

Evaluierung von Lichtfeld- und Thermografiekameras im Human-computer interaction Kontext

Florian Kletz, Jorin Kleimann

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Technik und Informatik, Department Informatik
Berliner Tor 7, 20099 Hamburg, Germany
{florian.kletz,jorin.kleimann}@haw-hamburg.de
<http://www.haw-hamburg.de>

Zusammenfassung. Die nachfolgende Arbeit beschäftigt sich mit der Evaluierung von Lichtfeld- und Thermografiekameras zum Einsatz im Bereich der Human-computer interaction. Dabei werden Aspekte wie Aufnahmequalität, Analysemöglichkeiten und die reele Qualität der aufgezeichneten Daten betrachtet. Außerdem wird die Evaluierung und Auswertung von Thermografiedaten, die in einem Versuch mit Probanden aufgezeichnet worden sind, in Bezug auf die Erkennung von emotionalen und kognitiven Veränderungen beschrieben.

Schlüsselwörter: Thermografiekamera, Lichtfeldkamera, HCI, mentale Belastung, Infrarot, Tiefenbild, Raytrix, InfraTec

Abstract. The following work evaluates light field and thermography cameras in the human-computer-interaction environment. Recording possibilities, capabilities of analysing and the quality of realtime recorded data are aspects that are looked into. Furthermore we take a look at the evaluation and analysis of thermal data, which have been recorded in an experiment. The focus is set on the detection and identification of emotional and cognitive changes of the human mind.

Keywords: Thermographic camera, light field, light field camera, HCI, mental workload, infrared, depth image, Raytrix, InfraTec

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	Aufbau der Arbeit	2
2	Technologien/Kameratechnologien	3
2.1	Lichtfeldkamera	3
	<i>Raytrix R5</i>	3
	<i>Technologie</i>	4
	<i>Objektive</i>	6
	<i>Software</i>	6
	<i>Fazit Lichtfeldkamera</i>	7
2.2	Thermografiekamera	8
	<i>InfraTec VarioCam HD</i>	8
	<i>Technologie</i>	8
	<i>Falschfarbendarstellung</i>	10
	<i>SDK</i>	10
	<i>Software</i>	11
	<i>Fazit Thermografiekamera</i>	11
3	Verwandte Arbeiten / Literature Review	13
3.1	Lichtfeldkamera	13
	<i>The Light Field Camera: Extended Depth of Field, Aliasing, and Superresolution</i>	13
	<i>Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera</i>	14
	<i>Improved Face Recognition at a Distance Using Light Field Camera & Super Resolution Schemes</i>	14
3.2	Thermografiekamera	15
	<i>StressCam: Non-Contact Measurement of Users Emotional States through Thermal Imaging</i>	15
	<i>Thermal imaging as a way to classify cognitive workload</i>	16
	<i>Classifying Affective States Using Thermal Infrared Imaging of the Human Face</i>	18
	<i>Erfassung von mentaler Beanspruchung über thermografisch bestimmte Veränderungen der Hauttemperatur - eine Pilotstudie im realen Straßenverkehr</i>	19
4	Experiment/Explorative Studie	20
4.1	Umsetzung	20
	<i>Idee</i>	20
	<i>Versuchsaufbau</i>	20
4.2	Analyse	21
4.3	Schlussfolgerung	23
5	Zusammenfassung	24
5.1	Ausblick	24

A	Anlagen	28
A.1	Anlage I - (Pecha Kucha Auswertung)	28
A.2	Anlage II - (Pecha Kucha Auswertung geglättet)	29

Abbildungsverzeichnis

1	Front- (ohne Objektiv) und Rückansicht der Raytrix Lichtfeldkamera	3
2	Aufnahme des Zwischenbildes	5
3	Beispiel der Firma Raytrix	5
4	Eigenes Bild mit Raytrix R5	5
5	Objektive der Raytrix Lichtfeldkamera	7
6	Screenshot der Software RxLive mit eigener Aufnahme	8
7	Front- und Rückansicht der InfraTec VarioCam HD 800 Serie	9
8	Der Infrarotbereich im elektromagnetischem Spektrum	9
9	Verschiedene Falschfarbendarstellungen ein und desselben Bildes	10
10	Screenshot der Software <i>IRBIS 3 plus</i> mit eigener Aufnahme	11
11	Superresolution-Algorithmus	13
12	Exemplarisches Beispiel eines Stroop Tests	16
13	Setup des Versuchsaufbaus	21
14	Darstellung der Messpunkte auf einer Aufnahme	22

Glossar

GPU	graphics processing unit / Grafikprozessor
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
HCI	Human-computer interaction
IR	Infrarot
kognitive Belastung	Ist eine Belastung die durch Informationsverarbeitung im Hirn des Menschen entsteht. Dies kann beispielsweise Abrufen von Wissen, Denken oder auch Verstehen von Dingen und Sachverhalten sein.
Lichtfeldkamera	Auch plenoptische Kamera genannt. Sie erfasst im Gegensatz zu normalen Kameras noch eine weitere Ebene. Die Ebene der Bildtiefe. Ausführliche Erklärung findet sich im Kapitel 2 .
mental state	Hiermit wird der Geisteszustand bezeichnet, in dem sich eine Person befindet.
Mentale Belastung	Auch psychische Belastung genannt. Beschreibt die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zu kommen und psychisch auf ihn einwirken. (Gemäß EN ISO 10075 [?])
Thermografiekamera	Ist eine Kameraart die im nicht sichtbaren Spektrum des Lichts arbeitet. Diese bildgebende Kamera zeichnet mittels Infrarotstrahlung die Oberflächentemperaturen auf. Alternative Bezeichnungen lauten: Thermalkamera, Infrarotkamera oder Wärmebildkamera. Ausführliche Erklärungen finden sich im Kapitel 2 .

1 Einleitung

Bei der Interaktion mit technischen Geräten ist seit Jahren der Trend abzusehen, bei dem eine Bedienung mittels Maus und Tastatur bzw. Hardware-Controllern mehr und mehr obsolet und durch neue Technologien abgelöst wird. Ein Trend der seit mehreren Jahren an Popularität gewinnt ist die Touch-Bedienung, bei der mit dem angezeigten Gerät direkt durch Finger und/oder Stift Bedienung interagiert werden kann.

Ein spannenderer Trend ist allerdings die Interaktion mittels des eigenen Körpers, bei dem kontaktlos und ohne zusätzliche Gegenstände oder Controller mit etwas interagiert werden kann (dem sog. Body-as-Control Prinzip). Hierbei besteht die Möglichkeit, dass die Interaktion einerseits durch aktives Steuern durch den Nutzer vollzogen werden kann (beispielsweise mittels Gestik und Mimik), andererseits auch durch die reine Anwesenheit, ohne dass wesentlich mit dem System interagiert wird.

Technisch kann eine Interaktion mit einer ganzen Reihe von Technologien erkannt und aufgezeichnet werden. Hierzu zählen beispielsweise Laserscannersysteme oder elektrische Kontakte im Boden, um die Position von Personen zu ermitteln. Eine weitere - und hier behandelte - Technologie bilden die bildgebenden bzw. bildaufzeichnenden Geräte. Dabei wird in diesem Rahmen ganz bewusst auf klassische Kameras - die lediglich ein 2D-Bild aufzeichnen bzw. erzeugen können - verzichtet und Systeme genutzt, die weitere Dimensionen aufzeichnen.

Im Rahmen dieses Grundprojekts wurden zwei Kameratechnologien genauer betrachtet. Zum einen wurde eine R5 Lichtfeldkamera der Firma Raytrix¹, sowie eine VarioCam HD Thermografiekamera der Firma InfraTec² ausgewählt. Beide Kameras sind bereits durch die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) beschafft worden und werden im Rahmen dieses Grundprojekts eingerichtet, konfiguriert und betriebsbereit gemacht. Ebenso wurden erste Versuche und Experimente durchgeführt.

1.1 Zielsetzung

Im Rahmen des Grundprojekts soll ermittelt werden, inwieweit sich die beiden Kameraarten (Lichtfeldkamera und Thermografiekamera) für den Human-computer interaction (HCI)-Kontext eignen. Dazu ist eine Einarbeitung in die Theorie der Kameraarten notwendig, welche einen Großteil des Projekts einnimmt. Um die Theorie in der Praxis anwenden zu können, müssen die Kameras im Weiteren sowohl durch exploratives Testen als auch mittels Vorversuchen auf die praktische Handhabbarkeit getestet werden. Ebenso muss sich in die

¹ <http://www.raytrix.de>

² <http://www.infratec.de>

dazugehörige Software eingearbeitet werden und diese auf den Nutzen für Live-Verarbeitung und/oder Analysemöglichkeiten evaluiert werden. Hierzu muss sich im Weiteren in die zur Verfügung gestellten SDK's eingearbeitet und deren Funktionsumfang evaluiert werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Dieser Projektbericht gliedert sich in fünf Kapitel. In allen Kapiteln wird dabei auf die beiden hier evaluierten Kameraarten eingegangen.

Das erste Kapitel befasst sich mit der Einleitung für diese Ausarbeitung. Ebenso wird die Zielsetzung beschrieben.

Das zweite Kapitel ([2 Technologien](#)) beschreibt die evaluierten Kameraarten. Dazu wird sowohl die Technologie beschrieben, auf die technischen Details, sowie auf das nötige Zubehör der beschafften Kameras eingegangen. In diesem Kapitel werden ebenso die durch die Hersteller zur Verfügung gestellten SDK's und deren Möglichkeiten beschrieben.

Im dritten Kapitel ([3 Verwandte Arbeiten / Literature Review](#)) wird ausführlich auf den aktuellen Stand der Forschung eingegangen, dazu verwandte Arbeiten genannt und deren Hauptaspekte herausgearbeitet. Differenziert wird hier nach den Kameraarten. Dieses Kapitel bildet den *Literature Review* Anteil des Projekts.

Im vierten Kapitel ([4 Experiment](#)) wird auf das erste Experiment eingegangen welches im Rahmen der Projektreihe des Masterstudiengangs (hier dem des Grundprojekts) durchgeführt wurde. Hier wurde bei Probanden eine künstliche mentale und kognitive Belastung provoziert, um diese mittels Thermografie sichtbar zu machen. Das Ergebnis wird abschließend diskutiert und erläutert.

Das letzte Kapitel ([5 Zusammenfassung](#)) fasst die Ausarbeitung und die im Projekt gewonnenen Sachverhalte nochmals zusammen. Zudem zeigt es einen Ausblick für diesen Themenbereich auf.

Angefügt findet sich ein [Glossar](#), das jene Wörter beschreibt, die über den normalen Informatik-Kontext hinausgehen, sowie die obligatorischen [Abbildungs-](#) und [Literaturverzeichnisse](#).

2 Technologien/Kameratechnologien

In diesem Kapitel werden die in dem Projekt eingesetzten Kameras vorgestellt und die Technologien dieser grundlegend erläutert. Hierbei handelt es sich um eine Lichtfeldkamera, sowie eine Thermografiekamera. Die Kameras wurden bereits vor Beginn des Projekts beschafft bzw. bestellt, sodass hier auf die Auswahl der Modelle nicht näher eingegangen wird.

Neben den technischen Details werden ebenso konkrete Einsatzzwecke der Technologien aufgezeigt. Des Weiteren wird auf das vorhandene Zubehör der Geräte eingegangen und deren Zweck, sowie die Anwendung dieser kurz erläutert.

2.1 Lichtfeldkamera

Raytrix R5: Das Model R5 der Firma Raytrix³ ist eine 4 Megapixel Lichtfeldkamera mit einer maximalen Auflösung von 2048 x 2048 Pixel.⁴ Die Kamera kann sowohl über die Herstellersoftware RXLIVE 2.10 als auch über ein SDK angesprochen werden. Die Lizenz zur Nutzung der Kamera, sowie der Software bzw. dem SDK wird mittels USB-Dongle in regelmäßigen Abständen abgerufen. Die Kamera hat die Abmessungen 5.2 x 5.2 x 4.7 mm und ist durch seine Bauweise sehr kompakt. Für dieses Modell ist kein interner Speicher verfügbar. Daher erfolgt die Live Kommunikation über die *Camera Link (LK)* Schnittstelle. Für die Verarbeitung wird ein graphics processing unit / Grafikprozessor (GPU) benötigt, der mittels der Programmier-Technik *CUDA* angesprochen wird.

Zusammen mit der Kamera wurde ein mit dem Windows 7 Betriebssystem ausgestatteter Rechner beschafft. Dieser verfügt über 4-i7 Kerne und eine NVIDIA GEFORCE GTX TITAN BLACK, sowie die oben genannten technischen Eigenschaften und Anschlüsse, um mit der Kamera zu kommunizieren.



Abb. 1: Front- (ohne Objektiv) und Rückansicht der Raytrix Lichtfeldkamera

³ <http://www.raytrix.de>

⁴ <http://www.raytrix.de/produkte/#r5series>

Technologie: Die Funktion von Lichtfeldkameras, in einigen Publikationen auch plenoptische Kameras genannt, basiert auf der Idee der plenoptischen Funktion. Die plenoptische Funktion ist eine Funktion, die in der Bildverarbeitung genutzt wird, um ein Bild aus jedem Blickwinkel und jeder beliebigen Position zu beschreiben. Dabei wird die Verteilung der Strahldichte entlang von Lichtstrahlen in einem Raum gemessen, um so das Bild in seiner Tiefe beschreiben zu können [1].

Innerhalb einer Lichtfeldkamera, die auf dieser Funktion basiert, ist zusätzlich zur Hauptlinse - die auch in herkömmlichen Kameras zu finden ist - eine große Anzahl an sogenannten Mikrolinsen auf einer Glasplatte angebracht. Diese Glasplatte mit den Mikrolinsen sitzt direkt vor dem Bildsensor der Lichtfeldkamera. Im Falle moderner Lichtfeldkameras wie denen der Firma Raytrix können bis zu 20.000 Mikrolinsen auf einer solchen Glasplatte sitzen [8].

Die Hauptlinse der Lichtfeldkamera bildet bei einer Aufnahme die außenliegende (also die aufzunehmende) Szene vor der Glasplatte mit den Mikrolinsen ab. Diese, dann zwischen Hauptlinse und Mikrolinsen liegende Szene, wird von den einzelnen Mikrolinsen aufgenommen und auf dem Sensor abgebildet. Dieser Vorgang ist in Abbildung 2 zu erkennen.

Dabei ist es wichtig, dass der Abstand des Bildsensors zum Mikrolinsen-Array (f_m) gleich der Höhe einer Mikrolinse ist (φ_m). Ebenso muss die Höhe der Hauptlinse (φ_l) gleich dem Abstand zwischen Mikrolinsen und Hauptlinse (f_l) sein. Um zu verhindern, dass die Mikrobilder der Mikrolinsen überlappen, müssen die jeweiligen Abstände in folgendem Verhältnis stehen [7]:

$$\frac{f_m}{\varphi_m} = \frac{f_l}{\varphi_l}$$

Die Abbildung durch die Mikrolinsen erfolgt in Abhängigkeit des jeweils einfallenden Lichtfeldes. Das bedeutet, dass jeder einfallende Lichtstrahl aus der gleichen Richtung durch die Mikrolinsen auf den gleichen Koordinaten auf dem Bildsensor abgebildet wird.

Die einzelnen Mikrolinsen bilden eigene sogenannte Mikrobilder, die zusammengefügt das komplette Bild ergeben. Aus den einzelnen Mikrobildern der Mikrolinsen entsteht dann in der Kamera das sogenannte Rohbild. In diesem Rohbild sind die einzelnen Mikrobilder zusammengefügt. Aus der Differenz benachbarter Mikrobilder für gleiche Bildpunkte lässt sich die Position im Raum bestimmen. So kann eine Tiefenkarte für das Bild erstellt werden, in denen die verschiedenen Tiefenbereiche farblich unterschieden sind.

Zur Kommunikation und der Entwicklung von Anwendungen, die mit der Lichtfeldkamera interagieren, besteht die Möglichkeit auf das sogenannte RAYTRIX LIGHTFIELD SDK zurückzugreifen. Mit Hilfe der RAYTRIX LIGHTFIELD API lassen sich C++ und .NET Anwendungen entwickeln, die von der Raytrix-Kamera aufnehmen und Bilder speichern können. Außerdem beinhaltet die API Möglichkeiten der Prozessierung, Refokussierung oder Ermittlung von Tiefenin-



Abb. 2: Aufnahme des Zwischenbildes [8]

formationen. Das SDK ist nur mit dem zur Kamera mitgelieferten USB-Dongle benutzbar. Ebenso ist das Vorhandensein einer CUDA-fähigen Grafikkarte Voraussetzung für das erfolgreiche Kompilieren einer Anwendung. In einem ersten Versuch wurden die Grenzen und Möglichkeiten der Lichtfeldkamera erforscht um folgende Fragen zu klären:

- Ist eine saubere Kalibrierung der Kamera möglich?
- Sind die qualitativen Ergebnisse der Bilder zufriedenstellend?
- Inwiefern beeinflussen äußere Umstände (Natürliches Licht/Tageslicht) die Bilder?

Um diese Fragen beantworten zu können, wurde eine kontrollierte Umgebung mit einer Szene in der verschiedene Tiefen und Objekte zu sehen waren, eingerichtet.

In Abbildung 3 ist das “Paradebeispiel” der Firma Raytrix abgebildet, welches aus den Werbebildern zur Raytrix R5 entnommen wurde und dementsprechend erwartet werden kann, dass es mit einer Raytrix R5 Lichtfeldkamera aufgenommen wurde. Auf diesem Bild ist zu erkennen, dass alle Bereiche des Bildes fokussiert sind, obwohl verschiedene Tiefen vorhanden sind, also genau das, was man



Abb. 3: Beispiel der Firma Raytrix

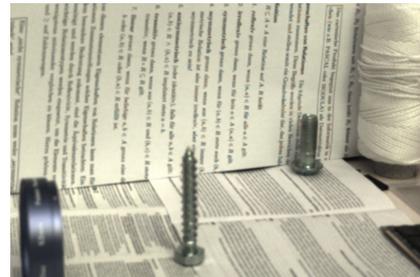


Abb. 4: Eigenes Bild mit Raytrix R5

mit einer Lichtfeldkamera erreichen möchte. In Abbildung 4 ist die Versuchsszene, die mit unserer Raytrix R5 aufgenommen wurde. Hier wird auf den ersten Blick deutlich, dass nicht alle Bereiche des Bildes im Fokus sind (zu erkennen an der Schrift der schwarzen Linsenabdeckung vorne links). Auch ein nachträgliches Fokussieren bringt hierbei nicht das gewünschte Ergebnis. Denn um im späteren Verlauf die exakten Tiefeninformationen zu bekommen, ist ein Fokussieren von allen Bereichen eines Bildes von Nöten. Wenn man sich nun die Tiefeninformationen von Abbildung 4 anschaut, erhält man ein enormes Rauschen, welches sich in einer Art “wabern” beziehungsweise “flackern” zeigt, was unter realen Bedingungen zu keinen dauerhaft zuverlässigen Informationen führt (siehe dazu auch Abb. 6).

Nachdem dieses für das Vorhaben nicht zufriedenstellende Ergebnis unter “perfekten” Bedingungen zustande gekommen ist und die Firma Raytrix jedoch nach einer Rücksprache das Ergebnis als “sehr gut” bezeichnet hat, wurde der Beschluss gefasst, die Lichtfeldkamera als Technologie für das weitere Projekt vorerst auszuschließen.

Objektive: Die durch die HAW beschaffte R5 verfügt über ein genormten *C-Mount* Gewindeanschluss, sowie bereits über drei entsprechende fotografische Objektive:

- Bei dem Standard-Objektiv handelt es sich um das KOWA LM50HC⁵ des Herstellers Kowa. Dies ist ein Objektiv mit der Brennweite $f=50$ mm mit einem Fokussierbereich zwischen $0,50$ m – ∞ und einem Blendenbereich von F1.4 – F16.
- Das zweite Objektiv ist das Modell KOWA LM25SC⁶ vom selbigen Hersteller wie das Standard-Objektiv. Dieses Objektiv verfügt über eine Brennweite von $f=25$ mm für den Fokusbereich zwischen $0,15$ m – ∞ mit einem Blendenbereich von F1.8 – F16.
- Beim dritten Objektiv handelt es sich um das AF MICRO-NIKKOR 200 MM 1:4D IF-ED⁷ des Herstellers Nikon. Dieses Objektiv ist ein Makro-Tele Objektiv mit einer Brennweite von $f=200$ mm und einem Bildwinkel von $12^\circ 20'$.

Die beiden Objektive des Herstellers Kowa verfügen zusätzlich über einen Filtergewindeadapter um die Kalibrierungsfilter (siehe Abb. 5) zu befestigen. Diese Abdeckungen werden für den Kalibrierungsprozess der Kamera benötigt. Eine Beschreibung zur Durchführung des Kalibrierungsprozesses findet sich in [6].

Software: Um mit der Kamera zu interagieren, verfügt die HAW über die bereits erwähnte Software RXLIVE 2.10. In Abbildung 6 ist ein Screenshot der

⁵ <http://www.kowa.eu/lenses/en/LM50HC.6545.php>

⁶ <http://www.kowa.eu/lenses/en/LM25SC.29546.php>

⁷ http://www.nikon.de/de_DE/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/fx/single-focal-length/af-micro-nikkor-200mm-f-4d-if-ed



Abb. 5: Objektive der Raytrix Lichtfeldkamera inkl. montierter Filtergewindeadapter und dem Kalibrierungsfilter (v. l. n. r. NIKON 200 MM, KOWA LM25SC, KOWA LM50HC)

Software abgebildet. Dieser zeigt ein mit der R5 aufgenommenes Bild, bei dem in der linken Bildhälfte das fokussierte Bild als Frontalaufnahme dargestellt wird. Rechts neben dieser Ansicht ist aus den Informationen der Kamera ein 3D Tiefenbild dargestellt. Dazu ermöglicht die Software das aufgezeichnete Bild um die 3 Rotationsachsen zu drehen. Neben diesen beiden Ansichten bietet die Software eine Vielzahl von anderen Betrachtungsmöglichkeiten, sowie verschiedenste Einstellmöglichkeiten, auf die in dieser Ausarbeitung nicht näher eingegangen wird. Eine voll umfängliche Erklärung der Software findet sich in [5].

Fazit Lichtfeldkamera: Zusammenfassend lässt sich zu der Technologie der Lichtfeldkamera sagen, dass es sich um eine äußerst interessante und innovative Technik zur Erzeugung eines Tiefenbildes handelt. Qualitativ soll es dabei COTS Produkten aus dem Heimanwenderbereich (beispielsweise Kinect) überragen. Die Vielzahl von Einstell- und Konfigurationsmöglichkeiten bei dem durch uns evaluierten System ist dabei Segen und Fluch zugleich, da Einstellungen extrem gut nachjustiert werden können, aber die Einstiegshürde relativ hoch liegt. Dabei konnten unsere Versuche und Experimente jedoch qualitativ nicht die erhofften Ergebnisse erreichen. Dies bildet den Hauptgrund, weshalb wir vorerst diese Technologie nicht weiterverfolgen werden.

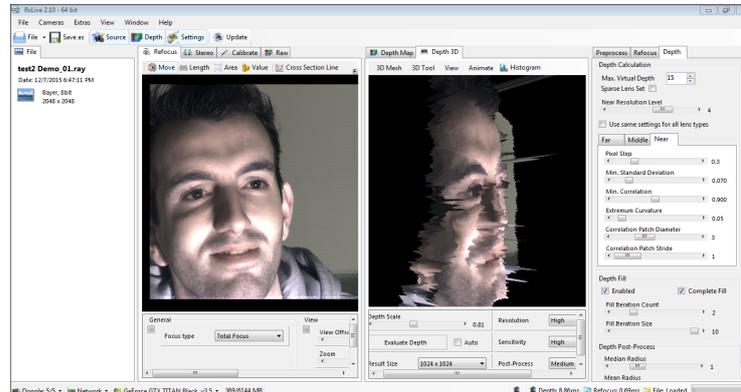


Abb. 6: Screenshot der Software RxLive mit eigener Aufnahme

2.2 Thermografiekamera

InfraTec VarioCam HD: In diesem Abschnitt wird kurz auf die, durch die HAW Hamburg beschaffte, Thermografiekamera aus dem Hause InfraTec⁸ eingegangen. Es handelt sich um das Model VARIOCAM HD 875 (vgl. Abb. 7), die zur Gruppe der qualitativ hochwertigen Geräte gezählt werden kann. Bedingt wird dies durch eine mögliche Auflösung 1.024 x 768 IR-Pixeln⁹ und einer Aufnahmegeschwindigkeit von 30 Hz im Vollbild Modus. Als Detektor nutzt die Kamera eine ungekühlten Mikrobolometer-*Focal Plane Array* Detektor. Die Messgenauigkeit dieser Kamera beträgt ± 1 K im Temperaturbereich zwischen (0 – 100) °C und ist daher u. a. ideal für die Messung von Körpertemperaturen und alltäglichen Gegenständen geeignet. Eine vollständige Auflistung der technischen Spezifikationen finden sind in [20].

Als Schnittstelle verfügt die Kamera über einen GigE Vision Interface-Standard Anschluss, der auf dem Gigabit-Ethernet-Standard arbeitet. Diese Schnittstelle ermöglicht es mittels einer zusätzlichen Netzwerkkarte auf die Daten der Kamera via proprietärer Software, als auch über ein SDK zuzugreifen. Trotz des Ethernet-Standards ist eine manuelle Konfiguration der Netzwerkkarte nötig. Eine Anleitung hierfür findet sich in [19].

Technologie: Die technologische Grundlage der Infrarot-Thermografie beruht auf der physikalischen Eigenschaft, dass jeder Körper oberhalb des absoluten Nullpunkts von (0 K, $-273,15$ °C) eine elektromagnetische Strahlung ausstrahlt. Dabei befindet sich die Infrarotstrahlung auf einer Wellenlänge zwischen 1 μm und 100 μm und ist somit als Wellenlänge zwischen dem sichtbaren Licht und den Mikrowellen angesiedelt, wie in Abbildung 8 zu sehen. Zur Messung der

⁸ <http://www.infratec.de/>

⁹ Infrarot-Pixeln



Abb. 7: Front- und Rückansicht der InfraTec VarioCam HD 800 Serie Quelle: ©InfraTec

Infrarotstrahlung eines Körpers wird die von ihm ausgestrahlte Energie durch eine spezielle Linse auf einen Infrarotdetektor innerhalb der Thermografiekamera fokussiert. Die Sensorelektronik übernimmt die Bildverarbeitung, wodurch nach Bestimmung der Strahlungsintensität die Temperatur des aussendenden Körpers ermittelt wird. [15,18,21]

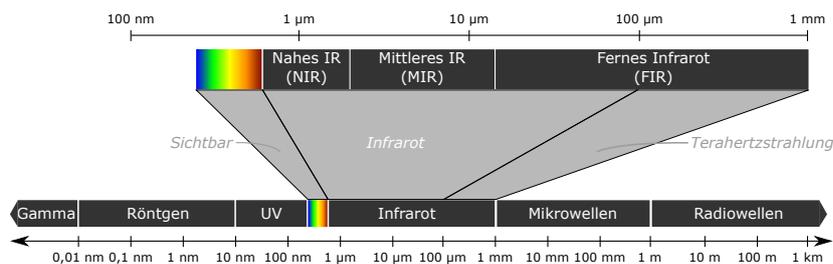


Abb. 8: Der Infrarotbereich im elektromagnetischem Spektrum

Da es sich bei diesem System um ein kontaktloses Verfahren zur Wärmemessung handelt, muss die Oberfläche des Messobjekts für das Messgerät sichtbar sein. Zu beachten ist dabei, dass für eine adäquate Infrarotmessung die Beschaffenheit der Messstrecke sowie des Messaufbaus von hoher Bedeutung ist. So kann die Oberflächentemperatur von der sog. Störstrahlungen beeinflusst werden. Störstrahlungen können dabei Sonnenstrahlen, aber auch andere in der Nähe des Messobjekts befindliche Wärmequellen sein, die das Messobjekt von außen erwärmen. Es gilt daher, Störstrahlung möglichst zu vermeiden. Ebenso durchdringt die Infrarotstrahlung kein (oder nur geringe Mengen) Glasmaterialien. Eine Wärmemessung von Materialien aus Glas (oder durch Glasflächen hindurch) sollte daher unbedingt vermieden werden.

Falschfarbendarstellung: Mit dem bildgebendem Verfahren Thermografie werden keine visuellen Informationen aufgezeichnet, vielmehr wird die Intensität der Infrarotstrahlung - die von einem einzelnen Punkt ausgeht - als Temperatur an diesem Punkt gedeutet. Dabei wird die für das menschliche Auge unsichtbare Infrarotstrahlung in elektrische Signale umgewandelt. Damit das menschliche Auge die Informationen – die mittels dieses Verfahrens aufgezeichnet werden – erfassen kann, werden den einzelnen Punkten in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur ein Farbwert zugewiesen. Die Zuweisung dieser Farbwerte wird als sog. Falschfarben-Darstellung oder farbkodierte Darstellung bezeichnet. Die Farbe gibt dabei keinen Aufschluss über die tatsächliche Temperatur. Sie dient lediglich zur kontrastreicherer Abgrenzung für das menschliche Auge. [15]

Die Bilder in Abbildung 9 beinhalten beispielsweise alle dieselben Informationen. Auf den verschiedenen Fotos wurde lediglich eine andere Farbkodierung gewählt. Die Legende eines Bildes gibt erst den Aufschluss, bei welchem Farbton es sich um welche Temperatur handelt. Dabei ist zu beachten, dass für das menschliche Auge verschiedene Farbtöne bzw. Nuancen der Abstufung nicht erkennbar sind. Für einen Computer hingegen schon. Somit kann eine – für das menschliche Auge – gleichmäßige Färbung trotzdem verschiedene Temperaturen repräsentieren.

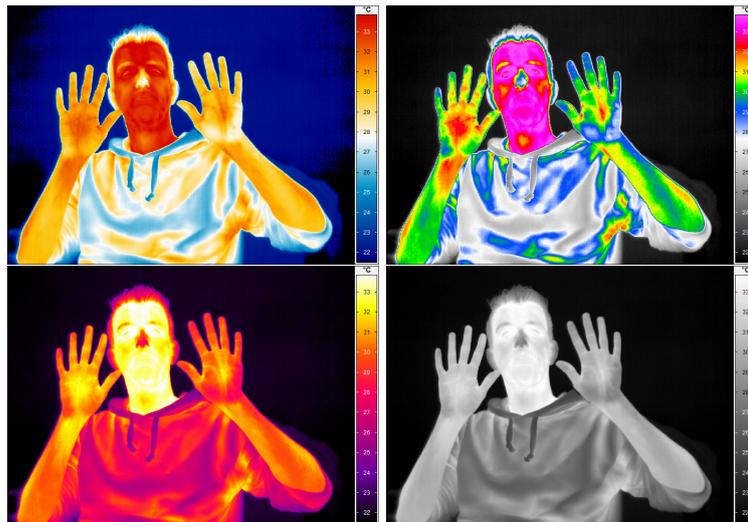


Abb. 9: Verschiedene Falschfarbendarstellungen ein und desselben Bildes

SDK: Die Kamera verfügt über ein SDK mit dem es möglich ist eigene Applikationen zu schreiben, mit denen auf die Funktionen der Kamera zugegriffen werden kann. Technisch wird dafür vom Hersteller eine *Dynamic Link Library*

(DLL) angeboten die in *Borland Delphi 7.0* erstellt wurde. Eingebunden werden kann diese DLL u. a. in dem Microsoft .NET Ökosystem. Die Funktionen des SDK's lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Eine Gruppe bilden Funktionen um die Kommunikation mit der Kamera zu steuern Eine zweite Gruppe die das eigentliche Abrufen, Verarbeiten und Speichern des Kamerabilds ermöglicht. Technische Beschreibungen hierzu finden sich in [19].

Software: Im Lieferumfang der Kamera befindet sich ebenso eine Software namens *IRBIS 3 PLUS*. Mit dieser können einerseits Aufnahmen, andererseits auch Analysen gefahren werden. Abbildung 10 zeigt einen Screenshot mit einer Standardaufnahme. In der Bildmitte wird eine Aufnahme mit Falschfarbendarstellung angezeigt. Auf dieser befinden sich zwei Messpunkte (Stirn und Nasenspitze). Die tatsächlichen Temperaturwerte dieser Punkte lassen sich in der Tabelle in der rechten Bildhälfte ablesen.

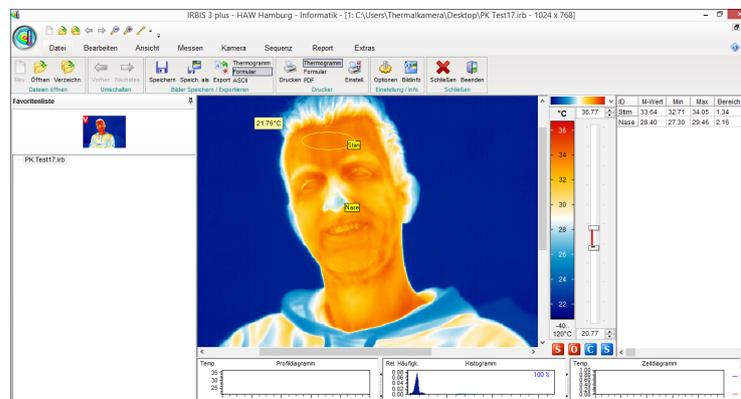


Abb. 10: Screenshot der Software *IRBIS 3 plus* mit eigener Aufnahme

Die Software ermöglicht ebenso eine Analyse über die Zeit. Hierfür müssen mehrere Bilder geladen und ein Messbereich definiert werden. Als Problematisch hat sich herausgestellt, dass die Messbereiche nur Pixelgenau festgelegt werden können. D. h. sobald sich ein Objekt auf den Aufnahmen bewegt, kann keine automatische Auswertung mehr erfolgen, da die Messgebiete nicht pro Aufnahme/Frame festgelegt werden, sondern für die gesamte Auswertung/Serie. Eine genaue Beschreibung aller Funktion findet sich in [20].

Fazit Thermografiekamera: Aufgrund der von uns durchgeführten Evaluati-on der Technologie und den ersten Vorversuchen die wir bereits unternommen haben (vgl. Kapitel 4), werden wir uns in den nachfolgenden Projekten und Ausarbeitungen weiterhin mit dieser Technologie beschäftigen. Da die Informationen, die mittels dieser Technologie gewonnen werden können, ein interessanter

neuer Ansatz zur Nutzung als Schnittstelle zur HCI bilden, bieten sich weitreichende und bisher wenig verbreitete Möglichkeiten des Einsatzes.

3 Verwandte Arbeiten / Literature Review

In diesem Kapitel werden sowohl verwandte Arbeiten, als auch die wesentlichen Merkmale und Erkenntnisse kurz zusammengefasst. Sie bilden daher den Literature-Review Anteil dieser Ausarbeitung. Die hier aufgeführten Arbeiten wurden so gewählt, dass sie ein möglichst breites Spektrum als Einsatzzweck der Technologien abdecken. Ebenso wurden Arbeiten ausgewählt, die neben den Technologien auch den jeweiligen Versuchsaufbau und die Ergebnisse des Versuchs darstellen. Untergliedert ist dieses Kapitel in die beiden zu evaluierenden Technologien (Lichtfeld und Thermografie).

3.1 Lichtfeldkamera

Im folgenden Abschnitt werden einige für uns relevante wissenschaftliche Arbeiten beschrieben, die entweder als Grundlagenliteratur gedient haben oder teils ähnliche Ansätze verfolgen.

Ein Paper, welches sich mehr mit den Grundlagen, den Vorteilen und Problemen von Lichtfeldkameras beschäftigt, ist das Paper mit dem Titel **“The Light Field Camera: Extended Depth of Field, Aliasing, and Superresolution”** [2]. Die Arbeit zeigt, dass Lichtfeldkameras eine höhere Tiefenschärfe besitzen und trotzdem Details in hoher Auflösung wiedergeben können. Hierzu wurde eine Methode entwickelt, welche die Nachteile von Lichtfeldkameras, wie die minimierte Auflösung die durch die Anzahl der Mikrolinsen definiert wird oder auch trübe Aufnahmen mit denen aktuelle Kameramodelle noch zu kämpfen haben, versucht zu minimieren.

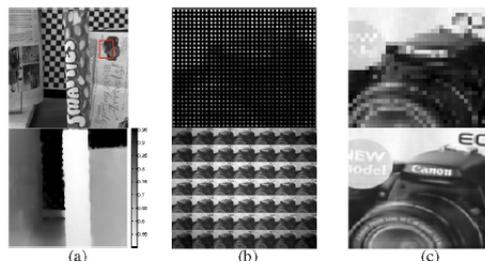


Abb. 11: a oben: Ursprünglich mit der Lichtfeldkamera aufgenommenes Bild. b oben: aus dem Lichtfeldbild extrahiertes Objekt. c oben: detailliertes Bild des Objektes, ein Pixel pro Mikrolinse. c unten: mit der Methode aus dem Paper hochaufgelöstes Objekt

Die Autoren versuchen in ihrer Arbeit außerdem verschiedene Probleme von Lichtfeldkameras abzudecken beziehungsweise zu lösen. Es wird unter anderem

eine Methode entwickelt mit der das von der Lichtfeldkamera aufgezeichnete Bild in einem mit dem Lambertzschem Gesetz aufgestelltes Modell rekonstruiert werden kann. Dies half dabei einen Algorithmus zu entwickeln, der in der Lage ist, mehr Informationen aus dem Lichtfeld-Bild herauszuholen. Dabei gehen die Autoren von der abstrakten Idee aus, dass ein Lichtfeld-Bild nichts Anderes ist, als eine Ansammlung von unterschiedlichen Blickwinkeln eines Bildes die gegebenenfalls in unbekannter Reihenfolge zueinander “verschoben” sind aber ähnliche und voneinander abhängige Informationen enthalten. Mit diesem Gedanken wenden die Autoren einen sogenannten Superresolution-Algorithmus an, um die unterschiedlichen Verschiebungen und Informationen zu rekonstruieren, um so eine möglichst genaue Tiefeninformation für jeden Punkt im Bild zu erhalten. Des Weiteren wird in diesem Paper ein Vergleich zwischen dem Ansatz des Superresolution-Algorithmus und anderen Methoden zur Rekonstruktion eines Lichtfeld-Bildes gezogen.

Das in der Reihe *Stanford Tech Report* mit dem Titel “**Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera**” [9] erschienene Paper ist zwar eine etwas ältere Arbeit, galt für die Forschung am eigenen Thema aber als eine gute Grundlage zur Materie der Lichtfeldfotografie und Lichtfeldkameras. Die Autoren *Ng, Levoy, Bredif, Duval Horowitz* und *Hanrahan* haben in ihrer Arbeit ein Array an Mikrolinsen vor einen herkömmlichen 2D-Kamerasensor platziert. Alles andere - an der von den Forschern entwickelten Kamera - entspricht jeder anderen herkömmlichen Kamera. Die Besonderheit der von den Autoren entwickelten Lichtfeldkamera besteht darin, dass zwischen dem Mikrolinsen-Array und der Hauptlinse keine weitere Linse liegt, die bei anderen Entwicklungen dem Kalibrieren dient. Stattdessen haben die Autoren das Mikrolinsen-Array im optimalen Abstand zum Fotosensor angebracht. Um die einzelnen Mikrolinsen in den Fokus des Sensors zu bekommen, wurden die Linsen im Abstand des Fokus des Fotosensors angebracht. Ein weiterer Punkt, dem sich die Autoren gewidmet haben, ist die Auflösung der Lichtfeldkamera. Denn um später im Lichtfeld-Bild eine höhere Auflösung zu erlangen, sollte eine Mikrolinse so viele Pixel des Fotosensors wie möglich abdecken. Das bedeutet, dass man in der Praxis den Sensor so gut wie möglich “ausnutzt”, also wenig Überlappungen hat. Zur bestmöglichen Ausbeute der Bilddaten erwähnen die Autoren, dass all das Licht, welches durch einen “Pixel” (durch die vordere Hauptlinse) geht, auch durch die dazugehörige Linse auf dem Mikrolinsen-Array gehen muss. Dieser Bereich definiert dann einen 4D-Punkt im Lichtfeld-Bild.

Aus den Versuchen der Autoren geht hervor, dass es durchaus technisch möglich ist, eine Modifikation von herkömmlichen digitalen Kameras vorzunehmen, um mit diesen Lichtfeld-Aufnahmen zu machen. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass Aufnahmen mit einer modifizierten Kamera nur durch eine nachträgliche Bearbeitung einer Software zu nachträglich einzeln fokussierbaren Lichtfeld-Bildern werden.

Eine für die Forschung in dem Bereich der Gesichtserkennung via Lichtfeldkamera interessante und hilfreiche Arbeit ist eine empirische Studie über die Gesichtserkennung und -identifizierung mit Hilfe von Lichtfeldkameras mit dem Titel **“Improved Face Recognition at a Distance Using Light Field Camera & Super Resolution Schemes”** [14].

Die Autoren *Raghavendra, Raja, Yang* und *Busch* erörtern, dass durch die Möglichkeit der Lichtfeldkameras Bilder nachträglich in bestimmten Bereichen zu fokussieren, sich bei Gesichtern ein Großteil des für die Gesichtserkennung relevanten Teils fokussieren lassen. Ebenso lassen sich Bereiche eines Bildes, in denen sich mehrere Gesichter befinden gut nachträglich fokussieren. In einem Experiment haben die Forscher Bilder von mehreren Gesichtern in einer Szene mit einer Lichtfeldkamera aufgezeichnet, die einzelnen Gesichter nachträglich fokussiert und die Gesichter extrahiert. Diese Bilder wurden dann auf ihre Auflösung und Schärfe untersucht. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Lichtfeldaufnahmen vielversprechend für die Gesichtsbioometrie sind. Auf mittlerer Entfernung erhielten sie eine Identifikationsrate von 53,62 %. Auch wenn diese Rate nicht sonderlich hoch erscheint, ist sie doch deutlich höher als die Gesichtserkennung mit Bildern herkömmlicher Kameras auf die gleiche Entfernung. Ein Schluss, der sich aus diesem Paper für die zukünftige Arbeit ziehen lässt ist, dass man davon ausgehen kann, dass eine herkömmliche Lichtfeldkamera nicht nur in der Lage ist Gesichter, sondern auch Gesten und Bewegungen auf weitere Entfernungen (10-20 Meter) zu erkennen.

3.2 Thermografiekamera

In diesem Abschnitt werden verwandte Arbeiten ausführlich betrachtet, die sich mit einem ähnlichen Aspekt beschäftigen wie wir. Hierzu werden die Hauptsachverhalte und -ergebnisse dieser Arbeiten kurz erläutert und aufgezeigt. Detaillierte Informationen zu den Ergebnissen finden sich in den jeweils angegebenen Quellen:

In dem Konferenz Paper mit dem Namen **“StressCam: Non-Contact Measurement of Users Emotional States through Thermal Imaging”** [13] von den Autoren *Colin Puri et al.* wird eine zu unserer bisherigen Vorgehensweise eine sehr artverwandte Herangehensweise verwendet und stellt daher die artverwandteste Arbeit dar. Die Autoren des Papers verwendeten den sog. *Stroop Test* um bei Probanden eine mental workload zu produzieren. Bei diesem Test wird den Probanden eine Liste mit Farbnamen zum Vorlesen angezeigt. Die besondere Beschaffenheit bei dem Test ist, dass die Wörter in anderen Farben gefärbt sind (teilweise auch in derselben Farbe), wie der geschriebene Farbname (vgl. Abb. 12). Der Test macht sich dabei zu Nutzen, dass Menschen Wörter schneller lesen können, als das sie beispielsweise Eigenschaften benennen können. Die Farbe in der das Wort gefärbt ist, ist dabei eine solche Eigenschaft. Im Gehirn treten dabei sog. mentale Verarbeitungskonflikte auf. Insbesondere dann, wenn der geschriebene Text nicht zur Farbe passt, in der er gefärbt ist. Benannt

wird dieser Interferenzeffekt als Stroop-Effekt nach John Ridley Stroop, der dies erstmal publizierte.

PURPLE YELLOW RED
 BLACK RED GREEN
 RED YELLOW ORANGE
 BLUE PURPLE BLACK
 RED GREEN ORANGE

Abb. 12: Exemplarisches Beispiel eines Stroop Tests

Der Test ist in zwei Abschnitte von je 10 Minuten unterteilt. Im ersten Abschnitt, der Ruhephase, sitzt der Proband bereits im Testsetup. Allerdings findet während dieser Zeit noch kein Test statt. Der zweite Abschnitt bildet den eigentlichen Stroop-Test. Während dieser Zeit wird der Proband mit einer Thermografiekamera gefilmt, um eine mögliche Veränderung der Gesichtstemperatur aufzuzeichnen.

In einem zweiten Versuchsaufbau wird der Test nach selbigem Schema durchgeführt. Hierbei wird statt einer Aufzeichnung mit der Thermografiekamera der Stoffwechsel (Metabolismus) des Probanden analysiert. Dabei trägt der Proband eine Atemmaske die den Energieaufwand des Atmens misst. Diese Methode wurde als sog. *ground truth* gewählt, da es sich hierbei um ein bewährtes Verfahren zur Indikation von Stress handelt. [16]

Leider sind beide Versuchsaufbauten nicht zeitgleich durchführbar, da die Atemmaske ein Teil des Gesichts be-/verdeckt. Daher sind die beiden Versuchsaufbauten nacheinander durchgeführt worden.

Die Autoren stellten als Ergebnis fest, dass die Daten der Thermografiekamera mit denen der *ground truth* sehr stark korrelierten. Bei der Betrachtung aller zwölf Probanden des Tests ergibt sich ein Korrelationskoeffizient (nach Pearson [11]) von $r = 0.52$. Da ein Proband extrem andere Werte lieferte als die anderen Probanden wurde dieser aus den Aufzeichnungen entfernt. Hierdurch konnte der Korrelationskoeffizient auf $r = 0.91$ erhöht werden.

Aus dem Paper geht hervor, dass beide Methoden grundlegend dieselben Informationen ableiten lassen. Die Beobachtung des Probanden mit einer Thermografiekamera wies allerdings bezüglich des Komforts des Probanden deutliche Vorteile auf, da dieser keine zusätzlichen Geräte tragen musste.

“**Thermal imaging as a way to classify cognitive workload**” [17] ist der Titel eines Konferenz Papers von *Stemberger, Allison* und *Schnell* in dem sie beschreiben wie mittels Thermografie die cognitive workload von Piloten erkannt werden kann. Deren Motivation ist es, Flugunfälle die durch Piloten aufgrund von Überlastung oder Ablenkung verursacht wurden, zu verhindern bzw. dieses

vorab zu erkennen. Der Ansatz lässt sich ebenso auf alle anderen Fahrzeugführer übernehmen.

Abweichend von anderen Arbeiten beschreiben die Autoren dieses Papers nicht den sog. *emotional state* in dem sich eine Person befindet, sondern kategorisieren die *mental workload* in drei Gruppen. Benannt sind die Gruppen HIGH, MEDIUM, LOW. Hierbei repräsentiert die Kategorie LOW Langeweile und Unaufmerksamkeit, die Kategorie HIGH hingegen Überforderung des Probanden.

Um die cognitive workload unter Laborbedingungen zu produzieren, entwickelten sie einen cognitive stress test (CST) der aus drei Stufen besteht. In diesem CST wird dem Probanden eine Ziffer zwischen 1 und 9 angezeigt auf die er wie folgt reagieren muss: In der Schwierigkeitsstufe der “low workload” muss der Proband einen Knopf drücken, sobald er die Ziffer 5 angezeigt bekommen hat. Der Anspruch wurde dabei bewusst trivial gewählt, um diesen mit den anderen besser vergleichen zu können. In der zweiten Schwierigkeitsstufe, der “moderate workload”, muss der Proband den Knopf drücken, sobald nacheinander drei gerade Zahlen angezeigt wurden. Diese immer noch sehr einfach erscheinende Aufgabe erweitert jedoch schon die Aufmerksamkeit von der einen Ziffer 5 der vorherigen Stufe auf die Konzentration auf die Ziffern 2,4,6 und 8. Zudem noch um die Information, ob die vorherigen Ziffern die Aufgabe erfüllen. In der Schwierigkeitsstufe drei, der “high workload”, muss der Knopf gedrückt werden, sobald die beiden vorherigen Ziffern dieselbe ist, wie die aktuell angezeigte. Hierbei muss erweitert zu der zweiten Stufe nicht nur die Information ob es sich um eine gerade oder ungerade Ziffer handelt behalten werden, sondern ebenso die Ziffern an sich. Während der Testphase wurden die Schwierigkeitsstufen beliebig in der Reihenfolge gemischt.

Zur Auswertung, ob bei einer Steigerung der mental workload auch die Gesichtstemperatur erhöht, benutzen die Autoren das Neuronales Netz “SPSS PASW MULTILAYER PERCEPTION NETWORK”¹⁰. Die Auswertung zeigt, dass die mental workload mit einer Genauigkeit von im Mittel 81 % in den drei Kategorien HIGH, MEDIUM und LOW unterschieden werden kann (LOW = 76,9 %, MEDIUM = 79,2 % und HIGH = 86,8 %), wenn alle teilnehmenden Probanden als Grundlage zur Ermittlung der Werte genutzt werden. Verbessert werden kann, laut den Autoren, die Genauigkeit, wenn für die Auswertung mit dem Neuronalen Netz nicht die Daten aller Probanden genutzt werden, sondern nur jene von einem Probanden. Hierbei wird eine Genauigkeit von 98,9 % im Mittel erreicht (LOW = 97.6 %, MEDIUM = 99.8 % und HIGH = 99.3 %).

Dennoch schlussfolgern die Autoren, dass ihr Ansatz kein Patentrezept für das Ermitteln von cognitiven states ist. Ein Grund hierfür ist, dass sie beobachten konnten, dass die Temperaturveränderung nicht konsistent bei allen Probanden gleichstark auftrat. Schwerer hingegen wiegt, dass sie bei ihrem Ansatz ein System für die Ermittlung von Gesichtstemperatur bei Piloten gesucht wird und hierbei viele Umweltfaktoren mit beachtet werden müssen (Erhöhung der Gesichtstemperatur durch direkte Sonneneinstrahlung; Essen und Trinken bei

¹⁰ https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB_21.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/idh_idd_mlp_output.htm

Langstreckenflügen; ...). Gleichwohl erwähnen sie, dass ihr Ansatz für viele Anwendungsbereiche sehr wohl funktioniert bzw. funktionieren kann.

In dem Journalpaper “**Classifying Affective States Using Thermal Infrared Imaging of the Human Face**” [10] von *Brian Nahan* und *Tom Chau* wird untersucht wie behinderte Menschen, die sich nicht ausdrücken können mittels Thermoografie des Gesichts, eine Kommunikation mit der Außenwelt ermöglicht wird bzw. wie die Außenwelt den emotionalen Zustand der Person mit einem solchen System abgeleitet werden kann. Ihr System soll dabei bewusst autonom ohne anderen Überwachungs- oder Lebenserhaltungssystem funktionieren.

Die Studie ist eine der ersten gezielten Arbeiten die den sog. *state of affect* klassifiziert und ihn im Bezug zur sog. *affect dimension* setzt. In diesem Fall sind die affect dimensions den beiden unabhängigen Dimensionen AROUSAL (hier zwischen unexcited und excited) und VALENCE (hier zwischen unpleasant und pleasant) zugeordnet. Dafür werden einem Dutzend Probanden Bilder aus dem International Affective Picture System (IAPS)¹¹ gezeigt und sie danach zu ihrem emotionalen Zustand befragt. Diese durch den Probanden genannten Daten werden dann mit den Aufzeichnungen der Thermografiekamera in Beziehung gestellt. Die Bilder des IAPS sind kategorisiert und zu ihnen ist mittels Magnetresonanztomographie (MRT) nachgewiesen, dass sie Gehirnaktivitäten verursachen.

Das Experiment findet unter Laborbedingungen statt, bei denen der Proband 20 Minuten lang eine Ruhephase hat um die kardiovaskuläre Aktivität des Körpers herunter zu fahren. Für die Durchführung des Experiments werden die Personen gebeten keine körperlichen Bewegungen vorzunehmen, um die Messergebnisse nicht zu beeinflussen. Hierbei wurde auch der Kopf fixiert, um Bewegungen entgegenzuwirken. Neben der Aufzeichnung mittels einer Thermografiekamera wurde an den Probanden ebenso die Atmung sowie der Pulsschlag gemessen.

Jeder Durchgang des Experiments besteht aus je drei gleichlangen Phasen, einer Vor- und Nachphase und der Phase in der das Bild gezeigt wird (visuelle Stimulierung). Ein Durchgang dauert 90 Sekunden. Insgesamt wurden 192 Durchgänge aufgezeichnet. Zu jeder visuellen Stimulierung mussten die Probanden einen Wert auf einer Skala von 0 - 9 für AROUSAL und für VALENCE angeben.

Zur Auswertung wurden die Bewertungen der Probanden als *ground truth* angenommen und mit den Aufzeichnungen in Beziehung gestellt. Dazu wurden sechs Klassifikationen eingeführt. Für die Klassifikation für HIGH AROUSAL und HIGH VALENCE im Vergleich zur Grundlinie wurde eine Genauigkeit von über 81 % erreicht, für LOW AROUSAL und LOW VALENCE eine Genauigkeit um die 70 %. Bei dem Bereich von HIGH AROUSAL vs. LOW AROUSAL und HIGH VALENCE vs. LOW VALENCE wurde eine Genauigkeit zwischen 50 - 60 % erreicht.

Mit dieser Studie wurde bewiesen, dass mittels der Gesichtstemperatur eine Klassifikation des emotionalen Zustands einer Person möglich ist und dadurch

¹¹ <http://csea.phhp.ufl.edu/Media.html>

auch eine Kommunikation mit der Umwelt (unter Idealbedingungen). Als weiteres Ergebnis des Experiments geht hervor, dass die stärkste Temperaturänderung vor allem im Stirn- und Nasenbereich auftritt und weniger an anderen Stellen im Gesicht, was wiederum eine wertvolle Information für weitere Arbeiten ist.

“Erfassung von mentaler Beanspruchung über thermografisch bestimmte Veränderungen der Hauttemperatur - eine Pilotstudie im realen Straßenverkehr”[4] ist eine Pilotstudie der Universität Wuppertal in Kooperation der Universität Köln, die von *Sascha Datkiewicz* durchgeführt wurde. Hierbei wurden Probanden bei einer realen Autofahrt mittels einer Thermografiekamera aufgezeichnet, während sie beim Steuern des Fahrzeugs zusätzlich noch Kopfrechenaufgaben lösen mussten.

Bei der Studie steuerten die Probanden 20 Minuten lang ein Fahrzeug auf öffentlichen Straßen. Die Strecke bestand aus einem Rundkurs, der je Proband viermal abgefahren wurde. Eine Rundendauer betrug dabei jeweils ca. 5 Minuten. An dieser Studie beteiligten sich zehn Probanden (fünf weiblich und fünf männlich).

Um bei den Probanden eine mental workload zu erzeugen, mussten die Probanden während der Autofahrt Kopfrechenaufgaben lösen. Hierzu wurde in zwei Level der Schwierigkeit unterschieden. Eine Schwierigkeit bildet die “low mental workload”, die andere die “high mental workload”. Dies wurden in unterschiedlicher Reihenfolge je der Hälfte der Probanden zugeordnet. Eine Reihenfolge war nach dem Schema “LOW-HIGH-LOW-HIGH” sortiert, die andere nach “HIGH-LOW-HIGH-LOW”.

Für die Auswertung wurden von jedem Probanden 100 Frames ausgewertet, für die jeweils die Minimum-, Maximum- sowie die Durchschnittstemperatur ermittelt wurde. Betrachtet wurden dabei jeweils drei Regionen im Gesicht (Wange, Stirn, Nasenbein). Die Auswertung der Thermografiebilder wurde bei dieser Studie manuell durchgeführt.

Als Ergebnis wurde festgestellt, dass bei hundert Prozent der Probanden eine höhere Temperatur in der Phase der “high mental workload” vorhanden war als während der Phase der “low mental workload”. Teilweise wies der Unterschied der Durchschnittstemperatur bei einigen Probanden mehrere Grad auf, für andere nur im Nachkommabereich. Gleichwohl weist der Autor darauf hin, dass die Ergebnisse im Rahmen einer größeren Stichprobe validiert werden müssen, da die Probandenanzahl sehr gering war und keine Unterscheidung zwischen den Emotionen durchgeführt wurde.

4 Experiment/Explorative Studie

4.1 Umsetzung

Idee: Als explorative Studie und zum besseren Verständnis der Gesichtsthermografie wurde ein Experiment mit drei Probanden durchgeführt. In diesem Experiment wurde versucht eine künstliche emotionale und kognitive Belastung zu provozieren. Denn bereits durch [3,12] wurde bewiesen, dass die sog. *mental workload* mit dem erhöhten Blutdurchfluss in oberflächlichen Hautschichten korreliert. Eben dieser Blutdurchfluss lässt sich mit Thermografiekameras sichtbar machen.

Um diese Belastung zu provozieren wird eine abgewandelte Form der *Pecha Kucha* (japanisch ぺちゃくちゃ) Vortragstechnik verwendet. Hierbei trägt der Redner (hier der Proband) eine Präsentation bestehend aus 20 Folien vor. Die Abwandlung zu der regulären Form besteht darin, dass der Proband die Folien nicht selber vorbereitet, wie sonst üblich, sondern einen ihm fremden Foliensatz vorgesetzt bekommt. Davon wird sich der Effekt erhofft, dass die körperlich-emotionalen Reaktionen verstärkt werden (im Vergleich zu einer Vertrauten und Vorbereiteten Situation). Ansonsten werden die regulären *Pecha Kucha* Vorgaben angewandt, bei denen der Redner 20 Folien vorträgt. Jede dieser Folien wird dabei nur genau 20 Sekunden eingeblendet (was nicht beeinflusst werden kann). In der daraus entstehenden Gesamtpräsentationszeit von 6:40 Minuten soll nach Möglichkeit ein Thema umfassend erläutert werden. Ziel von *Pecha Kucha* ist es hierdurch kurzweilige, prägnante und einprägsame Präsentationen zu schaffen.

Versuchsaufbau: Der Proband sitzt zusammen mit einer kleinen Zahl von Zuschauern in einem Raum bei normaler Raumtemperatur. Der Proband sitzt dabei auf einem Stuhl, mit dem Rücken zu einer Wand. An dieser Wand soll der Kopf möglichst angelegt werden, um etwaige Kopfbewegungen zu minimieren. Brillenträger müssen zwangsläufig die Brille während des Versuchs absetzen, da die Brillengläser für Thermografiekameras undurchdringbar sind und es so zu Fehlmessungen kommt.¹² Der Blick des Probanden richtet sich sowohl auf einen Bildschirm, die Zuschauer sowie in Richtung des Objektivs der Thermografiekamera, wie in Abbildung 13 dargestellt. Die Zuschauer sitzen dem Probanden in etwa gegenüber. Sie können einerseits den Probanden beobachten, wie auch andererseits (über einen weiteren Monitor) das dem Probanden angezeigte Bild verfolgen.

Vor der Versuchsreihe muss sich die Person bereits einige Zeit in dem Versuchsraum befinden. Dies ist vor allem bei großen Temperaturunterschieden von der Außentemperatur zur Innentemperatur nötig, um die thermische Aktivität der Haut bei der Angleichung der Temperatur (Akklimation) nicht

¹² Glas ist für Infrarot-Strahlung nicht durchdringbar. Somit wird lediglich die Temperatur des Glases detektiert. In den meisten Fällen kommt es jedoch zu einer Spiegelung, sodass die gespiegelten Wärmequellen gegenüber des Probanden detektiert werden. Vgl. Abschnitt 2.2

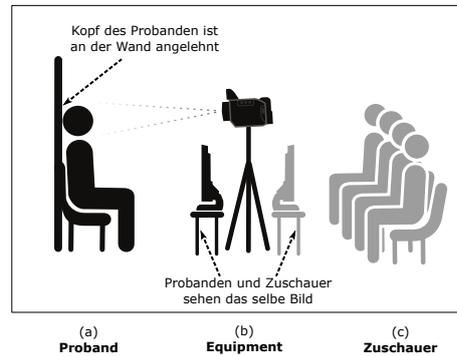


Abb. 13: Setup des Versuchsaufbaus

fälschlicherweise aufzuzeichnen. Es hat sich ebenfalls als positiv erwiesen, den Probanden, sobald er seinen Platz eingenommen hat, durch Smalltalk in eine entspannte Stimmung zu versetzen.

Die eigentliche Versuchsreihe beginnt mit der Einblendung eines weißen Bildschirms, der dem Probanden die Eingewöhnung in die Situation ermöglichen soll. In der konkreten Durchführung dieses Experiments wurden zu Beginn 3 weiße Folien angezeigt, auf der lediglich die Foliennummer eingeblendet war. (3 Folien \equiv 1:00 Minute)

Nach dieser Eingewöhnung beginnt der eigentliche Versuch mit dem Start der Aufzeichnung und dem zeitgleichen Einblenden der Folien nach dem oben beschriebenen Schema, welches von dem Probanden nicht beeinflusst werden kann. Es wurde sowohl das Thermalbild, als auch ein herkömmliches Videobild aufgezeichnet. Während dieser Zeit sollen in dieser Ausprägung des Versuchs keine direkten Rückfragen an den Probanden gestellt werden. Vielmehr soll dieser einen Monolog halten. Als Vortragsthema wurde "Hamburg" gewählt. Hierfür wurden ein Foliensatz bestehend aus 20 Folien/Bilder mit *Hamburgbezug* erstellt (20 Folien \equiv 6:40 Minuten). Durch die Wahl des Themas "Hamburg" wurde gewährleistet, dass der Großteil der Probanden auch genügend Wissen über das Thema besitzen.

Nach dem Ende der eigentlichen Folien erfolgt erneut die Einblendung weißer Folien um den Proband eine weitere Ruhephase zu geben. Hier wurden ebenfalls 3 weiße Folien mit Foliennummer eingeblendet (3 Folien \equiv 1:00 Minute)

Insgesamt beschränkte sich somit die Dauer eines Durchgangs auf 8:40 Minuten pro Proband.

4.2 Analyse

Während der Ruhephasen sowie während der Vortragsphase wurde konstant mit einer Frequenz von 1 Frame/Sekunde aufgezeichnet. Dies ermöglicht es, auch spontane Änderungen der Gesichtstemperatur zu ermitteln.

Die Analyse fand vollständig mit der Hersteller Software IRBIS 3 PLUS statt. Mithilfe dieser Software wurden auf den Aufnahmen fünf Messregionen definiert. Zwei dieser Messregionen sind als Flächen genutzt worden und drei weitere als einzelne Punkte. Eine dieser Flächen befindet sich mittig auf der Stirn, die andere Fläche unterhalb des Kehlkopfes. Flächen bieten den Vorteil, dass sie sowohl Aufschluss über die Maximal- sowie Minimaltemperatur, als auch über den durchschnittlichen Temperaturwert dieser liefern können. Als einzeln festgelegte Punkte wurden die Augenhöhlen zwischen Nasenbein und Auge gewählt (pro Auge ein Punkt). Als ein weiterer Messpunkt wurde der Bereich zwischen den Augenbrauen gewählt. Die Messpunkte sind in Abbildung 14 illustriert.

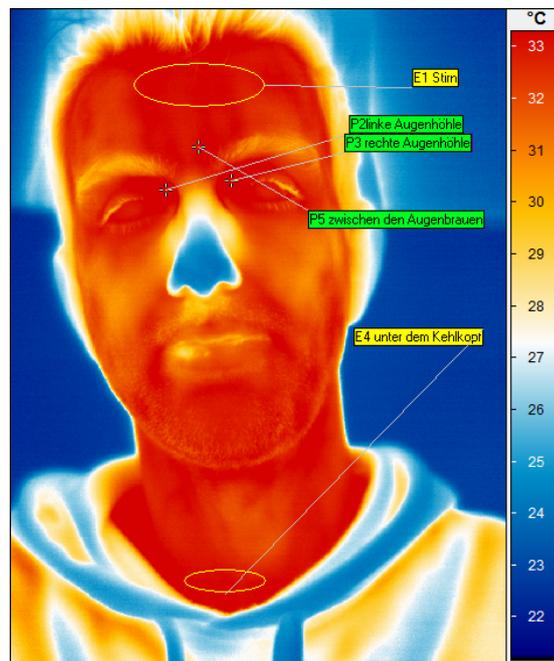


Abb. 14: Darstellung der Messpunkte auf einer Aufnahme

Ein Problem welches sich relativ frühzeitig bemerkbar machte war, dass sich auch trotz der relativ starren Fixierung des Kopfes dieser über die Zeitdauer bewegte. Da die Software nicht in der Lage ist, solche Bewegungen auszugleichen, mussten die Messpunkte so präzise gewählt werden, dass sie über alle Einzelbilder/Frames dieselbe Stelle im Gesicht messen und nicht etwa beispielsweise statt der Temperatur der Augenhöhle plötzlich die Temperatur des Augapfels.

Aus dem benannten Grund wurden auch für die ersten Messungen die Flächenmessregionen nicht näher betrachtet, da diese besonders anfällig für etwaige Bewegungen des Kopfes sind. Besonders die Messgrößen der Durchschnittstempe-

ratur und der Minimaltemperatur lieferten hier nicht die erhofften Ergebnisse, da sobald Regionen wie die kühlere Augenbraue (einerseits durch Bewegung des Kopfes, andererseits durch Mimik des Probanden) in den Bereich der Fläche kam, Fehlmessungen verursacht wurden.

Für die Messpunkte in den Augenhöhlen und die Messpunkte zwischen den Augenbrauen findet sich die grafische Darstellung als Diagramm im Abschnitt [A.1 \(Anlage I - \(Pecha Kucha Auswertung\)\)](#). Ebenso findet sich im Abschnitt [A.2 \(Anlage II - \(Pecha Kucha Auswertung geglättet\)\)](#) selbe Ergebnisse eingezeichnet als gleitender Durchschnitt mit einem Wert von 20.

Interessant an den gemessenen Werten ist, dass am Messpunkt der Stirn ein deutlicher Anstieg der Temperatur bereits in der verlaufenden Ruhephase zu verzeichnen ist. Die Messpunkte in den Augenhöhlen bleiben in dieser Zeit relativ konstant. Spiegelverkehrt verhält es sich in der Ruhephase am Ende des Durchgangs.

Durch ein Gespräch, welches mit jedem Probanden nach dem Versuch geführt wurde, konnten die in der Analyse gefundenen Unregelmäßigkeiten bzw. Temperaturschwankungen bestätigt werden. Dabei wurde ziemlich schnell deutlich, dass ein Proband eigene Emotionsveränderungen (bspw.: Stress, Zweifel) auf bestimmte Temperaturveränderungen zurückführen konnte. Durch die gleichzeitige Aufnahme mit Hilfe einer herkömmlichen Videokamera konnten ebenfalls Situationen, in denen der Proband recht offensichtlich in eine emotional aufreibende Situation gekommen ist (weil er bei einem Bild nicht weiß was er sagen soll, die Zeit aber weiterläuft und das nächste Bild zu kommen droht) ausgemacht und in der Analyse auffindig gemacht werden.

Nach dem eigentlichen Beginn des Vortrags sinkt die Temperatur vorerst in den Augenhöhlen und steigt immer an den Punkten an denen der Proband um Worte ringt an. Ab circa der Mitte des Vortrags ist ein deutliches sinken der Temperaturen zu erkennen. Dies wird sich damit erklärt das der Proband sich auf die Vortrags Situation eingestellt hat und sich vermeintlich “wohl fühlt”. Nach diesem Punkt bleibt die Temperatur an allen drei, hier betrachteten Messpunkten, nahezu konstant.

4.3 Schlussfolgerung

Bei den verschiedenen Probanden kam es zu ähnlichen Interpretationen (wenn auch mit einigen Abweichungen). Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, müsste der Versuch jedoch mit mehr Probanden durchgeführt werden. Das Hauptziel des Experiments, nämlich ein Proof-of-Concept wurde jedoch auch mit dieser geringen Anzahl von Probanden erreicht. Ebenso wurde deutlich, dass ein Tracking-Verfahren nötig ist um die exakte Position der Messpunkte auch bei minimalen Bewegungen bei zu behalten. Daher wird sich das kommende Hauptprojekt diesem Thema widmen.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Grundprojekts wurde sich in zwei Technologien eingearbeitet, welche eine Schnittstelle für die Interaktion im HCI Kontext bilden können. Hierbei handelt es sich um die Technologie der Lichtfeldkamera, die es ermöglicht aus einer einzelnen Linse ein Tiefenbild zu erzeugen, sowie um die Technologie einer Thermografiekamera, welche es erlaubt die Wärmestrahlung von Objekten aufzuzeichnen.

Neben der theoretischen Einarbeitung in die physikalischen Eigenschaften dieser Technologien mussten die Kamerasysteme eingerichtet, betriebsbereit gemacht und konfiguriert werden. Nach dem erfolgreichen Abschluss dieser Schritte konnten bereits erste Versuche und Experimente mit den Technologien durchgeführt werden. Es wurde ebenfalls intensiv Literatur studiert, mittels vergleichender Arbeiten der Verbreitungsgrad, und außerdem Einsatzzwecke und -gebiete dieser Technologien ermittelt.

Es wurde ebenfalls im Rahmen der Projektarbeit ein Blick auf die aktuelle Forschung im Bereich der Lichtfeld- und Thermografiekameras geworfen. Dabei sind unterschiedliche Arbeiten mit verschiedenen Ansätzen - von der Stresserfassung im Thermalbild im Straßenverkehr über Grundlagenarbeiten zur Technologie von Lichtfeldkameras - zum Vorschein gekommen.

Aufgrund dieser Vorarbeit ließ sich bereits ein erstes Zwischenfazit ziehen. Dabei erwies sich die Lichtfeldkamera zwar als eine äußerst interessante Technologie, um Tiefeninformationen einer Szene zu gewinnen. Allerdings zeigte sich in den ersten Versuchen, dass das zur Verfügung stehende System - aufgrund von nicht erreichten Qualitätsansprüchen - für den Einsatz in HCI-Kontext nicht praktikabel ist.

Erste Versuche mit der Thermografiekamera lassen das Zwischenfazit zu, dass diese Technologie weitaus mehr Potential aufweist, um im HCI-Kontext eingesetzt werden zu können.

5.1 Ausblick

Im nächsten Schritt wird die Thermografiekamera in das Forschungsprojekt EMOTIONBIKE¹³ der HAW Hamburg integriert, um erste Aufzeichnungen von Probanden unter Realbedingungen durchführen zu können. Hierzu muss eine eigene Software entwickelt werden um sowohl mit dem vorhandenen Ökosystem des EmotionBike zu kommunizieren, als auch eine Software entwickelt werden, die die Thermografiedaten des Probanden autonom aufzeichnet. Ebenso muss ein Prozess entwickelt werden, der die aufgezeichneten Daten verarbeitet und zu analysiert.

Parallel dazu wird als zweite Art der Thermografie-Analyse das im Kapitel 4 erwähnte Experiment erweitert um beispielsweise Indikatoren zu definieren, wann, wo oder wodurch ein Temperaturanstieg und in welchen Regionen zu verzeichnen ist. Die dabei gewonnenen Informationen unterstützen ebenso den

¹³ <http://emotionbike.org>

zuvor genannten Schritt, als auch andere Anwendungsbereiche der Thermografie im HCI-Kontext.

Langfristig wird ebenfalls eine Integration der Thermografietechnologie in den CREATIVE SPACE¹⁴ angestrebt.

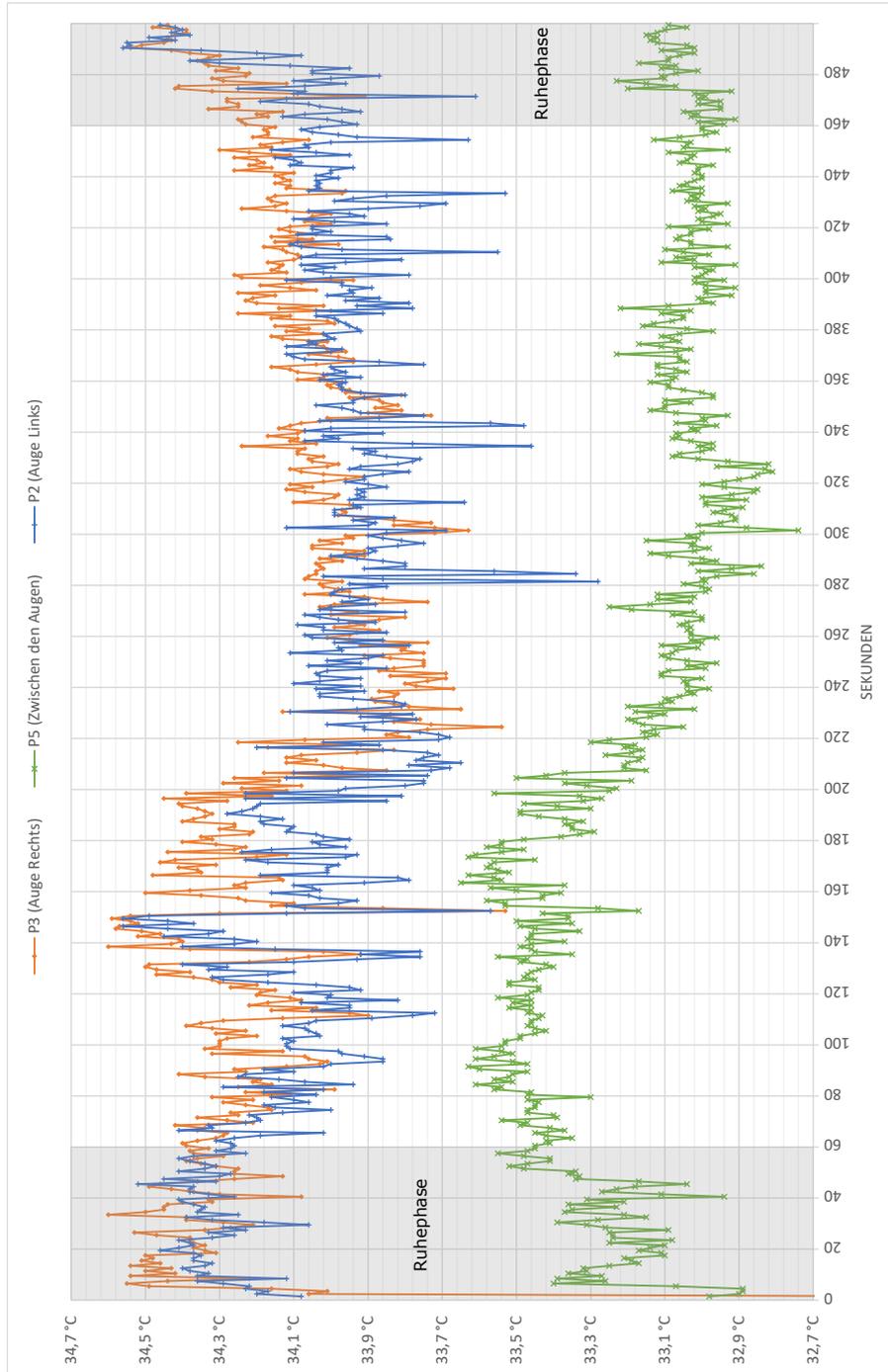
¹⁴ <http://creative-space.haw-hamburg.de/>

Literatur

1. Edward H. Adelson and James R. Bergen. The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision. In *Computational Models of Visual Processing*, pages 3–20. MIT Press, 1991.
2. T.E. Bishop and P. Favaro. The light field camera: Extended depth of field, aliasing, and superresolution. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 34(5):972–986, May 2012.
3. Nisha Charkoudian. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. In *Mayo Clinic Proceedings*, volume 78, pages 603–612. Elsevier, 2003.
4. Sascha Datkiewicz. Erfassung von mentaler beanspruchung über thermografisch bestimmte veränderungen der hauttemperatur - eine pilotstudie im realen straßenverkehr, 2010.
5. Raytrix GmbH Germany. *RxLive User Guide*. Raytrix GmbH Germany, Schauenburgerstr. 116, 24118 Kiel, Germany, 2011.
6. Raytrix GmbH Germany. *RxLive 2.10 Workflow*. Raytrix GmbH Germany, Schauenburgerstr. 116, 24118 Kiel, Germany, 2014.
7. Youngmo Jeong, Jonghyun Kim, Jiwoon Yeom, Keehoon Hong, and Byoung-ho Lee. Handheld light field camera for intergral imaging with pixel mapping algorithm. In *3D Imaging (IC3D), 2013 International Conference on*, pages 1–4, Dec 2013.
8. Deutsches Museum. Eine kleine revolution: Die 3d lichtfeldkamera.
9. Ren Ng, Marc Levoy, Mathieu Brédif, Gene Duval, Mark Horowitz, and Pat Hanrahan. Light field photography with a hand-held plenoptic camera. *Computer Science Technical Report CSTR*, 2(11):1–11, 2005.
10. Brian R Nhan and Tom Chau. Classifying affective states using thermal infrared imaging of the human face. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57(4):979–987, 2010.
11. Karl Pearson. Mathematical contributions to the theory of evolution. iii. regression, heredity, and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 187:253–318, 1896.
12. Dean A Pollina, Andrew B Dollins, Stuart M Senter, Troy E Brown, Ioannis Pavlidis, James A Levine, and Andrew H Ryan. Facial skin surface temperature changes during a “concealed information” test. *Annals of Biomedical Engineering*, 34(7):1182–1189, 2006.
13. Colin Puri, Leslie Olson, Ioannis Pavlidis, James Levine, and Justin Starren. Stresscam: Non-contact measurement of users’ emotional states through thermal imaging. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '05*, pages 1725–1728, New York, NY, USA, 2005. ACM.
14. R. Raghavendra, Kiran B. Raja, Bian Yang, and Christoph Busch. Improved face recognition at a distance using light field camera & super resolution schemes. In *Proceedings of the 6th International Conference on Security of Information and Networks, SIN '13*, pages 413–416, New York, NY, USA, 2013. ACM.
15. Norbert Schuster and Valentin G Kolobrodov. *Infrarotthermographie*. John Wiley & Sons, 2004.
16. Gérald Seematter, Mirjam Dirlwanger, Valentine Rey, Philippe Schneiter, and Luc Tappy. Metabolic effects of mental stress during over- and underfeeding in healthy women. *Obesity Research*, 10(1):49–55, 2002.

17. J. Stemberger, R. S. Allison, and T. Schnell. Thermal imaging as a way to classify cognitive workload. In *Computer and Robot Vision (CRV), 2010 Canadian Conference on*, pages 231–238, May 2010.
18. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik. *Einführung in Theorie und Praxis der Infrarot-Thermografie*. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Gostritzer Straße 61 – 63, 01217 Dresden, Germany, 2004.
19. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik. *Zugriff auf Echtzeit-Digitaldaten mit InfraTec-SDK*. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Gostritzer Straße 61 – 63, 01217 Dresden, Germany, 2014.
20. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik. *Benutzerhandbuch VarioCam HD*. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Gostritzer Straße 61 – 63, 01217 Dresden, Germany, 2015.
21. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik. *Thermografie Theorie - Physikalische Grundlagen*. InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Gostritzer Straße 61 – 63, 01217 Dresden, Germany, 2015.

A.1 Anlage I - (Pecha Kucha Auswertung)



A.2 Anlage II - (Pecha Kucha Auswertung geglättet)

