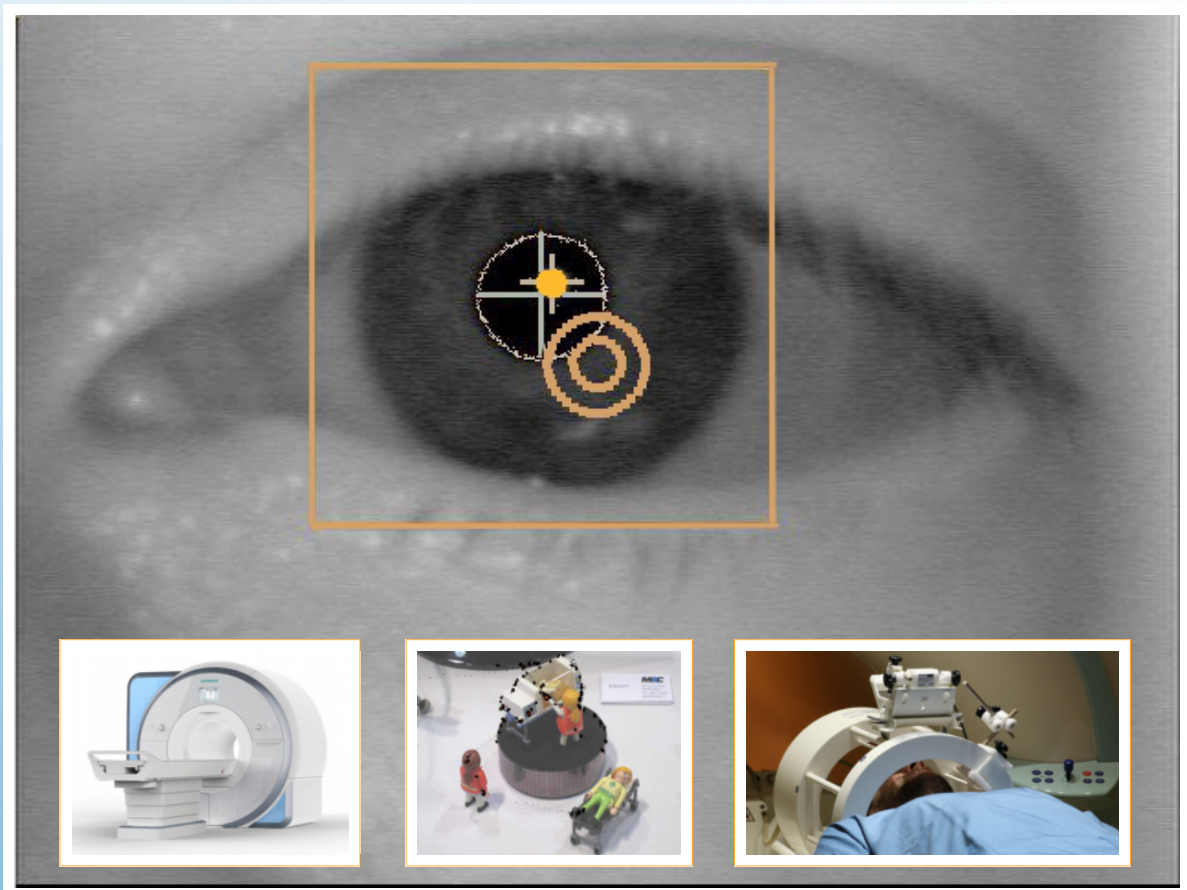


MRC Eye-Tracking

Benutzerhandbuch



Version: 1.6

Stand: August 2019

© MRC Systems GmbH

Änderungen vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Beschreibung.....	5
2. Systemanforderungen.....	5
2.1. Kamera-Schnittstellen.....	5
2.2. I/O - Schnittstellen.....	5
2.3. Betriebssystem.....	6
3. Kurzanleitung.....	6
4. Spezifikation, Programmfunktionen.....	7
5. Installation und erste Schritte.....	8
5.1. Installation der Software.....	8
5.1.1. Windows.....	8
5.1.2. Linux.....	9
5.2. Datenaufnahme.....	9
6. Beschreibung der graphischen Benutzeroberfläche.....	10
6.1. Hauptfenster.....	10
6.2. Livebild der Kamera(s) und Anzeige von Videos.....	11
6.3. Kontrollfenster.....	11
6.4. Präsentationsfenster.....	12
7. Karteikarten.....	12
7.1. Detektions-Einstellungen.....	13
7.1.1. Einstellungen für analoge Kameras 12M oder 12M-i.....	13
7.1.2. Einstellungen für digitale HiSpeed-Kameras.....	14
7.1.3. Einstellungen zur Detektion der Pupille.....	15
7.1.4. Einstellungen zur Detektion des Kornea-Reflexes.....	16
7.1.5. Einstellungen für das Suchfenster.....	17
7.2. Einstellungen zur Kalibration.....	17
7.2.1. Beschreibung der Kalibration.....	17
7.2.2. Kalibrationseinstellungen.....	18
7.2.3. Anzeige und Bewertung einer Kalibration.....	20
7.3. Einstellungen für Aufnahmen.....	20
7.4. Einstellungen für Präsentationen und Blickpunkt-Darstellungen.....	22
7.4.1. Präsentationen.....	22
7.4.2. Datenanalyse und Filterung.....	23
7.4.3. Zeitfensterung.....	24
7.5. Setup-Einstellungen.....	24
7.5.1. Speichern von Einstellungen.....	27
7.5.2. Ermittlung der Pupillengröße.....	27
7.6. Port-Einstellungen.....	27
7.7. Hilfe.....	29
8. Statusmeldungen.....	29
9. Hinweis- und Fehlermeldungen.....	30
10. Schnittstellen, Synchronisation mit anderen Geräten.....	32
10.1. TCP/IP-Socket.....	32

10.1.1. Verbindung.....	32
10.1.2. Übertragung von Trackingdaten.....	33
10.1.3. Fernsteuerung der Kalibration.....	34
10.1.4. Zusammenfassung der Funktionen.....	35
10.1.5. Matlab-Beispiele.....	37
10.2. Digitales I/O.....	37
10.3. Datei-Formate.....	37
10.3.1. Trackingdatei (.trk).....	37
10.3.2. Livebild-Datei (.vid).....	39
10.3.3. Setup-Dateien (.xml).....	39
11. Bibliotheken und Lizenzen.....	40
12. Kontakt.....	41

1. Allgemeine Beschreibung

Die Software „MRC Eye-Tracking“ dient der Ermittlung der Blickrichtung / des „Gaze“ von Personen. Sie wird insbesondere in Kombination mit den MR-kompatiblen Videokameras der MRC Systems GmbH eingesetzt. Bei diesen erzeugt eine infrarote LED einen Reflex auf der Hornhaut. Die Software detektiert diesen Reflex und den Rand der Pupille („dark pupil“-Methode). Aus der Relativposition zwischen diesen Markern kann die Blickrichtung bestimmt werden. Die exakte Position des Blicks auf einer Projektion oder auf einem Display kann durch eine Kalibration bestimmt werden.

Die Software ist in zwei Versionen erhältlich, einmal für monokulares und einmal für binokulares Eye-Tracking. In beiden Fällen gibt es zwei Varianten:

- Variante A für die analogen Kameras 12M und 12M-i
- Variante GigE für die MRC HiSpeed-Kameras

2. Systemanforderungen

2.1. Kamera-Schnittstellen

Die verschiedenen Varianten der Software arbeiten mit unterschiedlichen Schnittstellen zu den jeweiligen Kameras:

- Die Variante A liest die Bilder der analogen Kameras über einen Framegrabber ein und ist an diesen gebunden. Die Software wurde mit den Framegrabbern DFG/USB2Pro, DFG/SV1/PCI und DFG/SV1/PCIe der Firma TheImagingSource getestet. Für binokulares Eye-Tracking können Sie entweder zwei dieser Framegrabber oder den ebenfalls getesteten Framegrabber DFG/MC4/PCIe mit 4 Eingangskanälen einsetzen. Wir empfehlen die Verwendung der getesteten Framegrabber. Sie benötigen einen USB-, PCI- oder PCIe-Eingang an Ihrem Computer oder Laptop.
- Die Variante GigE empfängt die Bilder der HiSpeed-Kameras über das GigE-Vision-Protokoll. Hier benötigen Sie eine GigabitEthernet-Netzwerkkarte, möglichst mit Intel-Chipsatz und Jumboframe-Unterstützung (9 kByte), in Ihrem Computer oder Laptop.



- 1) Da die Eye-Tracking-Algorithmen von einer hohen Rechengeschwindigkeit profitieren, empfehlen wir, die Computer oder Laptops während einer Sitzung ausschließlich für das Eye-Tracking einzusetzen. Auch die Netzwerkkarte sollte nicht gleichzeitig für andere Kommunikation eingesetzt werden.
- 2) Aus lizenzrechtlichen Gründen kann die Software nur verwendet werden, wenn ein freigeschalteter Framegrabber (Variante A) oder eine MRC-Kamera (Variante GigE) an den Computer angeschlossen ist, auf dem die Software läuft.

2.2. I/O - Schnittstellen

Die Software „MRC Eye-Tracking“ kann über eine Software-Schnittstelle (siehe Abschnitt 10.1) oder über Hardware-Schnittstellen mit anderen Geräten oder anderer Software kommunizieren. Als Hardware-Schnittstelle wird dann eine I/O-Karte von MRC benötigt.

2.3. Betriebssystem

Die Software steht in Versionen für Windows 7, 8 und 10 sowie für Linux zur Verfügung.

3. Kurzanleitung

Diese Kurzanleitung gibt Ihnen einen Überblick, wie Sie die Arbeit mit dem Eye-Tracking-System beginnen. Weiter führende Details finden Sie in Abschnitt 5.

- 1) Installieren Sie die Software von der „MRC Eye-Tracking“-CD gemäß der Anleitung in Abschnitt 5.1.
- 2) Verbinden Sie den Framegrabber mit dem USB-Anschluss (2.0 oder höher) Ihres Laptops oder Computers oder stecken Sie die Framegrabber-Karte in den PCI- oder PCIe-Steckplatz. Installieren Sie den zugehörigen Treiber von der „MRC Eye-Tracking“-CD. (Bei der GigE-Variante müssen Sie die Kamera an Ihr lokales Netzwerk anschließen.)
- 3) Vor jedem neuen Experiment sollten Sie einige Parameter an die Lichtverhältnisse und den Kontrast des Auges der untersuchten Person anpassen. Starten Sie hierzu die Software „MRC Eye-Tracking“ und fahren Sie wie folgt fort:
 - a) Platzieren Sie die Kamera so, dass das Auge in der Mitte des Livebildes liegt. Es sollte möglichst groß dargestellt werden, aber nur so groß, dass es bei allen Bewegungen vollständig sichtbar bleibt. Tauschen Sie wenn nötig die Linse aus. Bemerkung: Im Lieferumfang befinden sich drei verschiedene Linsen. In den meisten Fällen ist die 16mm-Linse geeignet. Sie können aber eine andere Linse probieren. Die Schärfeneinstellung geschieht über das Ein- und Ausdrehen der Linse im Gewinde.
 - b) Positionieren Sie die Kamera und die LED möglichst so, dass der Reflex auf der Hornhaut nicht innerhalb der Pupille liegt.
 - c) Öffnen Sie die Karteikarte **Detektion**. Passen Sie die **Schwelle (Intensität)** zur Detektion der Pupille an. Wählen Sie den Parameter so, dass die Detektion gerade möglich ist. Dies ist der Fall, wenn die Pupille von einer Ellipse kleiner Punkte mit einem Kreuz in der Mitte umrandet wird. Dann erhöhen Sie den Wert um ungefähr 5 Punkte.
 - d) Wenn Sie keine Einstellung finden, bei der die Pupille gefunden wird, fahren Sie wie folgt fort: Wechseln Sie zur Karteikarte **Setup**. Passen Sie die Werte für **Min / Max Pupillenweite** und **Verhältnis** an das Auge der untersuchten Person an. Aktivieren Sie hierzu den Schalter **Anzeigen**. Dann sehen Sie drei Kreise im Kamera-Livebild. Diese entsprechen der minimalen, der realen, durch den Algorithmus ermittelten, und der maximalen Pupillenweite. Stellen Sie sicher, dass die maximale Pupillenweite immer größer als die reale ist. Passen Sie den Wert entsprechend an. Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 7.5.
 - e) Setzen Sie die **Schwelle (Intensität)** zur Detektion des Kornea-Reflexes ungefähr 5 Punkte unter dem Maximalwert, bei dem der Reflex noch gefunden wird.
- 4) Wechseln Sie zur Karteikarte **Kalibration** und führen Sie eine Kalibration durch. Für Details beachten Sie Abschnitt 7.2.
- 5) Wenn Sie die Daten und/oder das Video speichern wollen, wechseln Sie zur Karteikarte **Aufnahmen** und geben Sie einen Dateinamen ein. Details finden Sie in Abschnitt 7.3.

- 6) Falls Sie keine zuverlässige Eye-Tracking-Performance erzielen, lesen Sie Abschnitt 7.1 zu den Detektions-Einstellungen und versuchen Sie, diese zu optimieren.

4. Spezifikation, Programmfunktionen

Eye-Tracking

Algorithmus	Dark-Pupil Eye-Tracking mit Kornea-Reflex (mono- oder binokular)
Genauigkeit *	Treffgenauigkeit („Accuracy“): 0,4° Präzision („Precision“): 0,5°
Frequenz	Variante A: 60 Hz Variante GigE: 250 Hz
Kalibration	verschiedene Muster auf separatem Bildschirm, variable Punktgröße unterschiedliche Anzahl an Kalibrationspunkten Echtzeitberechnung der kalibrierten Blickpunkte mit Zeitstempel

Echtzeit-Display

Kamera-Bild	monokular: 640x480 Pixel, binokular: 2x 320x240 Pixel Einblendung von ermittelten Pupillenrandpunkten und -schwerpunkt Einblendung des ermittelten Reflexes auf der Hornhaut
Blickpunkte	Darstellung der ermittelten Blickpunkte in Kontrollfenster
Präsentationsfenster	Darstellung verschiedener Bildformate
Kalibrationsfenster	Echtzeitvergleich der Blickpunkte mit Kalibrationspunkten

Datenanalyse

Blickpunkte	Einblenden der kalibrierten Blickpunkte auf Präsentationen verschiedene Filterradien für Clusterbildung („Heatmaps“) x- und y-Werte mit Zeitmarke für jedes Kamera-Frame
Pupillengröße	Längen und Winkel der Achsen des elliptischen Fits
Zeitanalyse	Definition von Zeitfenstern
Kalibration	Anzeige der Genauigkeit (Blickdaten relativ zu Kalibrationspunkten) Anzeige der Toleranzbereiche 0,5° und 1°

Optimierung

Detektionsparameter	Schwellwerte, Helligkeit, Pupillenkontrast, Ellipsenform einstellbarer Suchbereich Blinzelerkennung, Bildglättung
Kalibrationsparameter	Displaygröße, Monitorabstand, Kalibrationsmuster
Aufnahmen	Live-Videobild, Trackingdaten, Kalibration
Datenanalyse	Zeitfenster, Filterung

Schnittstellen

Software-Schnittstelle	TCP/IP Socket
Hardware-Schnittstelle	Digital I/O
Trackingdaten	x/y-Daten, Pupillengröße und Zeitstempel in Excel-Format

Unterstützte Kameras

Composite Video	60 Hz; MRC-Kameras: 12M, 12M-i
GigE-Vision	250 Hz (empfohlen); MRC-Kameras: MRC HiSpeed

Systemanforderungen

Betriebssysteme	Windows 7, 8 und 10 / Linux
Framegrabber	für Variante A: TheImagingSource DFG/USB2pro, DFG/SV1/PCI, DFG/SV1/PCIe oder DFG/MC4/PCIe
Netzwerkkarte	für Variante GigE: Netzwerkkarte mit Intel Chipsatz, Jumboframe-Unterstützung, 9kB

* Die **Treffgenauigkeit** (accuracy) gibt an, in wie weit der im Versuch ermittelte Blickpunkt mit dem tatsächlichen übereinstimmt. Sie ist als der mittlere Abstand des Blickwinkels zwischen den ermittelten Fixationspunkten und dem zugehörigen Zielpunkt (Kalibrationspunkt) definiert.

Die **Präzision** (precision) gilt als Maß für die Möglichkeit des Eye-Trackers, denselben Blickpunkt erneut vertrauenswürdig zu ermitteln. Im Idealfall liegen alle für denselben wahren Blickpunkt berechneten Blickpunkte in einem engen Cluster nah beieinander. Die Präzision ist vor allem zur Unterscheidung von Fixationen und Sakkaden wichtig. Für die Bestimmung der Präzision werden die Blickpunkte bei Betrachtung eines festen Fixationspunkts ausgewertet. Gemessen wird der Abstand zwischen den Blickpunkten und daraus die Präzision als quadratisches Mittel (root mean square = RMS) berechnet.



Die Angaben zur Genauigkeit wurden in Messungen an verschiedenen Personen unter realistischen Anwendungsbedingungen gewonnen. Die Genauigkeit der Blickpunktbestimmung hängt von der Qualität der Kalibration ab. Achten Sie auf eine gute Ausleuchtung des Auges und eine stabile Lagerung des Kopfes. (Im MRT ist die stabile Lagerung häufig schon durch die liegende Position und die Auflage des Kopfes auf einem Kissen gegeben.)

Bei Personen mit Kontaktlinsen kann es schwierig sein, ein stabiles Eye-Tracking zu erzielen.

5. Installation und erste Schritte

5.1. Installation der Software

Das Programm wird auf einer CD oder als downloadbare Datei ausgeliefert.

5.1.1. Windows

Die Software besteht aus bis zu drei Komponenten:

1. Eye-Tracking-Applikation

Um die Eye-Tracking-Applikation zu installieren, öffnen Sie das Verzeichnis *Windows\MRC* vom Installationsmedium und führen Sie die Installationsdatei *MRC-Eye-Tracking_x64_X.X-Bxxxx.msi* für die 64bit-Version aus. Der Installer wird Sie nach Administratorrechten fragen, um die Applikation zu installieren. Danach sollten ein Eintrag im Startmenü und das Desktop-Icon *MRC Eye-Tracking* zum Starten des Programms erstellt werden.

Die Software wird in das Unterverzeichnis *MRC\Eye-Tracking* im Windows-Programmverzeichnis (normalerweise *c:\Program Files (x86)*) installiert. Benutzerdaten

und Setup-Dateien werden im Verzeichnis *Eyetracking* im Dokumentenverzeichnis des Benutzers (z.B. *c:\User\username\Documents*) gespeichert.

2. Treiber für die analoge Framegrabber-Karte (für Variante A)

Um den Treiber für die analoge Framegrabber-Karte zu installieren, öffnen Sie das Verzeichnis *usbconvxn_x.x.x.tis* (UBS2Pro) oder *FrameGrabberDriver\bt878cap_xxx.tis* (PCI/PCIe), führen die Datei *drvInstaller.exe* aus und folgen den Hinweisen. Der Installer wird Sie nach Administratorrechten fragen, um den Treiber zu installieren.

3. Treiber für die digitale I/O-Karte (optional)

Um den Treiber für die digitale I/O-Karte zu installieren, öffnen Sie das Verzeichnis *Windows\Digital_IO\PCIS-DASK-vx.xx* und führen Sie die Datei *setup.exe* aus. Wählen Sie "Anyone who uses this computer (all users)" und folgen Sie den Hinweisen. Der Installer wird Sie nach Administratorrechten fragen, um den Treiber zu installieren.

5.1.2. Linux

Wir empfehlen, das Programm in ein eigenes Programmverzeichnis auf Ihrem Computer oder Laptop zu kopieren. Kopieren Sie hierzu alle Dateien und Unterverzeichnisse aus dem Verzeichnis *<MRC_Eye-Tracking>*.

Bei der Variante A müssen Sie außerdem den Treiber des Framegrabbers installieren.

Das Programm wird dann durch Aufruf der Datei *eye* gestartet.

5.2. Datenaufnahme

Eine Eye-Tracking-Sitzung beginnt mit der Auswahl der Kamera. Wenn Sie nur eine Kamera besitzen, wird diese automatisch ausgewählt.

Vor der Datenaufnahme müssen Sie eine Kalibration der untersuchten Person im jeweiligen Setup durchführen. Nur dann können Sie die „wahren“ Blick- und Fixationspunkte ermitteln. Näheres zur Kalibration finden Sie in Abschnitt 7.2.

Nach der Kalibration werden die aktuellen Blickpunkte der untersuchten Person in Echtzeit angezeigt. Um eine möglichst stabile und genaue Ermittlung der Blickpunkte zu erreichen, sollten Sie mit den Einstellungen in der Karteikarte **Detektion** (siehe Abschnitt 7.1) die Kameraeinstellungen zugunsten einer guten Ausleuchtung des Auges und die weiteren Detektionsparameter optimieren. Diese Parameter können von Sitzung zu Sitzung variieren. Bei der erstmaligen Anpassung der Software für Ihr Setup kann es auch nötig sein, einige Setup-Parameter zu ändern (siehe Abschnitt 7.5).



- 1) Die Kalibrierung muss für jede untersuchte Person wiederholt werden. Wenn Sie dies nicht tun und das Programm auch nicht neu gestartet haben, werden alte Kalibrationsdaten auf eine neue Person angewendet.
- 2) Nach einer Kalibrierung dürfen Sie die Aufnahmebedingungen wie Abstand des Displays, Verschiebung der Augenposition zur Kamera etc. nicht mehr ändern. Solche Änderungen würden zu falschen Ergebnissen führen.
- 3) Nach einer Kalibration kann es sein, dass auch dann Blickpunkte im Kontrollfenster eingezeichnet werden, wenn kein Auge im Livebild ist. Dies sind dann Artefakte des Eye-Tracking-Algorithmus, die Sie ignorieren können.

Sie können sowohl das Live-Videobild als auch die Trackingdaten und die Größe der Pupille aufzeichnen. Die Vorgehensweise wird in Abschnitt 7.3 erläutert.

Eine Analyse der Trackingdaten kann gemäß der Beschreibung in Abschnitt 7.4 erfolgen.

6. Beschreibung der graphischen Benutzeroberfläche

In den folgenden Abschnitten wird die graphische Benutzeroberfläche der Software anhand von Screenshots beschrieben. Die Einstellungen in den Screenshots sind dabei zufällig gewählt.

6.1. Hauptfenster

Abbildung 1 zeigt das Hauptfenster der Benutzeroberfläche.

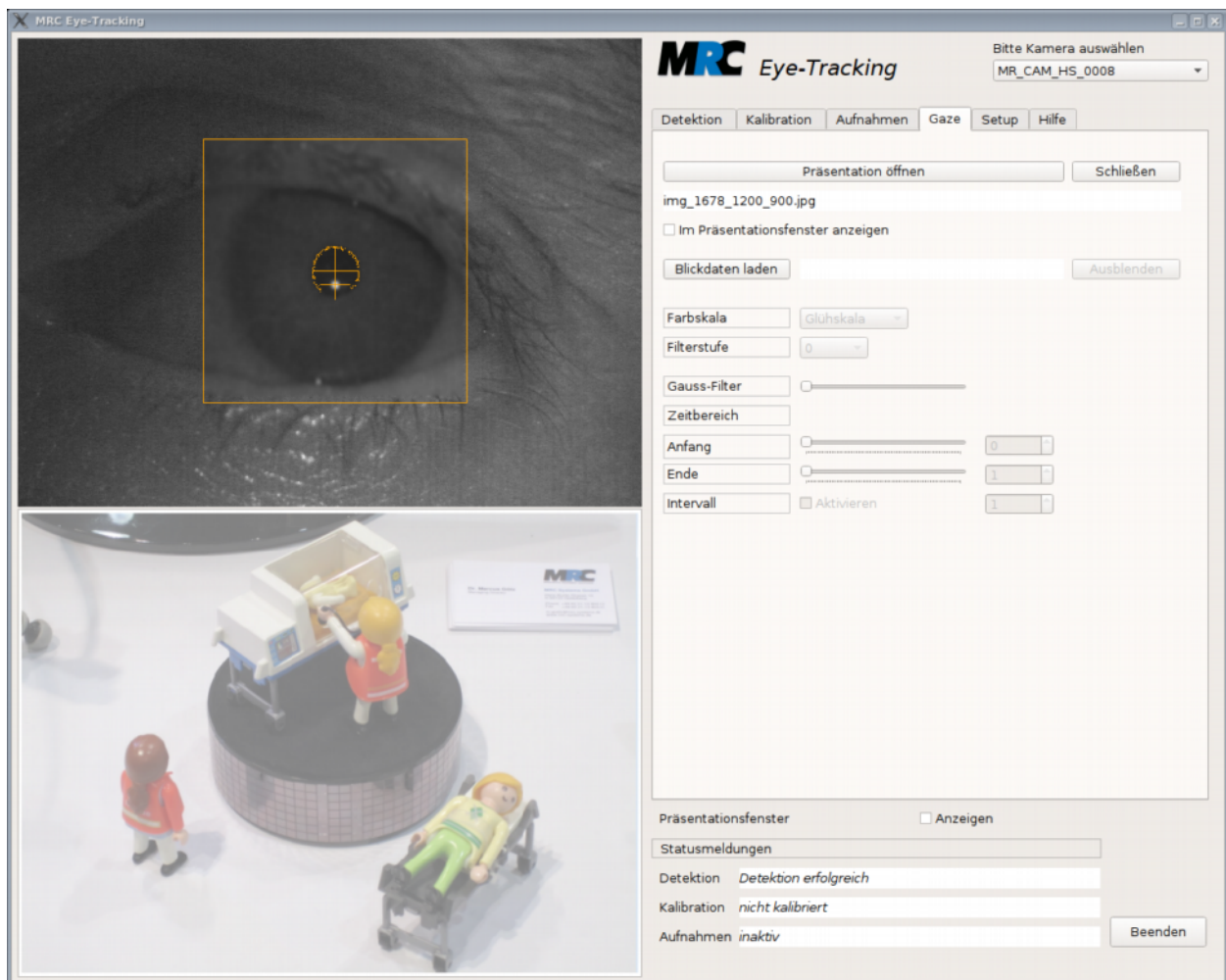


Abbildung 1: Graphische Benutzeroberfläche (Hauptfenster)

Das Hauptfenster zeigt links zwei Bildbereiche. Links oben wird das Livebild der angeschlossenen Kamera(s) gezeigt. Der Bildbereich links unten ist das Kontrollfenster für den Benutzer. Hier werden z.B. während der Kalibration die Kalibrationspunkte und während des

Trackings die Blickpunkte der untersuchten Person eingeblendet. Es wird aber auch benutzt, um abgespeicherte Trackingergebnisse anzuzeigen.

Im rechten Teil des Hauptfensters befindet sich oben ein Menüpunkt **Bitte Kamera auswählen** zur Auswahl der Kamera (bei der binokularen Version links oben). Hier können i.d.R. nur die bei Ihnen vorhandenen Kameras ausgewählt werden. Die Auswahl legt dann auch fest, welche Programmvariante (A für analoge Kameras oder GigE für digitale Kameras) gestartet wird.



Bei binokularem Eye-Tracking mit analogen Kameras sollten Sie die Kameras immer an die gleichen Framegrabber anschließen, wenn sie möchten, dass die Zuordnung zu dem linken und rechten Display erhalten bleibt.

Darunter gibt es einen Fensterbereich, in dem verschiedene Karteikarten zur Einstellung von Parametern und zur Bedienung des Programms geöffnet werden können.

Unten rechts im Hauptfenster befinden sich drei Zeilen, in denen Statusmeldungen angezeigt werden, und der Knopf zum Beenden des Programms.

Ergänzend zum Hauptfenster besitzt das Programm noch ein Präsentationsfenster, das zur Großdarstellung von Kalibrationsmustern und Präsentationen verwendet werden kann. Es wird häufig auf einem anderen, zur untersuchten Person gerichteten Monitor dargestellt. Das Präsentationsfenster kann vom Hauptfenster aus ein- oder ausgeblendet werden. Hierzu befindet sich unter den Karteikarten der Schalter **Präsentationsfenster anzeigen**.

6.2. Livebild der Kamera(s) und Anzeige von Videos

Im Fensterbereich links oben wird das Livebild der angeschlossenen Kamera(s) eingeblendet. Bei der monokularen Version enthält der Fensterbereich 640 x 480 Pixel. Dies entspricht der Auflösung der 12M- und 12M-i-Kameras mit NTSC-Sensor und der Hi-Speed-Kamera bei einer eingestellten Bildrate von 250 Hz. Bilder mit niedrigerer Auflösung werden in diesem Fensterbereich zentriert. (Beim binokularen Eye-Tracking gibt es zwei Livebilder mit jeweils 320x240 Pixeln.)

In das Livebild können je nach Einstellung in den Karteikarten verschiedene Objekte eingeblendet werden:

- der Suchbereich, in dem das Programm die Pupille sucht
- die eingestellten minimalen und maximalen Radien für die Pupille
- die vom Programm ermittelten Pupillen-Randpunkte
- den vom Programm ermittelten Schwerpunkt der Pupille
- den vom Programm ermittelten Ort des Reflexes von der Hornhaut

Weitere Informationen zu den genannten Objekten finden Sie in den Abschnitten 7.1 und 7.5.

Im Fensterbereich können auch abgespeicherte, mit MRC-Kameras aufgenommene Videos angezeigt werden.

6.3. Kontrollfenster

Links unten im Hauptfenster befindet sich das Kontrollfenster. In diesem Fenster können unterschiedliche Informationen dargestellt werden:

- a) Sobald eine Kalibration durchgeführt wurde, können die aktuellen Blickpunkte der

untersuchten Person in Echtzeit angezeigt werden. Dabei werden Kreise angezeigt, die einen Toleranzbereich von $0,5^\circ$ bzw. 1° um den ermittelten Blickpunkt markieren.

- b) Während einer Kalibration werden die aufeinander folgenden Kalibrationspunkte angezeigt.
- c) Zur Begutachtung einer Kalibration können alle für die Kalibration gezeigten Kalibrationspunkte und die ermittelten Blickpunkte in einer Gesamtschau angezeigt werden.
- d) Beim Abspielen von Eye-Tracking-Videos im Livebild werden im Kontrollfenster ebenfalls die Toleranzkreise der ermittelten Blickpunkte angezeigt.
- e) Das Kontrollfenster kann außerdem zur Datenanalyse herangezogen werden. Es ermöglicht die Überlagerung von Blickdaten mit gezeigten Präsentationsbildern (siehe Abschnitt 7.4).



Im Kontrollfenster werden kontinuierlich die aktuell ermittelten Blickpunkte (mit Toleranz) in Echtzeit eingeblendet, es sei denn, es werden gerade abgespeicherte Daten oder Kalibrationsergebnisse angezeigt. Wenn noch keine Kalibrierung durchgeführt wurde, können die Blickpunkte nicht ermittelt und eingeblendet werden.

6.4. Präsentationsfenster

Das Präsentationsfenster soll insbesondere den untersuchten Personen auf einem Display oder mittels einer Projektion gezeigt werden. Es kann unabhängig vom Hauptfenster auf einem zweiten Monitor angeordnet werden.

Beim Öffnen des Programms ist das Präsentationsfenster zunächst ausgeblendet bzw. minimiert. Es kann vom Hauptfenster aus mit dem Schalter **Präsentationsfenster anzeigen**, der sich unter den Karteikarten befindet, eingeblendet bzw. groß dargestellt werden. Wenn Sie den Haken am Schalter entfernen, wird es entsprechend wieder minimiert. Das Ein- und Ausblenden ist auch über den vom jeweiligen Betriebssystem abhängigen Fenstermanager möglich. Verwenden Sie hierzu die Maximieren/Minimieren-Icons oder vergleichbare Bedienelemente Ihres Fenstermanagers.

Im Präsentationsfenster werden verschiedene Informationen gezeigt:

- a) Während der Kalibration werden wechselnde Kalibrationspunkte in das Präsentationsfenster eingeblendet. Die untersuchte Person soll diese Punkte nacheinander fixieren. Um die Person dabei nicht abzulenken, werden die Blickpunkte, die im Kontrollfenster gezeigt werden, im Präsentationsfenster nicht eingezeichnet.
- b) Während des Eye-Trackings können Präsentationen eingeblendet werden.

7. Karteikarten

Zur Parametrisierung und Bedienung des Programms gibt es verschiedene Karteikarten, die alternativ geöffnet werden können. Darin sind zusammengehörige Funktionen und Einstellungen gebündelt. Im Folgenden werden die einzelnen Funktionen entsprechend ihrer Anordnung in den Karteikarten beschrieben. Bei der binokularen Version gibt es manche Funktionen und Einstellungen zweimal, so dass Sie sie für das linke und das rechte Auge separat anpassen können.

7.1. Detektions-Einstellungen

In der Karteikarte **Detektion** werden Einstellungen vorgenommen, die Einfluss auf die Detektion der Pupille und des LED-Reflexes auf der Hornhaut haben. Die Karteikarte enthält einige unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten, je nachdem ob eine analoge Kamera (Variante A) oder eine digitale Kamera (Variante GigE) angeschlossen ist.

7.1.1. Einstellungen für analoge Kameras 12M oder 12M-i

Abbildung 2 zeigt die Karteikarte **Detektion** in der Variante A für analoge Kameras.

Detektion	Kalibration	Aufnahmen	Gaze	Setup	Port	Hilfe
Kamera						
Helligkeit				50		
Kontrast				50		
<hr/>						
Detektion der Pupille				<input checked="" type="checkbox"/> Anzeigen		
				<input checked="" type="checkbox"/> Bildglättung		
Schwelle (Intensität)				26		
Obere Randpunkte ignorieren [%]				0		
Untere Randpunkte ignorieren [%]				0		
Min. Kontrast am Pupillenrand				1		
Max. Kontrast am Pupillenrand				109		
<hr/>						
Detektion des Kornea-Reflexes				<input checked="" type="checkbox"/> Anzeigen		
Schwelle (Intensität)				250		
<hr/>						
Suchfenster				<input checked="" type="checkbox"/> Anzeigen		
Größe [in Pixel]				250		

Abbildung 2: Karteikarte für Detektions-Einstellungen (Variante A, monokular)

Für diese Kameras können zwei Kameraparameter eingestellt werden, die **Helligkeit** und der **Kontrast**. Damit können Sie die Darstellung des Auges im Livebild und mithin die Stabilität des Eye-Tracking-Algorithmus für das untersuchte Auge optimieren. Die Parameter können dabei jeweils von 0 bis 100 % verändert werden.



- 1) Eine Veränderung der Einstellungen wird sofort im Livebild sichtbar. Sie können also die Parameter variieren, bis der Kontrast der Pupille und des LED-Reflexes sehr gut sind. Wenn Sie im Livebild die Anzeige der vom Programm ermittelten Pupillen-Randpunkte und des Pupillen-Schwerpunkts (siehe Abschnitt 7.1.3) und/oder die Anzeige des ermittelten Hornhaut-Reflexes (siehe Abschnitt 7.1.4) aktivieren, können Sie auch deren Stabilität als Kriterium zur Optimierung der Parameter heranziehen.
- 2) Sollten Sie später in der Karteikarte **Setup** auf **Einstellungen speichern** klicken, werden auch die Parameter der Karteikarte **Detektion** gespeichert.

7.1.2. Einstellungen für digitale HiSpeed-Kameras

Abbildung 3 zeigt die Karteikarte **Detektion** in der Variante GigE für Kameras, die über das GigE-Vision-Protokoll kommunizieren.

Für diese Kameras können der Bildkontrast und somit die Stabilität des Eye-Tracking-Algorithmus über die Parameter **Verstärkung** und **Belichtungszeit** optimiert werden.

Die Verstärkung kann dabei Werte von 0-15 annehmen. 0 entspricht der kleinsten, 15 der größten Verstärkung. Die Auswirkung der Parameteränderung sehen Sie unmittelbar im Livebild. Die Angabe der Belichtungszeit erfolgt in Mikrosekunden (μs). Auch hier wird die Veränderung sofort im Livebild sichtbar.

Bei der HiSpeed-Kamera gibt es noch einen weiteren einstellbaren Parameter: Mit dem **Teiler für Livebild-Frequenz** können Sie festlegen, jedes wievielte Kamerabild im Livebild dargestellt wird. Üblicherweise ist hier der Wert 10 eingetragen, was besagt, dass im 250Hz-Modus Kamerabilder mit 25Hz dargestellt werden. Bei langsamen Rechnern, bei denen die Darstellung zu viel Rechenzeit benötigt, kann die Darstellungsrate durch Erhöhen des Teilers weiter gesenkt werden. Für die Bestimmung der Blickpunkte werden jedoch davon unabhängig möglichst alle Bilder verwendet und ausgewertet.



Die bei der Variante A genannten Hinweise zur Kontrolle und zum Speichern der Parameter sind für die Variante GigE genauso zutreffend.

Detektion		Kalibration	Aufnahmen	Gaze	Setup	Port	Hilfe
Kamera							
Verstärkung				4			
Belichtungszeit [µs]				4032			
Teiler für Livebild-Frequenz				10			
Detektion der Pupille				<input checked="" type="checkbox"/> Anzeigen			
				<input checked="" type="checkbox"/> Bildglättung			
Schwelle (Intensität)				20			
Obere Randpunkte ignorieren [%]				0			
Untere Randpunkte ignorieren [%]				0			
Min. Kontrast am Pupillenrand				1			
Max. Kontrast am Pupillenrand				255			
Detektion des Kornea-Reflexes				<input checked="" type="checkbox"/> Anzeigen			
Schwelle (Intensität)				250			
Suchfenster				<input checked="" type="checkbox"/> Anzeigen			
Größe [in Pixel]				250			

Abbildung 3: Karteikarte für Detektions-Einstellungen (Variante GigE, monokular)

7.1.3. Einstellungen zur Detektion der Pupille

Unabhängig von der angeschlossenen Kamera gibt es zahlreiche Einstellungen zur optimalen Detektion der Pupille:

- **Anzeigen:** Mit diesem Schalter können Sie festlegen, ob die vom Eye-Tracking-Algorithmus ermittelten Randpunkte und der Schwerpunkt der Pupille dem Livebild überlagert werden. Auf diese Weise können Sie sehr direkt erkennen, ob der Algorithmus die Pupille stabil erkennt.
- **Bildglättung:** Mit diesem Schalter können Sie im Pupillen-Suchbereich eine Bildglättung über einen Gauss-Filter (7x7) aktivieren. Bei 50 oder 60 Hz Bildrate wird diese Glättung in der Regel nicht benötigt. Bei schlechter Bildqualität und instabilem Tracking sollten Sie zunächst versuchen, die Kamera-Einstellungen zu verbessern. Bei verrausch-

ten Bildern kann die Glättung dann das Finden der Pupille zusätzlich erleichtern. Bei Kameras mit höheren Bildraten kann diese Glättung erforderlich sein, um ein stabiles Eye-Tracking zu erreichen.

- **Schwelle (Intensität):** Die Pupille wird daran erkannt, dass sie sich im Bild als dunkle Ellipse darstellt. Hier können Sie eine „Dunkel“-Schwelle festlegen, ab der die Bildintensität im Suchbereich als Teil der dunklen Pupille interpretiert wird. Der Zahlenwert entspricht der Differenz zwischen dem Grauwert im Videobild und dem dunkelsten Pixel im Suchbereich. Die Auswirkung der Schwellwertveränderung können Sie unmittelbar verfolgen, wenn Sie die Anzeige der Randpunkte der Pupille aktiviert haben.
- **Obere Randpunkte ignorieren:** Mit diesem Prozentwert können Sie bestimmen, dass nicht eine komplette Ellipse, sondern nur ein Teil davon herangezogen wird, um die Pupillenform zu erkennen. Dies kann hilfreich sein, wenn Teile der Pupille durch das Augenlid, Wimpern oder Ähnliches verdeckt sind. Je höher die angegebene Prozentzahl ist, desto größere Teile der Ellipse werden von oben her gesehen ausgespart. An diesen Stellen erwartet der Algorithmus dann keine Ellipsenform.
- **Untere Randpunkte ignorieren:** Dieser Prozentwert schränkt den Algorithmus zur Pupillenfindung von unten her gesehen ein. Er ist analog dem Wert für die oberen Randpunkte zu verstehen.
- **Min. Kontrast am Pupillenrand:** Nach dem Schwellwert verwendet der Eye-Tracking-Algorithmus als weiteres Kriterium für die Eigenschaften einer Pupille den Helligkeitskontrast zwischen Pupille und Iris, also den Kontrast am Pupillenrand. Um dieses Kriterium zu prüfen, sendet der Algorithmus gleichsam einen Strahl von der Pupillennmitte nach außen. Der bei **Min. Kontrast am Pupillenrand** eingestellte Wert wird als relativer Helligkeitsunterschied zur Pupillen-Schwelle addiert (in Grauwerten). Nur wenn ein Übergang der Helligkeit größer als der hier eingestellte Wert auftritt, wird der gefundene Bereich als Pupille gewertet.
- **Max. Kontrast am Pupillenrand:** Der Eye-Tracking-Algorithmus könnte fälschlicherweise den Übergang von der Iris zur Sklera als Pupillenrand interpretieren. Dieser Übergang soll jedoch nicht verwendet werden. Deshalb wird mit **Max. Kontrast am Pupillenrand** ein zweiter Helligkeitswert zum Schwellwert addiert und als obere Grenze des Helligkeitsunterschieds am Pupillenrand gesetzt. Ist der Nachbarpixel am Pupillenrand heller, wird der Randpunkt verworfen. Wird hier ein großer Wert eingetragen, wird dieses Kriterium praktisch ignoriert.

7.1.4. Einstellungen zur Detektion des Kornea-Reflexes

Für die Detektion des Hornhaut-Reflexes gibt es nur zwei Einstellungen:

- **Anzeigen:** Mit diesem Schalter können Sie festlegen, ob der vom Algorithmus ermittelte Punkt des Hornhaut-Reflexes im Livebild eingezeichnet wird.
- **Schwelle (Intensität):** Der Reflex der LED auf der Hornhaut (Kornea) erscheint im Livebild als hell leuchtender Bildpunkt. Insbesondere bei Brillenträgern gibt es aber häufig auch andere Reflexe (z.B. vom Brillengestell) im Livebild. Mit diesem Parameter können Sie eine „Helligkeits“-Schwelle festlegen, ab der die Bildintensität als Hornhaut-Reflex interpretiert wird. Je größer der Wert ist, desto niedriger ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch andere Bildbereiche eine ähnliche Helligkeit aufweisen. Allerdings darf

der Wert natürlich nicht höher als die Helligkeit des Reflexes sein. Ansonsten würde gar kein Reflex mehr erkannt.

7.1.5. Einstellungen für das Suchfenster

Das Suchfenster beschränkt den Bereich im Live-Videobild, innerhalb dessen der Eye-Tracking-Algorithmus die Pupille und den Kornea-Reflex sucht. Der Bereich ist quadratisch. Es gibt zwei Einstellungsmöglichkeiten:

- **Anzeigen:** Im Livebild wird ein Rahmen um den Suchbereich ein- oder ausgeblendet.
- **Größe:** Diese Zahl definiert die Größe des Quadrats in Pixeln.



- 1) Wenn sich der Kopf der untersuchten Person nur wenig bewegt, können Sie den Suchbereich möglichst klein um die Pupille im Livebild legen. Dann findet der Algorithmus stabiler die Pupille und den Hornhaut-Reflex. Dies kann insbesondere dazu beitragen, Reflexe, die weiter am Rand des Livebilds liegen, zu ignorieren.
- 2) Die Größe des Suchbereichs beeinflusst sehr stark die benötigte Rechenzeit des Suchalgorithmus. Wenn aufgrund einer stabilen Position des Auges im Videobild ein kleinerer Bereich gewählt werden kann, wird der Algorithmus schneller, da er nur in einem kleineren Ausschnitt suchen muss. Insbesondere auf langsamen Rechnern kann es von Vorteil sein, durch Verkleinern des Bereichs die Trackingfrequenz zu erhöhen.

7.2. Einstellungen zur Kalibration

7.2.1. Beschreibung der Kalibration

Während einer Kalibration werden im Präsentationsfenster nacheinander und über die Fläche des Fensters verteilt verschiedene Kalibrationspunkte dargestellt. Die zu untersuchende Person wird aufgefordert, die nacheinander auftauchenden Punkte zu fixieren.

Jeder Kalibrationspunkt erscheint zunächst als großer schwarzer Punkt. Sobald die eingestellte Anzahl an Trackingdaten erreicht ist, wird der Punkt kleiner. Die tatsächliche Kalibration beginnt erst mit den kleinen Punkten. Kalibrationspunkte, die nicht erfolgreich kalibriert werden konnten, werden nach dem ersten Durchlauf erneut kalibriert.

Damit Sie als Benutzer den Fortschritt der Kalibration beobachten können, werden während der Kalibration die Kalibrationspunkte auch im Kontrollfenster gezeigt. Die Kalibrationspunkte werden dabei nur als einfache Punkte ohne die beschriebene Größenänderung dargestellt. Falls ein Kalibrationspunkt in der eingestellten Zeit nicht ausreichend mit dem Auge fixiert wird, wird der entsprechende Punkt kurzzeitig durch ein Kreuz im Kontrollfenster markiert und mit dem nächsten Punkt fortgefahren. Am Ende werden alle zunächst nicht fixierten Kalibrationspunkte erneut angezeigt.

Nach einer Kalibration können Sie im Kontrollfenster alle ermittelten Blickpunkte im Verhältnis zu den gezeigten Kalibrationspunkten betrachten. Neben den Kalibrationspunkten an sich werden Toleranzbereiche von um $0,5^\circ$ und um 1° abweichenden Blickwinkeln eingezeichnet. Dies erleichtert die Bewertung der Qualität der Kalibration. (Für die korrekte Bestimmung der

Toleranzbereiche muss in der Karteikarte **Setup** der richtige Monitorabstand angegeben sein.)



- 1) Vor einem neuen Experiment muss die Kalibrierung wiederholt werden. Auch wenn Sie während einer Sitzung mit mehreren Personen arbeiten, müssen Sie für jede neue Person eine Kalibrierung durchführen. Wenn Sie dies nicht tun und das Programm auch nicht neu gestartet haben, werden alte Kalibrationsdaten auf eine neue Person angewendet.
- 2) Nach einer Kalibrierung dürfen Sie die Aufnahmebedingungen wie Abstand des Displays, Verschiebung der Augenposition zur Kamera etc. nicht mehr ändern. Solche Änderungen würden zu falschen Daten führen.
- 3) Beim binokularen Eye-Tracking wird der Kalibrationsprozess für beide Augen gleichzeitig durchgeführt. Daher müssen Sie die Einstellungen für beide Augen vornehmen, bevor Sie mit der Kalibration beginnen können.

7.2.2. Kalibrationseinstellungen

Abbildung 4 zeigt die Karteikarte für die Kalibrationseinstellungen und zur Anzeige des Kalibrationsergebnisses.



The screenshot shows a software window with several tabs: 'Detektion', 'Kalibration', 'Aufnahmen', 'Gaze', 'Setup', 'Port', and 'Hilfe'. The 'Kalibration' tab is active. It contains the following settings and controls:

- Kalibrationspunkte [Anzahl]:** Radio buttons for 9 (selected), 13, 16, and 17.
- Radius [Pixel]:** A spinner box set to 5.
- Kalibrationsdauer [Bilder]:** A spinner box set to 120.
- Zeit vor Kalibration [Bilder]:** A spinner box set to 60.
- Buttons:** 'Starten' and 'Abbrechen' for the main calibration process, and a 'Kalibration anzeigen' button.
- Test Section:** A section with 'Kalibrationstest' and 'Zufällige Punkte' labels, each with 'Starten' and 'Abbrechen' buttons.

Abbildung 4: Karteikarte für Kalibrations-Einstellungen

Die Einstellmöglichkeiten werden im Folgenden erläutert:

- **Kalibrationspunkte:** Hier können Sie über die Anzahl ihrer Kalibrationspunkte zwischen verschiedenen Kalibrationsmustern wählen. Abbildung 5 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten mit 9, 13, 16 oder 17 Kalibrationspunkten.
- **Radius:** Dieser Wert legt die Größe des kleinen Kalibrationspunkts fest. Die Angabe erfolgt in Pixeln. Der große Kalibrationspunkt ist dann automatisch 4 mal so groß.

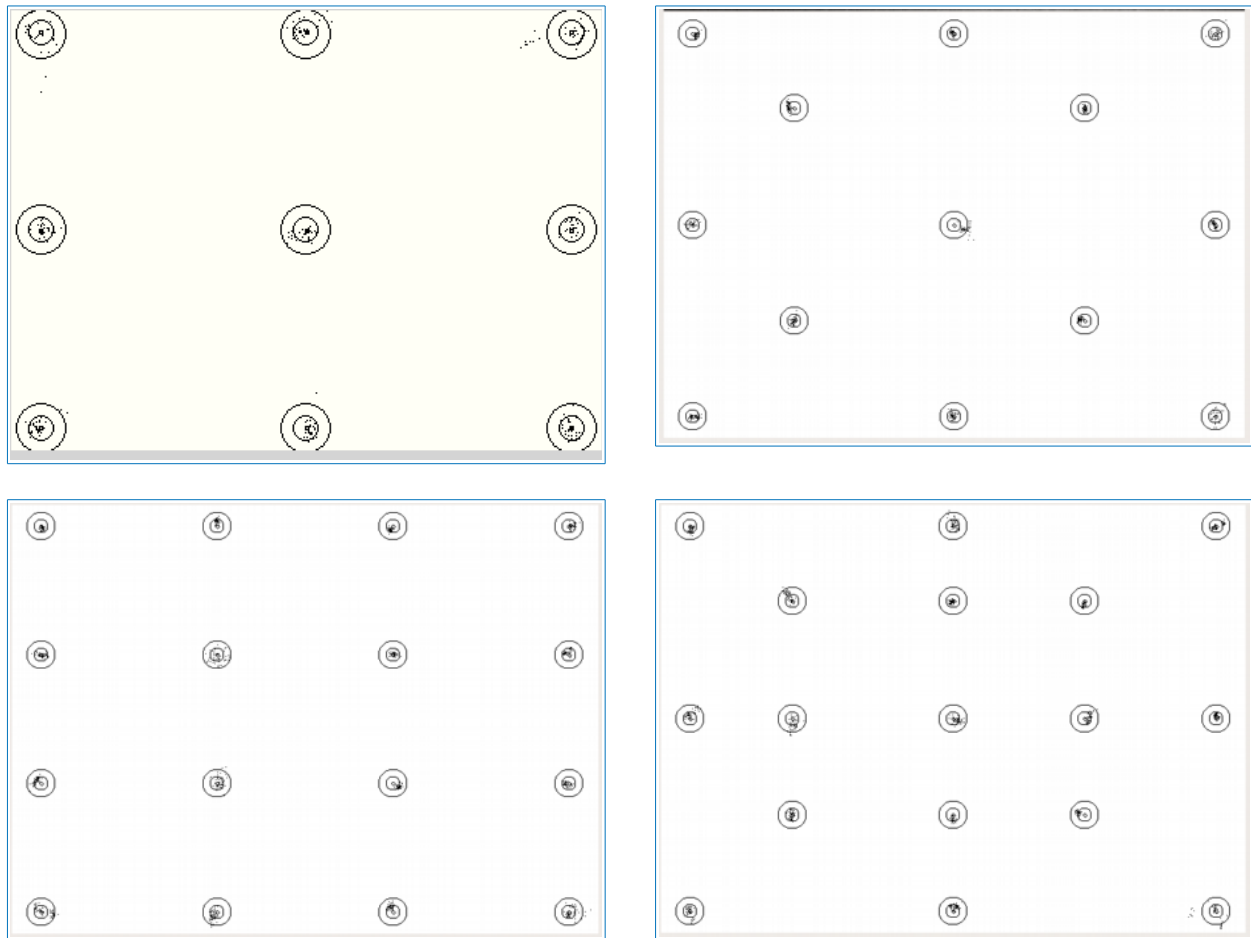


Abbildung 5: Verteilung von 9, 13, 16 und 17 Kalibrationspunkten über die Fläche des Präsentationsfensters. Eingetragen sind auch die Toleranzbereiche und die kalibrierten Blickpunkte (siehe Text).

- Kalibrationsdauer:** Hier können Sie festlegen, wie lange ein einzelner Kalibrationspunkt angezeigt werden soll. Die Zahl gibt die Anzahl der Bilder mit erfolgreicher Blickpunkt-Messung an, mit denen jeder Kalibrationspunkt angezeigt wird. Bei einer Kamera mit 60Hz Bildwiederholrate bedeutet die Zahl 60 beispielsweise, dass die Punkte mindestens 1 s lang angezeigt werden, bevor zum nächsten Punkt gesprungen wird. Werden in dieser Zeit einzelne Blickpunkte nicht erkannt, dauert die Messung entsprechend länger. Bei Hi-Speed-Kameras müssen entsprechend höhere Werte eingestellt werden, um gleiche Kalibrationsdauern zu realisieren.
- Zeit vor Kalibration:** Mit diesem Parameter können Sie einstellen, wie lange der Kalibrationsalgorithmus für jeden Kalibrationspunkt wartet, bis die Kalibration beginnt. Diese Dauer wird als Anzahl der Bilder bestimmt, in denen der Eye-Tracking-Algorithmus Trackingdaten erkannt hat. Durch die Verzögerung wird sichergestellt, dass die Kalibration erst beginnt, wenn das Auge bereits in einem Bildbereich zur Ruhe gekommen ist. Mit höheren Werten können Sie also der untersuchten Person eine entspanntere Kalibration ermöglichen, da sie dann länger Zeit hat, von einem Kalibrationspunkt zum nächsten zu blicken.

- **Starten:** Mit diesem Knopf starten Sie die Kalibration. Wenn es noch nicht geöffnet ist, öffnen Sie damit auch das Präsentationsfenster, in dem dann das Kalibrationsmuster gezeigt wird. Falls im Präsentationsfenster beim Start der Kalibration andere Informationen eingeblendet sind, z.B. eine Präsentation mit Datenanalyse, werden diese gelöscht.
- **Abbrechen:** Mit diesem Knopf können Sie eine laufende Kalibration abbrechen.



Sollten Sie später in der Karteikarte **Setup** auf **Einstellungen speichern** klicken, werden auch die Einstellungen der Karteikarte **Kalibration** gespeichert.

7.2.3. Anzeige und Bewertung einer Kalibration

Um eine genaue Analyse der Blickdaten zu ermöglichen, ist es wichtig, eine gute Kalibration durchzuführen. Deshalb bietet die Software auch Möglichkeiten zur Anzeige von Kalibrationsergebnissen und zur Bewertung einer Kalibration:

- **Kalibration anzeigen:** Mit diesem Knopf können Sie die aktuell wirksame Kalibration anzeigen. Im Kontrollfenster erscheinen dann die Kalibrationspunkte zusammen mit den Blickpunkten der untersuchten Person während der letzten durchgeführten Kalibration. Auf diese Weise können Sie beurteilen, wie gut die Person die Kalibrationspunkte fixiert hat. So lange keine Kalibration vorliegt (Status „nicht kalibriert“), bleibt der Knopf deaktiviert.



Im Präsentationsfenster werden die Blickpunkte nicht angezeigt. Dieses Fenster können Sie deshalb der untersuchten Person auf einem separaten Display präsentieren, ohne dass sie durch ihren eigenen Blick irritiert wird.

- **Kalibrationstest:** Der Kalibrationstest ermöglicht die Beurteilung der Eye-Tracking-Qualität während einer laufenden Kalibrierung. Er erlaubt, die Fixationsgenauigkeit einer untersuchten Person zu bestimmen. Der Test kann nur nach bereits erfolgter Kalibration durchgeführt werden. Er wiederholt die Einblendung der Kalibrationspunkte und zeigt gleichzeitig die kalibrierten Live-Blickpunkte der untersuchten Person an. Die Anzeige erfolgt im Kontrollfenster.
- **Zufällige Punkte:** Auch dieser Test ermöglicht die Beurteilung der Eye-Tracking-Qualität. Hier werden aber 20 Punkte in einem zufälligen Muster auf dem Präsentationsfenster platziert.

7.3. Einstellungen für Aufnahmen

Die Software „MRC Eye-Tracking“ ermöglicht das Speichern und Anzeigen von Trackingdaten sowie das Speichern und Abspielen von Videos. Das Speichern der jeweiligen Dateien wird in der Karteikarte **Aufnahmen** gesteuert. Außerdem können aus dieser Karteikarte heraus mit MRC-Kameras aufgenommene Videos abgespielt werden. Die Anzeige von Trackingdaten zur Datenanalyse wird dann in der Karteikarte **Gaze** gesteuert.

Abbildung 6 zeigt die Karteikarte für die Steuerung von Aufnahmen.



Abbildung 6: Karteikarte für die Steuerung von Aufnahmen

Mit **Speichern unter ...** können Sie für die Trackingdaten und für das Livebild den Dateimanager öffnen, in dem Sie den Speicherort und den Dateinamen für die jeweilige Aufnahme festlegen können. Die Aufnahme wird mit **Start** gestartet und mit **Stopp** beendet.



Trackingdaten werden in Dateien mit der Endung .trk abgelegt.

Wenn Sie den Schalter **Livebild mit aufnehmen** geklickt haben, wird gleichzeitig mit den Trackingdaten außerdem das laufende Livebild im gleichen Pfad mit dem gleichen Dateinamen und der Endung .vid gespeichert.

Livebild-Videoaufnahmen werden als RawVideo-Dateien mit der Endung .vid abgelegt. Wenn Sie ein Livebild aufnehmen, werden immer auch weitere Dateien mit dem gleichen Namen, aber anderen Endungen angelegt: .set für bestimmte Einstellungen, .cal für Kalibrationsdaten, .fit für Fitparameter und .pts für Kalibrations- oder Testpunkte.

Wenn Sie für die Tracking- oder die Videodatei einen Dateinamen eingeben, den es schon gibt, werden dem Dateinamen eine laufende Nummer, beginnend mit der Nummer 001, und ein Code für das Kameramodell angehängt. Wenn der Dateiname bereits auf eine Nummer endet, wird die Nummer so lange eins hoch gezählt, bis eine Nummer vergeben wird, die noch nicht existiert.

Bei der binokularen Version können Sie entscheiden, ob Sie die Daten nur für Auge 1, nur für Auge 2 oder für beide Augen speichern wollen.

Bei Klick auf den Knopf **Abspielen ... Öffnen** öffnet sich ebenfalls der Dateimanager. Hier können Sie die Datei eines gespeicherten Videos öffnen. Mit **Spielen** und **Stopp** können Sie die Wiedergabe einer abgespeicherten RawVideo-Datei mit der Endung .vid starten und stoppen.

Sie können das Video mit normaler, aber auch mit verlangsamter oder größerer Geschwindigkeit abspielen. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten werden durch Pausen zwischen den Einzelbildern erreicht. Bei Aufnahmen mit den 12M-/HiSpeed-Kameras betragen diese Pausen bei der Einstellung **langsam** 100ms/20ms, bei der Einstellung **normal** 10ms/2ms und bei der Einstellung **schnell** 0ms/0ms.

7.4. Einstellungen für Präsentationen und Blickpunkt-Darstellungen

Abbildung 7 zeigt die Karteikarte **Gaze**, in der Sie eine Präsentation öffnen können. Außerdem stellt die Karteikarte einige Funktionen zur Analyse der Blickdaten zur Verfügung.

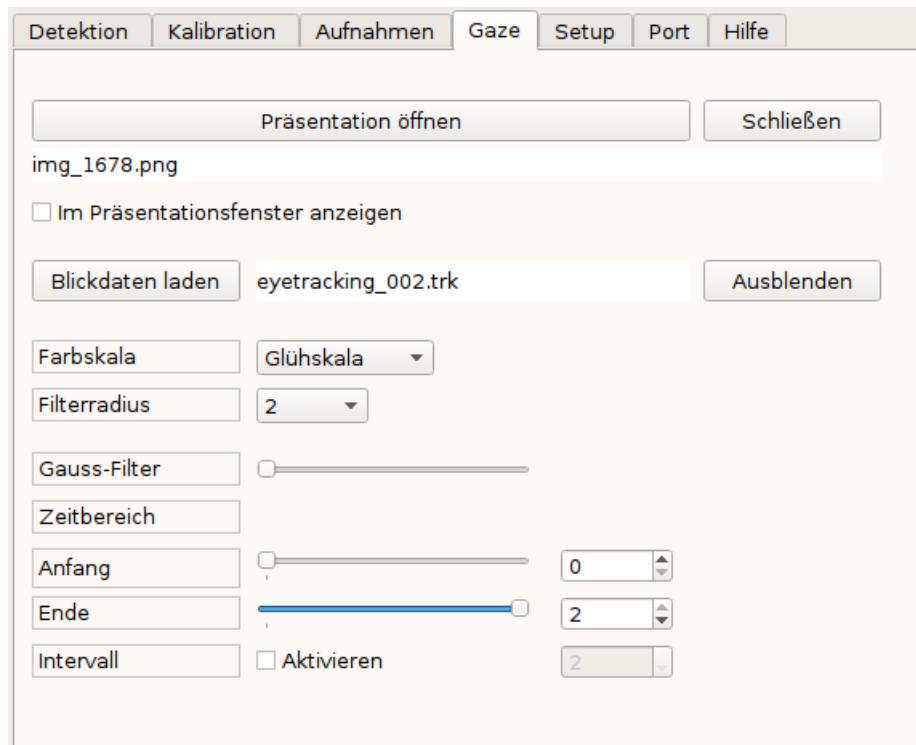


Abbildung 7: Karteikarte für das Öffnen von Präsentationen und die Analyse der Blickdaten, monokular

7.4.1. Präsentationen

Über den Knopf **Präsentation öffnen** können Sie den Dateimanager öffnen und dort eine Präsentation aufrufen. Die Präsentation wird dann im Kontrollfenster und, wenn der Schalter **Im Präsentationsfenster zeigen** angeklickt ist, auch im Präsentationsfenster gezeigt.



In der aktuellen Version werden lediglich zahlreiche Bildformate und noch keine Videos oder andere Präsentationen unterstützt.

Für die Darstellung im Kontrollfenster und im Präsentationsfenster wird die Präsentation so skaliert, dass sie in das jeweilige Fenster hinein passt. Stimmt das Seiten/Höhen-Verhältnis einer Präsentation nicht mit dem Zielfenster überein, wird das jeweils größere Maß zur Skalierung herangezogen. In der anderen Richtung wird die Präsentation mit einem Rand versehen.

Falls das Präsentationsfenster noch nicht geöffnet ist, wird es dann automatisch geöffnet. Mit einem Klick auf **Schließen** schließen Sie die Darstellung in beiden Fenstern. Sollten zu diesem Zeitpunkt auch Blickdaten eingeblendet sein, werden auch diese geschlossen.



Wenn Sie die Größe einer Präsentation im Präsentationsfenster ändern wollen, können Sie dessen Größe im Setup einstellen (siehe Abschnitt 7.5).

7.4.2. Datenanalyse und Filterung

Die kalibrierten Trackingdaten werden als x- und y-Werte zusammen mit einem Zeitstempel in der Trackingdatei gespeichert (siehe Abschnitt 10.3.1). Sie können die Dateien in einem Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel öffnen und mit den dortigen Funktionen als Zeitreihen darstellen.

Die Software „MRC Eye-Tracking“ ermöglicht darüber hinaus auch eine einfache Analyse der Trackingdaten. Dazu können die kalibrierten, in einer Trackingdatei gespeicherten Daten der zugehörigen Präsentation überlagert werden. Abbildung 8 zeigt ein Beispiel.

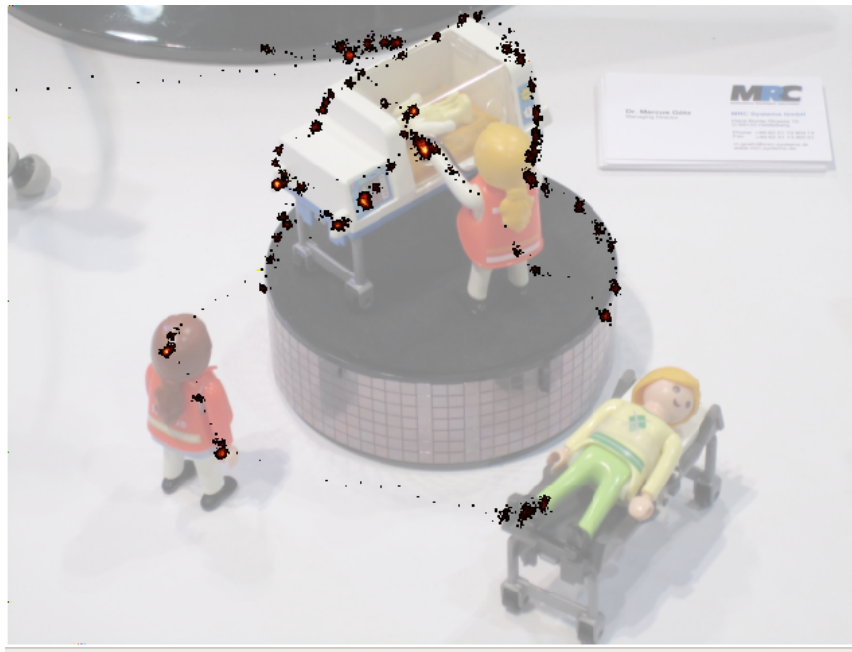


Abbildung 8: Beispiel einer Datenanalyse: Die als schwarze Punkte eingezeichneten Blickpunkte werden einem zuvor gezeigten Bild überlagert. Auf diese Weise wird erkennbar, wohin die untersuchte Person geblickt hat. Durch Zeitfensterung (siehe Text) lässt sich auch die Reihenfolge der Blickpunkte ermitteln. Die Darstellung erfolgt im Kontrollfenster.

Blickdaten können zur Analyse nur geladen werden, wenn die Präsentationsdatei bereits geöffnet ist (siehe Abschnitt 7.4.1). Mit **Blickdaten laden** können Sie dann den Dateimanager öffnen, um eine Trackingdatei (Endung .trk) zu öffnen. Die in der Trackingdatei enthaltenen Daten werden der geladenen Präsentation überlagert. Mit dem Knopf **Ausblenden** können Sie die Blickdaten wieder ausblenden. Die Präsentation selbst bleibt dabei geöffnet.

Zur weiteren Analyse werden die Blickpunkte der untersuchten Person an jedem Pixel der Präsentation aufsummiert, um Bereiche, auf die die Person unterschiedlich lange geblickt hat, mit unterschiedlichen Farben darzustellen. Hierzu stehen drei Farbskalen zur Verfügung:

- eine Glühskala
- Falschfarben
- Schwarz-weiß
- In der binokularen Version können Sie die Blickpunkte beider Augen in verschiedenen Farben darstellen (orange für den ersten, grün für den zweiten Datensatz).

In der Karteikarte gibt es außerdem zwei verschiedene Filter, einen 3-stufigen Gauss-Filter, dessen Ausdehnung mit dem **Filterradius** eingestellt werden kann, und einen aus der Qt-Bibliothek entnommenen **Gauss-Filter**. Bei dem 3-stufigen Filter entspricht der Radius 0 einer Darstellung der Rohdaten. Bei Radius 1 wird jeder betrachtete Pixel auf seine acht Nachbarpixel ausgedehnt. Bei Radius 2 erfolgt die Ausdehnung weiter auf den nächsten Ring von 16 benachbarten Pixeln. Das Ergebnis wird jeweils normiert. Mit dem Gauss-Filter aus Qt kann ebenfalls eine „Verwischung“ (Blur) der Blickpunkte, hier in 10 Stufen, eingestellt werden.



Die Filter werden sequentiell angewendet. Bei jeder Manipulation (Änderung des Filterradius, des Qt-Gaussfilters oder des Zeitbereichs) wird immer zuerst eine Neuberechnung mit dem 3-stufigen Gauss-Filter durchgeführt und auf dessen Ergebnis der Qt-Filter angewendet.

7.4.3. Zeitfensterung

Mit den Einstellungen unter **Zeitbereich** können Sie eine Zeitfensterung der in einer Trackingdatei enthaltenen Daten vornehmen. Hierzu können Sie unter **Anfang** den Beginn und unter **Ende** das Ende eines Zeitintervalls festlegen, dessen Blickpunkte eingezeichnet bzw. einer Filteroperation unterzogen werden. Alternativ können Sie, wenn Sie die Funktion **Intervall** aktivieren, die Länge des gewünschten Zeitintervalls in dem Zahlenfeld festhalten. Wenn der Anfang verschoben wird, wird dann das Ende entsprechend des eingestellten Intervalls mitgeführt. Das Gleiche gilt entsprechend, wenn Sie das Ende verschieben.

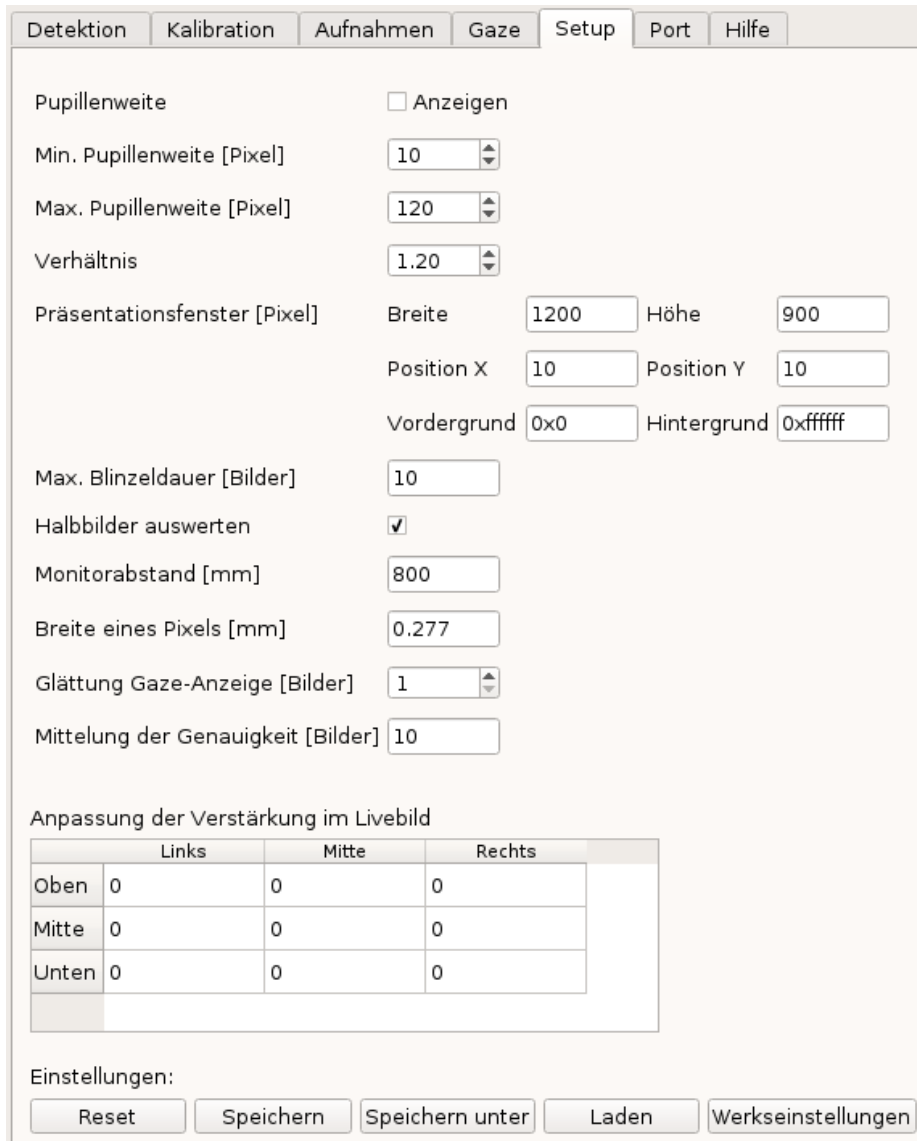
7.5. Setup-Einstellungen

In dieser Karteikarte können Sie in Ergänzung zu den Einstellungen in der Karteikarte **Detektion** verschiedene Parameter einstellen, um sie für Ihr Eye-Tracking-Setup zu optimieren. Da diese Einstellungen aber i.d.R. nur einmal eingestellt und danach nicht mehr für jede untersuchte Person weiter verändert werden müssen, wurden sie in eine eigene Karteikarte ausgelagert.

Abbildung 9 zeigt die Karteikarte für die Setup-Einstellungen.

Darin gibt es die folgenden Parameter:

- **Pupillenweite anzeigen:** Mit diesem Schalter können Sie festlegen, ob die eingestellten Werte für die minimal und die maximal erlaubten Pupillengrößen als Kreise im Livebild dargestellt werden sollen.
- **Min. Pupillenweite:** Hier können Sie einstellen, welche minimalen Pupillenweiten der Eye-Tracking-Algorithmus suchen soll. Die Angabe erfolgt in der Zahl der Pixel. Je kleiner der Wert ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Algorithmus andere Strukturen als die Pupille selbst als Pupille interpretiert. Die in der Software hinterlegte Werkseinstellung ist 10.



Anzeigen
 Min. Pupillenweite [Pixel] 10
 Max. Pupillenweite [Pixel] 120
 Verhältnis 1.20
 Präsentationsfenster [Pixel] Breite 1200 Höhe 900
 Position X 10 Position Y 10
 Vordergrund 0x0 Hintergrund 0xfffff
 Max. Blinzeldauer [Bilder] 10
 Halbbilder auswerten
 Monitorabstand [mm] 800
 Breite eines Pixels [mm] 0.277
 Glättung Gaze-Anzeige [Bilder] 1
 Mittelung der Genauigkeit [Bilder] 10

Anpassung der Verstärkung im Livebild

	Links	Mitte	Rechts
Oben	0	0	0
Mitte	0	0	0
Unten	0	0	0

Einstellungen:

Abbildung 9: Karteikarte für Setup-Einstellungen (Variante A, monokular)

- **Max. Pupillenweite:** Hier können Sie einstellen, welche maximalen Pupillenweiten der Eye-Tracking-Algorithmus suchen soll. Die Angabe erfolgt in der Zahl der Pixel. Die in der Software hinterlegte Werkseinstellung ist 120.
- **Verhältnis:** Dieser Wert beschreibt die maximal erlaubte Asymmetrie zwischen Höhe und Breite der Ellipse zur Pupillenfindung.
- **Präsentationsfenster (Breite x Höhe):** Hier können Sie die Breite und Höhe des Präsentationsfensters festlegen. Die Änderung dieser Werte wird erst wirksam, wenn Sie **Einstellungen speichern** geklickt und das Programm neu gestartet haben.
- **Position X, Y:** Diese Werte bestimmen die Position des Präsentationsfensters. Sie erlauben, das Fenster ohne Nutzung der Maus zu verschieben. Das Fenster kann nur über die Änderung dieser Werte verschoben werden.



Jede Änderung der Fenstergröße oder -position setzt die Kalibrierung zurück.

- **Vordergrund und Hintergrund (Farben):** Hier können Sie die Werte für die Farben, die für die Kalibrierung verwendet werden, einstellen. Die Werte werden in der Hexadezimal-Darstellung für die RGB-Farbwerte eingetragen. Das Format ist 0xRRGGBB, wobei der Bereich für jede Farbe bei 0x00 bis 0xff liegt.
- **Max. Blinzeldauer:** Der Eye-Tracking-Algorithmus führt den Suchbereich für die Pupille und den Kornea-Reflex automatisch mit, und zwar so, dass sein Zentrum in der Mitte der letzten gefundenen Pupille liegt. Hier können Sie einstellen, wie lange der Eye-Tracking-Algorithmus den Suchbereich nicht verschiebt, wenn er z.B. aufgrund von Blinzeln oder anderen Einflüssen keine Pupille und/oder keinen Kornea-Reflex erkennt. Wenn er innerhalb der erlaubten Anzahl von Bildern keine Daten aufnehmen kann, wird danach der Suchbereich im Livebild zentriert.
- **Halbbilder auswerten:** Diese Einstellung gibt es nur in der Variante A. Die 12M- und 12M-i-Kameras liefern zeilenversetzte Halbbilder mit 60 Hz, ein vollständiges Bild also mit 30 Hz Bildwiederholrate. Mit diesem Schalter können Sie festlegen, dass die Halbbilder einzeln für das Eye-Tracking ausgewertet werden, so dass dieses mit der Frequenz von 60 Hz erfolgt.
- **Monitorabstand:** Hier sollten Sie den Abstand zwischen der Eye-Tracking-Kamera und dem Monitor einstellen. Wenn Sie über einen Spiegel abbilden, sollten Sie die Strecke zum Spiegel dazu addieren.
- **Breite eines Pixels:** Die Kenntnis der Breite eines Pixels auf dem Monitor ermöglicht die Berechnung der Genauigkeit eines Blickwinkels.



Den entsprechenden Wert können Sie aus der Displaybreite und der Anzahl der Spalten berechnen. Auf einem 19-Zoll-Monitor (Breite =378mm) mit z.B. 1.280 Spalten ist die Breite beispielsweise 0,295mm.

- **Glättung Gaze-Anzeige:** Der Wert gibt die Anzahl der Blickpunkte (Gaze-Werte) an, über die gemittelt wird, bevor der Blickpunkt angezeigt wird. Die gespeicherten Werte werden nicht gemittelt.
- **Mittlung der Genauigkeit:** Für die Berechnung der Genauigkeit der Blickpunkte wird eine Mittelung der in einzelnen Bildern berechneten Blickpunkte vorgenommen. Hier können Sie einstellen, über wie viele Bilder die Mittelung erfolgt.
- **Anpassung der Verstärkung im Livebild:** Hier können Sie die Änderung der Pupillenschwelle in einzelnen Segmenten des Livebilds gegenüber den Einstellungen für die **Schwelle (Intensität)** in der Karteikarte **Detektion** anpassen. Dies ist z.B. hilfreich, wenn die Augen aufgrund einer seitlichen Montage der Beleuchtung nicht homogen ausgeleuchtet sind. Die eingetragenen Werte können positiv oder negativ sein. Positive Werte werden zu dem Schwellwert addiert, negative subtrahiert. In der binokularen Version gibt es zwei Tabellen, eine für jedes Auge.

7.5.1. Speichern von Einstellungen

Die Grundeinstellungen und Startwerte für die Setup-Parameter werden in einer xml-Datei gespeichert und beim Start des Programms ausgelesen. In der Karteikarte **Setup** vorgenommene Einstellungen werden sofort wirksam, ohne dass Sie sie extra speichern. Mit einem Klick auf **Speichern** oder **Speichern unter** können Sie sie aber als neue Voreinstellungen (Default-Einstellungen) speichern. Sie werden dann beim nächsten Programmaufruf als Voreinstellung verwendet. Bei **Speichern unter** können Sie einen eigenen Dateinamen vergeben. Mit **Laden** können Sie eine spezifische Datei laden.

Mit Klick auf **Reset** werden die letzten in der xml-Datei gespeicherten Werte in die entsprechenden Felder eingetragen. Mit dem Knopf **Werkseinstellungen** können Sie die herstellerseitigen Defaulteinstellungen wiederherstellen.



- 1) Mit **Speichern** / **Speichern unter** speichern Sie nicht nur die Parameter der Karteikarte **Setup**, sondern auch diejenigen der Karteikarten **Detektion** und **Kalibration**.
- 2) Beim Programmende erfolgt keine automatische Speicherung der letzten Einstellungen. Wenn Sie die letzten Einstellungen speichern wollen, sollten Sie vor dem Programmende auf **Speichern** klicken.
- 3) Beim Programmneustart werden die Daten aus der xml-Datei eingetragen. Beim Aufruf eines abgespeicherten Videos werden die darin enthaltenen Daten statt der Voreinstellungen verwendet.

7.5.2. Ermittlung der Pupillengröße

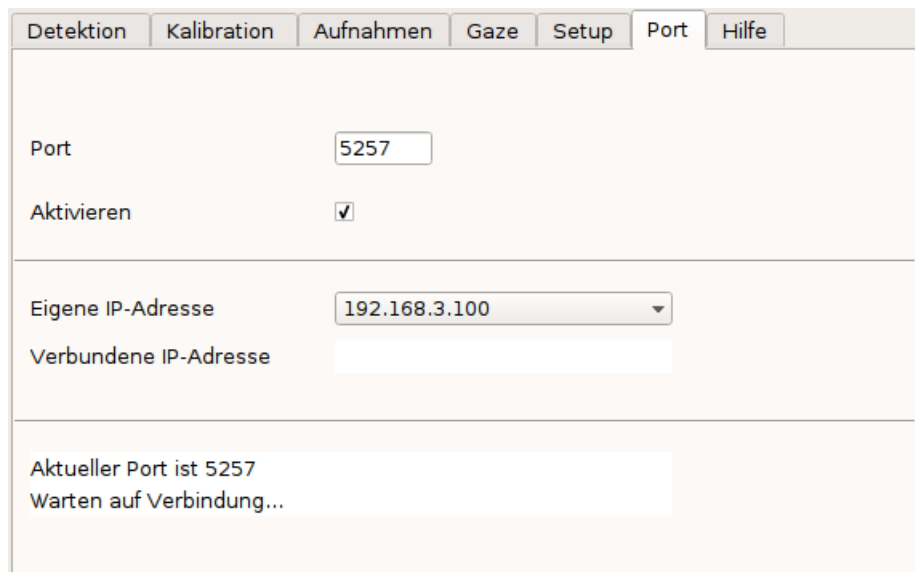
Der Eye-Tracking-Algorithmus ermittelt automatisch auch die Größe der Pupille. Genauer gesagt werden die beiden Achsen (= die doppelten Halbachsen) der an den Pupillenrand gefitteten Ellipse sowie der Winkel dieser Achsen zur Horizontale erfasst. Diese Werte werden auch in die Trackingdatei eingetragen (siehe Abschnitt 10.3.1).



- 1) Die Angabe der Längen der beiden Pupillenachsen erfolgt in Kamerakoordinaten, also als die Zahl der Pixel im Livebild. Wenn Sie eine absolute Angabe benötigen, müssen Sie die Größe für Ihre optischen Rahmenbedingungen kalibrieren, da sie vom Abstand des Auges von der Kamera abhängt.
- 2) Der genaue Wert der Pupillengröße hängt auch leicht von der Einstellung der Pupillenschwelle (Parameter **Schwelle (Intensität)** in der Karteikarte **Detektion**) ab. Den Einfluss der Schwelle können Sie direkt beobachten, wenn Sie den Schalter **Anzeigen** für die **Detektion der Pupille** aktiviert haben.

7.6. Port-Einstellungen

In dieser Karteikarte können Sie den Port für die TCP/IP-Kommunikation mit anderen Programmen konfigurieren. Abbildung 10 zeigt die Karteikarte mit typischen Werten.



Detektion	Kalibration	Aufnahmen	Gaze	Setup	Port	Hilfe
Port		5257				
Aktivieren		<input checked="" type="checkbox"/>				
Eigene IP-Adresse		192.168.3.100				
Verbundene IP-Adresse						
Aktueller Port ist 5257 Warten auf Verbindung...						

Abbildung 10: Karteikarte mit Eingaben und Anzeigen für den TCP/IP-Socket

Darin gibt es die folgenden Einstellungen:

- **Port:** Hier können Sie die Portnummer eintragen. Diese Nummer hat eine ähnliche Bedeutung wie eine Postfachnummer. Über diese Nummer werden Netzwerkanfragen den jeweiligen Anwendungen zugeordnet und an diese weiter gegeben. Portnummern liegen üblicherweise zwischen 1024 und 65535. Die gewählte Nummer darf nicht schon von anderen Komponenten im Netzwerk benutzt werden.
- **Aktivieren:** Nach Klicken dieses Schalters können Sie die Netzwerkkommunikation auf diesem Port empfangen. Wenn der Schalter nicht aktiviert ist, findet keine Kommunikation statt.
- **Eigene IP-Adresse:** Hier müssen Sie die IP-Adresse Ihres Computers eintragen.
- **Verbundene IP-Adresse:** Hier wird die IP-Adresse des verbundenen Computers angezeigt.

Unter diesen Feldern befindet sich ein Bereich, in dem Nachrichten der Netzwerk-Kommunikation angezeigt werden.

7.7. Hilfe

In der Karteikarte **Hilfe** (siehe Abbildung 11) finden Sie Angaben zur vorliegenden Software-Version und zum Hersteller. Sie können außerdem das Benutzerhandbuch im pdf-Format öffnen.

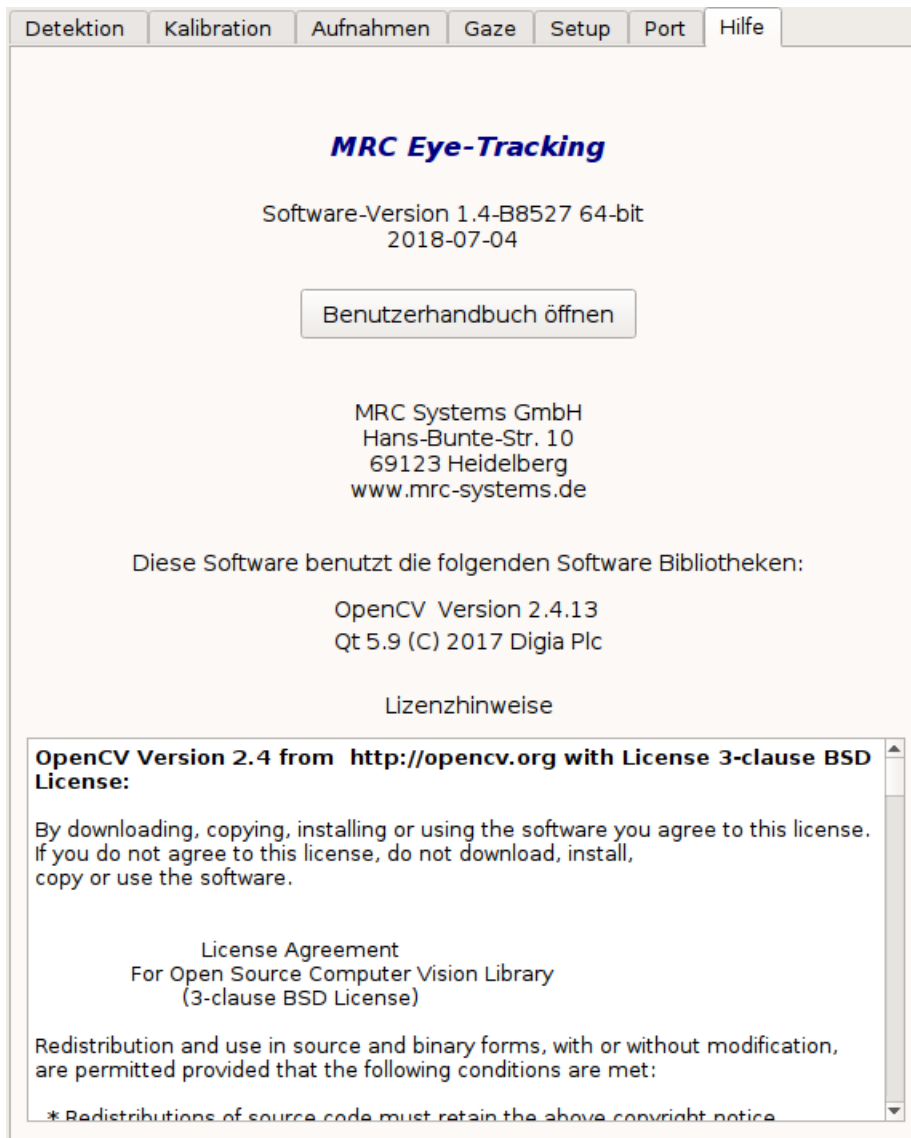


Abbildung 11: Karteikarte mit Angaben zur Software-Version und zum Hersteller sowie zum Öffnen des Benutzerhandbuchs

8. Statusmeldungen

Unter den Karteikarten gibt es einen Fensterbereich mit drei Zeilen für Statusmeldungen. In der obersten Statuszeile werden Zustände der Detektion, in der mittleren der Kalibrationsstatus und in der unteren Zustände zu Aufnahmen eingeblendet. In den Statusmeldungen für Aufnahmen können Sie u.a. sehen, ob aktuell die Videos und/oder Eye-Trackingdaten gespeichert werden oder nicht.

Statusmeldungen	
Detektion	<i>keine Detektion der Pupille</i>
Kalibration	<i>nicht kalibriert</i>
Aufnahmen	<i>inaktiv</i>

Abbildung 12: Fensterbereich für Statusmeldungen

Es gibt die folgenden Zustände:

Bereich	Zustand
Detektion	• keine Detektion der Pupille -> keine Kalibration möglich
	• keine Detektion der Pupille -> keine Kalibration
	• keine Detektion der Pupille
	• Eye-Tracking
	• Kalibration
	• kein Kornea-Reflex -> keine Kalibration möglich
	• kein Kornea-Reflex -> keine Kalibration
	• kein Kornea-Reflex
	• Detektion erfolgreich
	• Blinzeln
	• Blinzeln -> keine Kalibration möglich
	• Blinzeln -> keine Kalibration
	Kalibration
• Kalibration läuft	
• kalibriert	
Aufnahmen	• Daten werden gespeichert
	• Daten und Livebild werden gespeichert
	• Datenspeicherung gestoppt
	• Livebild wird aufgenommen
	• Livebildaufnahme gestoppt
	• Video wird abgespielt
	• Video gestoppt
	• inaktiv

9. Hinweis- und Fehlermeldungen

In der Software gibt es verschiedene Hinweis- und Fehlermeldungen, die automatisch aufpoppen, wenn bestimmte Funktionen nicht ausgeführt werden können. Die verschiedenen Fenster werden im Folgenden gezeigt. Die Texte sind i.d.R. selbsterklärend.

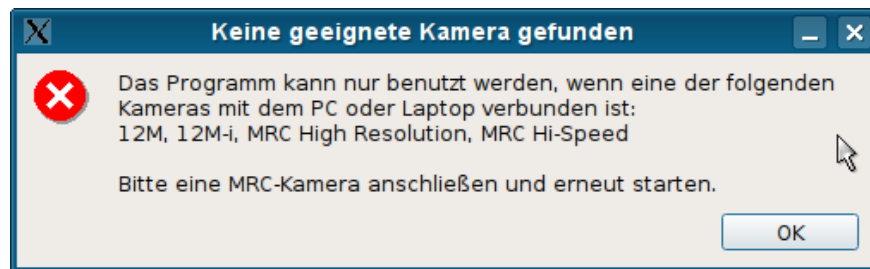


Abbildung 13: Hinweismeldung, wenn keine Kamera angeschlossen ist, wenn Sie das Programm starten



Bei der binokularen Version können Sie auch spezifischere Warnungen erhalten, falls einer der zwei benötigten Framegrabber fehlt.

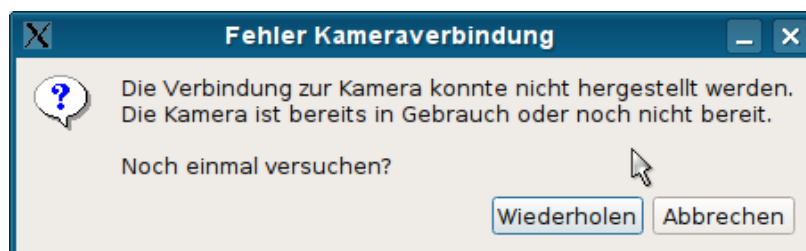


Abbildung 14: Fehlermeldung, wenn keine Verbindung (GigE) zur Digitalkamera aufgebaut werden kann

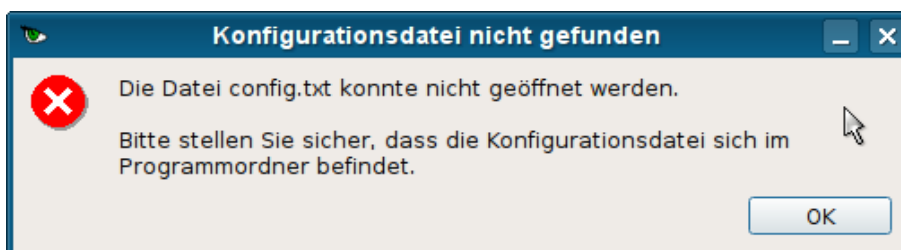


Abbildung 15: Fehlermeldung beim Lesen/Schreiben der Pfade für Bilder und Daten in config.txt



Wenn es keine Konfigurationsdatei gibt, legt das Programm sie automatisch an.

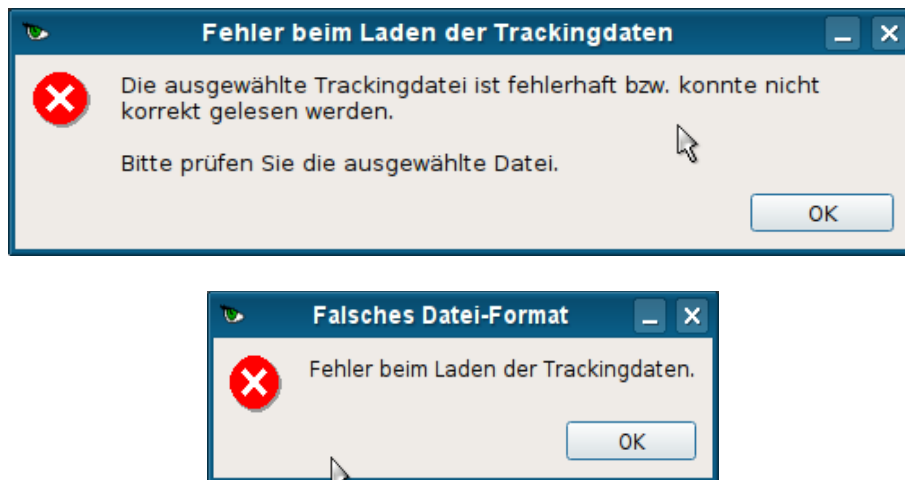


Abbildung 16: Fehlermeldungen bei Auswahl einer ungültigen Trackingdatei



Diese Fehlermeldungen können mehrere Ursachen haben. In der Regel handelt es sich um eine trk-Datei, die nicht der Spezifikation entspricht oder die keine detektierten Blickpunkte enthält.

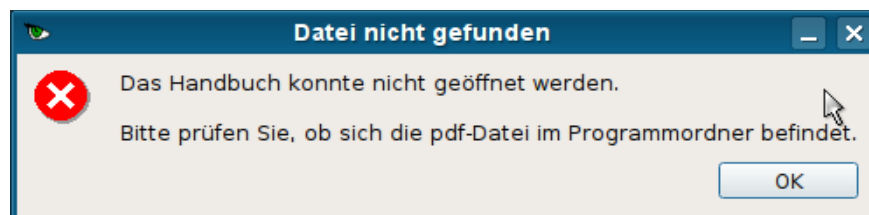


Abbildung 17: Fehlermeldung bei nicht vorhandenem Benutzerhandbuch

10. Schnittstellen, Synchronisation mit anderen Geräten

10.1. TCP/IP-Socket

Wenn Sie beabsichtigen, über eine Softwareschnittstelle aus anderen Programmen mit dem Eye-Tracking zu kommunizieren, können Sie den TCP/IP-Socket verwenden. Wir können auch eine dynamische Link-Library (DLL) zur Verfügung stellen, die Sie in andere Programme einbinden können. Sie ermöglicht es Ihnen, zahlreiche Funktionen zu benutzen, die in den Abschnitten 10.1.2 bis 10.1.4 beschrieben werden. Im folgenden Abschnitt 10.1.1 beschreiben wir zunächst, wie Sie die Kommunikation einrichten können.

10.1.1. Verbindung

Zunächst müssen Sie die Verbindung konfigurieren. In der Software “MRC Eye-Tracking” geschieht dies in der Karteikarte **Port** (siehe Abschnitt 7.6), wo Sie einen gültigen Port und Ihre IP-Adresse eintragen müssen. Mit Klick auf **Aktivieren** können Sie dann bestätigen, dass der Port geöffnet werden soll und die Software die Netzwerkkommunikation empfängt.

In der Gegenstelle, der DLL, wird der Port über die Funktion „*eye_connect*“ verbunden. Diese Funktion benötigt als Parameter die IP-Adresse des Computers, auf dem die Eye-Tracking-Software läuft. Die entsprechende Information wird in der Karteikarte **Port** angezeigt.

Die Funktion „*eye_disconnect*“ schließt die Verbindung und löscht die Kommunikationsdaten.

Sie können die Port-Einstellungen in der Karteikarte **Setup** mit **Einstellungen speichern** speichern. Außerdem können Sie die Einstellungen in der Datei Setup_Global.xml editieren (siehe Abschnitt 10.3.3). Die initialen Werkseinstellungen finden Sie in der folgenden Tabelle:

Parameter	Werkseinstellung	Beschreibung
port	5257	Port, der beim Start auf der Benutzeroberfläche angezeigt wird
buffer_size	1000	Größe des Lesespeichers (in Byte)
timeout_socket	300000	Zeit (in ms), die die Verbindung geöffnet bleibt, ohne dass eine Kommunikation stattfindet
timeout_command	100	Zeit (in ms), wie lange auf fehlende Daten eines Befehls gewartet wird
auto_start	false	Öffnet die Kommunikation direkt nach dem Start des Programms

10.1.2. Übertragung von Trackingdaten

Die DLL stellt Funktionen zum Lesen der Tracking- und von in der Eye-Tracking-Software berechneten Daten zur Verfügung. Der aktuelle Blickpunkt und die Pupillengröße können einzeln abgeholt werden. Darüber hinaus ist es möglich, einen kompletten Datensatz zusammengefasst als Struktur anzufordern. Die Datenstruktur enthält die folgenden Daten:

Name	Description
timestamp	Zeitstempel der Kamera zur Entstehungszeit der Struktur
pupil	x- und y-Position der Pupillenmitte
found_pupil	Status der Detektion der Pupille
glint	x- und y-Position des Hornhautreflexes
found_glint	Status der Detektion des Hornhautreflexes
calibrated	Status der Kalibration
pupil_size	Größe der Pupille
pupil_angle	Winkel der Pupille
vek	Vektor zwischen Hornhautreflex und Pupille
pos	ermittelte Koordinaten des Blickpunkts
eventtype	Event, welches während der Berechnung aufgetreten ist 0 = Tracking 1 = Blickpunkt 2 = Event 3 = Präsentation
event_text	Beschreibung des aufgetretenen Events

Die Eye-Tracking-Software verwendet einen FIFO-Speicher, in dem eine begrenzte Anzahl an Datenstrukturen zwischengespeichert wird (FIFO: first-in – first-out). Die maximale Zahl an Datenstrukturen im FIFO beträgt 1000.

Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten für die Client-Software, mit der Eye-Tracking-

Software zu kommunizieren. Die Daten können entweder als eine Liste von bereits im FIFO liegenden Datenstrukturen oder als kontinuierlicher Datenstrom neu entstehender Daten übertragen werden. Die zweite Methode ermöglicht eine schnellere Übertragung der letzten Werte und damit den Betrieb in Echtzeit.

So lange von der Client-Software keine Daten abgeholt werden, werden sie kontinuierlich im FIFO zwischengespeichert. Erfolgt dann eine Abfrage, so werden die ältesten im FIFO liegenden Daten zurück gegeben. Mit der Funktion `„eye_get_events(Anzahl)“` besteht die Möglichkeit, über den Parameter *Anzahl* mehrere Datenstrukturen auf einmal anzufordern. Wenn die Datenstrom-Funktionalität nicht aktiviert ist, erhält der Empfänger eine entsprechende Liste der aktuell im FIFO gespeicherten Daten. Demnach sollte der Benutzer mit `„eye_get_events_count()“` zunächst abfragen, wie viele Daten sich im FIFO befinden und dann die entsprechende Anzahl abholen. Danach kann er diese Daten analysieren.

Die Funktion `„eye_get_gaze“` fordert den letzten (nicht den ältesten!) ermittelten Blickpunkt an und arbeitet ohne Zwischenspeicher. Jeder ermittelte Blickpunkt kann nur einmal angefordert werden. Die aktuellen Pupillengröße ist durch die Funktion `„eye_get_pupil_size“` abfragbar. Auch sie liefert immer die neueste, aktuellste Pupillengröße, die in der Eye-Tracking-Software ermittelt wurde.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei dieser Methode die Client-Software immer zunächst eine Abfrage sendet und dann auf die Rückgabe der Werte durch die Eye-Tracking-Software wartet.

Um den Zugriff auf die Daten zu beschleunigen, gibt es die Datenstrom-Funktionalität. Sie wird mit `„eye_start_stream(Datentyp)“` aktiviert. Dann sendet die Eye-Tracking-Software kontinuierlich Daten. Je nach gewähltem Parameter kann die Client-Software diese direkt aus einem eigenen Speicher lesen. Das reduziert die Latenz bei der Netzwerkübertragung.

Das Streaming kann für die folgenden Daten erfolgen:

Datentyp	Wert
vollständige Struktur	0
Blickpunkt	1
Pupillengröße	2

Beispielhafte Werte für die Latenzen mit und ohne Daten-Streaming sind:

- 1) ohne Streaming: `eye_get_pupil_size();` typische Latenz: 0,125 s
- 2) mit Streaming: `eye_start_stream(2);`
`eye_get_pupil_size();` typische Latenz: 0,09 s

10.1.3. Fernsteuerung der Kalibration

Es ist möglich, aus einem anderen Programm heraus eine Kalibration mit den verschiedenen, in Abschnitt 7.2.1 gezeigten Kalibrationsmustern zu starten. Die Funktion `„eye_start_calibrate“` hat einen Parameter für die Anzahl der Kalibrationspunkte. Den Status dieser Kalibration kann die Funktion `„eye_get_status“` abfragen. Es gibt vier verschiedene Status, die eintreten können. Dabei ist zu beachten, dass die Kalibration nur beginnt, falls ein Auge detektiert werden konnte.

Bedeutung	Wert
Fehler	-1
nicht kalibriert	0
Während der Kalibration	1
kalibriert	2

Ein Programm kann die Kalibration mit den Funktionen „*eye_get_calibstate*“ oder „*eye_get_calibration_point*“ in ein selbst erzeugtes Fenster einbetten. Dabei ist zu beachten, dass die Größe dieses Fensters und des Kalibrationsfensters der Eye-Tracking-Software übereinstimmen sollten.

10.1.4. Zusammenfassung der Funktionen

Die folgenden Funktionen stehen über das TCP/IP-Kommunikationsprotokoll zur Verfügung. Sie sind in der TCP/IP-DLL beinhaltet. Bei einzelnen Funktionen sind auch die entsprechenden Parameter aufgeführt.

Funktion	Parameter	Beschreibung
Verbindung / Trennung		
eye_connect()	'IP-Adresse', Port	Aufbau der Verbindung zur Eye-Tracking-Software
eye_disconnect()		Abbau der Verbindung
Datenabrufe		
eye_get_events_count()		Abfrage der Anzahl der vorhandenen Strukturen im Zwischenspeicher
eye_get_events()	Anzahl an Datensätzen	Abfrage einer Liste von Datensätzen entsprechend der angegebenen Anzahl
eye_get_gaze()		Abfrage des letzten Blickpunktes
eye_get_pupil_size()		Abfrage der aktuellen Pupillengröße
Synchronisation		
eye_get_timestamp()		Abfrage der aktuellen Kamerazeit
eye_set_software_event()	Zeichenkette (string) mit max. 255 Zeichen	Schreiben einer Zeichenkette in die Trackingdatei
Datenstrom		
eye_start_stream()	Nummer: Datenstrukturen: 0 Blickpunkte: 1 Pupillengrößen: 2	Aktivierung der Datenstrom-Funktionalität
eye_stop_stream()		Deaktivierung
Kalibration		
eye_start_calibrate()	Anzahl der Punkte (9, 13, 16, 17)	Start der Kalibration mit einer bestimmten Anzahl an Punkten
eye_stop_calibration()		Stopp der Kalibration
eye_get_status()		Abfrage des aktuellen Status der Kalibration

Funktion	Parameter	Beschreibung
eye_get_calibstate()		Abfrage der Koordinaten des Kalibrationspunkts
eye_get_calibration_point()		Abfrage der Nummer und der Koordinaten des Kalibrationspunkts
Parameter settings		
eye_set_parameter(,)	Parametername, Wert	Generelle Funktion zum Setzen eines Parameters mit einem Wert
	'eye_tracking_path', Wert	Pfad und Dateiname für die Trackingdatei
	'eye_video_path', Wert	Pfad und Dateiname für die Videodatei
	'eye_save_tracking', Wert	Datenstrukturen werden (nicht) in der Trackingdatei gespeichert. Der Wert kann nur 'true' oder 'false' sein.
	'eye_save_tracking_and_video', Wert	Tracking- und Videodatei werden (nicht) gespeichert. Der Wert kann nur 'true' oder 'false' sein.
	'eye_timeout_command', Wert (in ms)	Zeit (in ms), die auf eine Antwort der Eye-Tracking-Software gewartet wird
	'eye_timeout_calibrate', wert (in ms)	Zeit (in s), die auf die Detektion des Auges während der Kalibration gewartet wird
eye_set_display_parameter()	x-, y-Displaygröße, Abstand zwischen Display und Kamera, Pixelabstand auf dem Monitor (in mm)	Setzen der Displayparameter des Kalibrationsfensters
eye_set_displaymode()	Breite, Höhe	Setzen der Displaygröße des Kalibrationsfensters
Parameterabfragen		
eye_get_parameter()	'eye_timeout_command'	Zeit (in ms), die auf eine Antwort der Eye-Tracking-Software gewartet wird
	'eye_timeout_calibrate'	Zeit (in s), die auf die Detektion des Auges während der Kalibration gewartet wird
	'eye_status_detection'	1 = keine Detektion der Pupille → keine Kalibration möglich 2 = keine Detektion der Pupille → keine Kalibration 3 = keine Detektion 4 = Eye-Tracking 5 = Kalibration 6 = kein Kornea-Reflex → keine Kalibration möglich 7 = kein Kornea-Reflex → keine Kalibration

Funktion	Parameter	Beschreibung
	'eye_status_detection'	8 = kein Kornea-Reflex 9 = Detektion erfolgreich 10 = Blinzeln 11 = Blinzeln → keine Kalibration möglich 12 = Blinzeln → keine Kalibration
eye_get_version()		Abfrage der aktuellen Version der Eye-Tracking Software
eye_start_video_recording()		Start der Aufzeichnung des Videos
eye_stop_video_recording()		Stop der Aufzeichnung des Videos
eye_get_last_error()		Abfrage des zuletzt aufgetretenen Fehlers

10.1.5. Matlab-Beispiele

Wenn Sie sich für die TCP/IP-Kommunikation interessieren, können wir Ihnen Software-Beispiele für Matlab zur Verfügung stellen.

10.2. Digitales I/O

Die Software „MRC Eye-Tracking“ kann über eine digitale I/O-Karte Trigger (Ereignisse, Events) von externen Quellen empfangen. Es stehen zwei Eingänge für TTL-Signale zur Verfügung (INT1_IN und INT2_IN). Der Wechsel von HIGH auf LOW löst einen Interrupt aus.

Wenn einer der Eingänge einen Trigger empfängt, wird das Ereignis mit einem eigenen Zeitstempel in der Trackingdatei gespeichert (siehe Abschnitt 10.3.1).

time stamp Trigger INT1_IN detected

time stamp Trigger INT2_IN detected

Darüber hinaus kann die Software die Clock-Pulse der Video-Frames über digitales I/O senden. Hierzu gibt es zwei Ausgänge (OUT1 und OUT2) mit den folgenden Signalen:

OUT1 wird von HIGH auf LOW gesetzt bevor ein Video-Frame von der Software verarbeitet wird. Danach wird der Output wieder auf HIGH gesetzt.

Bei Verwendung der HiSpeed-Kamera wird OUT2 auf LOW gesetzt, wann immer ein Video-Frame angezeigt wird. Danach wird der Ausgang wieder auf HIGH gesetzt. Die Clock dieses Ausganges ist demnach durch den **Teiler für die Livebild-Frequenz** bestimmt, den Sie in der Karteikarte für die Parameter der HiSpeed-Kamera einstellen können.

10.3. Datei-Formate

10.3.1. Trackingdatei (.trk)

Die Trackingdaten werden in einer Datei mit der Erweiterung .trk gespeichert. Diese Datei besteht aus einem Dateikopf, einem Datenbereich und einer Endzeile.

Der Dateikopf beginnt mit dem Schlüsselwort „start“. In ihm werden der erste Zeitstempel und die absolute Anfangsuhrzeit der Messung, die Größe des Präsentationsfensters und die

Entfernung zum Bildschirm gespeichert. Außerdem enthält er eine vierte Zeile mit den Spaltenköpfen für die Daten.

Der Datenbereich besteht aus den folgenden 12 Spalten:

Spalte	Bedeutung
1	Uhrzeit in Millisekunden
2 und 3	Koordinaten des Pupillenschwerpunktes (in Kamerakoordinaten)
4 und 5	Koordinaten des Kornea-Reflexes (in Kamerakoordinaten)
6 und 7	x und y des Differenzvektors zwischen Pupillenschwerpunkt und Cornea-Reflex (in Pixeln)
8 und 9	Koordinaten des sich aus der Kalibration ergebenden Blickpunktes auf dem Display
10-12	Längen der Pupillenachsen (in Pixeln), Winkel zur Horizontalen (rad)

Datensätze / Ereignisse (Events) werden in extra Zeilen mit eigenem Zeitstempel eingetragen.

Die Endzeile besteht aus dem Schlüsselwort „stop“ gefolgt von dem Zeitstempel und der absoluten Uhrzeit zum Ende der Messung.

Wenn die Pupille nicht detektiert wird, erfolgt in der 2. Spalte der Eintrag „no pupil“. Diese Zeilen werden bei der Auswertung ignoriert.

Wenn in keiner Zeile der Spalten 8 und 9 die Koordinaten eines Blickpunktes eingetragen sind, erfolgt eine Fehlermeldung.



Wenn Sie eine hohe zeitliche Genauigkeit anstreben, können Sie aus den Angaben für die Start- und Endzeiten der Messung die Zeiten für die einzelnen Frames kalibrieren. In den Start- und Endzeilen stehen jeweils die Zeitstempel und die absoluten Uhrzeiten. Aus den jeweiligen Differenzen können Sie die Kalibrierung berechnen.

Beispiel:

start timecounter: 879462.0 time: 2017-04-04T12:56:09.274+0200

presentation_size: 1200 900

distance 900

time(ms) sp_pup:x y sp_glint:x y vector:x y gaze:x y pupilsize: 2a 2b angle

```
879481.0 216.5 184.8 207.5 206.6 8.92568 -21.8513 455.653 328.294 70.1 74.2 1.783513
879514.3 216.4 185.1 207.8 207.4 8.61145 -22.2588 453.133 324.755 68.7 73.9 1.431403
879547.7 216.4 185.1 207.3 207.5 9.07348 -22.4279 456.432 323.876 68.0 73.8 1.688932
879581.0 216.5 185.1 207.7 207.2 8.847 -22.0387 454.976 326.733 69.6 74.5 1.989388
879614.4 216.5 184.1 207.8 206.6 8.67271 -22.4823 453.467 323.045 69.4 74.7 2.235635
```

...

```
880581.9 189.0 170.4 192.5 200.7 -3.49796 -30.3127 360.175 247.753 66.8 72.8 1.681531
880615.3 189.6 171.6 192.5 201.3 -2.96342 -29.6987 364.311 253.335 66.2 73.3 1.662327
880648.7 no pupil 195.2 201.6 no vector no gaze no pupil geometry
880682.1 no pupil 214.3 202.1 no vector no gaze no pupil geometry
880715.4 250.0 172.5 221.8 201.1 28.2328 -28.5326 588.983 294.304 68.9 74.5 1.537552
880748.8 250.5 170.9 222.0 200.2 28.4955 -29.2931 590.48 288.297 69.8 74.3 2.136281
```

...

```
895929.3 no pupil 170.8 192.0 no vector no gaze no pupil geometry
```

895962.7 no pupil 170.8 191.7 no vector no gaze no pupil geometry
 895996.1 no pupil 170.7 192.3 no vector no gaze no pupil geometry
 stop timecounter: 896029.4 time: 2017-04-04T12:56:25.845+0200

Wenn Sie über einen Kalibrationstest eine Trackingdatei erzeugen, werden jeder Zeile weitere Spalten mit Angaben zur Genauigkeit hinzugefügt. Sie enthalten die Auswertung der Tests:

Spalte	Bedeutung
13 und 14	„Test“ gefolgt von den eingeblendeten Testkoordinaten (x und y). Die Koordinaten werden als Anzahl der Pixel in der Präsentation angegeben.
15 und 16	„D“ gefolgt von der Abweichung der gemessenen / fixierten Punkten (x und y) von den eingeblendeten Punkten. Die Angabe erfolgt in mm und wird über die Pixelgröße berechnet.
17	„T“ gefolgt von der Winkelabweichung im Bogenmaß



Die Angaben sind nur korrekt, wenn Sie in der Karteikarte **Setup** die **Breite eines Pixels** und den **Monitorabstand** korrekt angegeben haben.

Bei der Funktion **Zufällige Punkte** werden zusätzlich alle 10 Messpunkte die folgenden Mittelwerte aufgezeichnet:

Spalte	Bedeutung
18	„accuracy“ und Mittelwert der Winkelabweichungen
19	„precision“ und RMS-Wert der Winkelabweichungen zweier aufeinanderfolgender Blickpunkte über 10 Messungen

Die Anzahl der Messpunkte kann in der Settings-Datei über den Parameter *number_of_frames_for_averaging_accuracy_and_precision* definiert werden.

Bei der Funktion **Kalibrationstest** wird die Auswertung von „accuracy“ und „precision“ nur am Ende der Messung über alle Messpunkte des Tests bestimmt.

10.3.2. Livebild-Datei (.vid)

Die mit den MRC-Kameras aufgenommenen Videos werden im Dateiformat Y800 (640x480) gespeichert.

10.3.3. Setup-Dateien (.xml)

Wesentliche Parameter der Eye-Tracking-Software werden in der Datei *User\Documents\Eyetracking\Settings\Setup_Global.xml* gespeichert.

In dieser Datei können Sie die Variablen der Matlab-Extensions ändern und festlegen, ob die Kamera im monokularen oder, falls verfügbar, binokularen Modus laufen soll.

Kameraspezifische Parameter werden in der Datei *User\Documents\Eyetracking\Settings\Setup_cameraX.xml* gespeichert.

Beispiel für Variante A: Setup_MRC_CAM_12M_000x.xml

<SetupML>

```
<setup number_of_frames_per_calibration_point="120" number_of_frames_per_blinc="10"
minimum_number_of_pixels_to_the_image_border="30"
minimum_accuracy_of_calibration_pupil_center_based="10" minimum_number_of_pixels_for_the_pupil_size="10"
height_of_calibration_window="900" minimum_accuracy_of_calibration_vector_based="2"
width_of_calibration_window="1200" number_of_frames_for_averaging_accuracy_and_precision="10"
maximum_number_of_pixels_for_the_pupil_size="120" ratio_of_pupil_width_and_height="1.2"
number_of_bytes_per_pixel="4" size_of_a_pixel_in_mm="0.277" size_of_calibration_point="5"
distance_to_the_monitor_in_mm="800" number_of_frames_to_find_a_calibration_point="60"
show_frames="2"/><rueckgabe accuracy="0" accuracy_of_calibration="0" precision_of_calibration="0"
precision="0" status_of_information="0" status_of_test="0" status_of_calibration="0"/><eingabe smooth="1"
draw_pupil_center="1" contrast_between_pupil_iris="1" draw_quality="1"
percentage_of_edgepoints_to_ignore_under="0" number_of_calibration_points="9" detection_method="2"
status_of_video_play="0" number_of_frames_to_smooth_over="1" halfframe="1" draw_window="1"
draw_pupil_width="0" draw_edgepoints="1" tracking_method="1" status_of_video_storage="0"
window_width="250" dark_threshold_of_the_pupil="26" status_of_storage="0" contrast_between_iris_rest="109"
video_speed="10000" percentage_of_edgepoints_to_ignore_above="0" STOP="0" draw_glint_center="1"
draw_eyetracking="1" draw_gaze="0" bright_threshold_of_the_glint="250"/><PupilOffsetMatrix val_0_2="0"
val_1_1="0" val_2_0="0" val_1_2="0" val_2_1="0" val_2_2="0" val_0_0="0" val_0_1="0" val_1_0="0"/>
```

</SetupML>

Beispiel für Variante GigE: Setup_MR_CAM_HS_xxxx.xml

<SetupML>

```
<setup maximum_number_of_pixels_for_the_pupil_size="120" distance_to_the_monitor_in_mm="500"
width_of_calibration_window="1200" number_of_frames_per_calibration_point="199" show_frames="10"
minimum_accuracy_of_calibration_pupil_center_based="10" size_of_calibration_point="5"
minimum_number_of_pixels_to_the_image_border="20" size_of_a_pixel_in_mm="0.295"
minimum_number_of_pixels_for_the_pupil_size="10"
minimum_accuracy_of_calibration_vector_based="2" ratio_of_pupil_width_and_height="1.2"
number_of_frames_to_find_a_calibration_point="100" height_of_calibration_window="900"
number_of_frames_for_averaging_accuracy_and_precision="250" number_of_frames_per_blinc="60"/><rueckgabe
accuracy_of_calibration="0" accuracy="0" status_of_information="0" status_of_test="0" status_of_calibration="0"
precision="0" precision_of_calibration="0"/><eingabe draw_edgepoints="1" detection_method="2"
tracking_method="1" video_speed="10000" status_of_video_storage="0" window_width="273"
status_of_storage="0" bright_threshold_of_the_glint="250" draw_glint_center="1" draw_quality="0"
draw_pupil_center="1" halfframe="0" contrast_between_iris_rest="56" draw_pupil_width="0"
number_of_calibration_points="9" draw_window="1" draw_eyetracking="1" status_of_video_play="0"
dark_threshold_of_the_pupil="25" STOP="0" percentage_of_edgepoints_to_ignore_above="0"
percentage_of_edgepoints_to_ignore_under="0" smooth="1" number_of_frames_to_smooth_over="1"
contrast_between_pupil_iris="1" draw_gaze="1"/><PupilOffsetMatrix val_0_1="-5" val_2_2="-2" val_0_0="-2"
val_2_0="0" val_1_2="-2" val_1_1="0" val_2_1="0" val_0_2="-5" val_1_0="-2"/>
```

</SetupML>

11. Bibliotheken und Lizenzen

Die Software „MRC Eye-Tracking“ verwendet die folgenden Bibliotheken mit spezifischen Lizenzen:

- OpenCV Version 2.4 von <http://opencv.org> mit der 3-clause BSD-Lizenz
- QT 5.7 mit der LGPLv3-Lizenz

Die Information zu den Lizenzen befindet sich in Textdateien auf dem Installationsmedium und wird in der Karteikarte **Hilfe** eingeblendet.

12. Kontakt

MRC Systems GmbH
Hans-Bunte-Straße 10
D-69123 Heidelberg
Deutschland

Telefon: 06221/13803-00
Fax: 06221/13803-01
Website: www.mrc-systems.de
E-mail: info@mrc-systems.de

Die Software „MRC Eye-Tracking“ wird kontinuierlich weiter entwickelt. Änderungen gegenüber der Beschreibung in diesem Handbuch sind möglich.