

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. START DER SOFTWARE.....</b>	<b>1</b>
1.1. Vor dem Start .....	1
1.2. Installation der Software.....	1
1.3. Starten der Software .....	1
<b>2. PROGRAMMARCHITEKTUR .....</b>	<b>2</b>
<b>3. HAUPTMENÜ .....</b>	<b>3</b>
<b>4. MODUL HOLOGRAMMBERECHNUNG .....</b>	<b>4</b>
4.1. Durchführung einer Hologrammberechnung.....	4
4.2. Übersicht Hologrammalgorithmen .....	4
4.2.1. <i>Prismen &amp; Linsen Algorithmus</i> .....	4
4.2.2. <i>Multispot</i> .....	4
4.2.3. <i>Axicon</i> .....	4
4.2.4. <i>Vortexstrahl</i> .....	4
4.2.5. <i>Random Phase</i> .....	4
4.2.6. <i>Zernike</i> .....	5
4.2.7. <i>Gerchberg-Saxton</i> .....	5
4.2.8. <i>Genetic Algorithm</i> .....	5
4.2.9. <i>Aperture</i> .....	5
<b>5. MODUL LASER.....</b>	<b>6</b>
<b>6. MODUL SLM .....</b>	<b>7</b>
6.1. Auswahl des SLM .....	7
6.2. Bilder/ Videos auf SLM spielen .....	7
6.3. Kalibrierung des SLM .....	7
<b>7. MODUL KAMERA.....</b>	<b>8</b>
<b>8. MODUL POWERMETER.....</b>	<b>9</b>
<b>9. MODUL STAGE.....</b>	<b>10</b>
<b>IMPRESSUM .....</b>	<b>11</b>

# 1. Start der Software

## 1.1. Vor dem Start

Installieren Sie Matlab R2022b oder eine neuere Version von Matlab auf dem PC:

Installieren Sie zusätzlich folgende Matlab-Toolboxen:

- Communications Toolbox
- Fuzzy Logic Toolbox
- Holoeye Display SDK (nur für SLM “Holoeye Pluto 2” benötigt)
- MATLAB Support Package for USB Webcams (nur für Webcam benötigt)
- Curve-Fitting Toolbox (für Treppannier-Hologramme benötigt)
- PI Matlab Driver (zum Ansteuern der Stage benötigt)

## 1.2. Installation der Software

- Die Software benötigt keine eigene Installation.
- Legen Sie den Ordner „LAT\_Hologrammsoftware\_2.3 an einem Speicherort Ihrer Wahl ab. Dies sollte auf der PC-internen SSD (empfohlen) oder HDD-Festplatte geschehen. Ein Ausführen auf einem USB-Stick oder über ein Netzwerk kann die Prozesse deutlich verlangsamen.
- Die Ordnerstruktur darf nicht verändert werden. Die Dateien im Ordner dürfen nicht verschoben werden, da sonst Fehler auftreten. Die Dateien im Ordner „files“ sollten nicht verändert oder verschoben werden. Alle von der Software exportierten Dateien, sowie die Konfigurationsdateien werden – sofern nicht anders eingestellt – im Ordner „data“ und den darin enthaltenen Unterordnern abgelegt.

## 1.3. Starten der Software

Die Software wird durch das Ausführen der Datei „LAT\_Hologram\_Software\_2.m“, welche im Hauptverzeichnis liegt, gestartet. Damit öffnet sich nach kurzer Zeit auch die GUI.

Alle Eingaben können über die GUI getätigt werden. In der GUI selbst werden keine Berechnungen durchgeführt, es wird ausschließlich auf Methoden und Variablen aus der Workspace zugegriffen. Alle Variablen können während der Ausführung des Programms in der Workspace eingesehen werden und bei Bedarf über das Command Window manipuliert werden. Wird dies getan, ist nicht mehr sichergestellt, dass alle Werte in der GUI richtig angezeigt werden und alle Funktionen sich fehlerfrei ausführen lassen.

## 2. Programmarchitektur

Die Software ist modular und objektorientiert aufgebaut. Für jedes Modul (Laser, SLM, Hologramm, Powermeter, Kamera, Stage) gibt es eine Klasse, in der Methoden und Eigenschaften des jeweiligen Elements deklariert werden. Gerätespezifische Methoden werden als „abstract“ gekennzeichnet. Zu den Modulen gibt es weitere Unterklassen, in denen jeweils die Eigenschaften von Geräten einzelner Hersteller gespeichert sind. Des Weiteren enthalten diese Unterklassen die ausführlichen Implementierungen der abstrakten Methoden der Oberklasse. In diesen ist der Programmcode enthalten, um bspw. mit einer Kamera eines speziellen Typs ein Bild aufgenommen werden kann.

## 3. Hauptmenü

Nach dem Start der Software ist das Hauptmenü zu sehen (s. Abbildung 1). In diesem können folgende Aktionen ausgeführt werden:

- Speichern und Laden von Konfigurationsdateien. Konfigurationsdateien sind ,\*.mat'-Dateien. Darin werden alle Variablen aus der Workspace gespeichert. Beim Starten des Programms wird immer zunächst die Konfigurationsdatei ,confog.mat' aus dem Ordner ,data' geladen.
- Auswahl der Module: In der Workspace ist stets eine Variable Laser, SLM, Hologram, Powermeter, Camera und Stage hinterlegt. Diese können durch Auswahl im den Dropdownfelder mit Objekten des jeweiligen Typs gefüllt werden. (ACHTUNG: Wird im Dropdown Menü ein neues Gerät ausgewählt, so wird es stets mit den Standardwerten belegt. Vorherige Änderungen sind dann verloren.) Ein Klick auf das Zahnrad neben dem Gerät öffnet die GUI für das jeweilige Modul
- Links zu weiteren Informationen

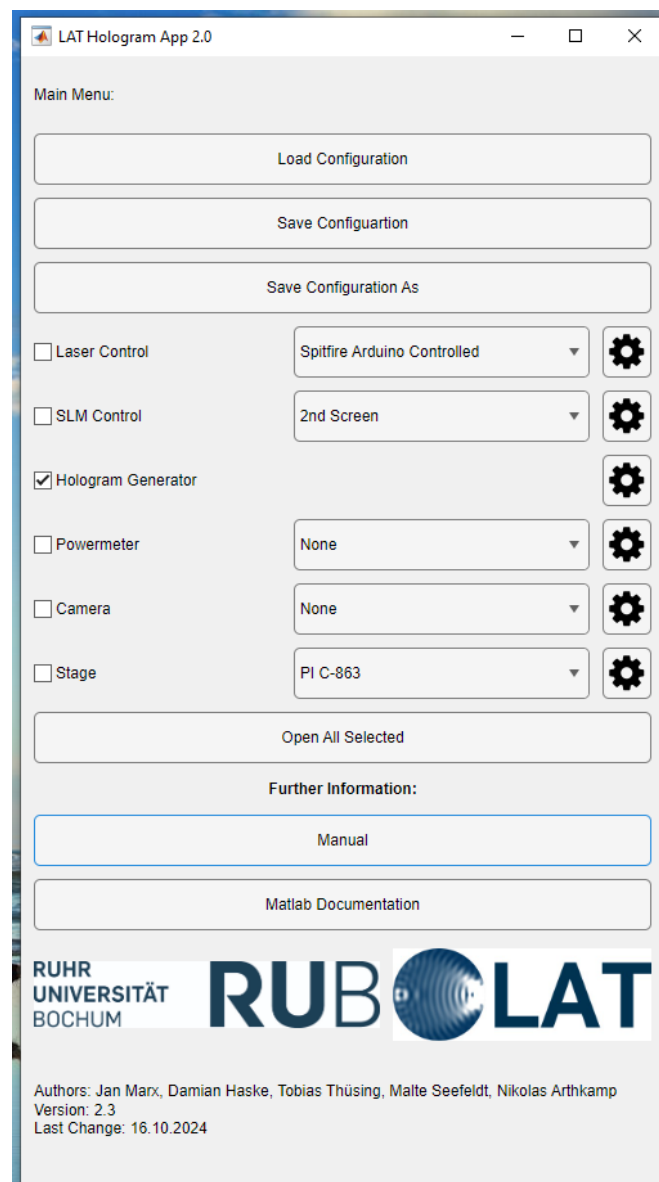


Abbildung 1: Hauptmenü

## 4. Modul Hologrammberechnung

Die Berechnung der Hologramme erfolgt unabhängig von der Ansteuerung des SLMs. Aus diesem Grund kann zu dem Hologrammmodul kein Gerätetyp ausgewählt werden.

### 4.1. Durchführung einer Hologrammberechnung

Durch einen Klick auf die Schaltfläche „Calculate“ wird die Hologrammberechnung gestartet. Je nach ausgewähltem Algorithmus kann dies einige Zeit in Anspruch nehmen. Während der Berechnung sollten in der GUI keine Änderungen an Parametern vorgenommen werden.

Bei der Berechnung werden all diejenigen Algorithmen der Reihe nach berechnet, bei denen in der Algorithmenliste ein Häkchen im Kontrollkästchen gesetzt wurde. Zu jedem Algorithmus können die Berechnungsparameter über ein eigenes Fenster angepasst werden, welches sich durch einen Klick auf das Zahnrad neben dem Namen des Algorithmus öffnen lässt. Die einzelnen Algorithmen sind zum Teil redundant, beeinflussen sich gegenseitig aber nicht. Wenn bspw. über den Prismen- und Linsen Algorithmus und über die Zernike-Korrektur jeweils eine Linse erzeugt wird, summiert sich deren Wirkung auf, da jeder Algorithmus zunächst einzeln berechnet wird.

### 4.2. Übersicht Hologrammalgorithmen

#### 4.2.1. Prismen & Linsen Algorithmus

Dieser Algorithmus erzeugt ein Blaze-Gitter, um den Strahl abzulenken. Zusätzlich kann das Blaze-Gitter mit einer Linse überlagert werden, um den Strahl zu fokussieren/defokussieren. Somit kann der Fokuspunkt hinter einer Linse auf allen drei Achsen verschoben werden.

#### 4.2.2. Multispot

In der Eingabemaske dieses Algorithmus können die Koordinaten mehrerer Spots eingetragen werden. Die Hologramme der einzelnen Spots werden dann bei der Berechnung überlagert, um so ein Multispotmuster zu erzeugen. Zusätzlich kann zu jedem Spot ein Gewichtungsfaktor angegeben werden, der bestimmt, zu welchem Anteil jedes einzelne Hologramm in das überlagerte Gesamthologramm einfließt.

#### 4.2.3. Axicon

Erstellt das Hologramm zur Erzeugung eines Besselstrahls auf Basis eines Axikons. Neben dem Axikonwinkel kann hier auch der Mittelpunkt des Axikons verschoben werden.

#### 4.2.4. Vortexstrahl

Erzeugt einen Vortexstrahl. Die topologische Ordnung des Vortex und der Mittelpunkt der Vortexspirale können eingestellt werden.

#### 4.2.5. Random Phase

Addiert eine Zufallsphase auf das Hologramm. Diese kann verwendet werden, um die Symmetrie eines Hologramms zu stören und somit Ghostspots zu unterdrücken.

#### **4.2.6. Zernike**

Dient zur Strahlkorrektur mittels Zernike-Polynomen. Die Gewichtungsfaktoren der ersten 13 Zernike-Polynome können hier angegeben werden.

#### **4.2.7. Gerchberg-Saxton**

Beim Gerchberg-Saxton Algorithmus werden Hologramme für komplexe Intensitätsverteilungen mittels iterativer Berechnung generiert. Als Input dient eine Bilddatei (RGB-Farbmodus ist Pflicht, sonst Fehlermeldung). Das Bild kann mittels der Dropdown-Menüs an die Berechnung angepasst werden. Als Startbild für die Iteration kann eine quadratische Phase oder eine zufällige Phase-Image genutzt werden.

#### **4.2.8. Genetic Algorithm**

Berechnet ein Hologramm für eine komplexe Intensitätsverteilung mittels des selbstlernenden Genetischen Algorithmus. Als Input dient eine Bilddatei (RGB-Farbmodus ist Pflicht, sonst Fehlermeldung). Das Bild kann mittels der Dropdown-Menüs an die Berechnung angepasst werden. Als Startbild für die Iteration kann ein zufälliges Phase-Image genutzt werden oder es wird das Ergebnis des Gerchberg-Saxton-Algorithmus verwendet. Die Fitting-Funktion der generierten Bilder kann per FFT simuliert werden; oder es wird eine Kamera verwendet, um das Ergebnis im Labor direkt im Closed-Loop-Regelkreis zu messen.

#### **4.2.9. Aperture**

Schneidet das Hologramm in Form einer Ringlochblende zu. Der abgeschnittene Teil wird durch eine konstante Phase ersetzt.

## 5. Modul Laser

Je nach Laser wird eine andere GUI verwendet. Bisher hinterlegt sind Oberflächen für den Spitfire Ace, den Coherent Verdi (Aufbau optische Pinzette), und für den Light Conversion Carbide. Zudem können in der GUI „Costum Laser“ die Parameter für einen beliebigen Laser angepasst werden.

## 6. Modul SLM

### 6.1. Auswahl des SLM

Mit diesem Modul können zuvor berechnete Hologramme an den SLM übertragen werden. Dies kann ein spezieller SLM-Typ sein (z.B. der Holoeye Pluto 2) oder ein beliebiges, als 2. Bildschirm an den PC angeschlossenes Gerät.

Bei SLMs von Holoeye wird zur Ansteuerung das HOLOEYE Display SDK verwendet. (<https://holoeye.com/spatial-light-modulators/slm-software/slm-display-sdk/>)

Beim Benutzen des 2. Bildschirms wird das Bild als Matlab-Figure geöffnet und auf dem Bildschirm so verschoben, dass es als Vollbildanzeige auf dem 2. Bildschirm liegt.

### 6.2. Bilder/ Videos auf SLM spielen

Hologrammbilder können entweder über das Modul „Hologramm“ (s. Kapitel 4) durch den Button „Send to SLM“ direkt auf den SLM geschickt werden, oder es können auf der Festplatte gespeicherte Bilder gezeigt bzw. als Video abgespielt werden. Dazu muss zunächst über den Button „Load Folder“ ein Verzeichnis ausgewählt werden. Die Schaltfläche „Standard Folder“ lädt den temporären Ordner, in dem die in dieser Session berechneten Hologramme gespeichert sind.

Nach dem Laden des Verzeichnisses können die Bilder über die Schaltflächen unter den Buttons durchgeklickt werden oder als Video abgespielt werden.

### 6.3. Kalibrierung des SLM

Der Bereich „SLM Calibration Settings“ dient zur Verbesserung der Bildqualität. Durch die Schaltflächen „Beam Displacement X“ und „Beam Displacement Y“ kann eingestellt werden, dass jedes Hologramm auf dem SLM versetzt dargestellt wird. Damit kann ausgeglichen werden, wenn der Laserstrahl den SLM nicht perfekt mittig trifft.



## 7. Modul Kamera

Es können mit der Software Bilder von einer am PC angeschlossenen Kamera eingelesen werden. Die Bilder werden als Graustufenmatrix in Matlab dargestellt. Dies funktioniert für Kameras vom Typ „#62-841 - EO-1312M ½" CMOS, USB-Kamera, monochrom, Lite Edition“ von Edmund-Optics und für beliebige Webcams.

## 8. Modul Powermeter

Die gemessene Leistung vom Ophir Powermeter kann eingelesen werden. Dies kann u.A. dazu genutzt werden, um beim Spitfire die Leistung automatisch einzustellen, dazu siehe Funktion „setPower“.

## 9. Modul Stage

Dieses Modul erlaubt die Ansteuerung von Linearachsen der Firma Physik Instrumente (PI) SE & Co. KG. Dazu muss der PI Matlab Driver installiert sein und die Achsen müssen vor dem Start der Software referenziert sein. Eine Referenzierung der Achsen ist in der Software nicht durchführbar.

Angesteuert werden können Achsen, welche mit dem Treiber vom Typ PI C-863 verbunden sind.

## IMPRESSUM

Entwickler: Jan Marx, Damian Haske, Nikolas Arthkamp, Malte Seefeldt, Tobias Thüsing

Version: 2.3

Zuletzt geändert: 16.10.2024

Programmierungsumgebung: Matlab 2022b

Weitere Softwarepakete: Holoeye Display SDK, PI Matlab Driver

Kontakt:

Jan Marx, M.Sc.



**Ruhr-Universität Bochum**

Universitätsstraße 150

44801 Bochum

Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik

ID 05/631

Tel.: 0234 / 32 23579

Mail: [Jan.Marx@rub.de](mailto:Jan.Marx@rub.de)