.

6.5.2 Filterung der Versorgungsleitungen

Da das Kameramodul vom Bus versorgt wird, sollen die Versorgungsleitungen mit einem Filter versehen werden. Da es sich bei der Versorgung um Gleichspannung handelt, soll ein einfacher Tiefpass-Filter mit sehr niedriger Grenzfrequenz eingesetzt werden. Wie in Abbildung 6.22 skizziert wird, soll bei einem Tiefpass als Störungsfilter das Nutzsignal mit der Frequenz f_N möglichst unbeeinflusst bleiben und das höherfrequente Störsignal soll möglichst stark gedämpft werden.

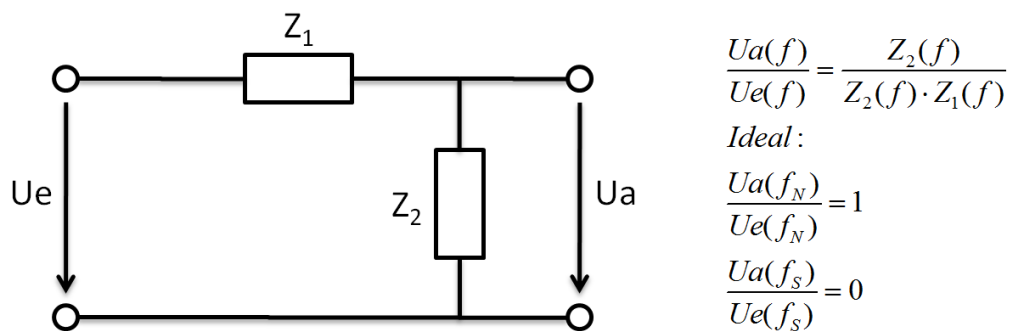


Abbildung 6.22: Tiefpass als Störfilter

Dies führt zur Forderung, dass die Längsimpedanz Z_1 für die Nutzfrequenz f_N klein und für die Störfrequenz f_S groß sein soll. Das Querelement Z_2 hingegen soll ein gegengleiches Verhalten aufweisen: Für das Nutzsignal soll die Impedanz groß und für das Störsignal klein sein. Außerdem soll das Filter nicht nur das Gerät vor Störungen von außen schützen, es soll auch verhindern, dass Störungen vom Kameramodul über das Kabel nach außen kommen und somit die Störaussendung erhöht wird. Um diese Wirksamkeit in beide Richtungen zu erreichen, wird eine symmetrische Filterstruktur realisiert (vgl. [8] und [19]). Das Filter für die Versorgungsleitungen wird daher, wie in Abbildung

6.25 ersichtlich, als sogenanntes Pi-Filter mit Ferriten als Längselemente und Kondensatoren als Querelemente realisiert. Der Einsatz von Ferriten hat gegenüber einem ohmschen Widerstand den Vorteil, dass die Impedanz bei Gleichstrom sehr gering ist und mit steigender Frequenz, wie der Verlauf in Abbildung 6.23 zeigt, ansteigt (vgl. [19]).

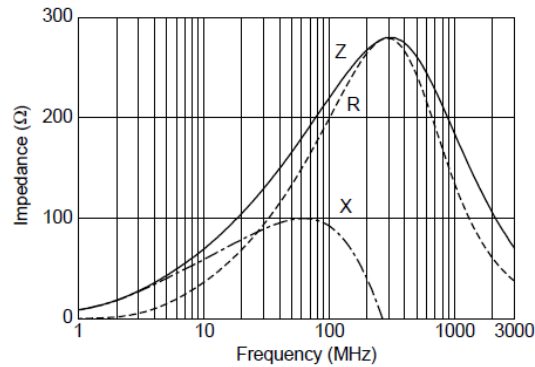


Abbildung 6.23: Impedanzverlauf eines Ferrits⁴⁵

Gegenüber einer Induktivität ist der Vorteil, dass der Ferrit bei höheren Frequenzen eine sehr geringe Güte und damit hohe Verluste aufweist. Das Störsignal wird somit in Wärme umgewandelt. Eine Induktivität soll hingegen eine hohe Güte aufweisen, also möglichst verlustfrei sein (vgl. [19]).

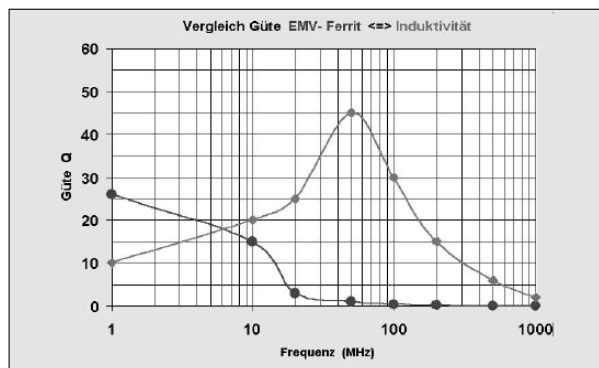


Abbildung 6.24: Vergleich der Güte von Ferrit und Induktivität⁴⁶

6.5.3 Filterung der Signalleitungen

Die Entstörung des differenziellen Datenleitungspaares einer USB-High-Speed Verbindung ist durch die sehr hohe Nutzfrequenz des Übertragungssignals nicht so einfach wie bei einer Versorgungsleitung. Daher würde ein einfaches Tiefpassfilter auch das Nutzsignal dämpfen. Es wird daher ein spezielles Filter eingesetzt, welches das Nutzsignal nur geringfügig beeinflusst. Es handelt sich dabei um eine stromkompensierte Drossel,

⁴⁵ Quelle: Murata, *EMIFIL BLM18A Series*, 2011

⁴⁶ Quelle: Würth, *EMC Kompendium*, 2003

durch welche Gegentaktsignale wie das differenzielle USB-Datensignal praktisch nicht gedämpft werden, da sich deren Magnetflüsse aufheben. Von außen kommende Störsignale haben in den meisten Fällen auf beide Leitungen die gleiche Einwirkung, man spricht daher auch von einer Gleichtaktstörung. Durch die Wicklungsrichtungen verursachen diese Störströme magnetische Flüsse mit der gleichen Richtung. Diese Störungen werden nun stark gedämpft, da sie im Kern in Wärme umgewandelt werden (vgl. [8] und [19]).

6.5.4 Einbau des Filters

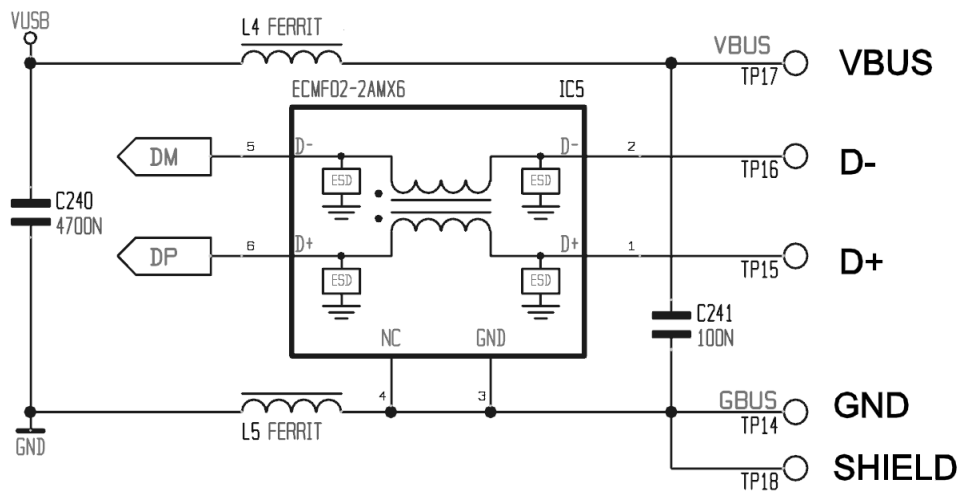


Abbildung 6.25: Entstörung der USB-Schnittstelle

Beim Einbau von Filtern für eine Geräteschnittstelle ist es wichtig, dass sich die Einbauposition möglichst am Rand der Leiterplatte befindet und dass es eine klare Trennung zwischen dem Eingangsbereich und dem zu schützenden Bereich gibt. Andernfalls kann es zu Überkopplung von Störungen auf Leitungen im zu schützenden Bereich kommen (vgl. [8]). Die Umsetzung dieser Forderung ist in Abbildung 6.26 ersichtlich. Auf der einen Seite ist der Filter für die differenziellen Datenleitungen (IC5) platziert, auf der anderen Seite der Leiterplatte bilden die Ferrite (L4 und L5) und die Kondensatoren (C240 und C241) das Filter für die Versorgungsleitung.

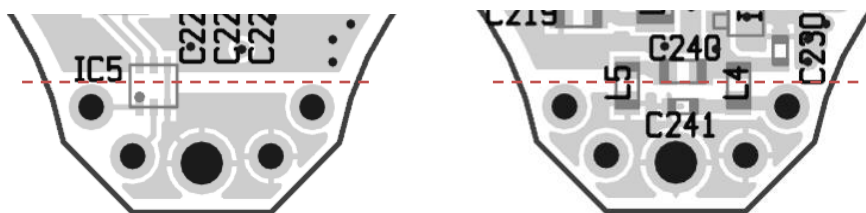


Abbildung 6.26: Anordnung der USB-Schnittstellen-Filter

Die eingezeichnete rote Linie verdeutlicht die Trennung der Bereiche durch die Filter.

6.6 Spannungsversorgung

Wie bereits mehrfach erwähnt, muss das Kameramodul vom Bus versorgt werden. Für die einzelnen Komponenten muss daraus die jeweils notwendige Spannung mit entsprechender Qualität generiert werden. Eine Übersicht über die umgesetzte Einteilung der Spannungsversorgung ist in Abbildung 6.27 dargestellt.

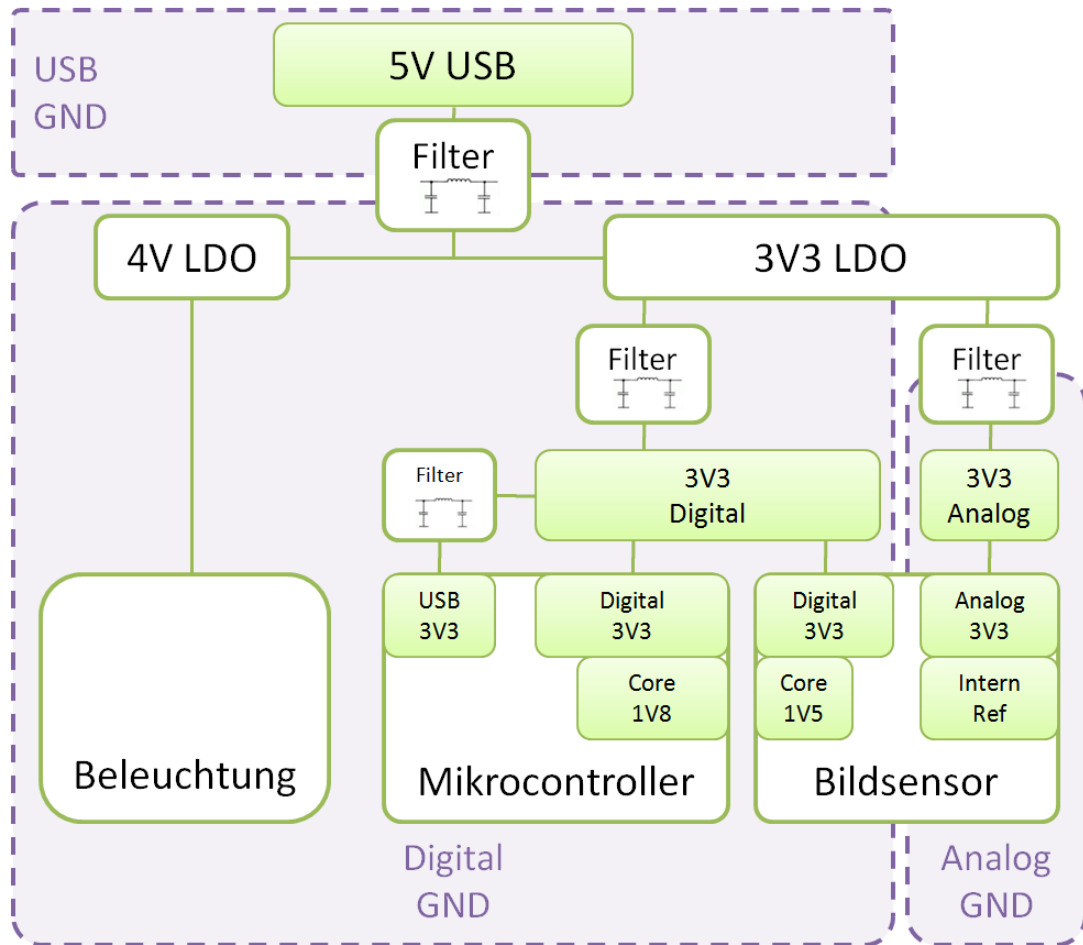


Abbildung 6.27. Übersicht der Spannungsversorgungen

Der Filter für die Busspannung wurde bereits zuvor im Abschnitt 6.5.2 erläutert. Die weiteren Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

6.6.1 Versorgung der Leuchtdioden

Da die USB-Spannung zur Versorgung genutzt wird und diese mit einem spezifizierten Spannungsbereich von 4,4V bis 5,25V (vgl. Abschnitt 4.8.2) relativ ungenau ist, kommen für die Leuchtdioden-Versorgung Spannungsregler zum Einsatz. Die eingesetzten Leuchtdioden werden bei einer Spannung von ungefähr 3,4V betrieben. Mit Berücksich-

tigung einer moderaten Spannungsreserve für die Ansteuerung wird ein Spannungsregler mit 4V Ausgangsspannung eingesetzt.

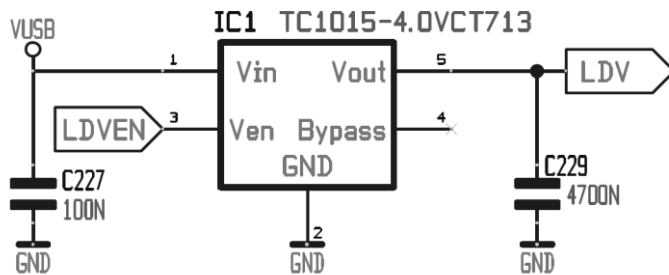


Abbildung 6.28: Leuchtdioden-Versorgung

Da die Differenz der minimalen Eingangsspannung und der Ausgangsspannung mit 0,4V relativ gering ist, kommt ein sogenannter LDO–Spannungsregler (kurz für Low Drop-out) zum Einsatz. Diese Spannungsregler benötigen für ihre Funktion nur eine geringfügig höhere Spannung am Eingang. Der Spannungsregler kann vom Prozessor abgeschaltet werden, um im Ruhemodus den Strombedarf zu reduzieren.

6.6.2 Mikrocontroller- und Bildsensor-Versorgung

Idealerweise können sowohl der Mikrocontroller als auch der Bildsensor mit der gleichen Spannung versorgt werden. Die notwendigen 3,3V werden ebenfalls mit einem LDO–Spannungsregler erzeugt.

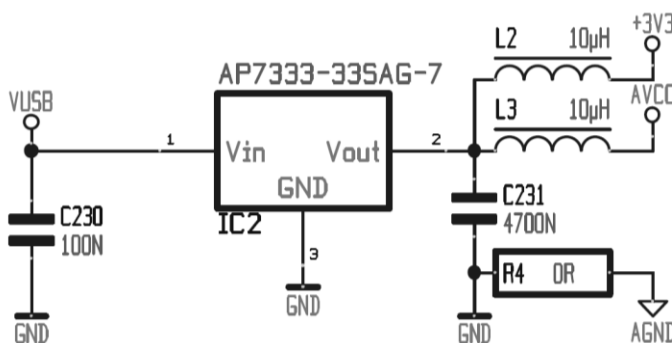


Abbildung 6.29: Mikrocontroller - und Bildsensor-Versorgung

Wie bereits die Übersicht in Abbildung 6.27 zeigt, werden die 3,3V über je ein Filter in eine digitale und eine analoge Versorgung aufgeteilt. Die Umsetzung ist in Abbildung 6.28 ersichtlich. Die analoge Versorgung wird für den Analogteil des Bildsensors zur Verfügung gestellt. Um zu verhindern, dass Störungen des Digitalteils durch galvanische Kopplung der Masseverbindungen auf den Analogteil einwirken, wird auch eine analoge Masse eingeführt, welche nur punktuell mit der digitalen Masse verbunden wird (vgl. [8]).

Sowohl der Bildsensor als auch der Mikrocontroller besitzen einen Rechenkern, der eine geringere Spannung benötigt. Allerdings besitzen beide einen internen Spannungsregler, der diese notwendigen Spannungen generiert (vgl. [10] und [3]).

Die Versorgung des USB-Moduls des Mikrocontrollers wird durch einen zusätzlichen Filter entkoppelt. Dies ist notwendig, da dieses Modul eine relativ hohe und spitzenförmige Stromaufnahme aufweist (vgl. [1] und [3]).

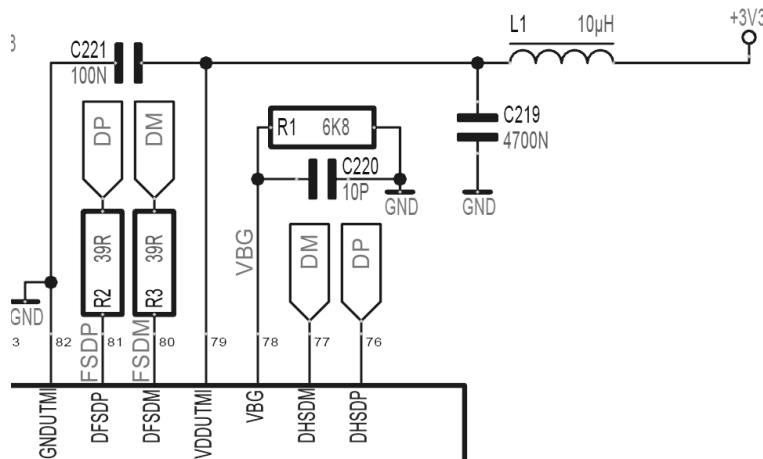


Abbildung 6.30: Versorgung des USB-Moduls

6.7 Aufbau des Elektronikmoduls

Das Kameramodul, die Beleuchtung und der Taster sollen mit einem minimalen Montageaufwand miteinander elektrisch verbunden werden können.

Die systematischen Vorgaben sind:

- Die Leiterplatte des Kameramoduls und die Leiterplatte der Beleuchtung müssen parallel zueinander in einem Abstand von ungefähr 65mm angeordnet sein.
- Die optische Achse geht durch den Mittelpunkt der aktiven Fläche des Bildsensors, durch den Mittelpunkt des Objektivs und durch den Mittelpunkt des Beleuchtungsmoduls.
- Die Taste muss seitlich des Kameramoduls angeordnet sein.
- Es wird eine elektrische Verbindung (Versorgung bzw. Steuerung) zwischen dem Prozessor auf dem Kameramodul und dem Beleuchtungsmodul beziehungsweise dem Taster benötigt.

Diese Vorgaben und die Berücksichtigung des Gehäusekonzeptes führen zu einem Aufbau des Elektronikmoduls wie in Abbildung 6.31 dargestellt.

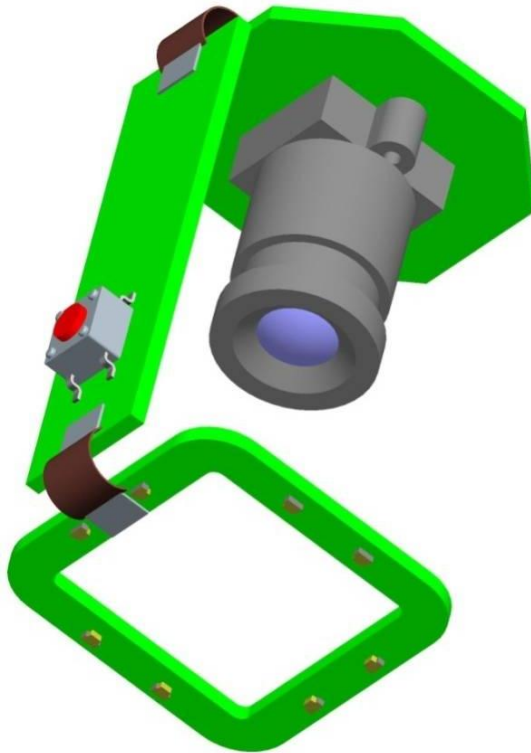


Abbildung 6.31: Aufbau des Elektronikmoduls

Der große Vorteil dieses Aufbaus ist, dass die Leiterplatte, auf welcher der Taster sitzt, zugleich als elektrische Verbindung zwischen Beleuchtungs- und Kameramodul genutzt wird. Die flexiblen Verbindungen zwischen den drei Leiterplatten sind dadurch relativ kurz. Aus diesem Grund können kostengünstige Lötverbinder eingesetzt werden, welche wie jedes andere Bauteil vollautomatisch bestückt werden können. Daher können alle drei Leiterplatten auf einem Fertigungsnutzen zusammengefasst und bestückt werden und es müssen keine zusätzlichen Kabelverbindungen eingesetzt werden.

Im Bezug auf die Serienfertigung hat dieser Aufbau entscheidende Vorteile:

- Kurze Montagezeit: Da es keine einzusteckenden Kabelverbindungen gibt, wird die notwendige Montagezeit stark reduziert. Zusätzlich ist durch die vorgegebene elektrische Verbindung, mit einer großen Reduktion der Anzahl von Montagefehlern zu rechnen.
- Reduktion der Teileanzahl und -kosten: Bei einer Kabelverbindung müssen zwei Buchsen, zwei Stecker und das Kabel selbst vorhanden sein. Diese werden hier durch nur ein Bauteil ersetzt.
- Reduktion der Logistikkosten: Jedes Einzelteil verursacht Logistikkosten und auch höhere Einmalkosten.

- Steigerung der Qualität bzw. der Effektivität: Würden die Teile einzeln angeliefert werden, kann die Prüfung der Funktion erst nach der Montage erfolgen. Treten an dieser Stelle Fehler auf, ist die aufgewendete Montagezeit nicht produktiv. Bei dem angestrebten Aufbau bekommt der Leiterplattenbestücker eine Programmier- und Testvorrichtung zur Verfügung gestellt, durch welche sichergestellt werden kann, dass das Modul funktioniert. Solche Testvorrichtungen mit einer entsprechenden Software sind im Allgemeinen relativ aufwendig. Im Falle dieses USB-Kameramoduls ist es jedoch nur ein Standard-Computer mit einer Programmier- und Testsoftware die nur die USB-Schnittstelle benötigt.

6.8 Gehäusekonstruktion

Ausgehend von der Designstudie in der Konzeptphase und dem Aufbau des Elektronikmoduls werden die Kunststoffteile konstruiert. Das Gesamtgerät ist in Abbildung 6.32 dargestellt. Rechts oben ist zur Veranschaulichung der Ausgangslage zusätzlich die Skizze aus der Designstudie abgebildet.



Abbildung 6.32: Schrägansicht der Kamera im Halter

Diese Gehäusekonstruktion besteht aus vier Teilen, welche im Folgenden näher erläutert werden:

- Kamerahalter mit Teststreifenaufnahme
- Kameragehäuse Oberteil
- Kameragehäuse Unterteil
- Tasterabdeckung

6.8.1 Kamerahalter

Wie in der Konzeptphase gefordert, ist der Halter als ein einfaches Kunststoffteil ohne Elektronik ausgeführt.

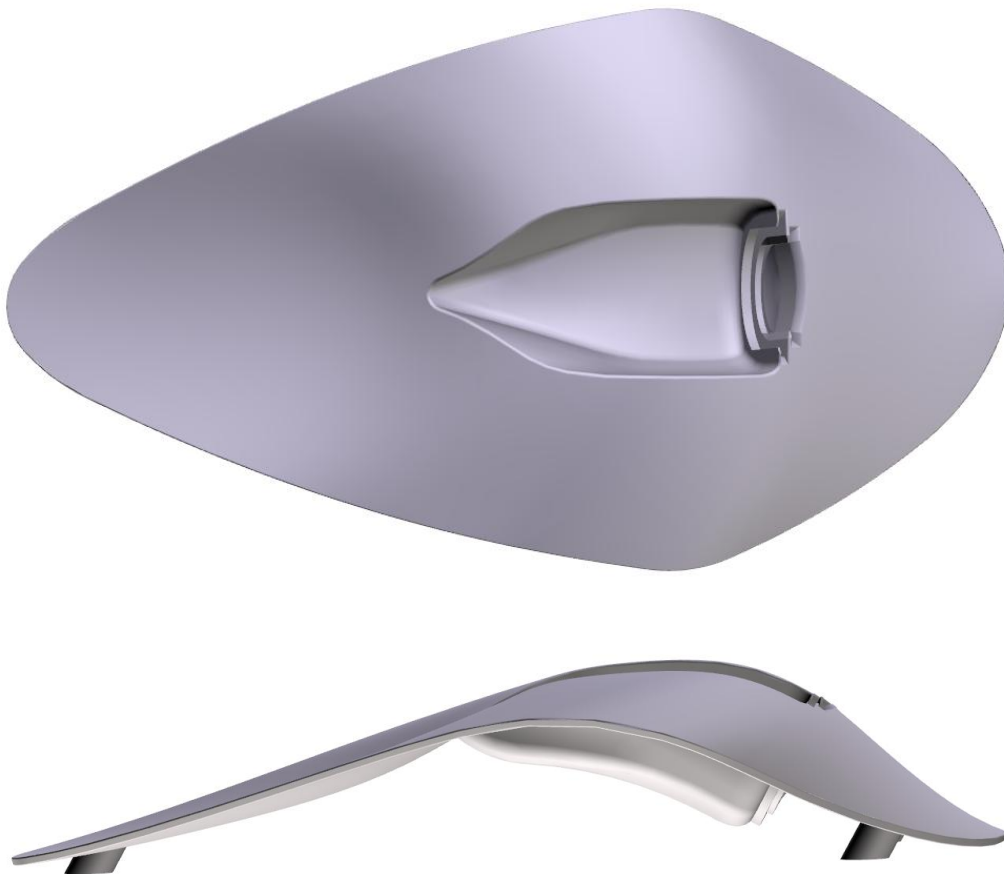


Abbildung 6.33: Kamerahalterkonstruktion

Das Kunststoffteil soll eine möglichst große Wandstärke haben, um so das Gewicht zu erhöhen. Zusätzlich soll eine Metallscheibe eingelegt werden, welche von einem Magneten im Kameramodul angezogen wird und so die Kamera im Halter hält. Hiermit soll ein stabiler und damit hochwertiger Eindruck vermittelt werden. Zugleich kann mit dieser Maßnahme die Positionierungstoleranz der Kamera reduziert werden.

In Abbildung 6.34 ist der konstruierte Aufbau ersichtlich.

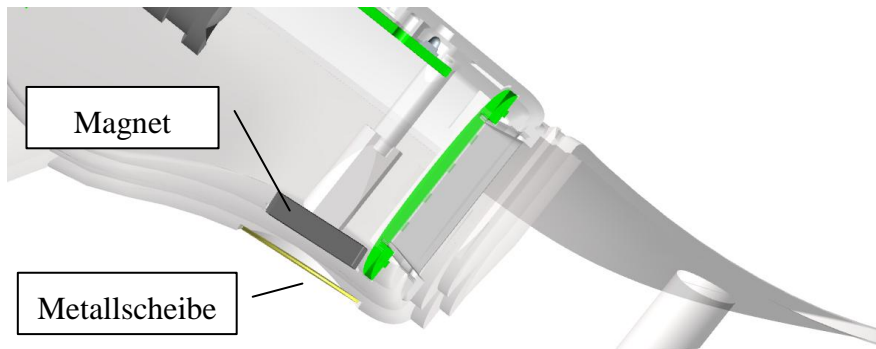


Abbildung 6.34: Positionierung mittels Magnet

Die, im Kamerahalter integrierte Teststreifenaufnahme ist so konzipiert, dass der relativ große Hautabdruck in den oberen Bereich eingeführt wird (unten rechts in Abbildung 6.35) und die kleineren Teststreifen im unteren Bereich (unten links in Abbildung 6.35).

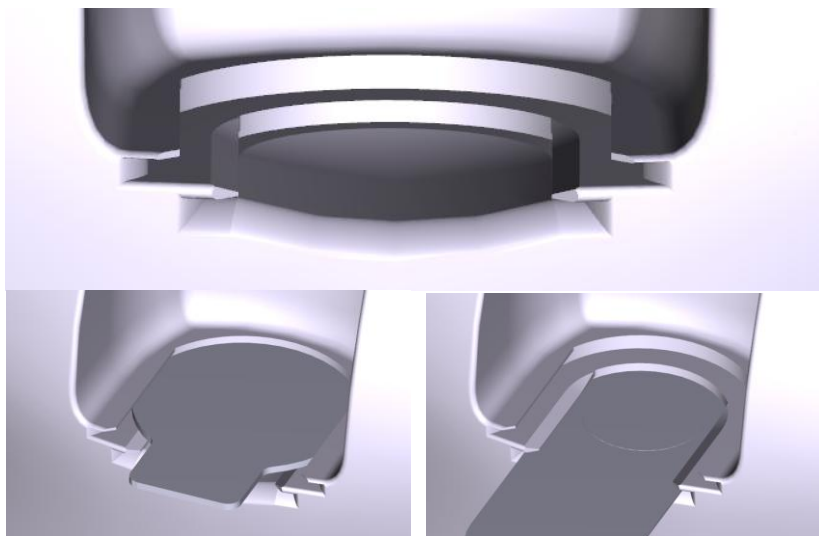


Abbildung 6.35: Konstruktion Teststreifenaufnahme

Beide Teststreifen sind durch Führungen, die jeweils oben und unten vorhanden sind, gegen Verkippen oder auch falsches Einlegen relativ gut gesichert.

6.8.2 Kameragehäuse

Beim Kameragehäuse ist es besonders wichtig, dass es bei Links- und Rechtshänder gut in der Hand liegt, dass der Taster gut erreicht werden kann und dass die Elektronik bzw. Optik ausreichend Platz erhält. Außerdem soll sichergestellt werden, dass der Nutzer die Kamera intuitiv lagerichtig in der Hand hält. Ein rein zylindrisches Design ist somit nicht geeignet.

Die ersten zwei Forderungen führen zu einem symmetrischen Aufbau des Gehäuses, wie er in der Ansicht von unten im rechten Teil der Abbildung 6.36 ersichtlich ist.



Abbildung 6.36: Kameragehäusekonstruktion

Eine größere Herausforderung ist es, die Elektronik in diesem vorgegebenen Platz unterzubringen. Die Bevorzugung des Objektivs mit der größeren Brennweite und der sich dadurch ergebenden größeren Arbeitsabstand bildet eine zusätzliche Schwierigkeit.

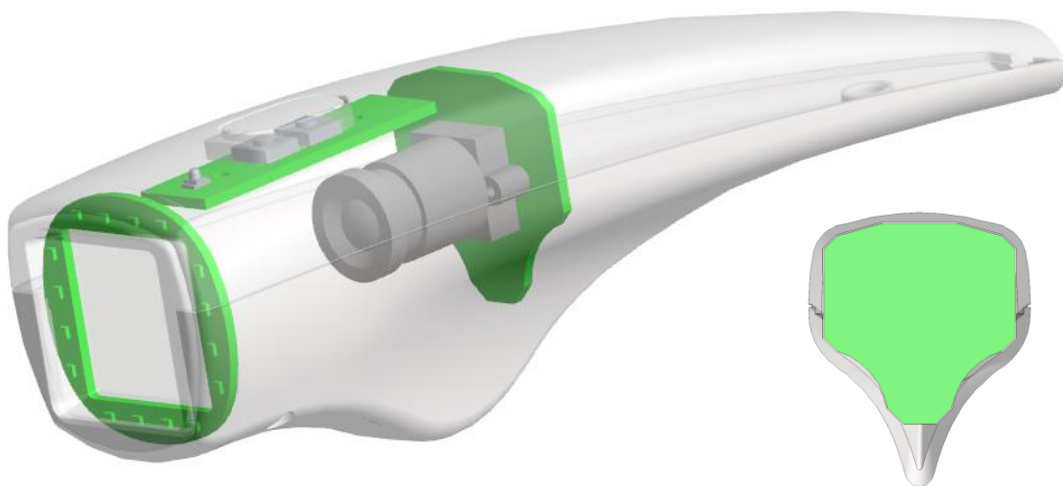


Abbildung 6.37: Elektronikmodul im Gehäuse

Die Leiterplatte, auf der sich der Bildsensor und der Prozessor befinden, muss aus diesem Grund sehr kompakt sein und dabei eine eher unübliche Außenkontur aufweisen, wie es auf dem Schnittbild im rechten Teil der Abbildung 6.37 ersichtlich ist.

6.8.3 Bedienelement

Zur Realisierung des Bedienelements werden einfache Taster, wie bereits in Abbildung 4.29 gezeigt, eingesetzt. Die in der Konzeptphase angeführte Berührungssensorvariante

wird aufgrund der nicht vorhandenen haptischen Rückmeldung nicht realisiert (vgl. 4.5). Eine Tasterabdeckung als eigenes Kunststoffteil soll das, für den Nutzer sicht- und berührbare Betätigungsfeld, bilden. Die realisierte Konstruktion des Bedienelements ist in Abbildung 6.38 ersichtlich.

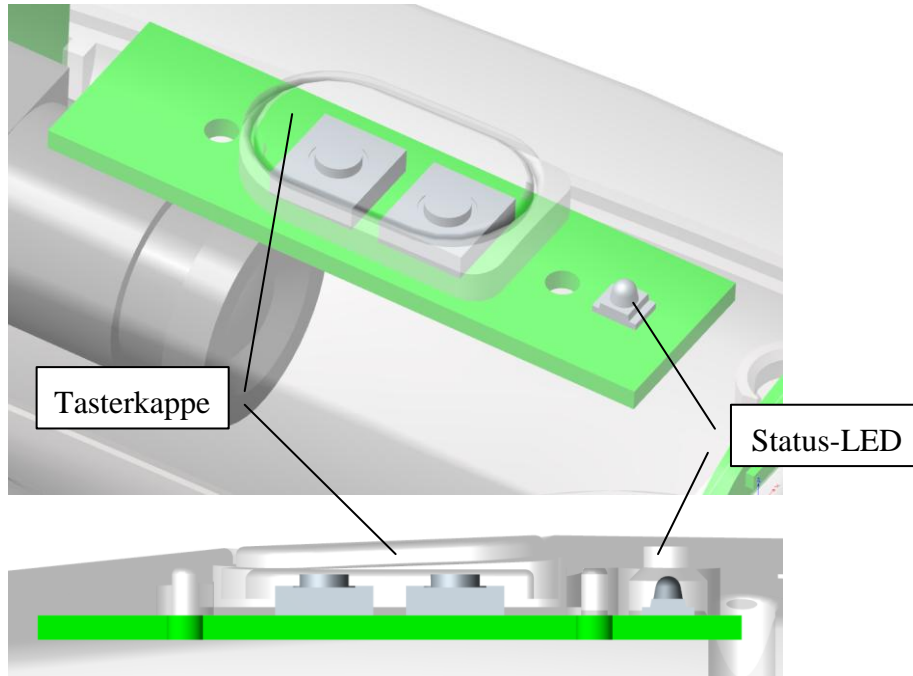


Abbildung 6.38: Konstruktion des Bedienelements

Um die Erreichbarkeit für unterschiedlich große Hände zu erhöhen, wird die Taste länglich ausgeführt. Der Einsatz von zwei Tastern hat keine funktionalen Gründe, sondern soll nur eine Betätigung der Taster an verschiedenen Stellen mit gleichmäßigen Kraftverhältnissen ermöglichen. So würde mit nur einem Taster bei einem Tastendruck am Randbereich die Taste verkippen. Dadurch würde sich die Reibung zwischen der Tasterkappe und dem Kameragehäuse ungleichmäßig erhöhen und der Bediener hat eine unsaubere haptische Rückmeldung. Für die Auswertung des Tastenzustandes werden zwar beide Tasten ausgewertet, die zugewiesene Reaktion ist jedoch für beide die Gleiche.

Wie in der Konzeptphase beschrieben, soll dem Nutzer durch eine einfache visuelle Rückmeldung der Gerätestatus vermittelt werden. Dies wird mit einer Leuchtdiode realisiert, die in einen Gehäusedom hineinstrahlt. Dessen Kuppel weist eine sehr geringe Wandstärke auf, wodurch das Licht hindurchscheinen kann. Diese Realisierung hat den Vorteil, dass keine Öffnung im Gehäuse vorhanden sein muss. Zudem ist die Positionierung der Leuchtdiode so gewählt, dass sie einfach auf der gleichen Leiterplatte wie die Taster befestigt werden kann.

6.9 Konstruktion des Elektronikmoduls

In der folgenden Abbildung sind die beiden Seiten des Elektronikmoduls abgebildet und die wichtigsten Komponenten beschrieben.

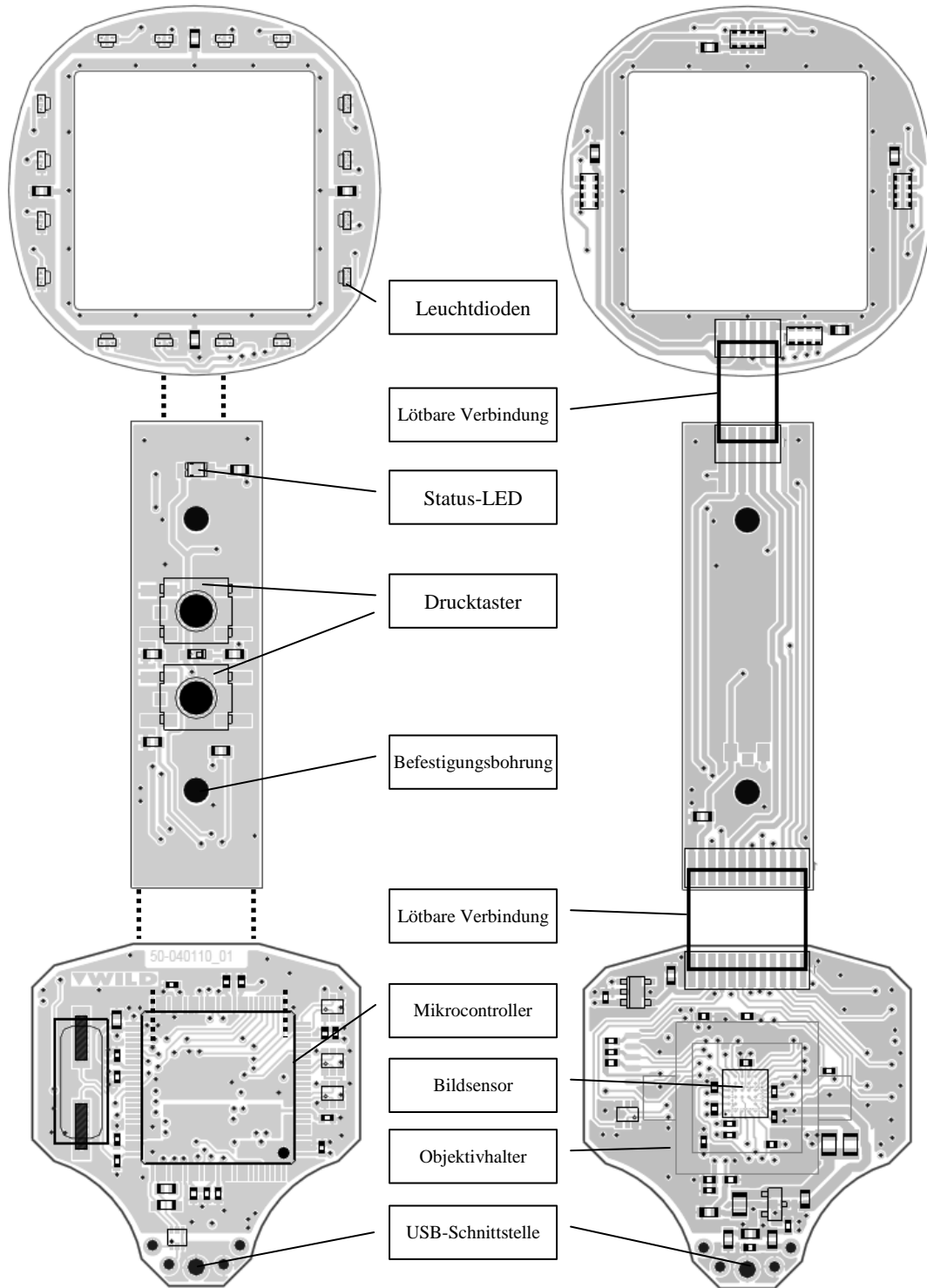


Abbildung 6.39: Bestückungsplan des Kameramoduls

7 Ergebnisse und Ausblick

Im Folgenden werden die Entwicklungsergebnisse in Form eines Funktionsprototypen angeführt. Dieses Zwischenergebnis dient dazu, vor der Realisierung der seriennahen Prototypen die Eigenschaften und die Abdeckung der Anforderungen gemeinsam mit dem Projektauftraggeber zu erörtern.

7.1 Elektronikmodul

Da der Bildsensor nur in einem sogenannten Ball Grid Array (kurz: BGA) verfügbar ist, ist kein manuelles Lötén möglich, da hierbei die Anschlüsse in Form von Lötperlen auch in der Mitte des Gehäuses angeordnet und daher von außen nicht erreichbar sind. Daher muss der Lötprozess von einem externen Fertiger in einem Lötöfen gemacht werden. Das gefertigte Elektronikmodul ist in Abbildung 7.1 ersichtlich.

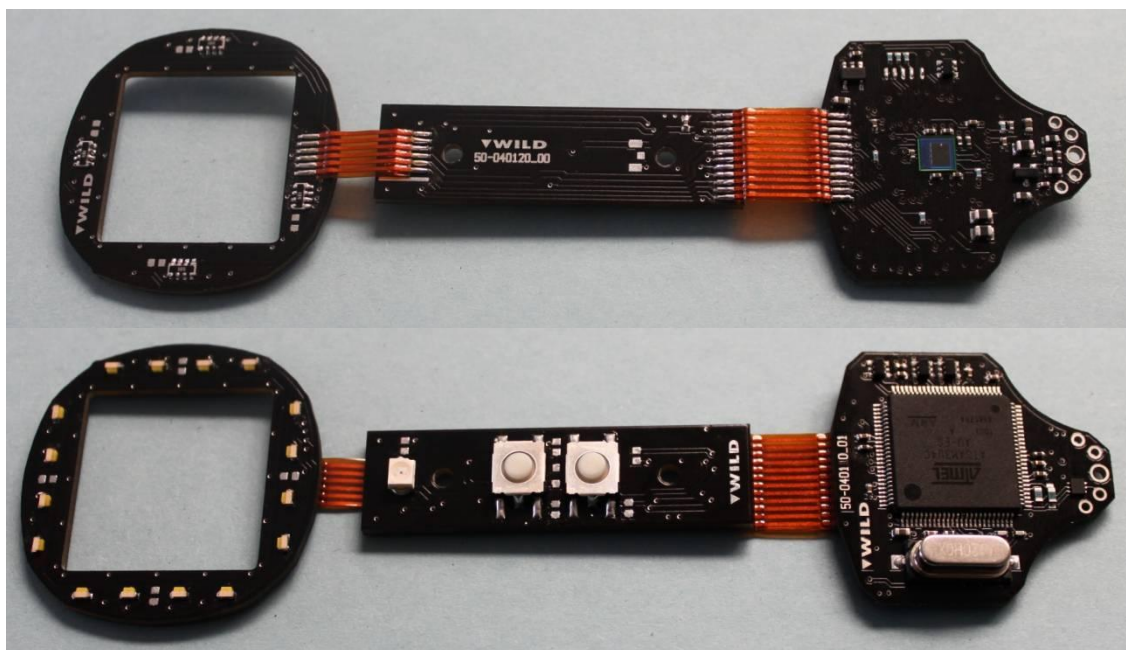


Abbildung 7.1: Bestücktes Elektronikmodul

Die Leiterplatte ist mit einem schwarzen Lötstopplack überzogen, welcher Reflexionen der Beleuchtung unterdrücken soll.

Der Objektivhalter wird nachträglich direkt auf die Leiterplatte geklebt. Für die Serie muss für diesen Vorgang eine Vorrichtung konstruiert werden, da sich insbesondere ein Verkippen des Halters intensiv auf die Positionierung der Abbildung auswirken würde.

7.2 Funktionsprototyp

Eine wichtige Anforderung an das Produkt ist das äußere Erscheinungsbild. Um dem Projektauftraggeber die Möglichkeit zu geben, das Design zu bewerten, ist eine dreidimensionale Darstellung des Gerätes (siehe Abbildung 6.36) durchaus geeignet.

Allerdings kann hier nur ein visueller Eindruck vermittelt werden. Vor allem für ein Gerät, welches in der Hand gehalten wird, sind jedoch Parameter wie die Handhabung, die Erreichbarkeit der Taste, das Gewicht und die Absolutgröße wichtig um die Konstruktion bewerten zu können. Daher wird mittels sogenanntem Rapid-Prototyping ein Gehäuse gefertigt, welches in Bezug auf Gewicht und –nach entsprechender Bearbeitung- auch in Bezug auf die Oberfläche den Eigenschaften eines Serienkunststoffteils sehr nahe kommt (vgl. [20]).

7.2.1 Kameramodul

In Abbildung 7.2 ist der gefertigte Prototyp des Kameramoduls ersichtlich. Wie im vor-
deren Bereich erkennbar ist, ist auch das Elektronikmodul bereits verbaut.



Abbildung 7.2: Funktionsprototyp Kameramodul

Die folgenden Aufnahmen zeigen die Anordnung des Elektronikmoduls im geöffneten Gehäuse und das Kameramodul mit dem Halter.

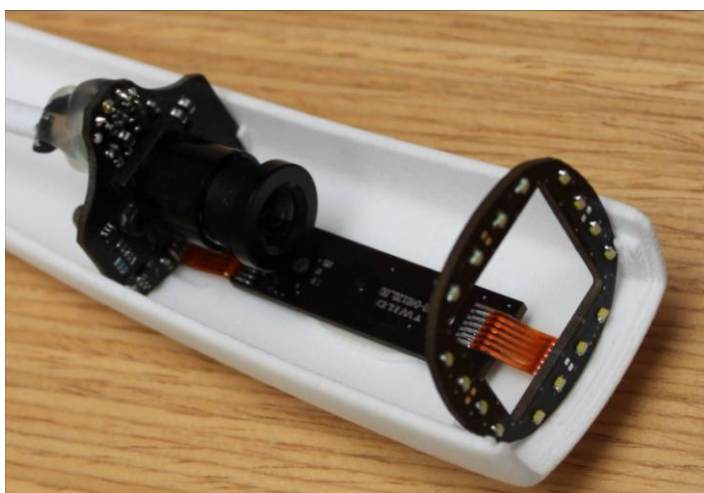
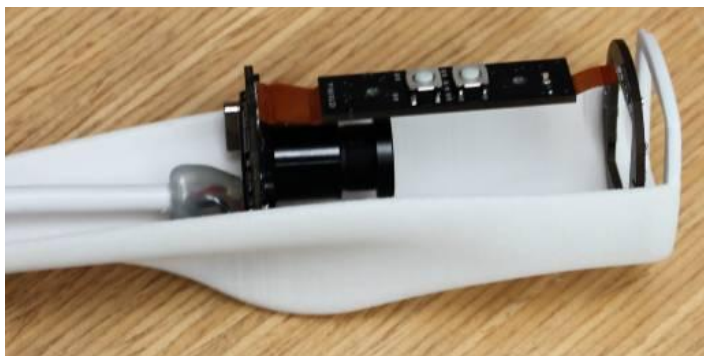


Abbildung 7.3: Elektronikmodul im Funktionsprototyp



Abbildung 7.4: Fertiger Aufbau des Funktionsprototyps

7.3 Versuchsbilder

Mittels einer ersten Versuchsapplikation können bereits Abbildungen der Teststreifen und der Hautoberfläche erstellt werden. Ebenso ist es möglich, die einzelnen Beleuchtungsgruppen anzusteuern und den Zustand der Bedienelemente abzufragen.

In Abbildung 7.5 ist die Indikatorfläche eines Hautfettindikators ersichtlich. Die hohe Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung führt zu einem großen Vorteil für die Bildverarbeitung. So kann, wie angedacht, ohne aufwendige Bildvorverarbeitung eine einfache Schwellwertoperation angewandt werden, um die Auswertung durchführen zu können.



Abbildung 7.5: Abbildung Hautfettindikator

Die folgende Abbildung zeigt den Indikator, welcher einen Rückschluss auf die Hautfeuchte zulassen soll. Wie zu sehen ist, kann auch hier eine einfache Schwellwertoperation angewandt werden. Insbesondere die Tatsache, dass durch die seitliche Beleuchtung keine Reflexionen auf der relativ glatten Oberfläche auftreten, ist hier von Vorteil.

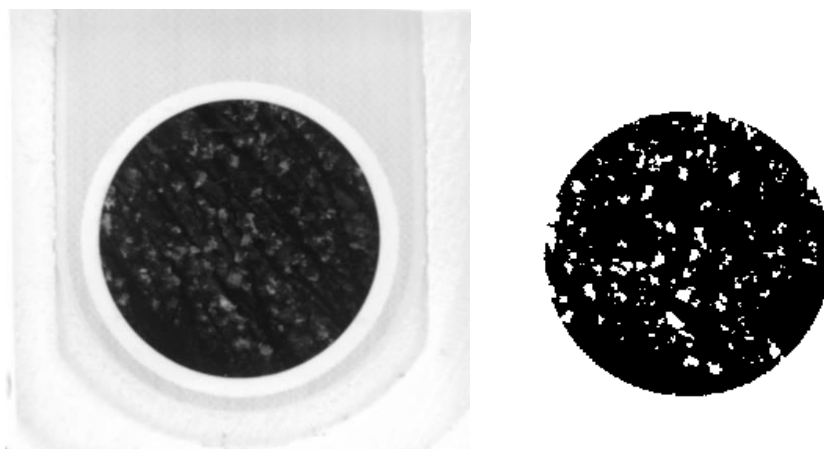


Abbildung 7.6: Abbildung Hautfeuchteindikator

Der dritte Anwendungsfall, die Analyse des Hautabdrucks, ist in Abbildung 7.7 zu sehen.



Abbildung 7.7: Hautabdruck mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen

Die Beleuchtung wird zugunsten der gleichmäßigeren Ausleuchtung etwas höher positioniert, als dies bei den Abbildungen im Abschnitt 6.3.2 der Fall war. Da der Beleuchtungswinkel nun nicht mehr so flach ist, ist nun auch der Kontrast zwar geringer aber immer noch ausreichend.

Abschließend soll auch noch die Möglichkeit der Abbildung der Hautoberfläche gezeigt werden. Wie in Abbildung 7.8 zu sehen ist, profitiert auch diese Aufnahme von der seitlichen Beleuchtung in Form einer kontrastreichen Darstellung der Hautoberfläche.



Abbildung 7.8: Abbildung der Hautoberfläche

7.4 Ausblick

Mit dem erklärten Ziel dieser Diplomarbeit, die Entwicklung der Hardware bis zum Funktionsprototyp, ist auch für das Gesamtprojekt bezogen auf den Projektinhalt die Halbzeit erreicht. Die Übersicht in Abbildung 7.9 gibt einen Überblick über die bereits durchgeführten Projektinhalte und den noch abzuhandelnden Aufgaben.

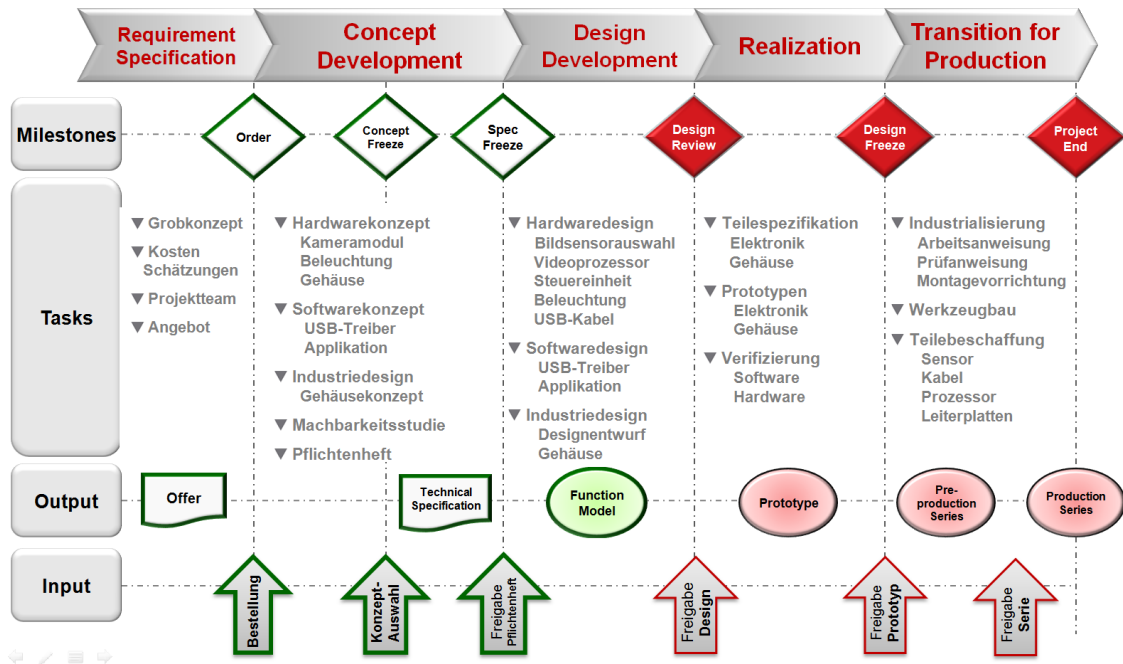


Abbildung 7.9: Projektübersicht

Der nächste Schritt ist die gemeinsame Erörterung der Eigenschaften den Funktionsprototypen mit dem Projektauftraggeber. Nach Freigabe des Designs erfolgt die Fertigung der seriennahen Prototypen. Parallel dazu erfolgt außerdem die Programmierung der Applikation für die Auswertung der Indikatorstreifen. Nach Fertigstellung der Prototypen beginnt die Produktverifizierung entsprechend der festgelegten Normen. Nach einer ersten Einschätzung wird hier, aufgrund der hohen Taktfrequenzen, die Einhaltung der Grenzwerte für Störabstrahlung gemäß der EMV-Richtlinie (kurz für Elektromagnetische Verträglichkeit) als am kritischsten betrachtet. Daher wurde die Störabstrahlung des Kameramoduls bereits vorab im Zuge einer informellen Messung begutachtet.

Das positive Ergebnis dieser Messung ist in Abbildung 7.10 ersichtlich.

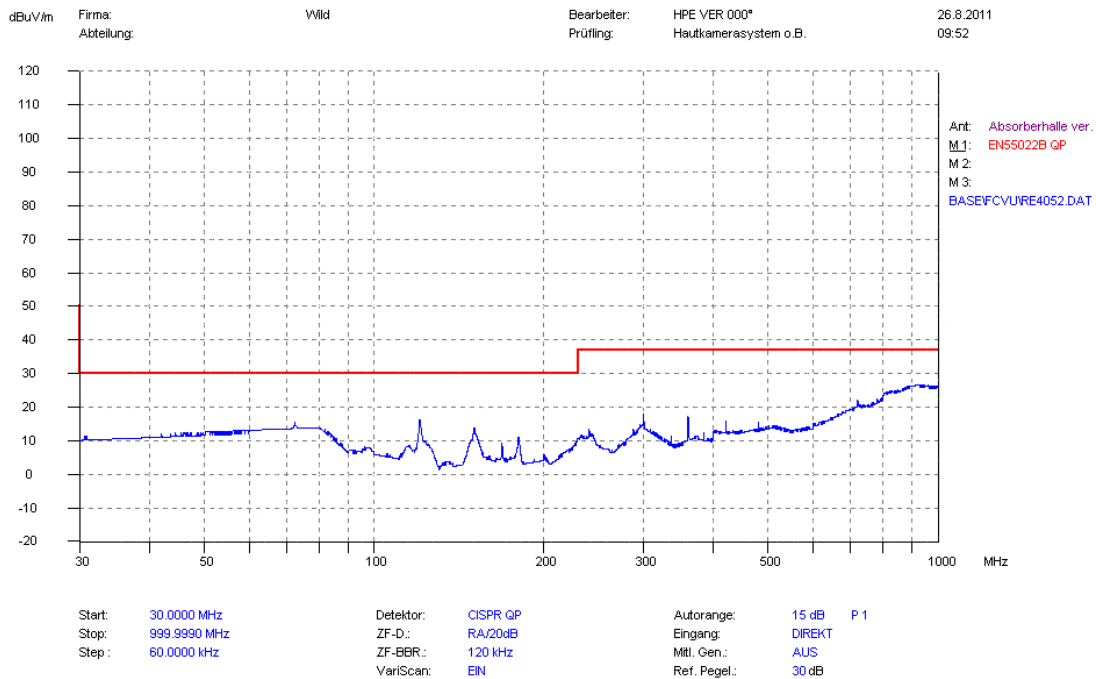


Abbildung 7.10: Informelle Messung der Störabstrahlung

Diese Einhaltung der Grenzwerte für die Störabstrahlung ist ein wichtiges Teilergebnis in Richtung eines verifizierten Produkts.

Für den Projektauftraggeber sind die gefertigten seriennahen Prototypen vor allem wichtig, um bereits erste Produktpräsentationen für potenzielle Großkunden durchführen zu können und so die Marktresonanz abschätzen zu können. Als letzte Phase erfolgt die Serienüberleitung für das Produkt mit dem Aufbau aller notwendigen Produktionsvorrichtungen. Nach Freigabe der Erstserie und der Freigabe durch den Kunden startet die Serienproduktion und damit wird das Entwicklungsprojekt beendet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Beispiel Indikatorfläche.....	1
Abbildung 2.1: Entwicklungsprozessbild.....	3
Abbildung 2.2: Ablaufplan Phase 1.....	4
Abbildung 2.3: Ablaufplan Phase 2.....	5
Abbildung 2.4: Ablaufplan Phase 3.....	6
Abbildung 2.5: Ablaufplan Phase 4.....	7
Abbildung 2.6: Ablaufplan Phase 5.....	8
Abbildung 2.7: Ablaufplan Phase 6.....	8
Abbildung 2.8: Inhalt und Ablaufdarstellung der Produktentwicklung.....	9
Abbildung 3.1: Testaufnahme Hautfettindikator.....	11
Abbildung 3.2: Testaufnahme Hautfeuchteindikator.....	12
Abbildung 3.3: Testaufnahme Silikonabdruck.....	12
Abbildung 3.4: Testaufnahme Hautoberfläche.....	13
Abbildung 4.1: Übersicht der Komponenten.....	14
Abbildung 4.2: Aufbau eines Interline-CCD-Sensors.....	17
Abbildung 4.3: Beispiel zum Smear Effekt.....	18
Abbildung 4.4: Beispiel zum Blooming-Effekt.....	18
Abbildung 4.5: Aufbau eines CMOS-Sensors.....	19
Abbildung 4.6: Zeitlicher Ablauf beim Rolling bzw. Global Shutter.....	21
Abbildung 4.7: Übersicht über derzeit gängige Bildformate.....	23
Abbildung 4.8: Betrachtung von Seitenverhältnissen.....	24
Abbildung 4.9: Beispiel für eine Falschfarbendarstellung.....	27
Abbildung 4.10: Schematische Darstellung eines Drei-Chip-Farbsensors.....	27
Abbildung 4.11: Bayer-Farbfiler.....	28
Abbildung 4.12: Nachteil durch die Farbinterpolation.....	29
Abbildung 4.13: Prinzip der 3-Schicht-Kamera.....	29
Abbildung 4.14: Mikrolinsen und ihre Wirkung.....	33
Abbildung 4.15: Aufnahme eines sich schnell drehenden Objekts.....	34
Abbildung 4.16: Auswahl der Bildsensortechnologie.....	35
Abbildung 4.17: Beispiel für ein M12x0.5 Objektiv.....	37
Abbildung 4.18: Abbildungssystem mit einer dünnen Linse.....	38
Abbildung 4.19: Skizze zur Erklärung der Blendenzahl.....	39
Abbildung 4.20: Ausgeleuchtete Bereiche bei einem 4:3 Sensor.....	41
Abbildung 4.21: Skizze zur chromatischen Aberration.....	42
Abbildung 4.22: Skizze zur Bildfeldwölbung.....	42
Abbildung 4.23: Skizze zur Verzeichnung.....	43
Abbildung 4.24: Skizze zur Schärfentiefe.....	44
Abbildung 4.25: Beispiel Strukturbeleuchtung.....	45
Abbildung 4.26: Vergleich von Auflicht und seitlicher Beleuchtung.....	48

Abbildung 4.27: Reflexion bei seitlicher Beleuchtung.....	48
Abbildung 4.28: Beleuchtung eines Hautabdrucks aus verschiedenen Richtungen.....	49
Abbildung 4.29: Beispielfoto Drucktaster.....	50
Abbildung 4.30: Prinzip des kapazitiven Tasters.....	51
Abbildung 4.31: Kapazitiver Slide Sensor.....	52
Abbildung 4.32: Übersicht über die logischen USB Komponenten.....	57
Abbildung 4.33: Spezifizierte Stromaufnahme im Ruhemodus.....	64
Abbildung 4.34: Typischer Aufbau eines USB2.0- Kabels.....	65
Abbildung 4.35: USB2.0-Steckverbinder.....	67
Abbildung 4.36: Kabelassemblierung mit Typ-A-Stecker und offenem Ende.....	68
Abbildung 4.37: Gehäusekonzept.....	70
Abbildung 4.38: Designstudie 1 (Stehende Anordnung).....	71
Abbildung 4.39: Designstudie 2 (Liegende Anordnung).....	72
Abbildung 4.40: Designstudie 3 (Schräge Anordnung).....	72
Abbildung 5.1: Übersicht Software.....	73
Abbildung 5.2: Programmablauf.....	78
Abbildung 5.3: Navigationsleiste.....	80
Abbildung 5.4: Grafische Oberfläche der Hautfettauswertung.....	82
Abbildung 5.5: Grafische Oberfläche der Hautfeuchteauswertung.....	83
Abbildung 5.6: Grafische Oberfläche der Hautfaltenauswertung.....	84
Abbildung 5.7: Grafische Oberfläche des Hautkameranodus.....	85
Abbildung 5.8: Grafische Oberfläche der Zusammenfassung.....	85
Abbildung 6.1: Blockschaltbild des Bildsensors.....	88
Abbildung 6.2: Protokollstruktur für einen Schreibzugriff.....	89
Abbildung 6.3: Protokollstruktur für einen Lesezugriff.....	89
Abbildung 6.4: Open-Drain-Ausgang.....	92
Abbildung 6.5: Beschaltung Bildsensor.....	93
Abbildung 6.6: Referenzbild.....	94
Abbildung 6.7: Bewertung der Bildschärfe.....	94
Abbildung 6.8: Konzept zur Objektivjustierung.....	95
Abbildung 6.9: Testbild mit 2,97mm Brennweite.....	95
Abbildung 6.10: Testbild mit 3,6mm Brennweite.....	96
Abbildung 6.11: Testbild mit 4,3mm Brennweite.....	96
Abbildung 6.12: Versuchsprototypen Auflicht.....	97
Abbildung 6.13: Testbild des Hautfeuchteindikators mit Auflicht.....	97
Abbildung 6.14: Beleuchtungsmodul mit einer Leuchtdiode je Seite.....	98
Abbildung 6.15: Beleuchtungsversuch mit einer Leuchtdiode je Seite.....	99
Abbildung 6.16: Schwarz-Weiß-Bild des Hautabdrucks.....	99
Abbildung 6.17: Ausleuchtung mit einer Leuchtdiode je Seite.....	100
Abbildung 6.18: Weitere Beleuchtungsmodule.....	100
Abbildung 6.19: Ausleuchtung mit zwei Leuchtdioden je Seite.....	101

Abbildung 6.20: Leiterplattendesign des Beleuchtungsmoduls	101
Abbildung 6.21: Beleuchtungsversuch mit vier Leuchtdioden je Seite.....	102
Abbildung 6.22: Tiefpass als Störfilter	103
Abbildung 6.23: Impedanzverlauf eines Ferrits	104
Abbildung 6.24: Vergleich der Güte von Ferrit und Induktivität	104
Abbildung 6.25: Entstörung der USB-Schnittstelle.....	105
Abbildung 6.26: Anordnung der USB-Schnittstellen-Filter	105
Abbildung 6.27: Übersicht der Spannungsversorgungen	106
Abbildung 6.28: Leuchtdioden-Versorgung	107
Abbildung 6.29: Mikrocontroller - und Bildsensor-Versorgung	107
Abbildung 6.30: Versorgung des USB-Moduls.....	108
Abbildung 6.31: Aufbau des Elektronikmoduls	109
Abbildung 6.32: Schrägansicht der Kamera im Halter	110
Abbildung 6.33: Kamerahalterkonstruktion	111
Abbildung 6.34: Positionierung mittels Magnet.....	112
Abbildung 6.35: Konstruktion Teststreifenaufnahme	112
Abbildung 6.36: Kameragehäusekonstruktion	113
Abbildung 6.37: Elektronikmodul im Gehäuse	113
Abbildung 6.38: Konstruktion des Bedienelements	114
Abbildung 6.39: Bestückungsplan des Kameramoduls	115
Abbildung 7.1: Bestücktes Elektronikmodul.....	116
Abbildung 7.2: Funktionsprototyp Kameramodul.....	117
Abbildung 7.3: Elektronikmodul im Funktionsprototyp	118
Abbildung 7.4: Fertiger Aufbau des Funktionsprototyps	118
Abbildung 7.5: Abbildung Hautfettindikator.....	119
Abbildung 7.6: Abbildung Hautfeuchteindikator	119
Abbildung 7.7: Hautabdruck mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen	120
Abbildung 7.8: Abbildung der Hautoberfläche	120
Abbildung 7.9: Projektübersicht	121
Abbildung 7.10: Informelle Messung der Störabstrahlung	122

Abkürzungsverzeichnis

APS	Active Pixel Sensor
ASIC	Application Specified Integrated Circuit
AWG	American Wire Gauge
BGA	Ball Grid Array
CCD	Charged Coupled Device
CFA	Color Filter Array
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DPMS	Development Project Management System
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
FPS	Frames per Second
LED	Light Emitting Diode
MPG	Medizinproduktegesetz
Pixel	Picture Element
RAW	Roh (Bilddatenformat)
RGB	Rot-Grün-Blau (Bilddatenformat)
SOC	System on Chip
USB	Universal Serial Bus

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Typische optische Formate.....	25
Tabelle 4-2: Bildsensor Auswahlkriterien	36
Tabelle 4-3: USB-Geschwindigkeitsklassen	59
Tabelle 4-4: USB2.0 Signalbelegung	65
Tabelle 4-5: Kabeldurchmesser der Versorgungsleitung.....	66
Tabelle 6-1: Eigenschaften des OV7740	86
Tabelle 6-2: Versorgungsanschlüsse des OV7740	87
Tabelle 6-3: Daten und Steueranschlüsse des Bildsensors	88
Tabelle 6-4: Analyse des Pixeltakts	91

Literaturverzeichnis

- [1] Atmel Cooperation: *High Speed USB Design Guidelines*. Atmel, 2010
- [2] Atmel Cooperation: *QTouch Library User Guide*. Atmel, 2010
- [3] Atmel Cooperation: *SAM3U Datasheet*. Atmel, 2010
- [4] Azad P.; Gockel T.; Dillmann R.: *Computer Vision*. Elektor, 2009
- [5] Demant C.; Streicher-Abel B.; Springhoff A.: *Industrielle Bildverarbeitung*. Springer-Verlag, 2011
- [6] Edmund Optics: *Katalog für Optiken und optische Instrumente*. 2011
- [7] Erhardt A.: *Einführung in die Digitale Bildverarbeitung*. Vieweg, 2008
- [8] Hartl H.; Krasser E.; Pribyl W.; Söser P.; Winkler G.: *Elektronische Schaltungstechnik mit Beispielen in Pspice*. Pearson, 2008
- [9] Kuchling H.: *Taschenbuch der Physik*. Hanser Fachbuchverlag 2010
- [10] Omnivision Tech.: *OV7740 Datasheet*. Omnivision Tech., 2009
- [11] Omnivision Tech.: *Serial Camera Control Bus*. Omnivision, 2007
- [12] Perme T.: *AN1101 Introduction to Capacitive Sensing*. Microchip, 2007
- [13] Kleinfelder, S. L.: *A 10,000 Frames/s 0.18 μ m CMOS Digital Pixel Sensor with Pixel-Level Memory*. Stanford University, 2001
- [14] The Imaging Source: *Objektive, Auswahl und Montage*, 2006 - URL: www.theimagingsource.com
- [15] Tietze U.; Schenk C.: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer, 2009
- [16] USB Implementers Forum: *Universal Serial Bus Specification Revision 2.0*, 2000
- [17] WILD: *Pflichtenheft_Hautkameranystem_Rev03*, 2011
- [18] Wüst K.: *Mikroprozessortechnik: Grundlagen, Architekturen und Programmierung von Mikroprozessoren, Mikrocontrollern und Signalprozessoren*. Vieweg + Teubner, 2009
- [19] Würth Elektronik: *Trilogie der induktiven Bauelemente*. Swiridoff, 2008
- [20] Bertsche B.; Bullinger H.: *Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte - Rapid Prototyping*. Springer 2007

Stichwortverzeichnis

- Abbildungsfehler 41
- Abbildungsgesetze 37
- Active Pixel Sensor 19
- Applikation 78
- Auflicht 97
- Auflösung 23
- Bedienelement 50
- Bedienkonzept 80
- Beleuchtung 45
- Beleuchtungsmodul 101
- Belichtungssteuerung 34
- Belichtungszeit 20
- Bildfeldwölbung 42
- Bildrauschen 32
- Bildschärfe 94
- Bildsensor 15
- Blendenzahl 39
- Blooming 18
- Bulk-Transfer 58
- CameraLink 54
- CCD Sensor 16
- Chromatische Aberration 42
- CMOS-Sensor 19
- Control-Transfer 57
- Designstudie 71
- Drucktaster 50
- Elektronikmodul 108
- Filterung 103
- FireWire 54
- Firmware 74
- Gehäuse 69
- Gerätetreiber 76
- Geschwindigkeitsklasse 58
- Gigabit-Ethernet 55
- Global Shutter 20
- Interrupt-Transfer 58
- Isochroner Transfer 58
- Kabelassemblierung 68
- Kabelverbindung 65
- Kameragehäuse 112
- Kamerahalter 70, 111
- Kapazitiver Taster 50
- Laser 45
- Leuchtdioden 46
- Leuchtstoffröhren 46
- Matrixsensor 16
- Objektabstand 41
- Objektiv 36
- Objektivjustierung 95
- Optisches Format 25, 43
- Programmablauf 78
- Prozessor 59
- Rolling Shutter 20
- Ruhemodus 64
- Schärfentiefe 43
- Seitenverhältnis 23
- Sichtfeld 39
- Smear 18
- Softwarekonzept 73
- Spannungsversorgung 106
- Steckverbinder 67
- Steuerbefehle 75
- Universal Serial Bus 56
- Zeilensensor 15