



UNIVERSITÄT  
KOBLENZ · LANDAU

Fachbereich 4: Informatik

# Light Painting / Entwicklung eines Pixel-Sticks

## Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades eines Bachelor of Science (B.Sc.)  
im Studiengang Computervisualistik

vorgelegt von  
Marius Köpcke

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Müller  
(Institut für Computervisualistik, AG Computergraphik)  
Zweitgutachter: Dr. Markus Lohoff  
(Institut für Kunstwissenschaft, Arbeitsbereich Digitale Medien)

Koblenz, im Oktober 2016



Aufgabenstellung für die Studienarbeit  
Marius Köpcke (Matr.-Nr. 211 200 047)

**Thema: Light Painting: Entwicklung eines Pixel-Sticks**

Light Painting eröffnet viele neue Möglichkeiten in der Fotografie. Mit Kreativität und den nötigen Tools lassen sich außergewöhnliche Fotos erstellen. Ein sehr vielseitiges Tool ist ein sogenannter Pixel-Stick. Ein solcher besteht aus einem Streifen von adressierbaren LEDs, welche durch einen Kleinrechner angesteuert werden. Auf diese Weise können einfache Farben bis hin zu komplexen Bildern in ein Light Painting eingebracht werden. Die einzige Limitierung besteht darin, dass man die zu verwendenden Daten vorab am PC aufbereiten muss.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Light Painting Tools. Ein Pixel Stick soll dabei über einen Kleinrechner (z.B. Arduino, Teensy oder Raspberry Pi) angesteuert werden. Durch die Bewegung des Sticks wird während einer Langzeitbelichtung das von dem Stick emittierte Licht aufgezeichnet, ähnlich einem Pinsel (Stick) auf einer Leinwand (Kamerasensor). Schwerpunkt bei der Entwicklung ist eine vielseitige und robuste Konstruktion mit den nötigen Funktionen für die Erstellung von Light Paintings. Optional ist die Verbindung des Kleinrechners mit einem Smartphone angedacht, damit Bilder vor Ort verändert und vom Smartphone auf den Kleinrechner übertragen werden können.

Schwerpunkte dieser Arbeit sind:

1. Einarbeitung in relevanten Technologien
2. Konzeption der Anwendung und Auswahl der Komponenten
3. Implementierung (Hardware und Software)
4. Bewertung
5. Dokumentation der Ergebnisse

Betreuer: Dr. Markus Lohoff

Koblenz, den 11.12. 2015

- Marius Köpcke -

- Prof. Dr. Stefan Müller -

## Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ja    Nein

Mit der Einstellung der Arbeit in die Bibliothek bin ich einverstanden.       

Der Veröffentlichung dieser Arbeit im Internet stimme ich zu.       

.....  
(Ort, Datum)

.....  
(Unterschrift)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Light Painting . . . . .	3
2.1.1	Technik . . . . .	3
2.1.2	Geschichte der Light Painting Fotografie . . . . .	6
2.2	Microcontroller und LED Pixel . . . . .	13
2.2.1	Microcontroller . . . . .	13
2.2.2	RGB LED-Pixel . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Der Pixel-Stick</b>	<b>17</b>
3.1	Entwicklung der Hardware . . . . .	17
3.1.1	Idee und Konzeption . . . . .	17
3.1.2	Bauteile des Pixel-Sticks . . . . .	19
3.1.3	Programmierung des Mikrocontrollers . . . . .	20
3.2	Die Android Anwendung . . . . .	23
3.2.1	Android Entwicklung . . . . .	23
3.2.2	Aufbau und Funktionen der Anwendung . . . . .	24
3.2.3	Funktionsweise und Verwendung . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Künstlerisches Konzept und Umsetzung</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>31</b>

## **Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Pixel-Sticks, ein digitales Hilfsmittel für das Light Painting. Schwerpunkte sind die Entwicklung von Hard- und Software des Sticks, sowie einer Android Applikation für die Bedienung.

Der Einbezug des Smartphones unterscheidet diesen Pixel-Stick von anderen Varianten. Neben der grundlegenden Steuerung ist es möglich, Bilder direkt von dem Smartphone auf den Stick zu übertragen.

## **Abstract**

The present work is concerned with the development of a pixel-stick, a digital tool for Light Painting. Focuses are the development of hard- and software of the stick and an Android application for the operation.

The inclusion of a smartphone distinguishes this pixel stick from available models. In addition to basic control capabilities, it is possible to transmit images directly from the phone to the stick.

# 1 Einleitung

Der in dieser Arbeit vorgestellte Pixel-Stick ist eine Weiterentwicklung mit Fokus auf der Einbeziehung des Smartphones. Die Bedienung wird erleichtert und ein neues Bedienkonzept ermöglicht. Eine Android Anwendung macht physische Bedienelemente überflüssig. Darüber hinaus wird es möglich, Bilder direkt auf den Pixel-Stick zu übertragen.

In den vergangenen Jahren wurden viele verschiedene, elektronische Hilfsmittel für das Light Painting entwickelt. Light Painting ist das gezielte Aufzeichnen von Bewegungen des Lichts mit einer Kamera. *Der Künstler ist vergleichbar mit einem Maler, der Farbe um Farbe auf die Leinwand aufträgt. Zum Aufzeichnen wird eine Langzeitbelichtung mit einer Kamera erstellt. Es werden alle Elemente während des Öffnens und Schließens des Verschlusses direkt auf den Sensor oder Film gezeichnet.*[WÖ10] Ein Light Painting Foto hält komplexe Bewegungen und Momente von einigen Sekunden, bis hin zu mehreren Stunden fest. *Es ist die Symbiose aus Fotografie und Performance.*[WÖ10]

Der Pixel-Stick ist eines der komplexesten Hilfsmittel für die Lichtmalerei. Er ist ein Bindeglied zwischen digitalen Bilddaten und dem Light Painting. Computergrafiken und digitale Bilder werden zu einem Teil von einer Fotografie. Neben der Performance des Akteurs und dem Einsatz verschiedener Lichtquellen wird zusätzlich der Computer als Werkzeug etabliert.

Die fortschreitende Entwicklung im Bereich der LED Technik und der digitalen Steuerungen eröffnen viele neue Möglichkeiten für den Künstler. Günstige und zugleich vielseitige Leuchtmittel erleichtern, in Verbindung mit der digitalen Fotografie, den Zugang zum Light Painting. Diese Faktoren tragen dazu bei, dass die Gemeinschaft von Fotografen in diesem Bereich schnell gewachsen ist. Im Internet existieren zahlreiche Foren und Webseiten mit Tipps und Anleitungen zu diesem Thema. Soziale Medien bieten eine große Plattform, um entstandene Bilder zu präsentieren und sich mit anderen Fotografen auszutauschen.

Die Vielfalt an Hilfsmitteln ist durch ständiges Ausprobieren und Weiterentwickeln sehr groß geworden. Es wird unterschieden zwischen einfachen und programmierbaren Lichtquellen. Eine programmierbare Steuerung dient oft als Erweiterung bereits existierender Konstruktionen. Das schnelle Ändern von Farben und deren Anordnung ist mit wenigen Anweisungen möglich. Zusätzlich können Animationen in die Performance mit einfließen, um neue Effekte zu kreieren.

Im Vergleich zu den einfachen Hilfsmitteln bietet der Pixel-Stick ein hohes Maß an Flexibilität. Der Fotograf kann das Licht genau nach seinen Wünschen gestalten und repetitiv anwenden.

Für eine lange Zeit waren Pixel-Sticks Hobby-Projekte von ambitionierten

Künstlern. Im Jahr 2015 ermöglichte eine Crowdfunding Kampagne erstmals eine kommerzielle Variante. Mit dem Verkauf sind auch technisch weniger versierte Anwender nun in der Lage einen Pixel-Stick zu nutzen. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird die Konstruktion eines erweiterten Pixel-Sticks beschrieben. Das Bedienkonzept unterscheidet sich dabei deutlich. Es wird vollkommen auf physische Bedienelemente, am Gerät, verzichtet und die gesamte Steuerung mit einer Android Anwendung umgesetzt. Durch diese Entscheidung kann die Konstruktion deutlich schlichter werden und die Elektronik ist versteckt. Eine Kommunikation über Bluetooth ermöglicht es zudem Bilder direkt an den Stick zu übertragen. Die Mobilität wird dadurch gesteigert. Für die Verwendung der kommerzielle Variante müssen die Bilder zuerst von einem Computer auf eine Speicherkarte geladen werden.

## 2 Grundlagen

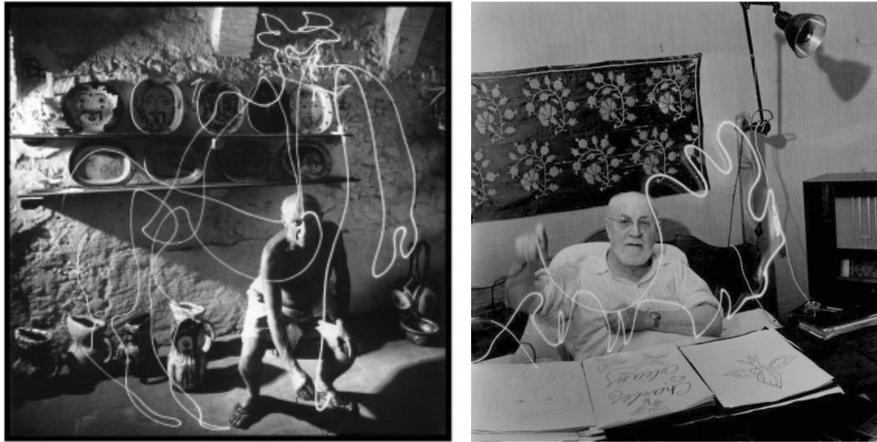
### 2.1 Light Painting

#### 2.1.1 Technik

Die Fotografie ist eine fast 200 Jahre alte Methode der Lichtzeichnung. Die Kamera nimmt ein Bild auf, indem das Licht in einer Szene aufgezeichnet wird. [WÖ10] In der analogen Fotografie geschieht das mit Hilfe eines Films. Diese Aufgabe übernimmt in digitalen Kameras ein Sensor.

Bei einer kurzen Belichtungszeit wird eine Momentaufnahme des vorhandenen Lichts aufgezeichnet, je kürzer diese Zeit, desto schnellere Abläufe lassen sich einfrieren. Für ein Light Painting wird das Licht für einen längeren Zeitraum aufgenommen. Die lange Belichtungszeit ermöglicht es, mit Licht zu malen. Bewegte Lichtquellen hinterlassen während der Langzeitbelichtung Lichtspuren auf dem Sensor oder dem Filmmaterial.

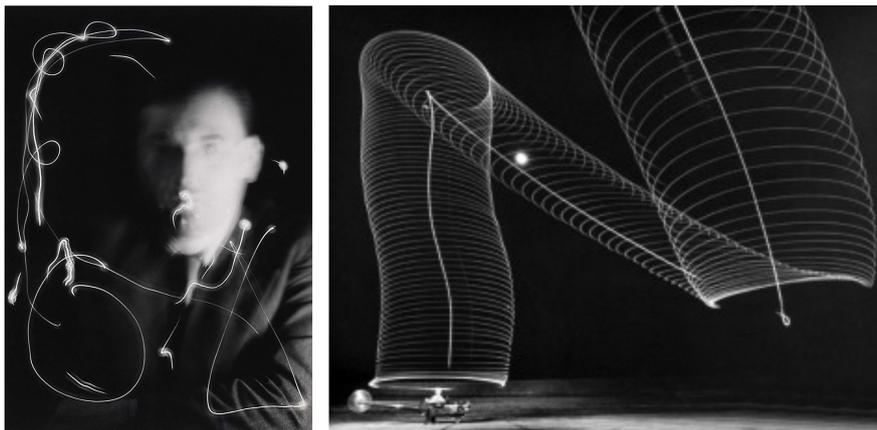
Die Möglichkeit, in einem bestimmten Zeitraum Bewegungen sichtbar zu machen, wird neben der künstlerischen Fotografie auch in der Wissenschaft eingesetzt. Um menschliche Bewegungsabläufe zu visualisieren, werden Lichtquellen an bestimmten Körperteilen angebracht und in Bewegung aufgezeichnet. Diese und ähnliche Techniken wurden als Alternative zu der Chronofotografie verwendet. In der Chronofotografie werden sehr schnelle Bilderserien eingesetzt um Bewegungen detailliert aufzuzeichnen, sie gilt als Grundlage der Videografie. In der Kunst ist das Light Painting der experimentellen Fotografie nah. Im Jahr 1949 inspirierte Gjon Mili bekannte Künstler zu Experimenten vor seiner Kamera. Pablo Picasso und Henry Matisse versuchen sich an der Malerei mit einem Lichtstift. 1



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-history/>

**Abbildung 1:** Gjion Mili: Picasso Draws a Centaur (links), Henry Matisse draws (rechts)

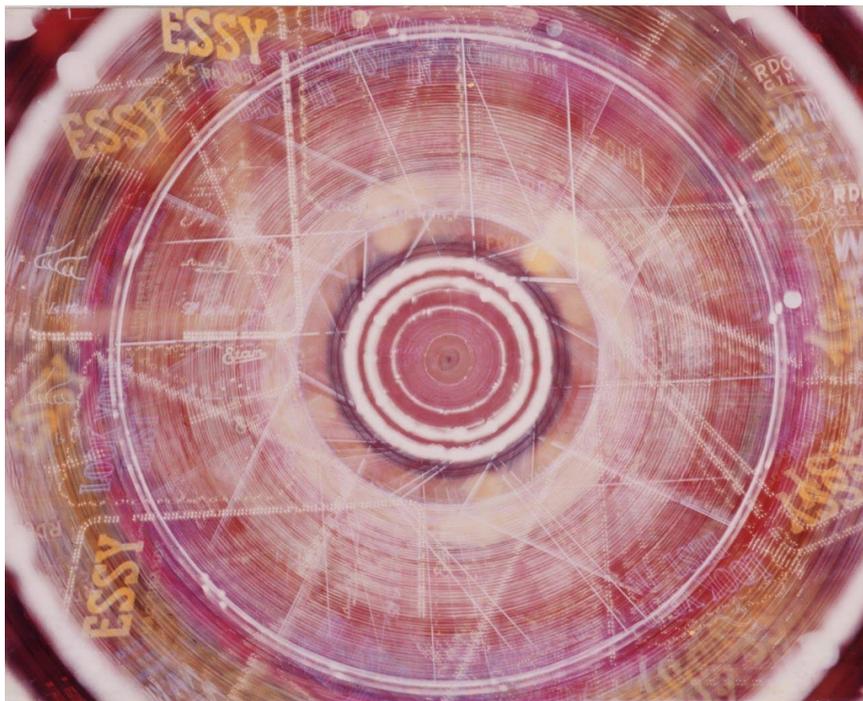
Der Künstler Man Ray nimmt zur gleichen Zeit eine Serie an Porträts auf. Seine Malereien mit dem Lichtstift wirken auf den ersten Blick zufällig, im Nachhinein stellte sich heraus, dass sich in vielen der Bilder seine Unterschrift verbirgt. Für sehr große und aufwendige Lichtmalereien ist Andreas Feininger bekannt. Er lichtete unter anderem startende und landende Helikopter ab. Dafür wurden Lampen an den Rotorblättern angebracht, um deren Rotation sichtbar zu machen.



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-history/>

**Abbildung 2:** Man Ray: Space writing (links), Andreas Feininger: Sikorsky 3 (rechts)

Neben der Bewegung im Bild setzten Künstler wie David Potts Bewegungen der Kamera für ihre Fotos ein. Potts prägt den Begriff des Kinetic Light Paintings. In einem Bild von 1953 fotografiert Potts den Piccadilly Circus in London mit dieser Technik 3. Die Drehung der Kamera resultiert in einem Mandala ähnlichen Effekt.



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-history/>

**Abbildung 3:** David Potts: Neon Reklame am Piccadilli Circus

Alle der bisher vorgestellten Bilder verwenden sogenannte On-Techniken. Als On-Techniken bezeichnet man Lichtquellen, die auf die Kamera gerichtet sind und als direktes Licht aufgezeichnet werden. Den Gegensatz dazu bilden die Off-Techniken. Das Licht wird hierzu indirekt verwendet und die Lichtquelle ist nicht sichtbar.

Der bekannteste Verwender von Off-Techniken ist Dean Chamberlane. Er gilt heute als der Vater des Modernen Light Paintings und verwendet als erster Fotograf den Begriff *Light Painting* für seine Werke. Für seine Fotos werden sehr lange Belichtungszeiten benötigt; Models müssen teilweise mehrere Stunden stillhalten. Chamberlane fertigte mit dieser Technik unter anderem Porträts von David Bowie, Paul McCartney und der Band Duran Duran<sup>4</sup> an.



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-artist/featured-artist-2/dean-chamberlain/>

**Abbildung 4:** Dean Chamberlane: Duran Duran

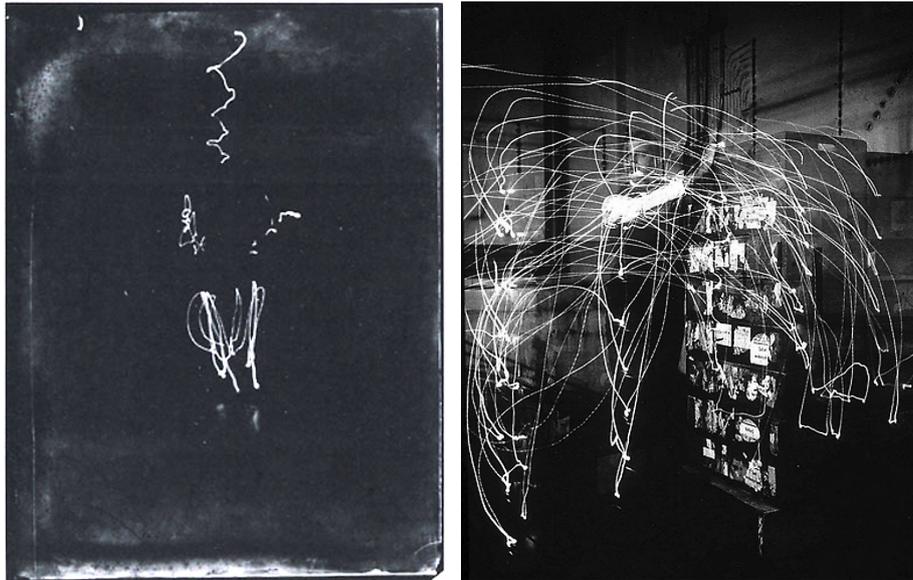
Viele seiner Fotografien erschienen in renommierten Zeitschriften wie der Esquire, Vanity Fair und der Washington Post. Neben der Fotografie verwendete Chamberlane seinen Stil auch in mehreren Musikvideos.

### 2.1.2 Geschichte der Light Painting Fotografie

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts wurden die ersten Versuche gemacht, Lichtspuren auf einer Fotografie festzuhalten. Im Jahr 1889 erschufen Étienne-Jules Marey und Georges Demeny's eine Bewegungsstudie mit Hilfe von Licht. Die Fotos ihrer Serie zeigen verschiedene Bewegungsabläufe.

Das Foto "Pathological walk from in front"<sup>5</sup> gilt heute als das erste Light Painting. Es zeigt die Bewegungen einer Person, die auf die Kamera zuläuft. Um die Bewegungen aufzuzeichnen, wurden Glühbirnen an der Person befestigt. Étienne-Jules Marey beschäftigte sich auch schon zuvor intensiv mit Bewegungen. Er fertigte mehrere Chronographische Studien an, um Bewegungsabläufe sichtbar zu machen. [MA16, PA16]

Anfang des 20. Jahrhunderts folgten weitere Bewegungsstudien. Die Bilder von Frank Bunker Gilbreth und seiner Frau Lillian Moller Gilbreth dienten zur Steigerung der Effizienz von Arbeitsabläufen. Ziel war es, die Abläufe zu beschleunigen und gleichzeitig die Arbeit zu erleichtern 5.



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-history/>

**Abbildung 5:** Étienne-Jules Marey und Georges Demeny (1889) - Pathological walk from in front (links), Frank Bunker Gilbreth und Lillian Moller Gilbreth (1914) (rechts)

In den 1980er Jahren wird Mike Mandel durch die Arbeiten des Ehepaars Gilbreth inspiriert. Für das Projekt *Making Good Time* stellt er alltägliche Bewegungsabläufe dar 6. Im Gegensatz zu den frühen Ansätzen hat er jedoch keine wissenschaftlichen Ambitionen. Er fotografiert bewusst alltägliche und einfache Szenen und fasst es selbst als Satire auf.[MAN16]

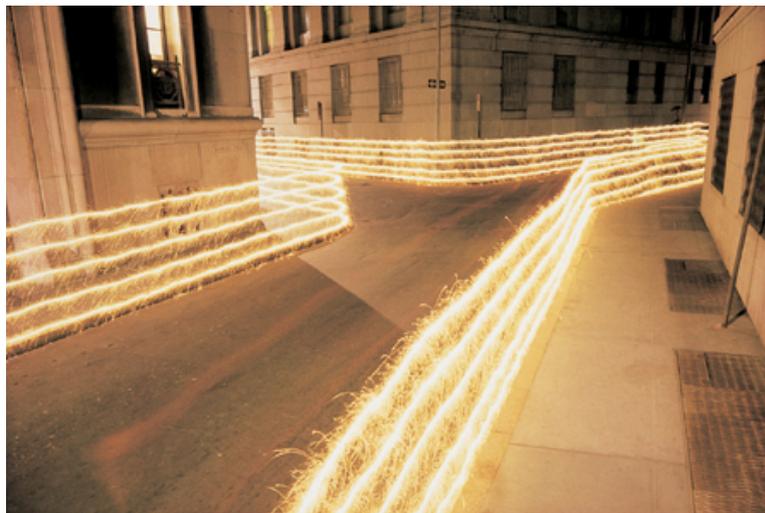
In den 1930er Jahren beschäftigt sich auch Gjon Mili intensiv mit der Aufzeichnung von Bewegungen. Er setzt den Fokus auf den künstlerischen Aspekt. Mili lichtete unter anderem die Eisläuferin Carol Lynne 6 mehrmals ab.



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-history/>

**Abbildung 6:** Gjion Mili: Figure Skater Carol Lynne (links) , Mike Mandel: Light Painting Photography 2 (rechts)

Die ersten Fotos im Stil der heutigen Light Paintings fertigte der Fotograf Eric Staller im Jahr 1976 in New York an. Seine Lichtmalerei hat einen starken Bezug zu der fotografierten Umgebung. Seine Bilderserie gilt heute als eine der einflussreichsten in der Geschichte des Light Paintings. Staller zog Nachts durch die Straßen von New York und setzte sie mit verschiedenen Hilfsmitteln in Szene. Er verwendet hierfür unterschiedliche Lichtquellen. Für das Bild der Hannover Straße setzte er Wunderkerzen ein, die an einem Stab befestigt wurden.[PA16]



Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-artist/featured-artist-2/eric-staller/>

**Abbildung 7:** Eric Staller: Ribbon on Hannover Street

Eine bekannte Künstlerin in der Lichtmalerei ist Vicki DaSilva. Sie begann sich 1980 mit der Light Painting Fotografie zu beschäftigen. Vicki DaSilva ist die erste Frau, die als Künstlerin in diesem Bereich große Bekanntheit erlangte. Mit ihren Fotos etablierte sie den Begriff *Lichtgraffiti*. Ab 1988 prägten Leuchtstoffröhren ihren Stil maßgeblich. Auf diese Idee kam sie durch ihren Mann; er ist Elektriker. Mit ihrem Mann zusammen kreiert sie große Lichtinstallationen und beschäftigt sich weiterhin intensiv mit Lichtgraffiti. Sie fotografiert bis heute in diesem Stil und verwendet für ihre Fotos noch regelmäßig eine analoge Kamera.[DA16]



Quelle: <http://vickidasilva.com/gallery-exterior>

**Abbildung 8:** Vicki DaSilva: Light Tartans: Fountain Park 4

Anfang der 1990er Jahre machte sich Patrick Rochon einen Namen durch seine Großprojekte und Live Performances. Er arbeitet hauptsächlich mit fließenden Bewegungen und natürlichen Formen. Für seinen ganz eigenen Stil verwendet er einen Lichtstab mit wechselnden Farben.<sup>9</sup> [RO16]

Von Rochon inspiriert verband Aurora Crowley aufwendige Light Paintings mit der Mode Fotografie <sup>9</sup>. Er arbeitete zuvor schon seit vielen Jahre in der Modefotografie und ist eng mit Patrick Rochon befreundet.[PA16]

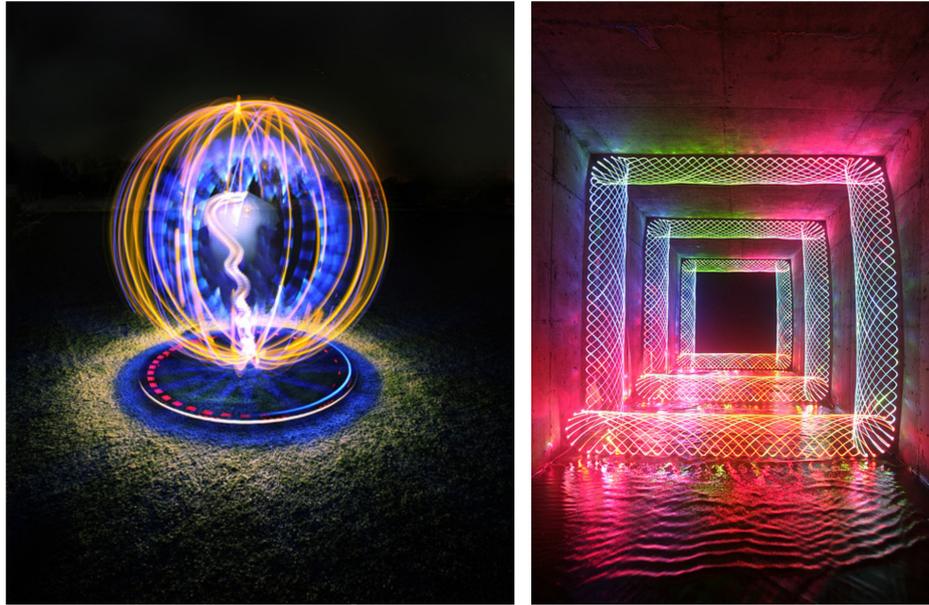


Quelle: <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-history/>

**Abbildung 9:** Patrick Rochon: Kata (links) , Aurora Crowley: 8Portraits (rechts)

Einer der bekanntesten Light Painter der heutigen Zeit ist Dana Maltby. In der Gemeinschaft auch bekannt als TCB (Twin Cities Brightest). Viele seiner Bilder entstehen an entlegenen und verlassenen Orten, häufig in Tunneln. Er ist dafür bekannt, dass er viele neue technische Hilfsmittel entwickelt und seine Erfahrungen in Anleitungen und Texten mit der Gemeinschaft teilt.[MAL16]

In jüngster Vergangenheit prägten die beiden Künstler JanLeonardo Woelert und Joerg Miedza den Begriff der Light Art Performance Photography (LAPP). Sie veröffentlichen ihre Arbeiten unter dem Pseudonym LAPP-PRO. Bei ihren Bildern steht nicht das Ergebnis im Vordergrund, sondern die Performance des Künstlers während der Aufnahme. Die Bewegungen und Choreografien sind größtenteils einstudiert. Für die Bilder werden moderne Techniken eingesetzt. Viele ihrer Konstruktionen basieren auf Leuchtdioden.[LA16]



Quellen: <https://www.lightart-photography.de>,  
<http://www.twincitiesbrightest.com/>

**Abbildung 10:** LAPP Pro: Bremen - Weserstadium - Nike (links) , Dana Maltby: Polynomial Equations (rechts)

Light Painting wird mittlerweile vermehrt in der Werbung eingesetzt. Adrien Veczan hat sich auf die Produktfotografie unter Einsatz von Lichtmalerei spezialisiert.<sup>11</sup> [VE16]

Mit speziellen Techniken werden Elemente aus der Lichtmalerei auch in der Videografie eingesetzt. Einige Künstler verwenden Videos, um ihre Performance während der Aufnahme sichtbar zu machen und ihr somit mehr Ausdruck zu verleihen. Oftmals werden solche Aufnahmen auch für Anleitungen verwendet.



Quelle: <http://www.veczan.com/>

**Abbildung 11:** Adrien-Veczan: Bear Hug Cranberry Vodka bottle

Durch die Produktion und den Verkauf von professionellen Hilfsmitteln, wie dem Pixel-Stick von Bitbanger Labs werden diese Stilmittel vermehrt in Bildern eingesetzt. Der Fotograf Michael Ross, auch bekannt unter dem Künstlernamen TxPilot, verwendet für seine Bilder unter anderem eine Konstruktion, die dem Pixel-Stick ähnelt. Ross nennt seine Erfindung *The Digital Light Wand* [RO11]. Er benutzt diesen Stab bereits seit 2011 für seine Light Paintings. Die geringe Auflösung im Gegensatz zum Pixel-Stick beschränkt die Motive auf grobe Strukturen. Der Pixel-Stick ermöglicht erstmals detaillierte Grafiken und Symbole in ein Light Painting einzubringen. Im Rahmen der Kickstarter Kampagne und der Entwicklung erstellen die Erfinder, Duncan Frazier und Stephen McGuigan viele Light Paintings mit Hilfe ihres Pixel-Sticks.



Quellen:

<http://www.thepixelstick.com/>, <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-artist/featured-artist-2/michael-ross/>

**Abbildung 12:** Michael Ross: Pacmans revenge (oben), Bitbanger Labs: Escalator (unten)

## 2.2 Microcontroller und LED Pixel

### 2.2.1 Microcontroller

Mikrocontroller sind digitale Bauteile in der Elektrotechnik. Sie ersetzen in den 1960er und 1970er Jahren fest verdrahtete Analog- und Logikschaltungen.

Herkömmliche Schaltungen sind auf einen Anwendungsfall ausgelegt und müssen für verschiedene Anwendungen neu entwickelt werden. Mikrocontroller hingegen lassen sich frei programmieren und sind daher sehr flexibel einsetzbar. [SEI16] Die modernen Mikrocontroller werden auch Ein-Chip-Computer genannt. Auf einem Chip sind alle essentiellen Bauteile wie CPU, RAM und Flash-Speicher verbaut. Diese Definition ist zugleich die Abgrenzung gegenüber Mikroprozessoren; sie sind ein einzelnes Bauteil ohne Arbeitsspeicher oder andere Bauteile. Ein Mikroprozessor kann ein Bestandteil eines Ein-Chip-Computers sein.

Eine Erweiterung von Mikrocontrollern bilden sogenannte Entwicklungsboards. Sie erleichtern die Entwicklung von Projekten durch verschiedene Schnittstellen und Funktionen. Es werden IO<sup>1</sup> Pins für die Ansteuerung und das Auslesen von digitalen und analogen Bauteilen bereitgestellt. Für die Stromversorgung können verschiedene Spannungen und Stromquellen verwendet werden. Als Entwickler profitiert man von den seriellen Schnittstellen, die eine Kommunikation mit dem Board ermöglichen. Das Board kann entweder über eine USB Schnittstelle oder über serielle Pins, beispielsweise mit einem Bluetooth Modul, angesprochen werden. In Verbindung mit der passenden Entwicklungsumgebung lassen sich schnell eigene Programme aufspielen und bearbeiten. Das macht Entwicklungsboards besonders attraktiv für Einsteiger und ermöglicht die schnelle Umsetzung von kleinen bis mittelgroßen Projekten.[MY16]

Eine weitere verbreitete Plattform für derartige Projekte sind Einplatinencomputer wie der Raspberry Pi. Neben einem Mikrocontroller ist zusätzlich ein leistungsstarker Mikroprozessor verbaut. Der Raspberry Pi bietet Funktionen wie Video- und Audio-Ausgaben, eine Netzwerkanbindung und mehrere USB Schnittstellen. Im Gegensatz zu einem Entwicklungsboard verfügt ein Einplatinencomputer über ein vollwertiges Betriebssystem und kann mit verschiedenen Programmiersprachen programmiert werden.[PI16]

Das bekannteste Entwicklungsboard ist der Arduino, er ist seit März 2015 außerhalb der USA als Genuino bekannt. Entwickelt wurde diese Plattform von der gleichnamigen italienischen Firma. Die ersten Boards wurden von Massimo Banzi und David Cuartielles im Jahr 2005 gebaut. Die Plattform zeichnet sich durch ihre Quelloffenheit aus. Nicht nur die Programmierumgebung sondern auch die Platinen und Projektdateien sind offengelegt.

Aus der großen und sehr aktiven Anhängerschaft sind im Laufe der Zeit neue Boards entstanden.[ARD16]

---

<sup>1</sup>IO: Input/ Output

Für den Betrieb des Pixel-Sticks wird ein Teensy 3.2 verwendet. Er bietet gegenüber dem Arduino UNO wesentlich mehr Leistung, dies wird durch eine 32 Bit Architektur erreicht. Schwächere Modelle arbeiten mit nur 8 oder 16 Bit Bandbreite. Ein Arduino UNO hat eine Taktfrequenz von 16 MHz. Der Teensy 3.2 ist mit einer maximalen Taktrate von 96 MHz sechsmal leistungsfähiger. Die Baugröße spielt für dieses Projekt ebenfalls eine wichtige Rolle. Der Teensy ist mit der besseren Ausstattung deutlich kleiner als ein Arduino.[TE16, ARDU16]



Quellen:<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>,  
<https://www.pjrc.com/teensy/teensy31.html>

**Abbildung 13:** Arduino Uno und Teensy 3.2 [TE16, ARDU16]

Diese Leistung ist für eine möglichst schnelle serielle Kommunikation via Bluetooth und das schnelle Weiterverarbeiten von Bilddateien wichtig. Der Teensy profitiert hierbei von dem größeren SRAM<sup>2</sup> und Flash Speicher. Er bietet zudem deutlich mehr digitale und analoge Schnittstellen; das ist in diesem Kontext jedoch zu vernachlässigen.

---

<sup>2</sup>Statisches RAM (SRAM) bezeichnet meist kleinere elektronische Speicherbausteine im Bereich bis zu einigen MB.

	Arduino UNO	Teensy 3.2
Microcontroller	ATmega328P	ARM Cortex M4
Arbeitsspannung	5V	3.3V
Digitale I/O Pins	14	34
Digitale PWM I/O Pins	6	12
Analoge Input Pins	6	21
Flash Memory	32 KB	256 KB
SRAM	2 KB	64 KB
EEPROM	1 KB	2 KB
Taktrate	16 MHz	72 MHz (standard) 96 MHz (übertaktet)

**Tabelle 1:** Vergleich zwischen dem Arduino Uno und dem Teensy 3.2 [?, ?]

### 2.2.2 RGB LED-Pixel

Dieses Kapitel befasst sich mit unterschiedlichen Leuchtdioden, im folgenden als *LED* abgekürzt. Im Gegensatz zu herkömmlichen RGB<sup>3</sup> LED's lassen sich die sogenannten LED-Pixel über eine Datenleitung individuell ansteuern. Bei einfachen RGB LED's wird die Mischung der Grundfarben mit Hilfe von Pulsweitenmodulation (PWM) erreicht. Die Pulsweitenmodulation ist eine Technik, um bei gleichbleibender Spannung ein Verringern der subjektiven Helligkeit zu ermöglichen. Hierfür wird die Stromzufuhr für sehr kurze Zeit aus- und wieder angestellt; sie pulsiert. Für das menschliche Auge ist dieses Flackern nicht wahrzunehmen; es entsteht der Eindruck einer geringeren Helligkeit. Unterschiedliche Helligkeiten der drei Grundfarben erzeugen die Mischfarben. Die LED-Pixel arbeiten intern mit der gleichen Methode; der Unterschied besteht darin, dass die Pulsweitenmodulation in jeder LED erfolgt.[WS16]

Die Unterschiede werden besonders bei LED-Streifen deutlich. Die herkömmlichen LED's werden von nur einer zentralen Steuerung betrieben, wohingegen bei den LED-Pixel-Streifen für jede einzelne RGB Leuchtdiode eine Steuereinheit verbaut ist.

Es gibt verschiedene Typen von LED Pixeln. Für den Pixel-Stick wird der Typ *WS2812B* verwendet. Es handelt dabei sich um SMD<sup>4</sup> RGB LED's. Diese Leuchtdioden zeichnen sich durch eine besonders kompakte Bauweise, eine hohe Wiederholrate von 400 Hz und eine Steuerung über eine einzelne Datenleitung aus.

<sup>3</sup>Die Bezeichnung *RGB* steht für die Farbmischung aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau.

<sup>4</sup>SMD: Surface-mounted device

Andere Varianten verfügen neben der Datenleitung über eine Taktleitung, um die Steuerung zu gewährleisten. Der Vorteil einer taktgebenden Leitung ist eine geringere Störanfälligkeit über längere Strecken. Für den Pixel-Stick wird auf diesen Vorteil, zugunsten der einfacheren Ansteuerung und der höheren Wiederholrate, verzichtet.

Für die Steuerung der LED's ist jede mit einem zusätzlichen Schaltkreis ausgestattet. Dieser beinhaltet einen Datenspeicher, einen Oszillator und Schaltungen zur Signalverbesserung. Bei dem gewählten Typ ist diese Schaltung in jeden einzelnen LED Chip integriert; bei anderen Modellen ist die Schaltung extern angeschlossen.



Quelle: [http://www.tweaking4all.com/wp-content/uploads/2014/01/5050LED\\_vs\\_WS2812.jpg](http://www.tweaking4all.com/wp-content/uploads/2014/01/5050LED_vs_WS2812.jpg)

**Abbildung 14:** WS2801 ohne integrierte Schaltung (links), WS2812B mit Schaltung (rechts)

Das modellierte Datensignal wird in dieser Schaltung zwischengespeichert und die ersten 24 Bit abgeschnitten. Die restlichen Daten werden verstärkt, verbessert und an die nächste LED weitergeleitet. Das abgeschnittene Datenpaket enthält 8 Bit Informationen für jede der drei Grundfarben. Mit den kombinierten Farbinformationen lassen sich theoretisch 16,8 Millionen Farben in 256 Helligkeitsstufen darstellen.[WS16]

## 3 Der Pixel-Stick

### 3.1 Entwicklung der Hardware

#### 3.1.1 Idee und Konzeption

Der Pixel-Stick ist inspiriert von der kommerziellen Variante. Das Unternehmen Bitbanger Labs, gegründet von Duncan Frazier und Steve McGuigan, starteten 2013 eine Kickstarter Kampagne, um die Entwicklung ihres Pixel-Sticks zu finanzieren. Nach der erfolgreichen Finanzierung und

großem öffentlichen Interesse schaffte es der Stick in den Handel.

Mit diesem Produkt ist erstmals ein komplexes Hilfsmittel für das Light Painting der breiten Masse zugänglich.

Auf einer Länge von 187 cm sind 200 RGB LED-Pixel angebracht. Um eine homogene Ausleuchtung zu gewährleisten, ist vor den Leuchtdioden eine diffuse Kunststoffleiste angebracht. Die Unterkonstruktion bildet ein Aluminiumprofil. Es ist in der Mitte demontierbar, um einen leichteren Transport zu ermöglichen. Die Steuerung erfolgt über ein Bedienteil. Es besteht aus mehreren Tasten, einem Display und einem Kartenlesegerät. Darzustellende Bilder müssen von einer SD<sup>5</sup> Karte gelesen werden. Um den Pixel-Stick mit Strom zu versorgen, werden 8 AA Batterien benötigt.[BI16]



Quelle:<http://www.thepixelstick.com/>

**Abbildung 15:** Der Pixel-Stick von Bitbanger Labs

Die Konstruktion des Pixel-Sticks, der Gegenstand dieser Arbeit ist, ähnelt im grundlegenden Aufbau dem kommerziellen Vorbild. Er lässt sich ebenfalls in der Mitte demontieren und verfügt über einen mittig angebrachten Griff. Der mittige Griff ermöglicht eine gleichmäßige und ausbalancierte Drehung bei der späteren Verwendung. Die verwendete Technik unterscheidet sich deutlich von dem Vorbild. Auf einer Gesamtlänge von 200 cm sind 288 RGB LED-Pixel verbaut. Die Besatzdichte der LED's beträgt 144 pro Meter im Gegensatz zu 107. Die geringeren Abstände zwischen den Leuchtdioden sorgen für ein höher aufgelöstes Bild.

<sup>5</sup>Englisch: Secure Digital Memory Card - sichere digitale Speicherkarte

Die Steuerung erfolgt über einen Teensy 3.2. Er ist in den Griff integriert und bis auf die Stromzufuhr nicht sichtbar.

Der Pixel-Stick verfügt über keine physischen Bedienelemente und wird ausschließlich über Bluetooth gesteuert. Bilder lassen sich sowohl über eine Speicherkarte, als auch kabellos mit Hilfe der Android Anwendung übertragen. Das Smartphone wird für die grundlegende Steuerung verwendet.

### **3.1.2 Bauteile des Pixel-Sticks**

Das Trägerprofil für die LED's besteht aus Aluminium und wird normalerweise im Bereich der Ambientebeleuchtung eingesetzt. Die runde Form bietet eine große Stabilität bei geringem Durchmesser und gibt dem Pixel-Stick eine ergonomische Form. Das Profil wird in ein Meter langen Stücken vertrieben. Daraus ergibt sich die Gesamtlänge von zwei Metern und die Teilung in der Mitte. Im Lieferumfang ist ein Diffusor enthalten, der in das Profil eingeschoben werden kann.

Der Griff besteht aus PVC Rohren und Verbindungsstücken aus dem Bereich des Poolbaus. Der längste Teil des Griffs bietet genug Platz im Inneren, um alle wichtigen elektronischen Bauteile zu beherbergen. Er ist mit einer Schraubverbindung an das Mittelstück des Pixel-Sticks angebracht, um eine Demontage zu ermöglichen. Die Verbindung der beiden Hälften des Pixel-Sticks, mit der Aufnahme für den Griff stand im Mittelpunkt der Konstruktion. Das Verbindungsstück bildet ein modifiziertes Aluminiumrohr. Der erste Entwurf sah ein transparentes Acryl Rohr vor, doch es stellte sich heraus, dass die Stabilität für eine sichere Verbindung nicht ausreicht. Das Rohr ist auf einer Seite fest mit dem Profil verschraubt. Auf der anderen Seite befindet sich ein Einschub für die zweite Hälfte des Profils. Nach dem Zusammenfügen der beiden Hälften fixiert eine Schraube die beiden Elemente. Neben der mechanischen Verbindung muss bei dem Zusammenfügen auch eine elektronische Verbindung zwischen den beiden LED Streifen hergestellt werden, um eine durchgehende LED Leiste zu bilden. Die lückenlose Steckverbindung erforderte eine Erhöhung der LED's um wenige Millimeter. Damit wird ermöglicht, die Verkabelung und den Stecker unter den LED's anzubringen. Die Aufnahme des Griffs ist fest mit dem Mittelstück verbunden und fungiert als Kabelführung zwischen den LED's und der Elektronik im Griff.

Der für die Steuerung eingesetzte Teensy 3.2 ist zusätzlich mit einem Speicherkarten Modul versehen. Für die Kommunikation mit dem Smartphone wird ein HC-06 Bluetooth Modul verwendet. Das Bauteil wird über eine serielle Schnittstelle vom Teensy angesteuert.

Für die Verwendung mit einer 12 Volt Stromquelle wird zusätzlich noch ein Spannungsregler notwendig; er reduziert die Spannung für die LED's und den Mikrocontroller auf 5 Volt.

Der verwendete Spannungsregler kann Spannungen von 7 bis 25,5 Volt verarbeiten. Es ist somit die Verwendung von verschiedenen Akkus und Batterien möglich. Der Betrieb mit acht AA-Batterien in einem Batteriehalter bietet sich an. Die Laufzeit ist angemessen und der Austausch von Batterien ist schnell und einfach.

Die Steuerelektronik ist sehr kompakt und lässt sich somit problemlos im Griff des Pixel-Stick verbauen. Es sind lediglich zwei Verbindungen von dem Bluetooth Modul zu einem seriellen Port am Teensy und zusätzlich eine Datenverbindung zu den LED's nötig. In der Abbildung sind hierfür exemplarisch zwei einzelne LED's abgebildet. Die Bauteile werden gesondert mit Strom versorgt. Das Speicherkarten Modul wird auf den Teensy aufgesteckt und verlötet.

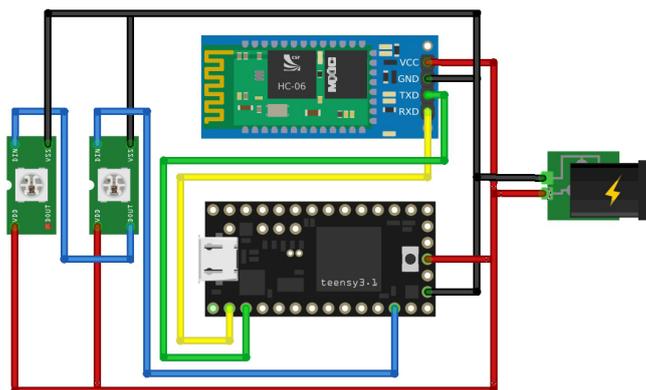


Abbildung 16: Schaltplan der verbauten Elektronik

### 3.1.3 Programmierung des Mikrocontrollers

Für die Programmierung des Mikrocontrollers werden verschiedene Bibliotheken verwendet. Um auf die Speicherkarte zuzugreifen und Dateien zu verwalten, wird SDFat verwendet. Diese Bibliothek zeichnet sich im Gegensatz zu der Standard Version durch wesentlich höhere Lese- und Schreibgeschwindigkeiten aus.

Die Ansteuerung der LED's erfolgt mit Hilfe von FastLED. Dabei handelt es sich um eine sehr umfangreiche LED Bibliothek. Sie unterstützt alle gängigen programmierbaren LED Typen und bietet viele vorgefertigte Funktionen.

Es ist möglich die Farben in verschiedenen Formaten zuzuweisen. Es werden RGB-Farbwerte, Hexadezimal-Farbwerte und vordefinierte Farbvariablen unterstützt. Für die Verwendung in diesem Projekt ist es außerdem von Vorteil, dass eine Kalibrierung für bestimmte LED's und das Einstellen des Weißabgleichs in die Bibliothek integriert sind. Für die Farbbelegung wird mit Hilfe eines Indizes auf die gewünschte LED zugegriffen. Nachdem die Farben zugewiesen wurden, lassen sich die LEDs mit dem Befehl `LEDS.show()` einschalten.

Um ein Bild auf dem Pixel-Stick abzuspielen wird intern zunächst die Datei auf der SD-Karte ausgewählt. Das geschieht indem der Dateiname per Bluetooth übertragen wird. Wenn ein Bild vom Smartphone gesendet wird, muss das Bild zuvor auf der Speicherkarte des Teensy gespeichert werden. Anschließend ist es automatisch als abzuspielendes Bild ausgewählt. Im nächsten Schritt wartet das Programm auf einen Startbefehl, um das Abspielen zu beginnen. Im Rahmen des Abspielens wird die Datei zunächst auf das richtige Format und die korrekte Bildgröße getestet. Wenn es sich bei dem Bild um ein Bitmap mit 24 Bit Farbinformationen und einer Breite von 288 Pixeln handelt, wird der Header der Datei übersprungen und angefangen, die Farbwerte auszulesen. Um das Bild in richtiger Ausrichtung wiederzugeben liegen die Bilder gedreht auf der Speicherkarte. Der Grund dafür ist, dass für den Pixel-Stick das Bild spaltenweise aufgebaut wird, in einer Bitmap Datei stehen die Farbwerte jedoch zeilenweise. Bei der Wiedergabe auf dem Stick gleicht sich diese Drehung aus. Nachdem eine Zeile des Bildes gelesen wurde, müssen die LEDs aktiviert werden, um die Pixel des Bildes sichtbar zu machen. Eine Verzögerung bis zum Lesen der nächsten Bildzeile bestimmt die Wiedergabegeschwindigkeit.

```
for (int y = imgHeight - 1; y > 1; y--) {  
  
    for (int x = 0; x < displayWidth; x++) {  
        uint32_t offset = (HEADER_BITS + ((y - 1) * lineLength) + (x * 3)); //Berechnung des Offsets in bits  
        dataFile.seek(offset); //Springen zu der aktuellen Zeile in der Datei mit Hilfe des Offsets  
        getRGB(); //Liest den RGB Wert aus der Datei  
        leds[x].setRGB(r, g, b); //Setzt den RGB Wert fuer die LED  
    }  
    LEDS.show(); //nachdem eine Spalte geschrieben wurde werden die Farben abgespielt  
    delay(dur); //bestimmt die Wartezeit bis zur naechsten Spalte (Wiedergabegeschwindigkeit)  
}
```

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Kommunikation zwischen dem Smartphone und dem Teensy über Bluetooth. Der nachfolgende Code zeigt einen Ausschnitt aus der seriellen Kommunikation. Sobald die serielle Schnittstelle des Teensy Daten empfangen hat, können diese abgefragt und verglichen werden. Die Daten sind Strings, die als Befehle dienen. Über eine If-Abfrage kann ermittelt werden, ob ein passender Befehl eingegangen ist. Anschließend wird für den Befehl eine bestimmte Aktion ausgeführt.

```
while (HWSERIAL.available()) //Solange Daten eingehen
{
    message = HWSERIAL.readString(); //Daten als String
    interpretieren und zwischenspeichern
}
if (!HWSERIAL.available()) //Daten sind vollstaendig angekommen
{
    if (message == "receiveFileNames")
    { //if data is available
        if (!sd.begin(sdPin)) sd.errorHalt();
        sd.ls(&HWSERIAL, LS_R); //Sendet die Dateiliste der SD Karte
        zurueck zum Smartphone
        message = "";
    }
    if (message == "repeaton")
    { //if data is available
        repeat = true; //Schaltet die Wiederholung eines Bildes ein
        message = "";
    }
    if (message == "delayon")
    { //if data is available
        frameBlankDelay = 5000; //Schaltet eine Verzoeigerung vor dem
        Abspielen ein
        message = "";
    }
    if (message == "run")
    { //if data is available
        run = true; //starte die Wiedergabe
        message = "";
    }
    if (message.charAt(0) == 's')
    { //if data is available
        LEDES.setBrightness(message.substring(1).toInt()); // setzt
        die Helligkeit auf den gesendeten Wert
        message = "";
    }
}
```

Für die Übertragung von Bildern muss ein weiterer Modus für den Empfang erstellt werden. Ein Befehl vor dem eigentlichen Bild, versetzt den Teensy in diesen Modus. Das Bild wird anschließend in Byte-Blöcken übertragen. Die Einteilung in Blöcke gewährleistet einen fehlerfreien Empfang der Daten. Es wurde festgestellt, dass bei gleichzeitigem Empfangen und Schreiben auf die SD-Karte Fehler auftreten. Das ist vermutlich auf Komplikationen zwischen der SDFat Bibliothek und der seriellen Kommunikation zurückzuführen.

Sobald ein Datenpaket verarbeitet und gespeichert wurde, sendet der Teensy ein Signal an das Smartphone. Die Übertragung des nächsten Pakets wird daraufhin eingeleitet.

Die Geschwindigkeit, mit der die Daten gesendet werden, hängt von der eingestellten Baudrate<sup>6</sup> ab. Das HC-06 Bluetooth Modul kann mit verschiedenen Baudraten arbeiten. Bei dem Verbindungsaufbau stellt sich das Smartphone automatisch auf diesen Wert ein. Mit der verwendeten Technik konnte eine fehlerfreie Verbindung bei sehr hoher Geschwindigkeit erreicht werden. Die maximale Geschwindigkeit wird ab einer Baudrate von 460800 erreicht. Für höhere Werte ergeben sich keine kürzeren Übertragungszeiten. Vermutlich begrenzt das Smartphone ab einer bestimmten Baudrate die Geschwindigkeit.

Baudrate	Übertragungsdauer
38400	≈ 06:23
115200	≈ 02:05
460800	≈ 00:32
1382400	≈ 00:32

**Tabelle 2:** Übertragungsdauer bei verschiedenen Baudraten, Datengröße: 804 KB

## 3.2 Die Android Anwendung

### 3.2.1 Android Entwicklung

Bei Android handelt es sich um eine Open-Source-Plattform, die für mobile Geräte entwickelt wurde. Es werden alle benötigten Funktionen für Entwickler von für mobile Anwendungen bereitstellt.

Eine Android Anwendung besteht aus einer Activity oder mehreren sogenannten Activities. Jede Activity repräsentiert in der Regel ein Fenster

<sup>6</sup>Die Baudrate ist eine Einheit der Kommunikationstechnik und stellt die Schrittgeschwindigkeit dar.

der Anwendung, das dem Benutzer auf seinem Endgerät dargestellt wird. Der Nutzer kann zwischen ihnen hin und her wechseln. In den meisten Fällen besteht eine Anwendung aus einer Main-Activity, die in vielen Fällen der Startbildschirm ist. Darauf aufbauend können bei Bedarf weitere Activities angelegt werden.[BF12]

Für die Entwicklung der hier vorgestellten Anwendung wurde das Android Studio SDK verwendet. Als offizielle Entwicklungsumgebung bietet es viele hilfreiche Funktionen für die Entwicklung auf mobilen Endgeräten. Eine grafische Repräsentation des Layouts und eine ausführliche Dokumentation erleichtern das Programmieren von Anwendungen. Ein Android Emulator und die Möglichkeit, Anwendungen auf einem angeschlossenen Endgerät auszuführen, gewährleisten ein schnelles Testen von neuen Funktionalitäten.

### 3.2.2 Aufbau und Funktionen der Anwendung

Die Anwendung bietet zwei grundlegende Funktionen. Die Steuerung des Pixel-Sticks für Änderungen an den Einstellungen und das Auswählen von Grafiken, die sich auf der Speicherkarte befinden. Des Weiteren können über die Applikation, Grafiken und Bilder direkt von dem Smartphone an den Stick gesendet werden, um sie anschließend abspielen zu können. Das ermöglicht es, auch ohne Zugriff auf einen Computer, neue Motive über den Pixel-Stick darzustellen.

Es werden fünf verschiedenen Modi für die Interaktion bereitgestellt. Vier von ihnen greifen auf die Technik zum Senden von Bildern zurück. Sie unterscheiden sich in der Art der Bilder und deren Quelle. Im *Kamera* Modus lassen sich Fotos, mit der Kamera des Smartphones, aufzeichnen und direkt übertragen. Um bereits früher aufgenommene Fotos senden zu können, wird der *Galerie* Modus bereitgestellt. Für Grafiken stehen die beiden Optionen *Draw* und *Text* zur Verfügung. Das Zeichenprogramm bietet die Möglichkeit, verschiedene Hintergrund- und Pinselfarben zu wählen, sowie die Stärke des Pinsels einzustellen. Der *Text* Modus besteht aus ähnlichen Funktionen. An Stelle der Pinselfarbe lässt sich nun die Textfarbe frei wählen. Außerdem kann die Schriftgröße des Textes angepasst werden. Die Schaltflächen zum Aktivieren einer Verzögerung, vor dem Abspielen, sowie für die dauerhafte Wiederholung eines Motivs, stehen in allen Modi zu Verfügung. Über die Startseite der Anwendung hat der Benutzer zusätzlich den Zugriff auf globale Einstellungen zum Ändern der Helligkeit und dem Weißabgleich der LED's.

### 3.2.3 Funktionsweise und Verwendung

Um eine Verbindung zum Pixel-Stick herzustellen, muss bei dem Starten der Anwendung einmalig die Bluetooth Adresse des Sticks aus einer Liste ausgewählt werden. Diese Auswahl wird übergeordnet verwaltet, um eine neue Auswahl bei einem Moduswechsel zu verhindern.

Zusätzlich wurde Grundstruktur um einen *CanvasHandler* erweitert. Es sorgt dafür, dass die gezeichneten Grafiken zwischengespeichert werden. Anderenfalls werden die Zeichenflächen nach dem Beenden der entsprechenden Activity gelöscht. Diese Erweiterung ermöglicht das Drehen des Smartphones, um die Anwendung im Querformat zu verwenden. Für das Drehen des Inhalts wird die Activity beendet und mit dem angepassten Layout neu ausgeführt. Um eine Zeichnung weiterhin verwenden zu können, wird nach dem Neustart die zwischengespeicherte Version über den *CanvasHandler* abgerufen. Ein Nebeneffekt dieser Methode ist, dass auch beim Wechsel zwischen verschiedenen Modi, eine erstellte Grafik nicht verloren geht.

In Kapitel 2 wurde bereits erläutert wie das Empfangen von Bildern auf Seiten des Pixel-Sticks funktioniert. Der nachfolgende Ausschnitt des Programmcodes zeigt die Vorgehensweise zum Senden der Bilddaten über die Bluetooth-Schnittstelle des Smartphones.

Um eine problemlose Übertragung zu gewährleisten, wird ein neuer Thread<sup>7</sup> erstellt. Der Programmcode in diesem Thread wird parallel zu der laufenden Activity ausgeführt. Im Vorfeld der Datenübertragung wird in der *onPreExecute* Methode ein Befehl an den Pixel-Stick gesendet, um den Teensy in den Empfangsmodus zu versetzen.

Innerhalb der *doInBackground* Methode findet anschließend das Senden der Bilddaten statt. Die Farbinformationen von jedem Pixel werden in 1024 Byte großen Blöcken an den Output-Stream weitergegeben und automatisch gesendet. Solange Daten verfügbar sind, wartet die Anwendung auf ein eingehendes Signal vom Mikrocontroller, um anschließend den nächsten Block zu übertragen. Nach Abschluss dieser Aufgabe wird der Thread beendet.

---

<sup>7</sup>Ein Thread ist eine eigenständige Aktivität in einem Prozess, die unabhängig von anderen Prozessteilen abgewickelt wird.

```

public class sendPic extends AsyncTask<Void, Void, Void> {
    private boolean sendSuccess = true;

    protected void onPreExecute()
    {
        .
        .
        .
    }
    protected Void doInBackground(Void... devices)
    {
        try
        {
            Matrix matrix = new Matrix();
            matrix.postRotate(-90); //Erstellen einer Matrix
            // zum rotieren des Bildes

            Bitmap rotatedBitmap = Bitmap.createBitmap(scaled
            , 0, 0, scaled.getWidth(), scaled.getHeight(),
            matrix, true); // Bild rotieren
            ByteBuffer buffer = ByteBuffer.
            allocate(bytes); //Erstellen
            // eines Buffers mit der
            // passenden Größe
            rotatedBitmap.copyPixelsToBuffer(buffer); //
            // Kopieren aller Farbinformationen in den Buffer
            byte[] array = buffer.array(); //
            // Entnehmen des Bytearrays aus
            // dem Buffer

            for(int i = 0 ; i < array.length; i += (1 << 14)) {
                galleryInputStream.read(); // Warten auf
                // Signal vom Teensy
                galleryOutputStream.write(array, i, Math.min((1
                << 14), array.length - i)); // Schreiben von
                // einem 1024 Byte Block in den Output Stream
                // zum senden
                galleryOutputStream.flush();
            }
        }
        catch (IOException e)
        {
            sendSuccess = false;
        }
        catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return null;
    }
}

```

## 4 Künstlerisches Konzept und Umsetzung

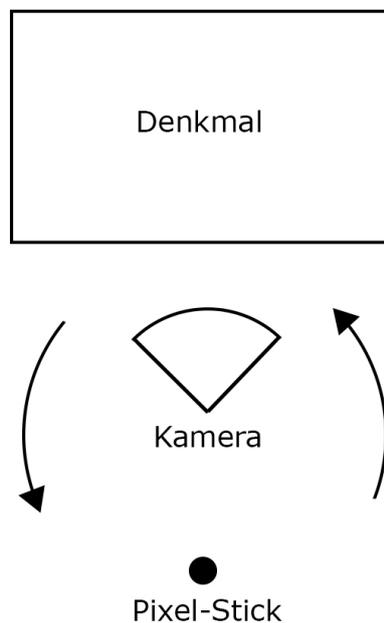
Der Pixel-Stick kann sehr unterschiedlich eingesetzt werden. Durch die vorangehende Erstellung der Grafiken am Computer oder auf dem Smartphone, sind den Motiven kaum Grenzen gesetzt. Das Motiv alleine reicht jedoch nicht aus, um ein stimmiges Ergebnis zu erzielen. Die Konzeption eines Bildes beinhaltet eine grundlegende Motividee, die Auswahl des passenden Ortes und die Vorbereitung der Grafiken. *Der geeignete Hintergrund ist für Lichtkunst-Foto das, was der Soundtrack für einen Film ist.* [WÖ10] Vor Ort besteht die Herausforderung darin, alle Teile zu einem stimmigen Gesamtbild zu vereinen. Das wichtigste Werkzeug ist das Auge des Fotografen.[WÖ10] Die Auswahl des Bildausschnitts, der Lichtintensität und den passenden Einstellungen der Kamera sind Grundlagen für ein gutes Ergebnis.

Für eine gute Abgrenzung gegenüber digitaler Bildbearbeitung sollte das Light Painting in die Umgebung eingebunden werden. Spiegelungen, Beleuchtung der Umgebung, Verdeckungen und die Perspektive tragen dazu bei, das Light Painting mit der Umgebung zu verbinden.<sup>17</sup>



**Abbildung 17:** Beispiele für Spiegelung (1), Verdeckung (2), Perspektive (3) und Beleuchtung der Umgebung (4)

Um eine neue Komponente einzubringen, wird für die folgenden Bilder zusätzlich die Bewegung der Kamera verwendet. Diese Idee ist inspiriert von David Potts. Er nutzte diese Technik schon 1953 für seine Bilder. Für das Bild vom Reiterdenkmal, am Deutschen Eck in Koblenz, war die Kamera für wenige Sekunden auf das Denkmal gerichtet, anschließend wird sie um 180 Grad gedreht. Durch diesen Schwenk wird der feststehende Pixel-Stick durch den Bildausschnitt bewegt. Anschließend wurde die Kamera noch ein weiteres Mal in Richtung Denkmal geschwenkt um die Lichtspuren der Laternen zu vervollständigen.<sup>19</sup>



**Abbildung 18:** Schematischer Plan für das Light Painting des Reiterdenkmals

Die Schwierigkeit bestand bei diesem Bild darin, das richtige Timing und die Geschwindigkeit des Schwenks herauszufinden, um das Bild des Pixel-Sticks gleichmäßig und mittig zu platzieren. Ist der Schwenk zu schnell, wird das Bild des Sticks in die Breite verzerrt. Der Zeitpunkt, wann das Abspielen über die App gestartet wird, wirkt sich auf die Position im Bild aus. Nach einigen Versuchen war es möglich, diese Faktoren aufeinander abzustimmen.



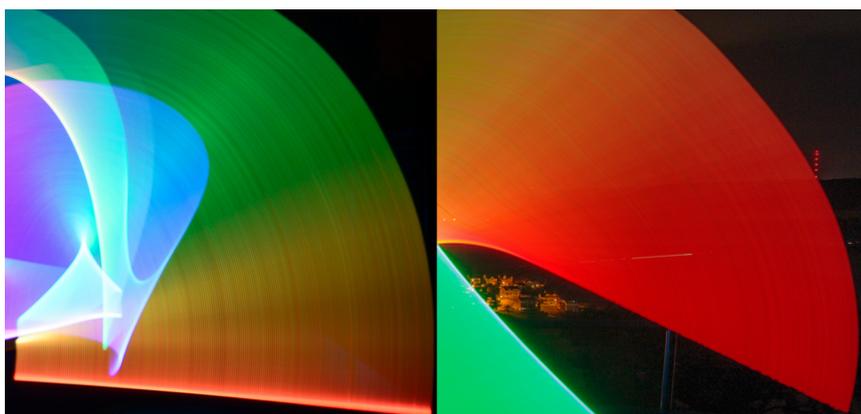
Abbildung 19: Light Painting des Reiterdenkmals mit Bewegung der Kamera

## 5 Fazit und Ausblick

Im Laufe der Konstruktion und deren Umsetzung sind verschiedene kleine Änderungen nötig gewesen, um ein gutes Ergebnis zu erzielen. Nach dem Erhalt aller Bauteile zeigten sich verschiedene Ungenauigkeiten in den Beschreibungen der Verkäufer. Die LED Streifen und das Alu-Profil sind einen Millimeter breiter als erwartet. Diese Komplikationen konnten durch Abschleifen des Profils und das seitliche Abknicken der LED Streifen behoben werden. Eine weitere Anpassung ist das Abändern des Mittelstücks. Die ursprüngliche Konzeption sah hierfür ein transparentes Acrylrohr vor. Mangels genügend Stabilität wurde in der finalen Konstruktion ein modifiziertes Aluminiumrohr verwendet.

In der Elektronik offenbarte sich nach der Fertigstellung ein Problem mit der Datenübertragung zu den Leuchtdioden. Die Einspeisung des Datenkabels erfolgt am Ende des Sticks. Es ergibt sich ein Kabelweg von einem Meter nahe der Stromversorgung. Bei großer Helligkeit der LED's stört der erhöhte Stromfluss das Datensignal. In der Praxis zeigte sich, dass eine solche Helligkeit jedoch nicht für die Verwendung benötigt wird.

Von diesen kleineren Komplikationen abgesehen wurde der Pixel-Stick wie geplant umgesetzt. Im direkten Vergleich zu dem Vorbild von Bitbanger Labs zeigt sich, dass die Qualität der erstellten Bilder sehr ähnlich ist. Aufgrund der zusätzlichen LED's und der 20 cm längeren Bauweise, ergibt sich bei der Neuentwicklung eine geringfügig höhere subjektive Auflösung.



**Abbildung 20:** Subjektive Auflösung der beiden Pixel-Sticks. Bitbanger Labs (links), Weiterentwicklung (rechts)

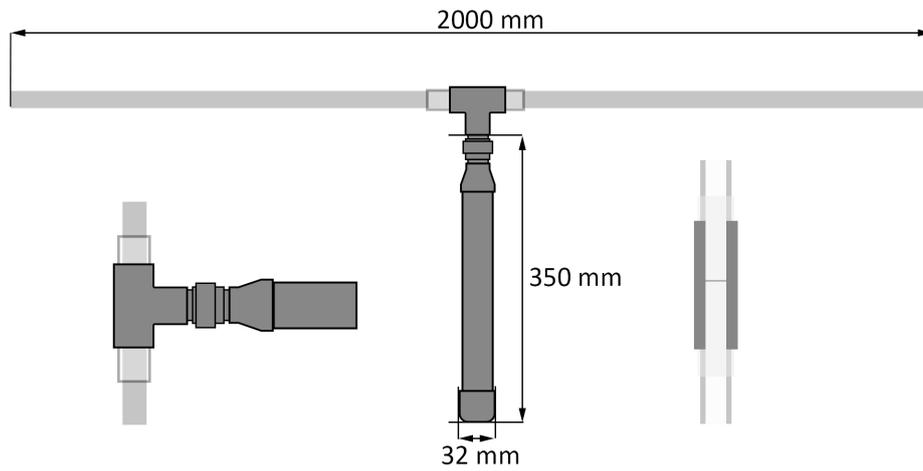
Die hohe Qualität der Ergebnisse in Verbindung mit den Funktionen der Android Anwendung machen den Pixel-Stick zu einer erfolgreichen Weiterentwicklung.

Das Feedback der Besucher, auf dem CV-Tag 2016, wo dieses Projekt vorgestellt wurde, gab Anregung für mögliche Erweiterungen. Eine Positionserkennung während dem Abspielen des Bildes kann dafür genutzt werden, um die Abspielgeschwindigkeit anzupassen. Eine Verzerrung durch zu schnelle oder zu langsame Bewegung würde damit verhindert werden. Mit verschiedenen Beschleunigungssensoren und Gyroskopen lässt sich die Bewegung im Raum bestimmen. Es ist jedoch fraglich, ob eine solche Erweiterung sinnvoll ist. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Verwendung des Pixel Sticks nach einer kurzen Eingewöhnung problemlos möglich ist.

Im Praxiseinsatz hat sich eine weitere mögliche Erweiterung herausgestellt. Für das Starten der Wiedergabe ist eine physische Taste am Griff des Pixel-Sticks von Vorteil. Die ausschließliche Bedienung über das Smartphone macht es nötig, es in der Hand zu halten. Die Bewegungsfreiheit würde davon profitieren, das Mobilgerät nach der Einrichtung des Sticks, abzulegen.

## 6 Anhang

### Der Pixel-Stick



**Abbildung 21:** Erster Plan nach Erhalt der ersten Bauteile



**Abbildung 22:** Mittelstück mit Griff

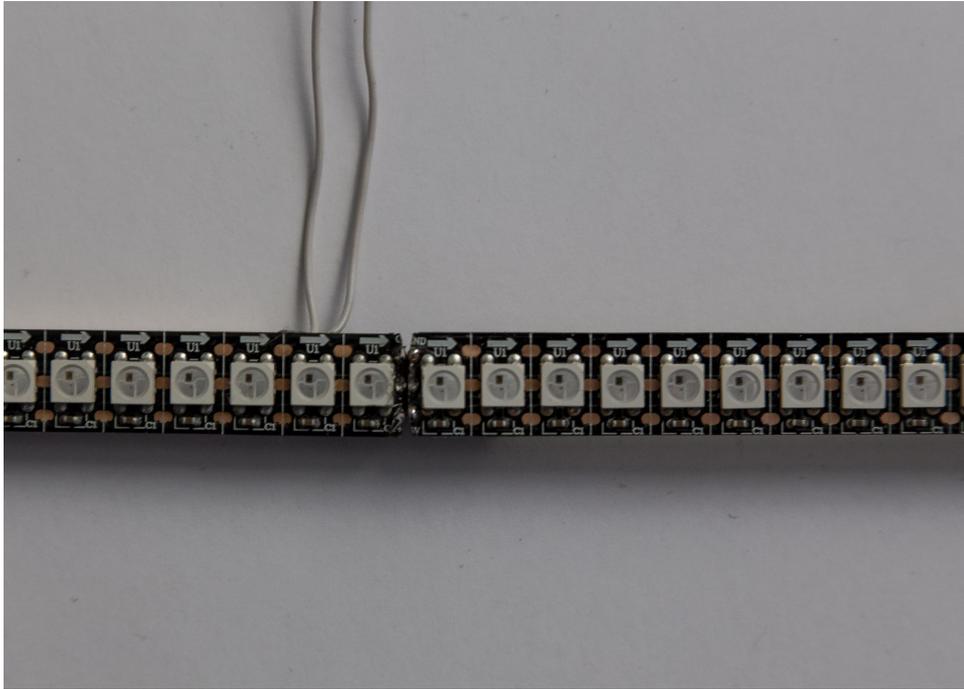


Abbildung 23: Steckverbindung der beiden LED-Streifen

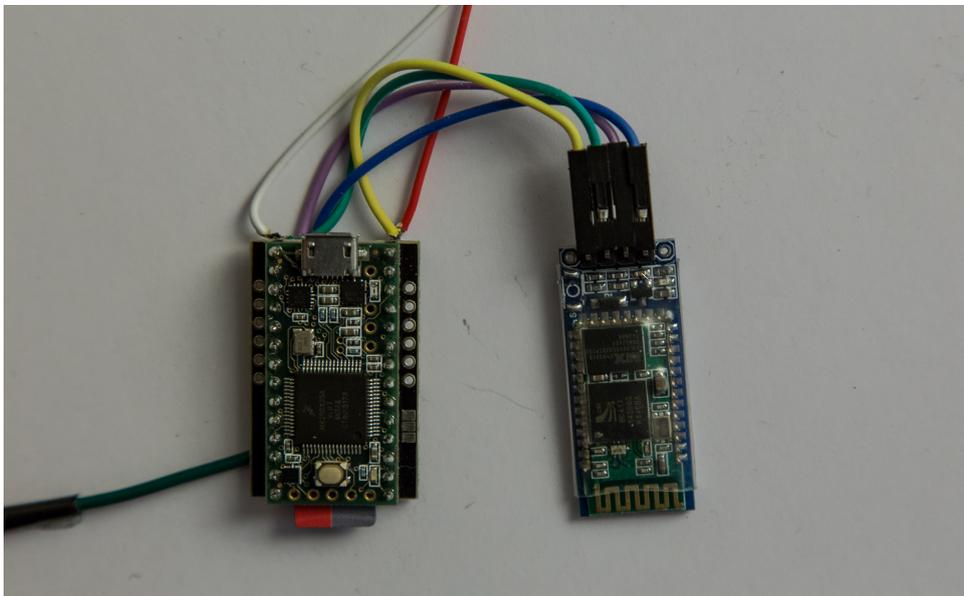


Abbildung 24: Teensy 3.2 mit Speicherkarten und Bluetooth Modul



**Abbildung 25:** Griff Demontage



**Abbildung 26:** Steckverbindung der LED's im finalen Zustand

## Die Android Anwendung

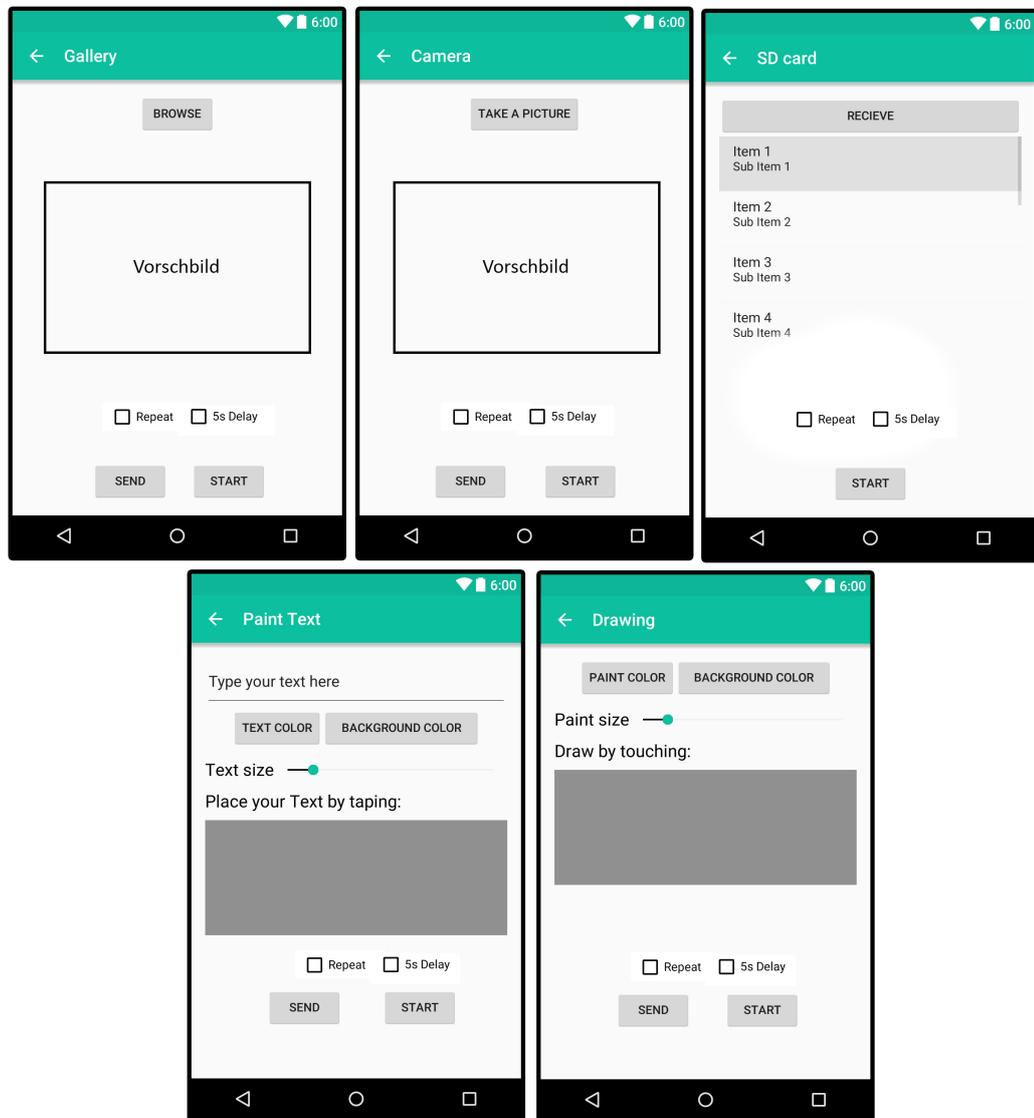


Abbildung 27: Screenshots aus dem Android Studio Emulator

## Abbildungsverzeichnis

1	Gjion Mili: Picasso Draws a Centaur (links), Henry Matisse draws (rechts) . . . . .	4
2	Man Ray: Space writing (links), Andreas Feininger: Sikorsky 3 (rechts) . . . . .	4
3	David Potts: Neon Reklame am Piccadilli Circus . . . . .	5
4	Dean Chamberlane: Duran Duran . . . . .	6
5	Étienne-Jules Marey und Georges Demeny (1889) - Pathological walk from in front (links), Frank Bunker Gilbreth und Lillian Moller Gilbreth (1914) (rechts) . . . . .	7
6	Gjion Mili: Figure Skater Carol Lynne (links) , Mike Mandel: Light Painting Photography 2 (rechts) . . . . .	8
7	Eric Staller: Ribbon on Hannover Street . . . . .	8
8	Vicki DaSilva: Light Tartans: Fountain Park 4 . . . . .	9
9	Patrick Rochon: Kata (links) , Aurora Crowley: 8Portraits (rechts)	10
10	LAPP Pro: Bremen - Weserstadium - Nike (links) , Dana Maltby: Polynomial Equations (rechts) . . . . .	11
11	Adrien-Veczan: Bear Hug Cranberry Vodka bottle . . . . .	12
12	Michael Ross: Pacmans revenge (oben), Bitbanger Labs: Escalator (unten) . . . . .	13
13	Arduino Uno und Teensy 3.2 [TE16, ARDU16] . . . . .	15
14	WS2801 ohne integrierte Schaltung (links), WS2812B mit Schaltung (rechts) . . . . .	17
15	Der Pixel-Stick von Bitbanger Labs . . . . .	18
16	Schaltplan der verbauten Elektronik . . . . .	20
17	Beispiele für Spiegelung (1), Verdeckung (2), Perspektive (3) und Beleuchtung der Umgebung (4) . . . . .	27
18	Schematischer Plan für das Light Painting des Reiterdenkmals	28
19	Light Painting des Reiterdenkmals mit Bewegung der Kamera	29
20	Subjektive Auflösung der beiden Pixel-Sticks. Bitbanger Labs (links), Weiterentwicklung (rechts) . . . . .	30
21	Erster Plan nach Erhalt der ersten Bauteile . . . . .	31
22	Mittelstück mit Griff . . . . .	31
23	Steckverbindung der beiden LED-Streifen . . . . .	32
24	Teensy 3.2 mit Speicherkarten und Bluetooth Modul . . . . .	32
25	Griff Demontage . . . . .	33
26	Steckverbindung der LED's im finalen Zustand . . . . .	33
27	Screenshots aus dem Android Studio Emulator . . . . .	34

## Literatur

- [PA16] Jason D. Page, [www.lightpaintingphotography.com/light-painting-history/](http://www.lightpaintingphotography.com/light-painting-history/), Zugriff 25.04.2016
- [MA16] Etienne-Jules Marey, [http://americanhistory.si.edu/muybridge/htm/htm\\_sec1/sec1p3.htm](http://americanhistory.si.edu/muybridge/htm/htm_sec1/sec1p3.htm), Zugriff 20.06.2016
- [MAN16] Mike Mandel - Making good time, [http://www.slate.com/blogs/ behold/2013/07/29/mike\\_mandel\\_making\\_good\\_time\\_takes\\_a\\_tongue\\_in\\_cheek\\_look\\_at\\_early\\_1900s.html](http://www.slate.com/blogs/ behold/2013/07/29/mike_mandel_making_good_time_takes_a_tongue_in_cheek_look_at_early_1900s.html), Zugriff 20.06.2016
- [VE16] Adrien Veczan, <http://www.veczan.com/>, Zugriff 18.06.2016
- [RO16] Patrick Rochon, <http://www.patrickthelightpainter.com>, Zugriff 01.05.2016
- [CR16] <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-artist/featured-artist-2/aurora-crowley/>, Zugriff 01.05.2016
- [MAL16] <http://www.twincitiesbrightest.com/>, Zugriff 01.05.2016
- [DA16] <http://vickidasilva.com/about>, Zugriff 02.05.2016
- [LA16] <http://www.lightart-photography.de/>, Zugriff 01.05.2016
- [RO11] <http://lightpaintingphotography.com/light-painting-photography/michael-ross-interview-the-digital-light-wand/>, Zugriff 15.06.2016
- [SEI16] Victor Seib, Einführung in MCU, Universität Koblenz-Landau <http://www.uni-koblenz.de/~physik/informatik/MCU/Einfuehrung.pdf>, Zugriff 23.05.2016
- [BF12] Michael Burton, Android Application Development For Dummies, Wiley, 2012.
- [MY16] <http://einsteiger.myavr.de/index.php>, Zugriff 24.05.2016
- [PI16] <https://www.raspberrypi.org/>, Zugriff 24.05.2016
- [ARD16] <https://www.arduino.cc/>, Zugriff 22.05.2016

- [ARDU16] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, Zugriff 25.05.2016
- [TE16] <https://www.pjrc.com/teensy/teensy31.html>, Zugriff 25.05.2016
- [WS16] WS2812B - Intelligent control LED integrated light source <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>, Zugriff 26.05.2016
- [BI16] Webseite des Pixel-Sticks von Bitbanger Labs <http://www.thepixelstick.com/>, Zugriff 27.05.2016
- [WÖ10] Jan Leonardo Wöllert, Jörg Miedza, 2010, Faszination Lichtmalerei: die Kunst der Light Art Performance Photography, dpunkt