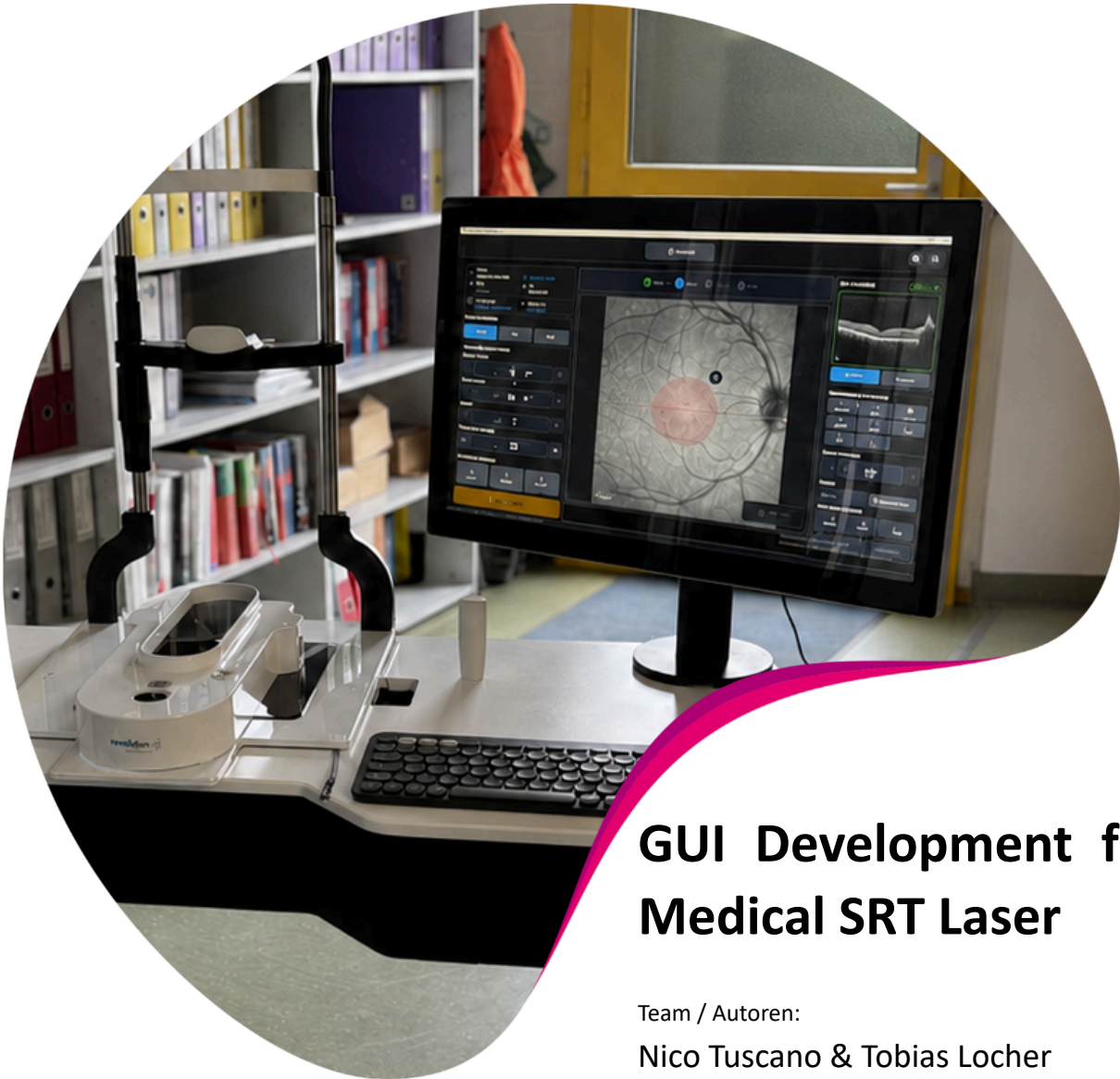




GUI Development for a Medical SRT Laser

Team / Autoren:

Nico Tuscano & Tobias Locher

Projektbetreuung:

Prof. Dr. Frieder Loch

Projektpartner:

Meridian Medical

Datum:

12.06.2026 – FS 2026

Studienarbeit:

OST – Ostschweizer Fachhochschule
Campus Rapperswil-Jona

Studiengang:

Bachelor of Science in Informatik

Abstract

Die Selektive Netzhauttherapie (SRT) stellt einen vielversprechenden Ansatz zur Behandlung retinaler Augenerkrankungen dar und wird insbesondere im Kontext der trockenen Form der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) untersucht. Beim SPECTRALIS CENTAURUS werden Laserbehandlung und OCT-Bildgebung kombiniert, um die Gewebereaktion während der Behandlung zu überwachen und die Dosierung der Laserimpulse zu unterstützen. Für den bestehenden Entwicklungsstand liegt bereits eine Benutzeroberfläche vor, die zentrale Funktionen der Lasersteuerung und Bildgebung abbildet. Im Hinblick auf eine moderne Weiterentwicklung sollte das GUI den klinischen Workflow klarer strukturieren, stärker auf Touch-Interaktion ausgerichtet sein und sicherheitsrelevante Zustände verständlicher darstellen.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein intuitives und sicherheitsbewusstes GUI für das SRT-Lasersystem zu konzipieren, prototypisch umzusetzen und zu evaluieren. Ein Schwerpunkt lag dabei auf einem nutzerzentrierten Designprozess. Dazu wurden der medizinische und technische Kontext, bestehende GUIs, vergleichbare ophthalmologische Systeme sowie relevante medizinische Normen analysiert. Auf dieser Basis wurden Anforderungen und Gestaltungsprinzipien abgeleitet, wobei insbesondere Usability-Heuristiken, sicherheitskritische Designaspekte, Touch-Interaktion und ein konsistentes Farbkonzept berücksichtigt wurden. Der daraus entstandene Figma-Prototyp wurde mit Fachpersonen evaluiert und anschliessend mit C++ und Qt technisch umgesetzt.

Das Ergebnis ist ein funktionsfähiger GUI-Prototyp, der den Behandlungsprozess klarer strukturiert und die zentrale Bilddarstellung stärker in den Mittelpunkt stellt. Besonders relevant sind der geführte Behandlungsworkflow, die intuitive Planung von Laser-Patterns sowie eine separate Bildgebungsansicht. Durch die stärkere visuelle Hierarchie, redundante Statuskommunikation, konsistente Farblogik und touch-optimierte Bedienung wird die Benutzerführung verbessert. Die Tests bestätigten die grundsätzliche Verständlichkeit des Workflows und die technische Anschlussfähigkeit an den Laser-Prototypen. Damit bildet die Arbeit eine belastbare Grundlage für die Weiterentwicklung des GUIs und dessen spätere Integration in das Gesamtsystem.

Management Summary

Die altersbedingte Makuladegeneration (AMD) ist eine im Alter häufig auftretende Netzhauterkrankung. Sie beeinträchtigt vor allem die zentrale Sehfähigkeit (siehe [Abbildung 1](#)) und gilt als eine der Hauptursachen für Blindheit. Weltweit sind rund 200 Millionen Menschen betroffen. ([World Health Organization, 2019](#))



Abbildung 1: Sicht ohne (links) und mit (rechts) AMD ([NY Eye Doctors, 2026](#))

Für die trockene Form der AMD stehen aktuell nur begrenzte Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung. Mit dem neuen SRT-Lasersystem soll deshalb ein neuartiger Behandlungsansatz für solche Erkrankungen der Netzhaut untersucht werden. Die Selektive Netzhauttherapie (SRT) ist eine Lasertherapie, bei der gezielt einzelne Zellschichten der Netzhaut behandelt werden sollen, ohne umliegendes Gewebe unnötig zu schädigen.

Beim Prototypen SPECTRALIS CENTAURUS wird diese Laserbehandlung mit einem bildgebenden Verfahren, der optischen Kohärenztomographie (OCT), kombiniert. OCT kann vereinfacht als Querschnittsscan der Netzhaut verstanden werden (siehe [Abbildung 2](#) rechts) und ermöglicht es, die Gewebereaktion während der Behandlung sichtbar zu machen. Zusammen mit einer neu entwickelten Laser-Dosiskontrolle entsteht dadurch ein Ansatz, bei dem die Laserenergie besser an die jeweilige Reaktion des Gewebes angepasst werden kann.

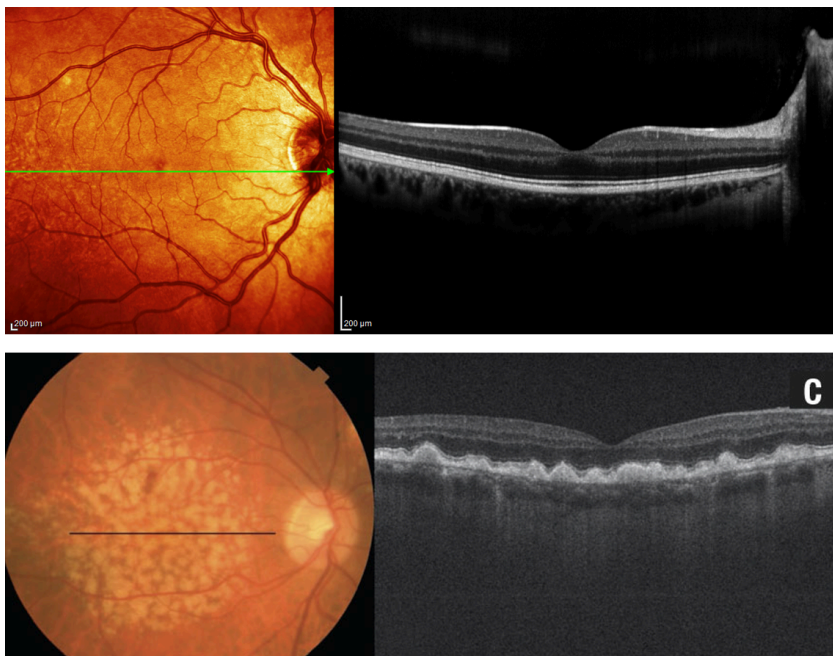


Abbildung 2: Augenscans gesundes Auge (oben) und Auge mit AMD (unten) ([Retina Specialist, 2020](#))

Für ein solches System ist die grafische Benutzeroberfläche (GUI) ein zentraler Bestandteil. Sie muss medizinische Bilddaten, Behandlungsplanung, Laserstatus und sicherheitsrelevante Informationen verständlich zusammenführen. Gerade bei einem medizinischen Lasersystem muss die Bedienung klar, nachvollziehbar und fehlertolerant sein.

Das bisherige GUI des SPECTRALIS CENTAURUS stellt bereits wichtige Funktionen für Lasersteuerung, Bildgebung und Behandlungsplanung bereit. Es ist jedoch stark technisch geprägt, zeigt viele Informationen gleichzeitig und ist nur bedingt auf eine zukünftige Touch-Bedienung ausgelegt. Dadurch wird die Orientierung erschwert, insbesondere beim Wechsel zwischen Bildanalyse, Pattern-Planung, Laserparametern und Systemzuständen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es deshalb, ein modernes, intuitives und sicherheitsbewusstes GUI für das SRT-Lasersystem zu konzipieren, prototypisch umzusetzen und zu evaluieren. Es soll keine vollständig zertifizierte Produktversion entstehen, sondern eine belastbare Grundlage für die weitere Entwicklung des Systems. Im Fokus stehen eine bessere visuelle Struktur, verständlichere Statuskommunikation, Touch-Bedienung, eine klarere Trennung zwischen Behandlung und Bildgebung sowie eine intuitive Planung der Behandlungspunkte im Augenbild.

Zu Beginn wurden der medizinische und technische Kontext, das bestehende GUI, vergleichbare ophthalmologische Systeme sowie relevante Normen analysiert. Daraus wurden Anforderungen und Gestaltungsprinzipien für das neue GUI abgeleitet. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf Gestaltungsregeln für sicherheitskritische medizinische Systeme, unter anderem Sichtbarkeit des Systemzustands, Fehlervermeidung, Konsistenz, reduzierte Informationsdichte und klare Rückmeldungen.

Auf dieser Grundlage wurde ein Figma-Prototyp erarbeitet, um Layout, Bedienlogik, Farbkonzept und zentrale Interaktionen früh sichtbar zu machen. Der Prototyp wurde mit Fachpersonen evaluiert und anschliessend überarbeitet. Die Erkenntnisse daraus flossen direkt in die technische Umsetzung ein.

Diese erfolgte nach einer Technologieanalyse in der bestehenden C++- und Qt-Umgebung des Systems. Dabei wurden moderne Oberflächenkomponenten eingesetzt, um flexible und touch-orientierte Bedienkonzepte umzusetzen. Auf dieser Basis wurde ein funktionsfähiger GUI-Prototyp umgesetzt, der neue Bedienkonzepte zeigt und in die bestehende Systemumgebung integriert werden kann.

Ein zentrales Ergebnis ist die neue Treatment View (siehe [Abbildung 3](#)). Sie bündelt die wichtigsten Funktionen für die Behandlung in einer klarer strukturierten Oberfläche. Die Bilddarstellung steht stärker im Mittelpunkt, da sie für die Platzierung und Kontrolle der Laserbehandlung entscheidend ist. Behandlungsparameter, Laserstatus und Bedienaktionen werden darum herum angeordnet, sodass wichtige Informationen schneller erfassbar sind.

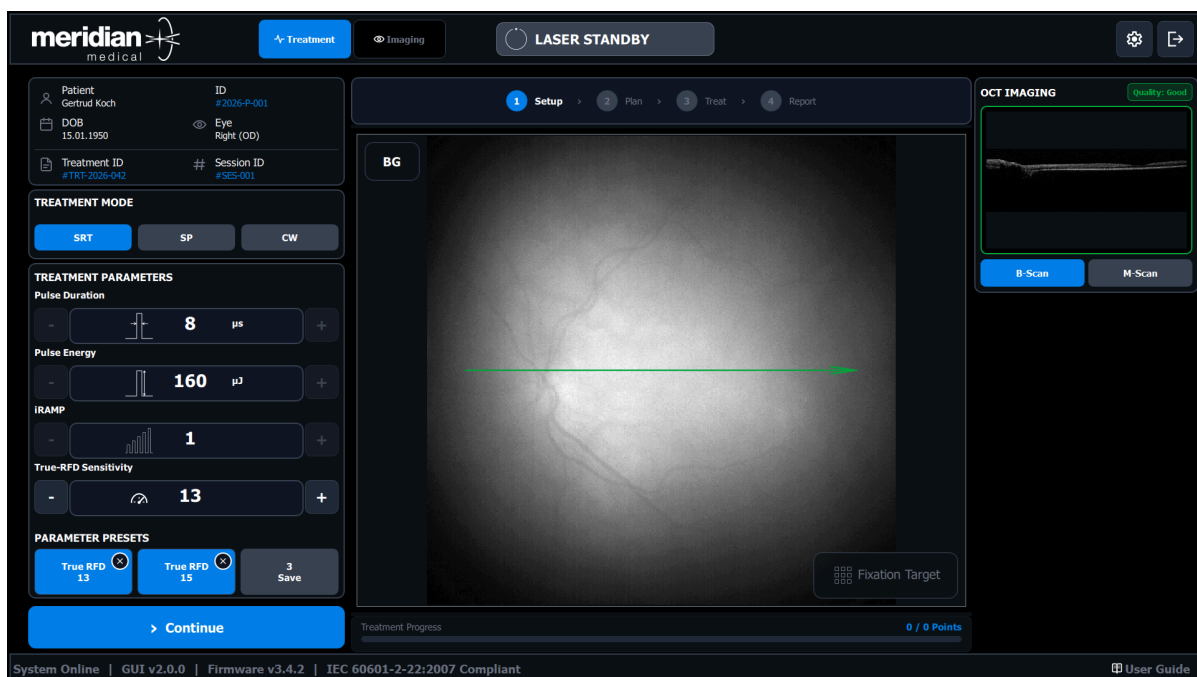


Abbildung 3: Treatment View

Für die Behandlungsplanung wurden verschiedene Behandlungsmuster umgesetzt (siehe [Abbildung 4](#)). Benutzer und Benutzerinnen können diese im Bildbereich platzieren, bearbeiten und kontrollieren. Dazu gehören frei platzierbare Behandlungspunkte, Linien-, Kreis- und Raster-Patterns sowie Sperrflächen. Solche Sperrflächen markieren Bereiche, die nicht behandelt werden sollen, und verknüpfen die Planung direkter mit dem medizinischen Bild.



Abbildung 4: Beispiel Pattern-Planung und Sperrflächen

Neben der Treatment View wurde eine separate Imaging View umgesetzt (siehe [Abbildung 5](#)). Diese Ansicht fokussiert auf die Bildgebung und stellt die aufgenommenen Augenbilder übersichtlicher dar. Damit werden Bildanalyse und Behandlung stärker voneinander getrennt, wodurch die Treatment View entlastet wird.

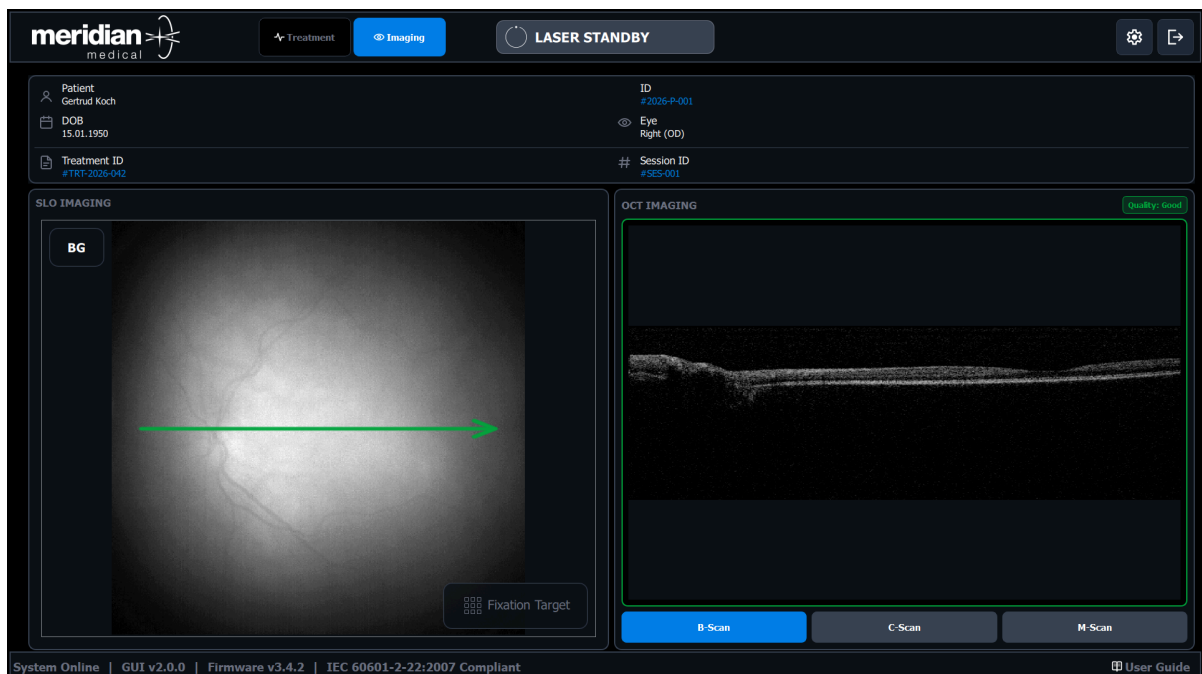


Abbildung 5: Imaging View

Zusätzlich wurden weitere Bereiche des GUIs prototypisch umgesetzt. Dazu gehören Einstellungen, ein Expertenmodus, ein Servicemodus sowie ein vertikaler Modus.

Der vertikale Modus (siehe [Abbildung 6](#)) wurde gegen Ende der Implementierung ergänzt, da sich im Projektverlauf zeigte, dass eine vertikale Bildschirmorientierung für die Bedienung des Lasers vorteilhaft sein kann. Expert Mode und Service Mode bilden Funktionen für Entwicklung, Wartung und erweiterte Bedienung ab.

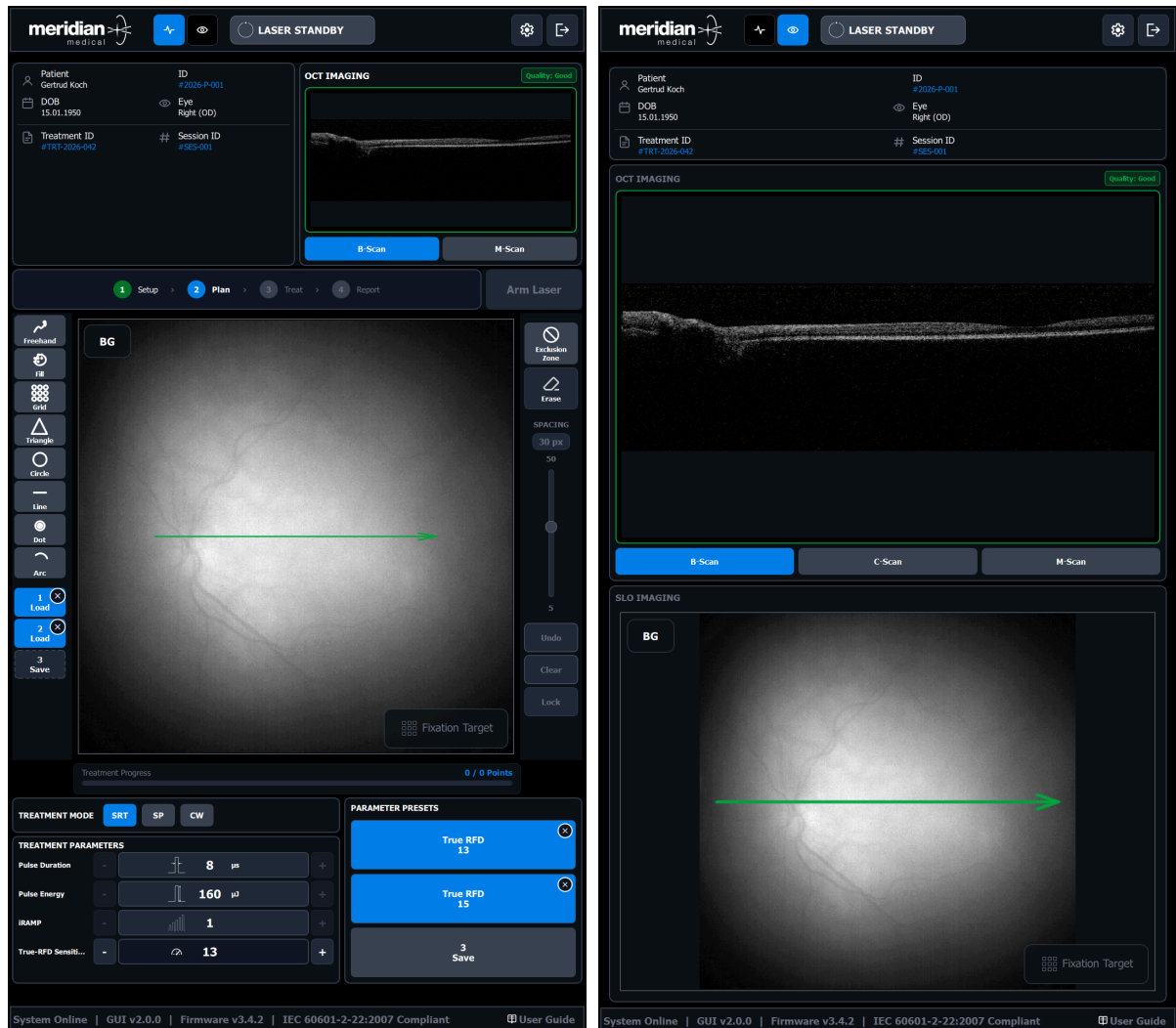


Abbildung 6: Vertikaler Modus Treatment View und Imaging View

Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist die verbesserte Statuskommunikation. Laserzustände, Behandlungsfortschritt und sicherheitsrelevante Aktionen werden deutlicher dargestellt. Dafür werden Farbe, Text, Symbolik und klare Zustandsanzeigen kombiniert, damit wichtige Informationen auch unter schwierigen Bedingungen verständlich bleiben.

Die Evaluation zeigte, dass der neue Aufbau grundsätzlich verständlich ist und die stärkere visuelle Führung positiv wahrgenommen wird. Besonders die zentrale Bildarstellung, die klarere Gliederung und die touch-orientierten Bedienelemente unterstützen die Bedienbarkeit. Gleichzeitig wurden weitere Verbesserungsmöglichkeiten sichtbar, etwa bei Kontrasten, der Erkennbarkeit einzelner Buttons und bestimmten Interaktionsdetails.

Das Ergebnis der Arbeit ist ein funktionsfähiger GUI-Prototyp, der den bestehenden Entwicklungsstand des SRT-Lasersystems moderner, strukturierter und benutzerfreundlicher aufbereitet. Er zeigt, wie medizinische Bildgebung, Lasersteuerung, Pattern-Planung und sicherheitsrelevante Informationen in einer gemeinsamen Oberfläche verständlich zusammengeführt werden können. Zudem hat bereits eine erste Integration am Laser-Prototypen stattgefunden, wodurch die technische Anschlussfähigkeit des entwickelten GUIs bestätigt werden konnte. Damit bildet die Arbeit eine fundierte Grundlage für die weitere Entwicklung des SPECTRALIS CENTAURUS.

Für die zukünftige Weiterentwicklung sollten die identifizierten Schwachstellen verbessert, zusätzliche Tests mit medizinischem Fachpersonal durchgeführt und die technische Integration mit dem Laser-Prototypen vertieft werden. Darüber hinaus bleiben mehrere Funktionen offen, die aus zeitlichen Gründen nicht mehr umgesetzt werden konnten. Dazu gehören insbesondere die automatische Entfernung von Behandlungspunkten auf Blutgefäßen, eine Redo-Funktion zum Wiederherstellen rückgängig gemachter Aktionen sowie die direkte Anzeige von Fehlermeldungen im GUI. Langfristig kann das entwickelte GUI dazu beitragen, die Bedienung des SRT-Lasersystems sicherer, verständlicher und effizienter zu gestalten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Abgrenzung	1
1.3	Organisatorische Rahmenbedingungen	1
2	Analyse der Ausgangslage	2
2.1	Medizinischer Kontext	2
2.2	Spectralis Centaurus	3
2.3	Aktuelles GUI	4
2.4	Andere Lösungen	10
2.5	Symbolik und Normen	15
3	Anforderungsanalyse	18
3.1	Anforderungserhebung	18
3.2	Use Specification	19
3.3	Functional Requirements	24
3.4	Non-Functional Requirements	42
4	Design & Prototyping	47
4.1	Designkonzept	47
4.2	Farbpalette	55
4.3	Figma Prototyp	58
4.4	Finaler Prototyp	62
4.5	Usability-Tests	66
4.6	Ergebnisse und Schwachstellen	68
5	Architektur	70
5.1	Technologieanalyse	70
5.2	Technologien	77
5.3	Softwarearchitektur	78
6	Implementation	84
6.1	Treatment View	84
6.2	Imaging View	108
6.3	User Guide	109
6.4	Settings, Expert Mode und Service Mode	110
6.5	Vertikaler Modus	112
6.6	Zusammenfassung	113
7	Qualitätsmassnahmen	114
7.1	Testkonzept	114
7.2	Automatisierte Testprotokolle	116
7.3	Acceptance Tests Functional Requirements	116
7.4	Integration Tests Laser & Screen at BFH	119
7.5	Abschliessende Usability-Tests und Akzeptanzbewertung	121
8	Fazit	123
8.1	Reflexion	123
8.2	Zukünftige Weiterentwicklung	123
8.3	Ausblick	125
	Danksagung	126
	Bibliographie	127
	Abbildungsverzeichnis	129
	Tabellenverzeichnis	131
	Glossar	134
	Hilfsmittelverzeichnis	137
	Anhang	138

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Die detaillierte Aufgabenstellung ist im [Anhang A](#) zu finden. Sie ist bewusst offen gehalten, sodass der Fokus verschieden gesetzt werden kann.

Ein Fokus unserer Arbeit soll klar der Design-Prozess von der Analyse bisheriger Lösungen, dem Sammeln von Anforderungen bis hin zum Umsetzen und Testen eines Designprototyps sein. Dabei ist auch das Einarbeiten in die spezifischen Anforderungen von medizinischen Anwendungen ein wichtiges Thema. In einer zweiten Phase soll der Prototyp aber auch technisch umgesetzt und getestet werden.

1.2 Abgrenzung

Aufgrund der begrenzten Zeit und da sich auch der medizinische Laser noch in einer frühen Phase des Testens befindet, ist noch kein vollumfänglich fertiges GUI das Ziel. Vielmehr soll das entwickelte GUI als Grundlage für die Weiterentwicklung und für Diskussionen dienen. Ein Ziel ist ein erster Test am bestehenden Laser-Prototypen. Eine vollumfängliche Integration ist nicht das Ziel, da gewisse gewünschte GUI-Funktionen am Laser aktuell technisch noch nicht implementiert oder noch nicht möglich sind.

1.3 Organisatorische Rahmenbedingungen

Dieses Projekt wird im Rahmen einer Bachelorarbeit im Studiengang Informatik an der Ostschweizer Fachhochschule (OST) durchgeführt. Jedes Teammitglied erhält dafür 12 ECTS-Punkte, was einem Arbeitsaufwand von ca. 360 Stunden entspricht. Bei zwei Studierenden ergibt sich somit ein Gesamtarbeitsaufwand von 720 Stunden. Verteilt auf 17 Wochen Projektzeit entspricht dies einem durchschnittlichen Arbeitsaufwand von ca. 22 Stunden pro Person und Woche.

2 Analyse der Ausgangslage

Dieses Kapitel schafft die fachliche, technische und regulatorische Grundlage für die Entwicklung des neuen GUIs. Dazu werden der medizinische Kontext, das bestehende System, vergleichbare Lösungen sowie relevante Normen analysiert.

2.1 Medizinischer Kontext

Laserbehandlungen am Auge sind seit vielen Jahrzehnten im Einsatz. Mit der Selektiven Netzhauttherapie (SRT) wurde eine neue, schonende Laserbehandlung für verschiedene Erkrankungen des Augenhintergrunds etabliert. Ziel ist es, durch gezielte Zerstörung geschädigter Zellen des retinalen Pigmentepithels (RPE) mittels kurzer Energieimpulse eine Regeneration anzuregen. Das RPE ist eine einschichtige Lage aus pigmentierten Zellen und bildet die äusserste Zellschicht der Netzhaut (Strauss, 2011). Die betroffenen Zellen erneuern sich, wodurch eine funktionelle „Verjüngung“ der Netzhaut erreicht werden soll. (Berner Fachhochschule, 2024)

SRT wird als potenzieller Behandlungsansatz für die trockene Form der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) untersucht (Berner Fachhochschule, 2024). AMD gilt als eine der Hauptursachen für Blindheit und betrifft rund 200 Millionen Menschen weltweit (World Health Organization, 2019). Für diese Erkrankung existieren aktuell nur begrenzte etablierte Behandlungsmöglichkeiten, was die Relevanz dieses Ansatzes unterstreicht (Berner Fachhochschule, 2024).

Die zentrale Herausforderung besteht darin, dass kein Auge dem anderen gleicht. Die optischen Eigenschaften, insbesondere die Lasertransmission durch das Auge sowie die Pigmentierung der Netzhaut, unterscheiden sich von Person zu Person und können auch lokal innerhalb der Netzhaut variieren. Das bedeutet: Für jeden einzelnen Laserimpuls muss die optimale Energie bestimmt werden. Sie muss hoch genug sein, um die RPE-Zelle gezielt zu zerstören, gleichzeitig aber niedrig genug, um umliegendes Gewebe nicht zu schädigen. (Berner Fachhochschule, 2024)

Eine Schlüsseltechnologie zur Lösung dieses Problems ist die optische Kohärenztomographie (OCT). Dabei handelt es sich um ein bildgebendes Verfahren, das hochauflösende Querschnittsbilder der Netzhaut liefert (Christopher S. Langlo, 2025). Im vorliegenden System wird OCT nicht nur zur Diagnostik eingesetzt, sondern auch zur Überwachung der Gewebereaktion während der Behandlung. Diese Rückmeldung bildet die Grundlage für die automatische Laser-Dosiskontrolle. (Berner Fachhochschule, 2024)

Am Human Centered Engineering Labor für Optik (HuCE-optoLab) der Berner Fachhochschule wurde eine solche Laser-Dosiskontrolle entwickelt. Gemeinsam mit den Firmen Heidelberg Engineering und Meridian Medical wurde diese in das Gerät SPECTRALIS CENTAURUS integriert. (Berner Fachhochschule, 2024)

2.2 Spectralis Centaurus

Der SPECTRALIS CENTAURUS ist der aktuelle Laser-Prototyp, welcher in einer Patientenstudie im Einsatz ist. Die wichtigsten Komponenten des Lasers sind in [Abbildung 7](#) gekennzeichnet.

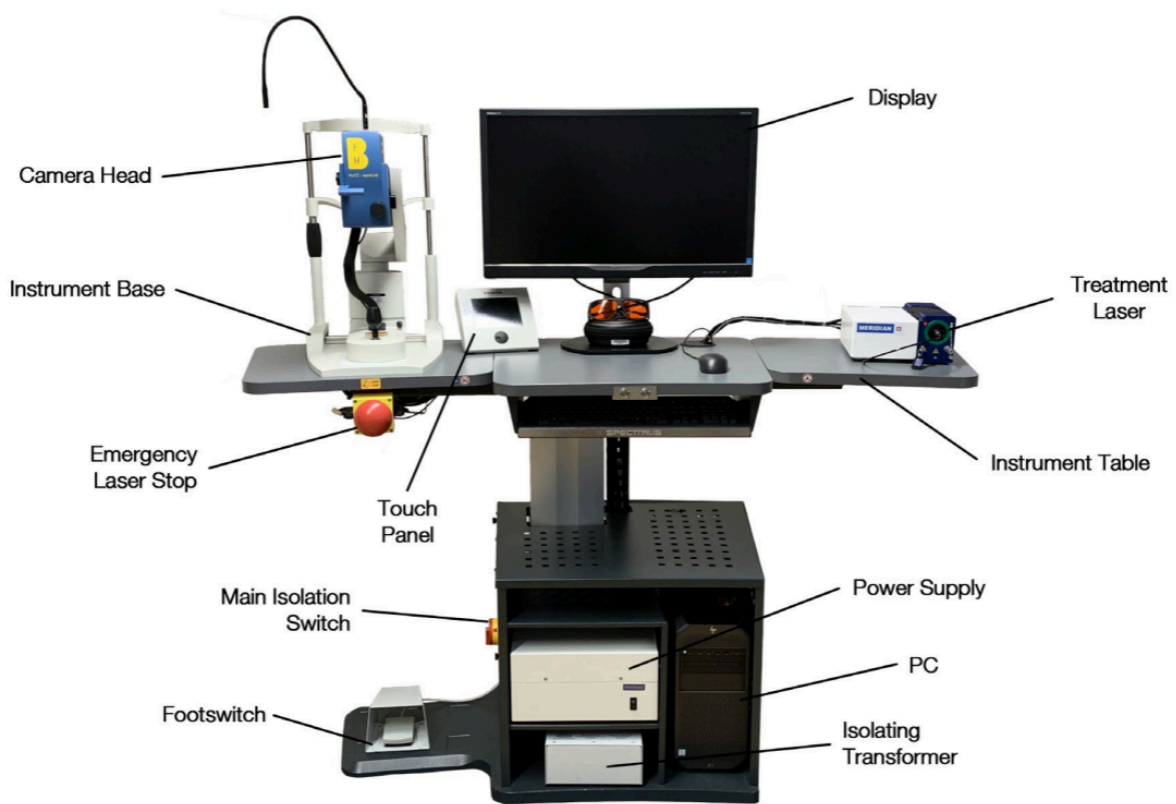


Abbildung 7: Das SPECTRALIS CENTAURUS Laser System ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023](#))

Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass das Aussehen des SPECTRALIS CENTAURUS noch nicht final ist und sich im Rahmen der Entwicklung verändern kann. In dieser Bachelorarbeit fokussieren wir uns auf den aktuellen Stand des Geräts. Bereits bekannte zukünftige Veränderungen am Gerät, die relevant für die grafische Benutzeroberfläche sind, werden explizit erwähnt.

Die nachfolgende Beschreibung der Hardware-Komponenten basiert auf dem User Manual des SPECTRALIS CENTAURUS ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023](#)). Beschrieben werden ausschliesslich jene Komponenten, die für die Entwicklung und Konzeption des GUIs unmittelbar relevant sind:

Camera Head (Kamerakopf)

- Beinhaltet die Bildgebungseinheit (OCT) sowie die optische Führung des Behandlungslasers.
- Das Kamerabild ist der zentrale Punkt des GUIs, um die Laserimpulse gezielt an die richtige Position steuern zu können.

Emergency Laser Stop (Not-Aus Laser)

- Physischer Not-Aus-Schalter zur sofortigen Unterbrechung des Lasers.
- Laserstatus muss im GUI korrekt verändert werden, wenn der Not-Aus-Schalter gedrückt wird.

Touch Panel und Footswitch (Fusschalter)

- Dienen als physische Steuerungselemente für den Laser.
- Beide Komponente sollen in Zukunft mit einem Joystick ersetzt werden, der das Steuern und Abfeuern des Lasers übernimmt.
- Das Abfeuern des Lasers darf nur möglich sein, wenn der Laser im GUI als „Bereit“ dargestellt wird. Die Kopplung zwischen GUI, Laser und Joystick muss also einheitlich und gewährleistet sein.

Display

- Anzeigegerät für die grafische Benutzeroberfläche.
- Soll in Zukunft durch einen Touchscreen-Display ersetzt werden.
- Das neue GUI soll also primär auf eine Touch-Bedienung ausgelegt sein.

2.3 Aktuelles GUI

In diesem Kapitel wird die CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE (CTS), das aktuelle GUI des SPECTRALIS CENTAURUS, beschrieben. Dabei wird zunächst die aktuell in der Patientenstudie eingesetzte Version des GUIs betrachtet und anschließend analysiert.

Diese Version enthält teilweise Funktionen, die spezifisch für die Studie entwickelt wurden (z.B. Test-Pattern) und in zukünftigen Versionen nicht mehr vorgesehen sind. Dennoch bietet sie einen wertvollen Einblick in die grundlegenden Funktionen und Designüberlegungen, insbesondere durch das zugehörige User Manual.

In einem späteren Kapitel wird auf die Weiterentwicklung und den aktuellen Stand des GUIs eingegangen.

2.3.1 Studien-GUI

Die in der Patientenstudie am Inselspital Bern eingesetzte Version der CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE wurde zu Beginn des Projekts als Referenz analysiert. Sie enthält teilweise studienspezifische Funktionen, bot jedoch einen wichtigen Einblick in die grundlegende Struktur, die Behandlungsabläufe und die sicherheitsrelevanten Zustände des bestehenden Systems. Eine ausführliche Beschreibung des Studien-GUI auf Basis des User Manuals (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023) befindet sich im Anhang C.

Zur Einordnung sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 die Gesamtstruktur des Studien-GUI sowie der eigentliche SRT-Behandlungsmodus dargestellt. Die Screenshots zeigen insbesondere die Trennung zwischen HEYEX (links) und CTS (rechts) sowie die für die Behandlung relevanten Steuer- und Statusbereiche.

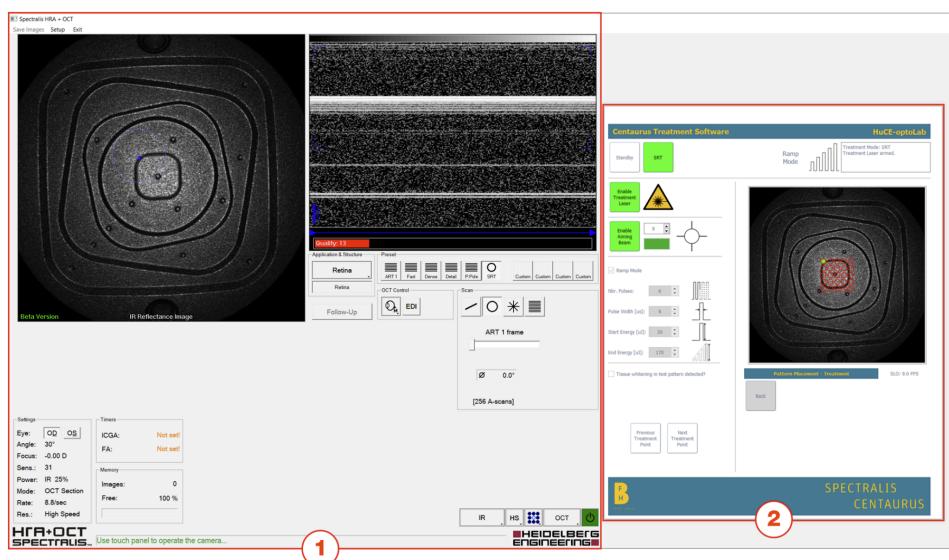


Abbildung 8: Gesamtstruktur des Studien-GUI mit HEYEX und CTS (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 49)

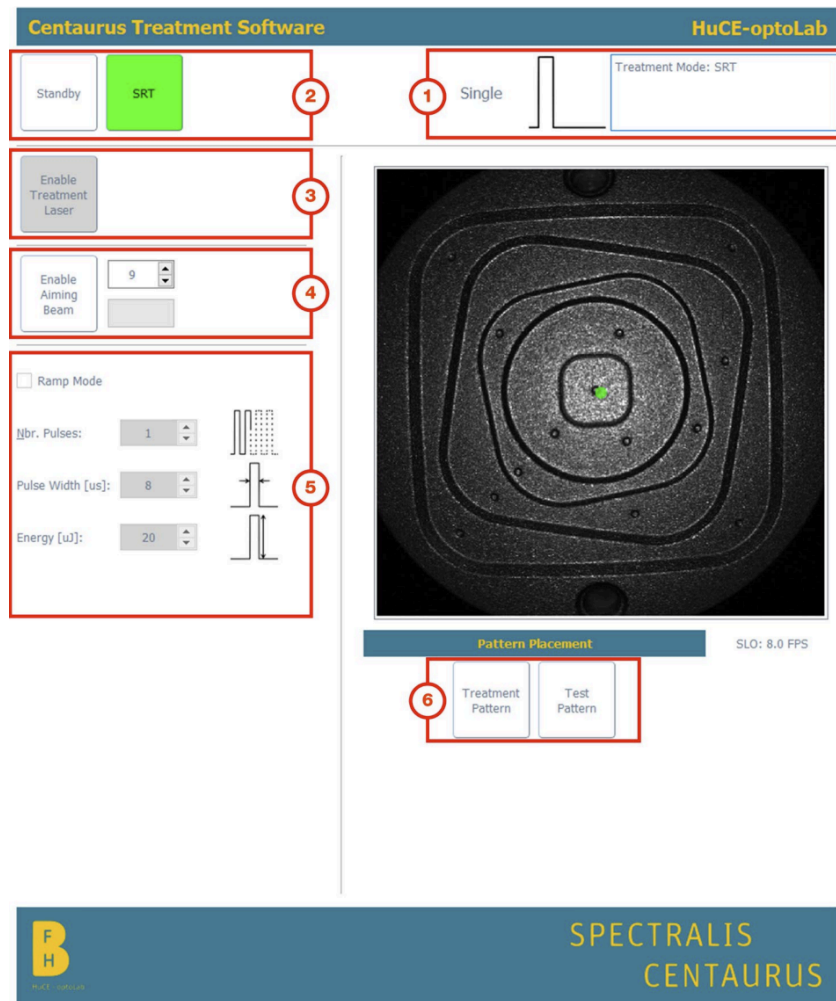


Abbildung 9: SRT-Mode des Studien-GUI (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 54)

Ergänzend zu den Screenshots zeigt das Ablaufdiagramm in Abbildung 10 den typischen Behandlungsablauf im Studien-GUI.

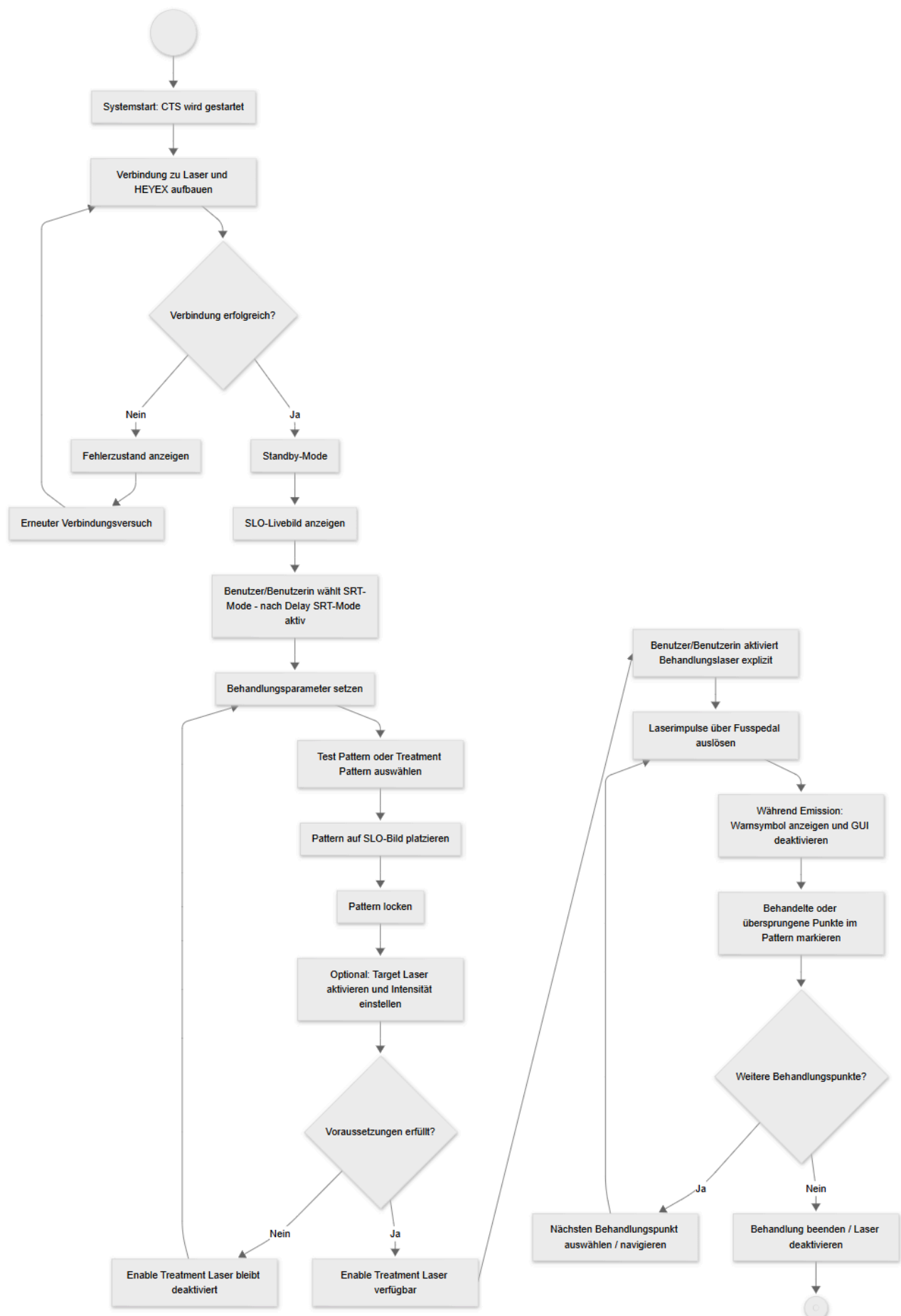


Abbildung 10: Ablaufdiagramm Studien-GUI

Zusammenfassende Analyse des bestehenden GUI

Die folgende Einschätzung basiert auf dem User Manual, den betrachteten Screenshots und dem daraus abgeleiteten Behandlungsablauf. Sie ist als vorläufige, heuristisch orientierte Experteneinschätzung zu verstehen und dient als Grundlage für die spätere Konzeption des neuen GUI. Die dabei relevanten Usability-Heuristiken werden im späteren Kapitel zu den Usability-Heuristiken detaillierter beschrieben.

Workflow und Systemstruktur

Das bestehende Studien-GUI ist funktional in Standby- und SRT-Mode getrennt. Dadurch sind sicherheitskritische Funktionen nicht in jedem Zustand verfügbar, was grundsätzlich zur Fehlervermeidung beiträgt. Gleichzeitig ist der Behandlungsworkflow auf zwei getrennte Oberflächen verteilt: HEYEX stellt Bildgebung, Scan-Konfiguration und Teile der Gerätebedienung bereit, während CTS die Lasersteuerung und Pattern-Platzierung übernimmt. Diese Trennung erzeugt einen Medienbruch, weil Benutzer und Benutzerinnen während der Vorbereitung und Durchführung der Behandlung zwischen zwei Systemen und Bedienlogiken wechseln müssen. Aus Sicht der später beschriebenen Heuristiken betrifft dies insbesondere die Prinzipien Consistency and Standards sowie Recognition rather than Recall, da relevante Informationen und Einstellungen nicht an einer gemeinsamen Stelle sichtbar sind.

Status- und Sicherheitskommunikation

Positiv ist, dass System State und System Message sichtbar sind und der Laser erst nach einer expliziten Freigabe über **Enable Treatment Laser** aktiviert werden kann. Während der Laseremission wird das GUI deaktiviert und ein Warnsymbol angezeigt. Diese Mechanismen unterstützen eine bewusste Freigabe sicherheitskritischer Aktionen.

Problematisch ist jedoch, dass wichtige Zustände teilweise stark über Farbe kommuniziert werden, beispielsweise bei der grünen Hervorhebung des aktivierten Behandlungslasers. Für ein sicherheitskritisches GUI sollte der aktuelle Zustand daher redundant dargestellt werden, zum Beispiel über Text, Symbolik und Farbe. Zusätzlich verändert sich die Bedeutung der Statusanzeige oben rechts im Verlauf der Bedienung: Während beim Systemstart der übergeordnete Systemzustand wie *Standby* oder *System ready* klar im Vordergrund steht, wird im SRT-Mode stärker der Behandlungsmodus beziehungsweise der aktuelle Behandlungskontext angezeigt. Zusammen mit den gleichzeitig sichtbaren Behandlungsparametern, der Pattern-Steuerung und der Laserfreigabe ist dadurch weniger schnell erkennbar, welcher übergeordnete Betriebszustand gerade gilt. Dies ist sowohl im Sinne von Visibility of System Status als auch mit Blick auf IEC 60601-2-22 und IEC 62366-1 relevant.

Pattern- und Parameterinteraktion

Die Pattern-Auswahl ist funktional vorhanden, unterstützt die Orientierung aber nur begrenzt. Beim Wechsel zwischen Test Pattern, Treatment Pattern, Single und Double Pattern ist der aktuelle Auswahlzustand nach der Auswahl nicht mehr durchgehend sichtbar. Benutzer und Benutzerinnen müssen dadurch stärker rekonstruieren, welches Pattern aktuell aktiv ist und wie sie zur Auswahl zurückkehren können. Dies betrifft insbesondere Recognition rather than Recall sowie Consistency and Standards, da Auswahlzustände und zusammengehörende Interaktionen klar sichtbar und konsistent nachvollziehbar bleiben sollten.

Auch die Eingabe der Laserparameter ist für ein zukünftiges Touchscreen-Interface ungünstig, da die Bedienelemente klein, dicht angeordnet und primär auf Mausinteraktion ausgelegt sind. Für eine Touch-Bedienung wären grössere Zielflächen, klarere Gruppierungen und direktere Eingabemöglichkeiten wie Slider oder Stepper geeigneter.

Fehlervermeidung

Das bestehende GUI enthält bereits mehrere sicherheitsrelevante Schutzmechanismen. Der Behandlungslaser kann nur aktiviert werden, wenn ein Pattern ausgewählt ist, noch Behandlungspunkte verfügbar sind und die SRT-Voreinstellung in HEYEX aktiv ist. Bei Verbindungsproblemen wechselt das System in einen Fehlerzustand und versucht, die Verbindung wiederherzustellen. Diese Mechanismen entsprechen dem Prinzip Error Prevention. Für das Redesign ergibt sich daraus, dass solche Sperr- und Prüfmechanismen beibehalten, aber verständlicher und stärker in den sichtbaren Workflow eingebettet werden sollten.

Ableitung für das Redesign

Aus dieser heuristisch orientierten Betrachtung ergeben sich folgende zentrale Anforderungen für das neue GUI:

- Integration der HEYEX Funktionen in ein einheitliches Interface
- Reduktion der kognitiven Belastung durch klarere Hierarchie
- Multimodale und redundante Zustandskommunikation
- Intuitiveres Pattern-Handling
- Touch-optimiertes Interaction Design (grosszügige Touch-Flächen, reduzierte Komplexität)
- Persistente Status-, Modus- und Pattern-Anzeige

2.3.2 aktueller Stand

In diesem Kapitel wird der aktuelle Entwicklungsstand der CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE beschrieben, der eine Weiterentwicklung der in der Patientenstudie eingesetzten Version darstellt. Es wurde an der Berner Fachhochschule (BFH) entwickelt und ist aktuell an einem Prototypen im Einsatz. Im Unterschied zum Studien-GUI wird dieser Stand noch nicht im klinischen Alltag durch Ärzte und Ärztinnen getestet, sondern dient primär der technischen Weiterentwicklung und Erprobung des Systems. Dies ist bei der Einordnung wichtig, da der Fokus stärker auf Funktionsumfang, Schnittstellen und Entwicklungsmöglichkeiten liegt als auf einer bereits für den klinischen Routineeinsatz optimierten Bedienoberfläche. Der Source Code des GUIs sowie die Schnittstellen zur Laserhardware stehen uns zur Verfügung, jedoch ohne die implementierte Businesslogik.

Im Folgenden wird dieser aktuelle Entwicklungsstand ergänzend zum Studien-GUI eingeordnet. Dieses ist in [Abbildung 11](#) zu sehen.

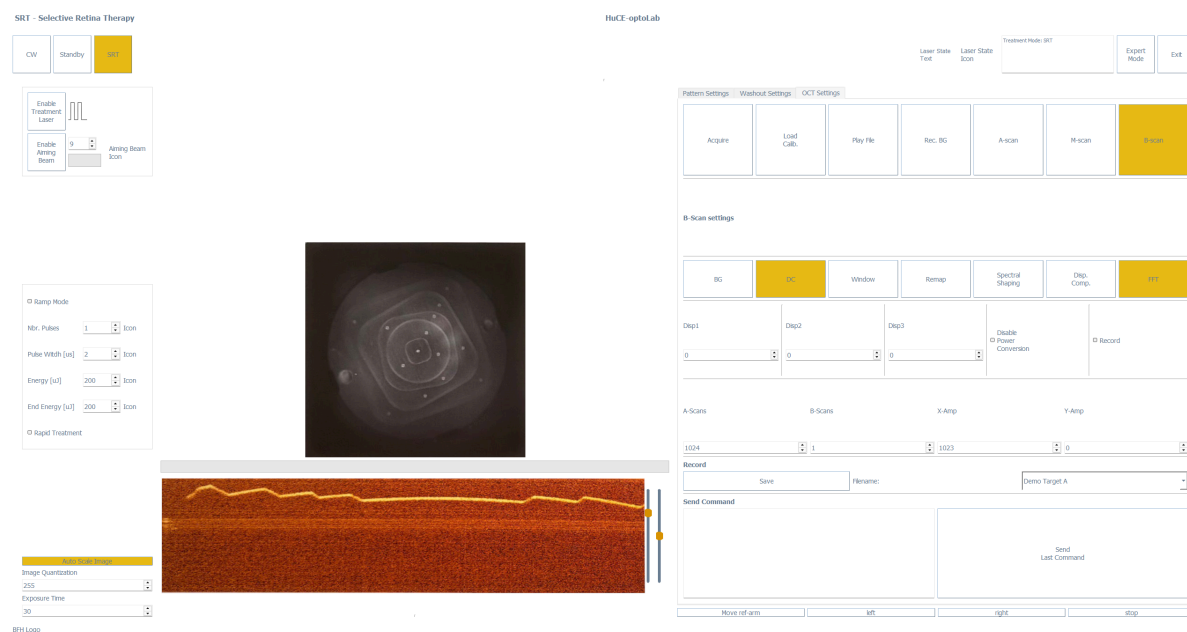


Abbildung 11: Aktuelles CTS GUI der BFH

Behandlungsmodi

Neben strukturellen Änderungen zeigt sich im aktuellen GUI auch eine Erweiterung des Funktionsumfangs. Insbesondere wurden zusätzliche Behandlungsmodi integriert. Hinzu kam hier bereits der Continuous Wave (CW) Modus. Ebenfalls wird später noch der Short Pulse (SP) Modus hinzukommen.

Hier werden die verschiedenen Modi kurz beschrieben, die genauen technischen Details sind aber für unsere Arbeit nicht von Relevanz.

Mode	Beschreibung
SRT (Selective Retina Therapy)	Ein spezieller Behandlungsmodus mit sehr kurzen Laserimpulsen zur selektiven Behandlung des retinalen Pigmentepithels. Ziel ist es, umliegende Netzhautstrukturen möglichst zu schonen.
CW (Continuous Wave)	Der Laser emittiert über eine definierte Dauer kontinuierlich. Dieser Modus entspricht der klassischen kontinuierlichen Laserabgabe mit stärkerer thermischer Wirkung auf das Gewebe.
SP (Short Pulse)	Der Laser arbeitet mit kurzen Mikrosekunden-Impulsen beziehungsweise kurzen Bursts mit Intervallen. Dadurch soll das Gewebe schonender behandelt werden als im Continuous Wave Modus.

Tabelle 1: Kurzer Überblick über die drei Treatment Modes

Erste Einordnung

Im Vergleich zum Studien-GUI zeigt sich, dass gewisse funktionale Aspekte bereits weiterentwickelt wurden. Insbesondere wurde die OCT-Bildgebung direkt in das Interface integriert, wodurch der zuvor identifizierte Medienbruch zwischen CTS und HEYEX teilweise aufgehoben wird.

Gleichzeitig bleiben mehrere Bedienbereiche sehr dicht aufgebaut. Viele Parameter, Scan-Einstellungen und Steuerfunktionen sind gleichzeitig sichtbar und visuell ähnlich stark gewichtet. Zusätzlich sind die Parameter auf mehrere Tabs verteilt, wodurch nicht alle relevanten Einstellungen gleichzeitig im direkten Sichtfeld liegen. Benutzer müssen dadurch teilweise zwischen Parameterbereichen wechseln und den Zusammenhang zwischen den einzelnen Einstellungen im Gedächtnis behalten. Dadurch konkurrieren primäre Behandlungsschritte wie Moduswahl, Pattern-Platzierung und Laseraktivierung mit sekundären Einstellungen. Für Benutzer und Benutzerinnen ist deshalb nicht sofort ersichtlich, welche Elemente für den nächsten Schritt im Behandlungsablauf zentral sind und welche lediglich ergänzende Konfigurationsmöglichkeiten darstellen. Dies betrifft insbesondere die Heuristiken *Aesthetic and Minimalist Design* sowie *Recognition rather than Recall*.

Auch der Behandlungsworkflow wird nicht als zusammenhängende Abfolge dargestellt. Bildgebung, OCT-Scan-Einstellungen, Pattern-Placement, Parameterwahl und Laserfreigabe sind zwar funktional vorhanden, erscheinen jedoch als einzelne Bedienbereiche statt als klar geführter Prozess. Dies kann die Orientierung erschweren, insbesondere wenn Benutzer und Benutzerinnen zwischen Vorbereitung, Kontrolle und eigentlicher Laserfreigabe wechseln. Aus Sicht von *Visibility of System Status* und *Consistency and Standards* wäre eine stärkere Führung entlang des Workflows sinnvoll.

Ein weiteres Problem stellt die fehlende räumliche Gruppierung zusammengehörender Funktionen dar. So befinden sich beispielsweise Einstellungen für den OCT-Scan räumlich getrennt von der zugehörigen Bilddarstellung. Aus Usability-Sicht wäre eine engere funktionale und visuelle Kopplung solcher Elemente sinnvoll.

Das aktuelle GUI stellt somit eine funktional weiterentwickelte Zwischenstufe dar, bei der insbesondere visuelle Priorisierung, Gruppierung zusammengehörender Funktionen und Führung durch den Behandlungsworkflow weiter verbessert werden müssen.

Relevanz für das Redesign

Die Analyse des aktuellen GUIs zeigt, dass zentrale funktionale Anforderungen bereits adressiert werden, insbesondere die Integration der Bildgebung in ein einheitliches Interface. Die bestehenden Usability-Probleme bleiben jedoch weitgehend bestehen und betreffen primär die Strukturierung, Priorisierung und visuelle Hierarchie der Benutzeroberfläche. Daraus ergibt sich, dass der Fokus des Redesigns nicht nur auf der Erweiterung von Funktionalität liegt, sondern vor allem auf der klaren, nutzerzentrierten Aufbereitung und Führung.

2.4 Andere Lösungen

Um das bestehende GUI gezielt verbessern zu können, haben wir vergleichbare Produkte am Markt betrachtet. Dabei ging es darum, typische klinische Workflows zu verstehen und zu analysieren, wie etablierte Hersteller diese Abläufe im GUI unterstützen und visuell umsetzen.

Die Analyse fokussiert auf drei zentrale Bereiche: die Führung durch den klinischen Workflow, die Darstellung von Bild-, Behandlungs- und Statusinformationen sowie die Bedienbarkeit im sicherheitskritischen und touchbasierten Umfeld. Die betrachteten Systeme werden zunächst einzeln beschrieben und anschliessend in einer Vergleichstabelle gegenübergestellt.

2.4.1 Oertli Instrumente AG

Oertli entwickelt chirurgische Plattformen und Instrumente für die Augenchirurgie und bewirbt die Systeme als „sicherer, einfacher, effizienter“. (Oertli Instrumente AG, 2026a)



Abbildung 12: Oertli OS 4 UP Plattform (Oertli Instrumente AG, 2026b)

Für unsere Marktanalyse haben wir von Oertli die neue OS 4 UP Plattform (siehe [Abbildung 12](#)) und dessen Funktionen genauer betrachtet.

Das Gerät verfügt über eine Dynamic Infusion Funktion, welche Druckverhältnisse automatisch stabilisiert. Eine weitere Funktion reguliert die Energieabgabe adaptiv in Abhängigkeit vom Widerstand. Für unser GUI ist dies direkt vergleichbar mit der automatischen Laser-Dosiskontrolle, welche pro Impuls die Laserenergie anhand der Gewebereaktion anpasst. Oertli stellt die konfigurierbaren Werte gross, klar lesbar und funktional gruppiert dar, wobei der Benutzer oder die Benutzerin die Zielwerte selbst definiert. Es ist jedoch nicht unmittelbar erkennbar, dass diese Werte dynamisch geregelt werden. Dem Benutzer oder der Benutzerin wird nicht transparent dargestellt, wie sich Parameter durch die interne Regelung verändern. In unserem überarbeiteten GUI muss daher klar zwischen Startwert, Zielwert und effektiv reguliertem Wert unterschieden werden.

Das OS 4 UP GUI unterscheidet, wie der SPECTRALIS CENTAURUS, zwischen verschiedenen Betriebsmodi. Da die Moduswahl die Therapieform direkt beeinflusst, muss der aktive Modus eindeutig sichtbar sein und ein Moduswechsel bewusst erfolgen. Oertli zeigt alle verfügbaren Modi permanent an und markiert den aktiven Modus farblich klar. Dieses Prinzip sollte auch in unserem GUI umgesetzt werden, jedoch gegebenenfalls mit stärkerer Hierarchisierung. Das GUI ist insgesamt dunkel gehalten und verwendet Farben zurückhaltend. Auffällige Signalfarben werden dadurch nicht dauerhaft überstrapaziert, sondern bleiben für aktive Zustände und sicherheitsrelevante Bedienelemente besser wahrnehmbar.

Die Energieabgabe erfolgt im OS 4 UP über ein Fusspedal. Beim SPECTRALIS CENTAURUS wird dies aktuell ebenfalls über ein Fusspedal gelöst, zukünftig jedoch über einen Joystick. Unabhängig vom Eingabegerät muss die physische Interaktion im GUI sichtbar sein. Oertli löst dies mit einer grafischen Darstellung des Pedals, wodurch direktes Feedback entsteht. Für das überarbeitete GUI mit Joystick könnte eine vergleichbare visuelle Darstellung umgesetzt werden. Entscheidend ist eine klare und konsistente Kopplung zwischen Hardwarezustand und GUI-Anzeige.

Die Bedienung erfolgt bei beiden Systemen über einen Touchscreen. Beim OS 4 UP GUI fällt positiv auf, dass zentrale Eingaben als grosse, klar abgegrenzte Touchflächen gestaltet sind und durch physische Buttons direkt unter dem Bildschirm ergänzt werden. Dadurch sind wichtige Funktionen schnell erfassbar und auch in einem klinischen Umfeld robust bedienbar. Für das überarbeitete CENTAURUS GUI ist dies relevant, da insbesondere sicherheitskritische Aktionen und häufig verwendete Parameter ausreichend grosse Zielflächen und unmittelbares visuelles Feedback benötigen. Die physischen Buttons zeigen zudem, dass gewisse Funktionen auch ausserhalb des Touchscreens schnell erreichbar sein können, sofern ihre Funktion eindeutig mit der Anzeige im GUI verknüpft ist. Auffällig ist dabei auch, dass sicherheitsrelevante Bedienelemente wie der Laser-Stop-Schalter gut sichtbar unter dem Bildschirm platziert sind.

2.4.2 OD-OS GmbH

Der Navilas von OD-OS (siehe [Abbildung 13](#)) ist ein navigierter Netzhautlaser, der Bildgebung, Behandlungsplanung, Laserabgabe und Dokumentation in einem System kombiniert. Besonders relevant für unsere Analyse sind die Integration von Live-Bildgebung, Overlay-Planung, Tracking sowie die digitale Dokumentation. ([OD-OS GmbH, 2026](#))



Abbildung 13: OD-OS Navilas Laser System ([Berliner Hochschule für Technik, 2020](#))

Der Navilas Laser arbeitet auf Basis eines hochauflösenden Fundusbildes. Geplante Laserspots werden während der Behandlung als Overlay direkt über dem Bild angezeigt (siehe [Abbildung 14](#)). Die Behandlungsplanung kann auf importierten diagnostischen Bildern erfolgen. Dabei können unter anderem Freiform-Grids sowie Sperrflächen beziehungsweise Exklusionszonen definiert werden. ([OD-OS GmbH, 2025](#)) In einem Demonstrationsvideo ist zudem zu sehen, dass solche Freiform-Patterns direkt per Touch-Interaktion auf dem Bild eingezeichnet werden können ([NavilasLaserSystem, 2019, 0:27 - 0:30](#)).

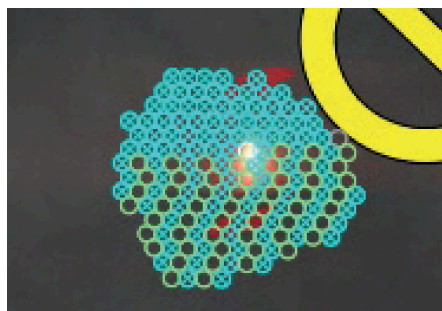


Abbildung 14: Grid mit Sperrzone während einer Navilas-Behandlung ([OD-OS GmbH, 2025, S. 6](#))

Die Behandlungsparameter können über den Touchscreen eingerichtet werden. Während der Durchführung lassen sich einzelne Parameter zusätzlich über Smart Controls, also physische Drehräder neben dem Joystick, anpassen. Im GUI wird dabei mittels Icons sichtbar gemacht, welcher Parameter welchem Bedienelement zugeordnet ist (NavilasLaserSystem, 2019). Die obere Informationsleiste zeigt wichtige Behandlungs- und Statusinformationen durchgehend an, beispielsweise Laserstatus, Spotgrösse, Anzahl Spots und verbleibende Spots. Dies unterstützt die Kontrolle während der Behandlung, führt jedoch auch zu einer erhöhten Informationsdichte in einem kleinen Bildschirmbereich. Auch das Navilas GUI ist dunkel gehalten und setzt Farben gezielt ein. Signalfarben werden teilweise für wichtige Zustände verwendet, während die physischen Smart Controls durch farbige Ringe visuell unterscheidbar sind (siehe Abbildung 15).

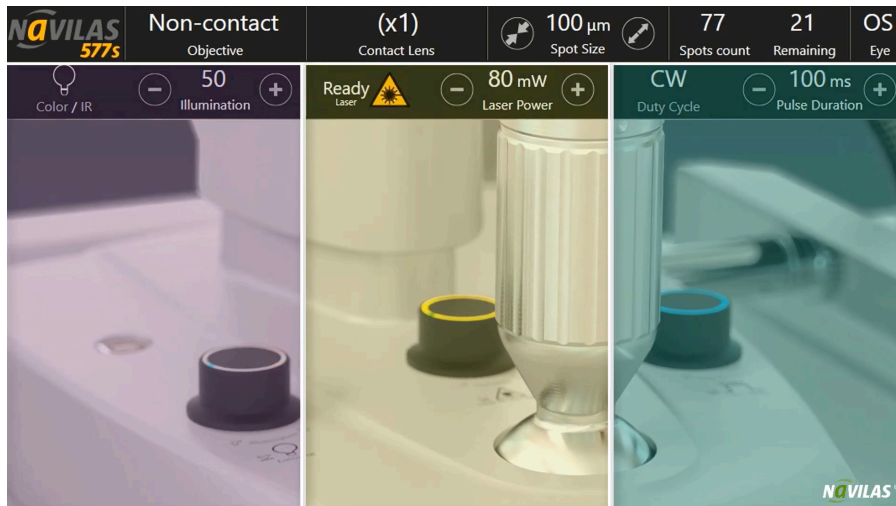


Abbildung 15: Screenshot Video: Smart Controls zur Parameteranpassung (NavilasLaserSystem, 2019, 0:45 - 0:53)

Auch der SPECTRALIS CENTAURUS zeigt über dem OCT-Bild eine visuelle Zielstruktur an und führt so den Laserbenutzer bzw. die Laserbenutzerin. OD-OS setzt das Bild klar ins Zentrum der Benutzeroberfläche und macht es damit zum primären Fokus des GUIs. Behandlungszonen sowie „No-Go“-Zonen sind durch eindeutige Markierungen klar ersichtlich. Dieser bildzentrierte Ansatz ist auch für unseren Anwendungsfall sehr geeignet.

Zur Kompensation von Augenbewegungen nutzt das Navilas System ein Eye-Tracking. Die Laserabgabe erfolgt positionsgenau relativ zur geplanten Zielstruktur. Auch beim SPECTRALIS CENTAURUS ist eine präzise Laserabgabe entscheidend und muss exakt mit der Anzeige des Overlays übereinstimmen. Die Rückmeldung erfolgt in Echtzeit, wodurch die Übereinstimmung zwischen physischer Laserposition und grafischer Darstellung jederzeit gewährleistet sein muss. Zudem bleiben der Laserstatus und die verbleibenden Laserspots im GUI durchgehend sichtbar. Der Behandlungsfortschritt wird digital visualisiert und dokumentiert, wodurch nachvollziehbar bleibt, welche geplanten Laserspots bereits appliziert wurden. (OD-OS GmbH, 2025)

2.4.3 Carl Zeiss AG

Der ZEISS ATLAS 500 ist primär ein Diagnostiksystem (siehe [Abbildung 16](#)). Im Gegensatz zu OS 4 UP und Navilas appliziert er keine Therapie, sondern analysiert und visualisiert Messdaten. Dennoch ist das System für unser SRT-GUI relevant, da es komplexe ophthalmologische Bilddaten strukturiert darstellt und diagnostische Entscheidungen unterstützt. ([Carl Zeiss Meditec AG, 2026a](#))

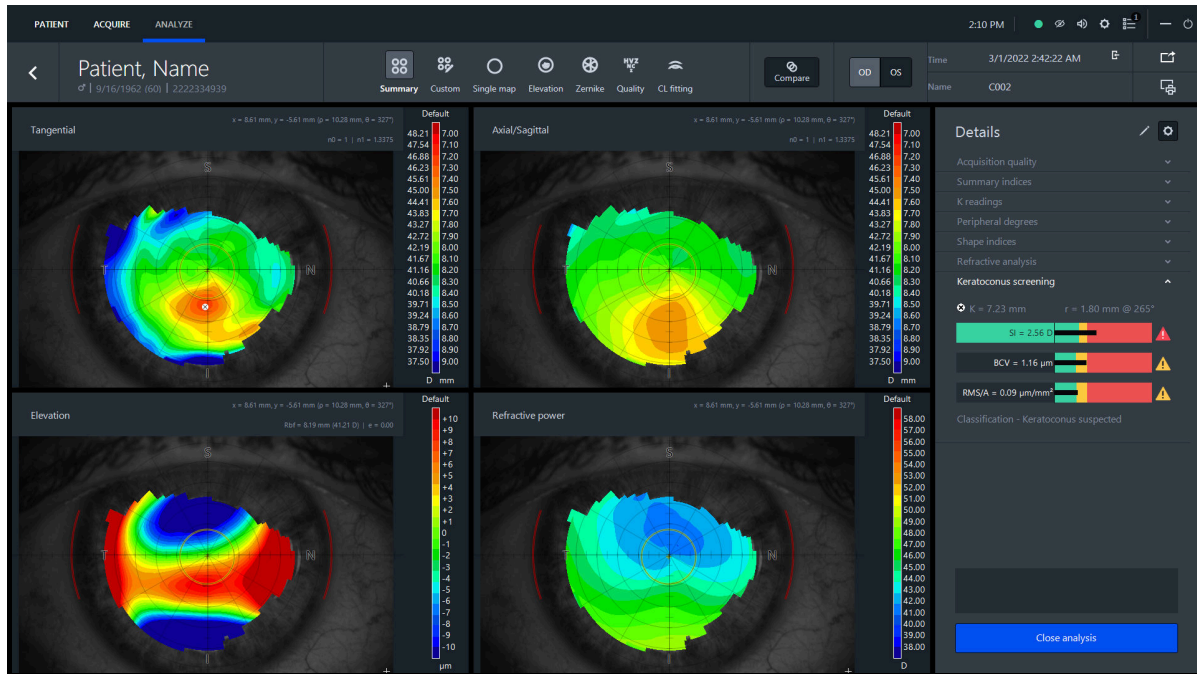


Abbildung 16: Carl Zeiss Atlas 500 GUI ([Carl Zeiss Meditec AG, 2026b](#))

Das ATLAS 500 System zeigt mehrere topografische Karten gleichzeitig an. Dadurch können viele diagnostische Informationen parallel verglichen werden, gleichzeitig entsteht jedoch eine hohe Informationsdichte. Jede Karte verfügt über eine eigene klare Farblegende mit numerischen Skalenwerten. Das GUI ist dabei ebenfalls dunkel gehalten, wodurch die farbcodierten Messdarstellungen visuell klar hervortreten. Auch der SPECTRALIS CENTAURUS arbeitet mit definierten Grenzwerten für Energiebereiche und Dosisschwellen. Deshalb muss im neuen GUI eine konsistente und eindeutige Farblogik implementiert werden, vergleichbar mit der klaren Skalierung beim ATLAS 500.

ZEISS zeigt im ATLAS 500 oben im GUI einen klar strukturierten Workflow mit verschiedenen Tabs (z.B. Patient, Acquire, Analyze). Zusätzlich bleiben Patientennamen und weitere Patienteninformationen im oberen Bereich des GUIs sichtbar. Dies unterstützt die Orientierung und reduziert das Risiko, im falschen Patientenkontext zu arbeiten. Auch im überarbeiteten GUI des SPECTRALIS CENTAURUS soll der Prozess klar erkennbar sein. Ein eindeutiger Prozessheader ist sinnvoll, die Detailansichten sollten jedoch stärker reduziert und weniger überladen gestaltet werden, um die kognitive Belastung zu minimieren.

2.4.4 Vergleich

Als Zusammenfassung der vorherigen Beschreibungen wurden die betrachteten Lösungen zusätzlich in der folgenden Tabelle anhand gemeinsamer GUI-Funktionen verglichen. Dabei wurde jeweils beurteilt, wie die Funktion dargestellt oder unterstützt wird und welche Erkenntnis daraus für das Redesign des SPECTRALIS CENTAURUS abgeleitet werden kann. Ein Strich (-) bedeutet, dass die Funktion beim betrachteten Gerät nicht vorhanden oder für den jeweiligen Gerätetyp nicht direkt vergleichbar ist.

Betrachtete Funktion	Bewertungskriterium	Oertli OS 4 UP	OD-OS Navilas	ZEISS ATLAS 500	Ableitung für CENTAURUS
Workflowführung	Ist der klinische Ablauf klar strukturiert und nachvollziehbar?	Verschiedene Funktionen und Modi sind direkt zugänglich und visuell hierarchisiert.	Digitaler Workflow von Bildgebung über Planung und Behandlung bis zur Dokumentation.	Der Prozess ist über klare Tabs strukturiert.	Der Behandlungsablauf soll als geführter Prozess sichtbar werden.
Moduswahl	Ist der aktive Modus eindeutig erkennbar und ein Wechsel bewusst steuerbar?	Alle Modi sind permanent sichtbar, der aktive Modus wird farblich markiert.	-	Nicht therapiebezogen, aber der aktive Tab ist klar sichtbar.	Der aktive Treatment Mode muss dauerhaft und eindeutig sichtbar sein.
Parameterdarstellung	Sind zentrale Werte gut lesbar, verständlich gruppiert und platziert?	Zielwerte werden gross, klar und funktional gruppiert dargestellt.	Parameter sind gut und permanent sichtbar und können per Touch eingerichtet und über Smart Controls angepasst werden.	Messwerte und Skalenwerte werden über Karten, Farben und Legenden dargestellt.	Relevante Behandlungsparameter sollen gut lesbar, klar priorisiert und gruppiert werden.
Adaptive Regelung	Werden interne Regelungen für Benutzer und Benutzerinnen nachvollziehbar dargestellt?	Adaptive Funktionen sind vorhanden, ihre dynamische Regelung bleibt jedoch nur begrenzt sichtbar.	Tracking unterstützt die präzise Laserabgabe im Hintergrund.	-	Startwert, Zielwert und effektiv regulierter Wert müssen unterscheidbar sein.
Patterns / Behandlungszonen	Werden geplante Ziel- oder Behandlungs-Patterns verständlich dargestellt und kontrollierbar gemacht?	-	Freiform-Grids, Laserspots und Exklusionszonen können per Touch geplant werden.	-	Pattern-Auswahl, Pattern-Zustand und Platzierung müssen dauerhaft nachvollziehbar sein und Patterns müssen intuitiv per Touch platziert werden können.
Bild- und Overlay-Integration	Unterstützt die Darstellung eine präzise Orientierung im Behandlungsbereich?	-	Planung auf importierten Standbildern, Livebild während der Behandlung und Overlays im Bild.	Mehrere diagnostische farbcodierte Karten werden parallel über dem Augenbild visualisiert.	Das Bild soll zentral platziert und mit eindeutigen Overlays (Patterns, Sperrzonen, ...) ergänzt werden können.
Status- und Sicherheitskommunikation	Sind sicherheitskritische Zustände eindeutig sichtbar?	Aktive Modi und sicherheitsrelevante Bedienelemente wie der Laser-Stop-Schalter sind klar sichtbar.	Laserstatus, verbleibende Spots und Behandlungsfortschritt sind sichtbar.	Warnungen werden durch entsprechende verschieden farbige Warn-Icons hervorgehoben.	Status, Warnungen und Freigaben sollen redundant über Text, Farbe und Symbolik dargestellt werden.
Hardware-Feedback	Wird die physische Interaktion im GUI sichtbar gemacht?	Das Fusspedal wird grafisch dargestellt.	Smart Controls kopeln physische Drehregler mit sichtbaren GUI-Parametern. Lasern durch Joystick wird im GUI mittels Status „Firing“ angezeigt.	-	Der Joystick- oder Eingabestatus soll im GUI sichtbar rückgemeldet werden.
Farblogik	Werden Farben konsistent und verständlich eingesetzt?	Dunkle Grundgestaltung mit sparsam eingesetzten Signal- und Akzentfarben.	Dunkle Grundgestaltung, wenige Signal-farben und farbige Ringe an den Smart Controls.	Dunkle Grundgestaltung mit farbcodierten Messdarstellungen und klaren Legenden.	Dunkle Grundgestaltung und Farben sparsam für Zustände, Grenzwerte und Warnungen einsetzen.
Informationsdichte / visuelle Hierarchie	Sind zentrale Informationen priorisiert und ohne visuelle Überladung erfassbar?	Zentrale Werte werden gross dargestellt und Funktionsbereiche klar gegliedert.	Bild, Parameter und Statusinformationen sind getrennt, die obere Informationsleiste wirkt jedoch sehr dicht.	Viele Messdarstellungen und Werte sind gleichzeitig sichtbar, wodurch die Informationsdichte hoch ist.	Zentrale Informationen sollen priorisiert und visuell stärker gewichtet werden. Das GUI soll nicht überladen wirken.
Touch-Bedienung	Sind Interaktionsflächen ausreichend gross und für Touch-Bedienung im klinischen Umfeld geeignet?	Grosse, klar abgegrenzte Touchflächen und Buttons.	Grosse, klar abgegrenzte Touchflächen und Buttons.	Grosse, klar abgegrenzte Touchflächen und Buttons.	Touchflächen sollen gross, eindeutig und mit unmittelbarem Feedback gestaltet werden.

Tabelle 2: Vergleich der betrachteten Lösungen anhand relevanter GUI-Funktionen

2.4.5 Zusammenfassung der Marktanalyse

Die Analyse der Systeme von Oertli, OD-OS und Carl Zeiss zeigt, dass sich trotz unterschiedlicher Gerätetypen mehrere übertragbare Gestaltungsprinzipien ableiten lassen. Besonders relevant für das neue GUI des SPECTRALIS CENTAURUS sind eine klare Prozessführung, gut sichtbare Statusinformationen, nachvollziehbare Parameter- und Hardwarezustände sowie eine zentrale Bilddarstellung mit verständlichen Overlays. Die Vergleichstabelle zeigt zudem, dass zentrale Informationen priorisiert dargestellt werden müssen, damit das GUI trotz vieler sicherheits- und behandlungsrelevanter Informationen nicht überladen wirkt.

Für das Redesign ergeben sich daraus folgende zentrale Leitlinien:

- Behandlungsworkflow klar führen und aktive Modi dauerhaft sichtbar machen
- Behandlungsparameter gut lesbar, gruppiert und priorisiert darstellen
- Adaptive Regelmechanismen transparent machen, insbesondere Startwert, Zielwert und effektiv regulierten Wert
- Pattern-Auswahl, Pattern-Zustand und Platzierung dauerhaft nachvollziehbar machen
- Bilddarstellung zentral platzieren und Overlays für Patterns, Sperrzonen und Behandlungsfortschritt eindeutig gestalten
- Status, Warnungen, Freigaben und Hardwarezustände gut sichtbar und redundant kommunizieren
- Dunkle Grundgestaltung verwenden und Farben sparsam einsetzen
- Informationsdichte reduzieren und zentrale Informationen visuell stärker gewichten
- Touch-Bedienung mit grossen, klar abgegrenzten Interaktionsflächen und unmittelbarem Feedback umsetzen

2.5 Symbolik und Normen

Bei der Entwicklung eines GUIs für ein medizinisches Lasersystem müssen relevante regulatorische und sicherheitsbezogene Normen berücksichtigt werden. Besonders relevant sind dabei IEC 60601-2-22 ([International Electrotechnical Commission, 2019](#)) für medizinische Lasergeräte sowie IEC 62366-1 ([International Electrotechnical Commission, 2020](#)) für den Usability-Engineering-Prozess von Medizinprodukten.

Die Auswahl dieser Normen ergibt sich direkt aus der Aufgabenstellung ([Anhang A](#)), in der beide Normen explizit als zu berücksichtigende regulatorische Grundlagen genannt werden. Die Normenbetrachtung dient deshalb nicht einer vollständigen regulatorischen Bewertung des gesamten Medizinprodukts, sondern dem gezielten Herausarbeiten jener Anforderungen, die für die Analyse, Konzeption und Bewertung des GUI relevant sind. Bei [IEC 60601-2-22](#) lag der Fokus gemäss Rückmeldung des Auftraggebers Meridian insbesondere auf [Annex D](#) , da dort laserspezifische Kennzeichnungssymbole beschrieben werden. [IEC 62366-1](#) wurde hingegen gesamthaft betrachtet, weil sie den Usability-Engineering-Prozess für Medizinprodukte beschreibt und damit die methodische Grundlage für die Analyse, Gestaltung und Evaluation des GUI bildet.

2.5.1 IEC 60601-2-22

Der Standard legt spezifische Anforderungen an die grundlegende Sicherheit und essenzielle Leistungsfähigkeit medizinischer Lasergeräte fest.

Er ergänzt die allgemeine Norm IEC 60601-1 ([International Electrotechnical Commission, 2005](#)) und definiert Vorgaben zur Strahlungssicherheit, Systemsteuerung, Risikokontrolle und zum Schutz vor gefährlichen Zuständen bei Lasergeräten der Klassen 1C, 3B und 4.

Annex D: Laserspezifische Kennzeichnungssymbole

Für das GUI sind insbesondere die in Annex D der Norm definierten zusätzlichen, laserspezifischen Kennzeichnungssymbole wichtig, die eine eindeutige und sicherheitsrelevante Zustandskommunikation am Gerät gewährleisten sollen. Diese sind in [Abbildung 17](#) dargestellt.

No.	Symbol ^a	Reference	Description
101			EMERGENCY LASER STOP
102		IEC 60417-5266 (2002-10)	STAND-BY/READY (STAND-BY)
103		IEC 60417-5264 (2002-10)	STAND-BY/READY (READY) ^b
104			Continuous operation. The laser equipment is set to a mode where the exposure duration is limited by the LASER OPERATOR actuating and releasing the footswitch
105			Single exposure. The laser equipment is set to a mode where one single exposure of a given duration is emitted when the footswitch is depressed
106			Repeat exposure. The laser equipment is set to a mode where a series of exposures of a given duration and of a given interval are emitted as long as the footswitch is depressed
107			Exposure duration
108			Repeat exposure pulse repetition time
109			Specialized pulsed mode. A pulsed mode of the laser which, for example in some CO ₂ lasers, improves the capability of cutting tissue and may be used as an alternative to the continuously operating mode

No.	Symbol ^a	Reference	Description
110			AIMING BEAM
111			AIMING BEAM, blinking
112			REMOTE INTERLOCK CONNECTOR, as defined in 3.76 of IEC 60825-1:2014
113			Optical fibre applicator
114			PRF, Pulse repetition frequency [rate]

^a The symbols either concur with the symbols contained in IEC TR 60878 or are exclusive to IEC 60601-2-22. Other symbols may be chosen from IEC TR 60878:2003 if appropriate.

^b This symbol is listed in Table D.1, No 16 of IEC 60601-1:2012 as "ON" for part of the equipment. Medical laser equipment could make use of this symbol to indicate the "STAND-BY" and "READY" states.

Abbildung 17: Screenshot Annex D von IEC 60601-2-22 ([International Electrotechnical Commission, 2019, S. 24, 25](#))

Einige der in Annex D definierten Symbole sind für das GUI weniger relevant, wie z.B. das Symbol für den Emergency Laser Stop, da es sich hierbei um einen physischen Schalter handelt. Dieser ist direkt am Gerät angebracht, wie am Beispiel des SPECTRALIS CENTAURUS ersichtlich ist (siehe [Abbildung 18](#)).



Abbildung 18: Emergency Laser Stop Button SPECTRALIS CENTAURUS ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 37](#))

Andere Symbole hingegen sind klar UI-relevant, insbesondere jene zur Kennzeichnung der Betriebszustände (Stand-by, Ready) sowie der unterschiedlichen Emissionsmodi (z.B. Single exposure oder Repeat exposure) und Emissionsparametern (z.B. Duration).

2.5.2 IEC 62366-1

Die IEC 62366-1 definiert den Usability-Engineering-Prozess für Medizinprodukte. Ziel ist es, Gebrauchstauglichkeit systematisch mit Risikomanagement zu verknüpfen, um Anwendungsfehler mit potenziell sicherheitskritischen Folgen zu vermeiden.

Die folgende Darstellung fasst den normativen Prozess vereinfacht zusammen und zeigt, wie er im vorliegenden Projekt angewendet wird.

1. Zweckbestimmung + Nutzer/Nutzerinnen + Umgebung

Zuerst muss der medizinische Zweck inkl. der vorgesehenen Patientengruppe bestimmt werden. Zudem muss der vorgesehene Anwender oder die vorgesehene Anwenderin, die Nutzungsumgebung und die primären Bedienaufgaben definiert werden. Die Erkenntnisse dienen als Input für die folgenden Schritte.

2. Use Scenarios definieren

Im zweiten Schritt werden die Use Scenarios definiert. Use Scenarios sind beschreibende Darstellungen realer Anwendungssituationen eines Produkts im Nutzungskontext. Sie erfassen den vorgesehenen Anwender oder die vorgesehene Anwenderin, die Nutzungsumgebung, die auszuführende Aufgabe und mögliche Umgebungs- und Einflussfaktoren und dienen als Grundlage für die spätere Identifikation von Nutzungsfehlern.

3. Nutzungsfehler und Gefährdungen identifizieren

In Schritt 3 identifiziert man potenzielle Nutzungsfehler (Use Errors) und mögliche Gefährdungen. Daraus werden dann die sogenannten Hazard-Related Use Scenarios abgeleitet. Das sind die Use Scenarios, bei denen potenziell durch eine Fehlbedienung Schaden entstehen kann, wie z.B. eine Verletzung des Patienten oder der Patientin.

4. UI spezifizieren und implementieren

Basierend auf der Use Specification sowie den identifizierten Hazard-Related Use Scenarios wird das User Interface spezifiziert und prototypisch umgesetzt.

In der User Interface Specification werden erforderliche Anzeigeelemente, Interaktionsabläufe und sicherheitsrelevante Zustände definiert. Ziel ist es, identifizierte Nutzungsfehler durch geeignete Gestaltungsentscheidungen zu reduzieren.

Dazu werden gezielte Risk Control Measures implementiert, beispielsweise klare Statusanzeigen, Schutzmechanismen gegen unbeabsichtigte Aktivierung oder konsistente visuelle Kodierungen. Auch das Verfassen eines User Manuals gehört zu diesen risikomindernden Massnahmen.

Die Umsetzung bildet die Grundlage für die anschliessende formative Evaluation.

5. Formative Evaluation

Während des UI Designs und der Implementation ist es wichtig iterativ immer wieder zu evaluieren und zu verbessern, z.B. durch Experten-Reviews und Tests.

6. Summative Evaluation

Nach der Fertigstellung führt man summative Usability-Tests mit repräsentativen Benutzern und Benutzerinnen sowie realistischen Szenarien durch. Dabei fokussiert man sich auf die Hazard-Related Use Scenarios und kann dadurch herausfinden, ob die kritischen Aufgaben sicher ausgeführt werden können.

7. Usability Engineering File

Zuletzt dokumentiert man die gewonnenen Erkenntnisse, das heisst man begründet bei erfolgreichem Resultat die Akzeptabilität des Produkts. Insbesondere dokumentiert man die Use Specifications, die identifizierten Gefährdungen und die Evaluationsresultate.

Relevanz für Projekt

In diesem Projekt wird der beschriebene Usability-Engineering-Prozess auf den GUI-Anteil des Gesamtsystems angewendet. Die Zweckbestimmung sowie die Definition der Use Scenarios und Gefährdungen gehören zur Use Specification in der Anforderungsanalyse. Die daraus abgeleiteten sicherheitskritischen Designmassnahmen werden im Designkonzept sowie in der Implementation umgesetzt. Im Projekt ist vorgesehen, den Figma-Prototypen sowie den technischen Prototypen mehrfach zu testen und mit Fachpersonen zu evaluieren, um Verbesserungen frühzeitig zu erkennen. Abschliessend werden summative Tests durchgeführt und die Ergebnisse sowie der entwickelte Prototyp systematisch dokumentiert.

3 Anforderungsanalyse

Dieses Kapitel behandelt die Erhebung der Anforderungen sowie die daraus abgeleiteten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.

3.1 Anforderungserhebung

Zu Beginn des Projekts wurden die Anforderungen an das neue GUI systematisch erhoben und analysiert.

3.1.1 Erste Meetings und Recherche

Die initiale Anforderungserhebung begann im Rahmen eines Kick-Off-Meetings mit der Ansprechperson von Meridian, wodurch ein erster Überblick über das Anwendungsgebiet gewonnen wurde.

Anschliessend erfolgte eine selbstständige Einarbeitung in die Domäne, das bestehende System sowie vergleichbare medizinische GUIs. Die Ergebnisse davon sind im Kapitel Analyse der Ausgangslage dokumentiert.

Offene Fragen wurden in einem weiteren Interview mit der Ansprechperson und einem weiteren Mitarbeiter von Meridian geklärt.

3.1.2 Besuch Meridian

Zusätzlich wurde gemeinsam mit der Ansprechperson von Meridian entschieden, bereits in der vierten Projektwoche einen Besuch bei der Meridian AG in Thun und an der BFH in Biel durchzuführen.

Bei Meridian wurden die verschiedenen Laser und auch die entsprechenden GUIs vorgestellt. Anschliessend haben wir unseren ersten Prototypen vorgestellt und ein ausführliches Brainstorming mit Personen aus verschiedenen Bereichen von Meridian gemacht.

Nebst dem Feedback zu unserem ersten Prototypen, welches in einem späteren Kapitel genauer beschrieben wird, gab es auch viele Inputs zu den bestehenden Funktionalitäten. Dazu gehören Inputs zu den verschiedenen Behandlungsmodi (UC-11) oder zum Fixation Target (UC-12). Ebenfalls kamen auch einige Ideen zu neuen Funktionen auf, welche es im aktuellen GUI noch nicht gibt und die für das neue GUI berücksichtigt werden könnten. Dies betrifft beispielsweise die Behandlungsreport-Funktion (UC-14) oder die verschiedenen Funktionen, welche das Pattern setzen intuitiver, schneller oder einfacher machen sollen (UC-15 - UC-19). Ebenfalls wurden auch weitere Ansichten diskutiert, wie etwa eine separate Bildgebungsmaske (UC-20) oder der Service (UC-22) sowie der Expert Mode (UC-23). Hier wurde aber entschieden, dass diese weiteren Ansichten nicht von zu hoher Priorität sein sollten.

Anschliessend konnten wir uns an der BFH auch den aktuellen Prototypen und die Version der Patientenstudie ansehen. Dies trug zum besseren Verständnis der Abläufe bei. So haben wir z.B. auch gesehen, dass das Gerät auch Audiofeedback bei gewissen Aktionen gibt, wie z.B. beim Aktivieren des Lasers.

Auch durften wir uns mal vor das Diagnosegerät HEYEX setzen, so konnten wir z.B. verstehen wie sich die Person, welche behandelt wird, zu verhalten hat und wie z.B. ein Fixation Target aussieht. Dabei durften wir auch Scans von unseren Augen machen. Diese sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 zu sehen.



Abbildung 19: Beispiel-Scan HEYEX 1



Abbildung 20: Beispiel-Scan HEYEX 2

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Interviews, der Recherche sowie den praktischen Einblicken bei Meridian und der BFH bildeten die Grundlage für die weitere Ausarbeitung der Anforderungen.

Insbesondere konnten zentrale funktionale Anforderungen, relevante Bedienabläufe sowie erste Optimierungspotenziale des bestehenden GUIs identifiziert werden. Diese wurden anschliessend in konkrete Use Cases und Anforderungen überführt, welche in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

3.2 Use Specification

Die Use Specification beschreibt den vorgesehenen Einsatz des Systems sowie die wichtigsten Rahmenbedingungen der Nutzung. Sie bildet einen zentralen Bestandteil des in IEC 62366-1 beschriebenen Usability-Engineering-Prozesses. Vieles davon wurde bereits im Kapitel [Analyse der Ausgangslage](#) genauer erläutert und wird hier nochmals zusammengefasst.

Medizinischer Zweck	Unterstützung der Durchführung der selektiven Netzhauttherapie (SRT) mit dem ophthalmologischen Lasersystem SPECTRALIS CENTAURUS durch Visualisierung der Retina, Konfiguration der Laserparameter und kontrollierte Auslösung von Laserimpulsen.
Zu behandelnde Personengruppe	Patienten und Patientinnen mit Netzhauterkrankungen, insbesondere der trockenen Form der altersbedingten Makuladegeneration (AMD), die mittels SRT behandelt werden.
Anwendende Person	Ophthalmologinnen und Ophthalmologen
Nutzungsumgebung	Klinische Umgebung, beispielsweise Augenkliniken oder ophthalmologische Praxen, in denen diagnostische und therapeutische Laserbehandlungen durchgeführt werden.
Primäre BediENAufgaben	Konfiguration der Laserparameter, Durchführung von OCT-Scans, Auswahl und Platzierung von Behandlungs-Pattern auf dem SLO-Bild sowie Aktivierung und Auslösung der Laseremission während der Behandlung.

Tabelle 3: Use Specification des Systems

3.2.1 Use Scenarios

Use Scenario US01 – System starten und vorbereiten

Das medizinische Fachpersonal startet das System, initialisiert Laser und Bildgebung und bereitet das Gerät sowie den Patienten oder die Patientin für die Behandlung vor, bis ein Live-SLO/OCT-Bild verfügbar ist und das System den Zustand «Standby» erreicht hat.

Anwendende Person	Ophthalmologin oder Ophthalmologe			
Nutzungsumgebung	Klinische Umgebung			
Vorbedingungen	Gerät ist eingeschaltet. Laser, Bildgebungssystem und GUI sind verfügbar. Der Patient oder die Patientin befindet sich am Gerät.			
Nachbedingungen	Das System zeigt «System ready», ein Live-SLO/OCT-Bild ist sichtbar und der Patient oder die Patientin ist korrekt vor dem Gerät positioniert.			
User Task	Systemreaktion	Möglicher Use Error	Mögliche Ursache	Kritisch
Alle Geräte und CTS starten	Das System startet CTS und initialisiert Laser, Scanner und Bildgebung. Statusmeldungen wie «Initializing System» oder «Waiting for laser» werden angezeigt.			Nein
Systeminitialisierung abwarten	Das GUI zeigt «System ready», sobald Laser und Bildgebung verbunden sind			Nein
Live-SLO/OCT-Bild prüfen	Das GUI zeigt das Livebild der Retina aus der Bildgebung an	Es wird nicht erkannt, dass kein gültiger Bildstream vorliegt	Der Bildstatus oder die Bildqualität wird nicht überprüft	Ja
Hygiene und Gerät prüfen	Kopfstütze, Kinnstütze und Linse werden gereinigt und die Bildqualität wird geprüft			Nein
Patient oder Patientin informieren und positionieren	Der Patient oder die Patientin wird instruiert und korrekt an Kinn- und Stirnstütze positioniert	Der Patient oder die Patientin wird falsch positioniert	Kinnhöhe wird nicht korrekt eingestellt oder die Position wird nicht überprüft	Ja
Fixation Target wählen	Das GUI aktiviert das gewählte Fixation Target und zeigt den entsprechenden Retina-Bereich im Livebild			Nein
Systemstatus «Standby» prüfen	Das GUI zeigt den Laserstatus «Standby» und das System ist für weitere Behandlungsschritte bereit			Nein

Tabelle 4: Use Scenario US01 – System starten und vorbereiten

Use Scenario US02 – Treatment Pattern vorbereiten

Das medizinische Fachpersonal bereitet das Treatment Pattern für die Behandlung vor, indem das passende Pattern ausgewählt, auf der Retina positioniert, fixiert und mit geeigneten Laserparametern konfiguriert wird.

Anwendende Person	Ophthalmologin oder Ophthalmologe			
Nutzungsumgebung	Klinische Umgebung			
Vorbedingungen	System ist im Zustand «Standby». Ein Live-SLO/OCT-Bild ist sichtbar. Der Patient oder die Patientin ist korrekt positioniert.			
Nachbedingungen	Das Treatment Pattern ist konfiguriert, korrekt auf der Retina platziert, fixiert und das System ist für die Freigabe des Lasers vorbereitet.			
User Task	Systemreaktion	Möglicher Use Error	Mögliche Ursache	Kritisch
Treatment Pattern auswählen	Das GUI aktiviert den Treatment-Pattern-Modus und zeigt die zugehörigen Einstellungen an			Nein
Laserparameter für das Treatment Pattern einstellen	Das GUI zeigt die relevanten Parameter an und speichert die gewählten Werte für die Behandlung	Ungeeignete Laserparameter werden eingestellt	Parameter werden falsch interpretiert oder nicht ausreichend geprüft	Ja
Form, Grösse und Rotation des Treatment Patterns konfigurieren	Das GUI ermöglicht die Auswahl der Patternform sowie die Anpassung von Grösse und Rotation und zeigt eine Vorschau im Bild			Nein
Treatment Pattern auf der Retina platzieren	Das GUI zeigt das Pattern im SLO-Bild und ermöglicht die Positionierung auf der gewünschten Stelle	Das Pattern wird auf einer ungeeigneten Stelle der Retina platziert	Die Position im Livebild wird falsch interpretiert	Ja
Pattern fixieren (Lock Pattern)	Das GUI bestätigt die Fixierung des Patterns visuell und verhindert weitere Positionsänderungen			Nein
Pattern und Systemstatus vor der Behandlung prüfen	Das GUI zeigt das fixierte Pattern, den aktuellen Laserstatus und die eingestellten Parameter an	Die Behandlung wird vorbereitet, obwohl Pattern oder Status nicht korrekt geprüft wurden	Fehlende Aufmerksamkeit oder unzureichende Statuswahrnehmung	Ja

Tabelle 5: Use Scenario US02 – Treatment Pattern vorbereiten

Use Scenario US03 – Laserbehandlung durchführen

Das medizinische Fachpersonal führt die Laserbehandlung durch, indem die Laseremission ausgelöst wird und das Treatment Pattern auf der Retina abgearbeitet wird.

Anwendende Person	Ophthalmologin oder Ophthalmologe			
Nutzungsumgebung	Klinische Umgebung			
Vorbedingungen	System ist im Zustand «Standby». Ein Treatment Pattern ist konfiguriert, korrekt auf der Retina platziert und fixiert. Der Patient oder die Patientin ist korrekt positioniert.			
Nachbedingungen	Die Punkte des Treatment Patterns wurden mit Laserimpulsen behandelt und die Laseremission wurde beendet.			
User Task	Systemreaktion	Möglicher Use Error	Mögliche Ursache	Kritisch
Laserstatus auf «Ready» setzen	Das GUI wechselt den Laserstatus von «Standby» auf «Ready» und zeigt die Bereitschaft zur Emission an	Laser wird auf «Ready» gesetzt obwohl die Behandlung noch nicht vorbereitet ist	Systemstatus oder Pattern wird vor der Aktivierung nicht überprüft	Ja
Behandlung überprüfen	Das GUI zeigt Pattern, Parameter und Laserstatus für die Behandlung an			Nein
Laseremission auslösen	Das System startet die Laseremission, wenn das Fusspedal bzw. der Joystick betätigt wird, setzt den Status auf «Firing» und arbeitet die Punkte des Treatment Patterns automatisch nacheinander ab. Der Fortschritt wird im Pattern visualisiert	Laseremission wird ausgelöst obwohl das Pattern nicht korrekt positioniert ist	Die Position des Patterns wurde zuvor falsch beurteilt	Ja
Behandlung überwachen	Das GUI zeigt den Fortschritt der bereits behandelten Patternpunkte sowie den aktuellen Systemstatus an	Behandlung wird trotz Bewegung des Patienten oder der Patientin fortgesetzt	Bewegung wird nicht rechtzeitig bemerkt	Ja
Laseremission beenden	Nach Abschluss der Behandlung stoppt das System die Laseremission und der Status wechselt zurück zu «Standby»			Nein

Tabelle 6: Use Scenario US03 – Laserbehandlung durchführen

3.2.2 Hazard-Related Use Scenarios

Die folgenden Hazard-Related Use Scenarios leiten sich aus den zuvor beschriebenen Use Scenarios ab und entsprechen dem risikoorientierten Vorgehen nach [IEC 62366-1](#).

Use Scenario	Task	Hazardous Situation	Possible Harm	Severity	Risk Control Measure
US01	Patient oder Patientin positionieren	Die Behandlung wird durchgeführt, obwohl das Auge nicht korrekt vor dem Gerät positioniert ist	Laserimpulse treffen eine falsche Stelle der Retina	Serious	Kopf- und Kinnstütze zur stabilen Positionierung, visuelle Kontrolle über Live-SLO-Bild
US02	Laserparameter für Treatment einstellen	Laser wird mit ungeeigneter Energie abgegeben	Übermässige thermische Schädigung der Retina	Serious	Validierung der Parameterbereiche, Anzeige der aktuellen Parameter im GUI
US02	Treatment Pattern platzieren	Pattern wird an einer falschen Stelle der Retina positioniert	Schädigung gesunder Retina ausserhalb des vorgesehenen Bereichs	Serious	Live-SLO-Bild zur Orientierung, visuelle Vorschau des Patterns
US03	Laseremission auslösen	Laser wird ausgelöst obwohl Pattern oder Parameter ungeeignet sind	Schädigung der Retina durch falsche Behandlung	Serious	Laserstatus «Ready» als separate Aktivierung, visuelle Anzeige von Pattern und Parametern vor der Emission
US03	Behandlung überwa-chen	Laserbehandlung wird fortgesetzt obwohl sich das Auge bewegt	Laser trifft falsche Stelle der Retina	Serious	Live-Bildüberwachung, Möglichkeit zum sofortigen Stoppen der Emission

Tabelle 7: Hazard-Related Use Scenarios

3.3 Functional Requirements

Die funktionalen Anforderungen des Projekts wurden anhand von Use Cases und Diagrammen definiert. Sie basieren auf den gewünschten Funktionen von Meridian, dem bestehenden GUI des aktuellen Lasers und unseren Überlegungen.

3.3.1 Akteure

Bevor die einzelnen Use Cases beschrieben werden, werden zunächst die beteiligten Akteure definiert. Dadurch wird klar, welche Benutzergruppen mit dem System interagieren und in welchem Kontext sie die jeweiligen Funktionen verwenden.

Akteur	Beschreibung
Ophthalmologe/Ophthalmologin	Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin ist der primäre Akteur des Systems und bedient das GUI während der Behandlung. Er oder sie wählt Behandlungsmodi, stellt Laserparameter ein, platziert Behandlungs-Patterns und initiiert die Laseremission. Die Interaktion erfolgt im klinischen Umfeld und umfasst sicherheitskritische Bedienhandlungen.
Servicepersonal	Das Servicepersonal ist für Wartung, Diagnose und technische Unterstützung des Systems im klinischen Betrieb verantwortlich. Es greift auf den Service Mode zu, um Systemzustände zu überprüfen, Fehler zu analysieren und notwendige Wartungsarbeiten durchzuführen. Die Interaktion erfolgt ausserhalb der eigentlichen Behandlung.
Entwicklungsteam	Das Entwicklungsteam von Meridian nutzt das System im Entwicklungs- und Testkontext. Es verwendet interne Funktionen wie den Expert Mode, um neue Features zu entwickeln, zu testen und zu validieren. Diese Interaktionen erfolgen ausserhalb des klinischen Einsatzes und sind nicht Teil des regulären Betriebs am ausgelieferten Gerät.

Tabelle 8: Akteure

3.3.2 Use Case Diagramm

Das Use Case Diagramm (siehe [Abbildung 21](#)) ist eine visuelle Darstellung der Systemfunktionalität, die die Interaktion zwischen Akteuren und Use Cases zeigt. Es hilft dabei, den Umfang des Systems zu definieren, die Funktionen des Systems zu identifizieren und zu verdeutlichen, wie Benutzer und Benutzerinnen ihre Ziele innerhalb des Systems erreichen, ohne dabei auf interne Abläufe einzugehen. Die Farben stehen für die Priorität der Use Cases, die im nächsten Kapitel näher beschrieben und erläutert werden.

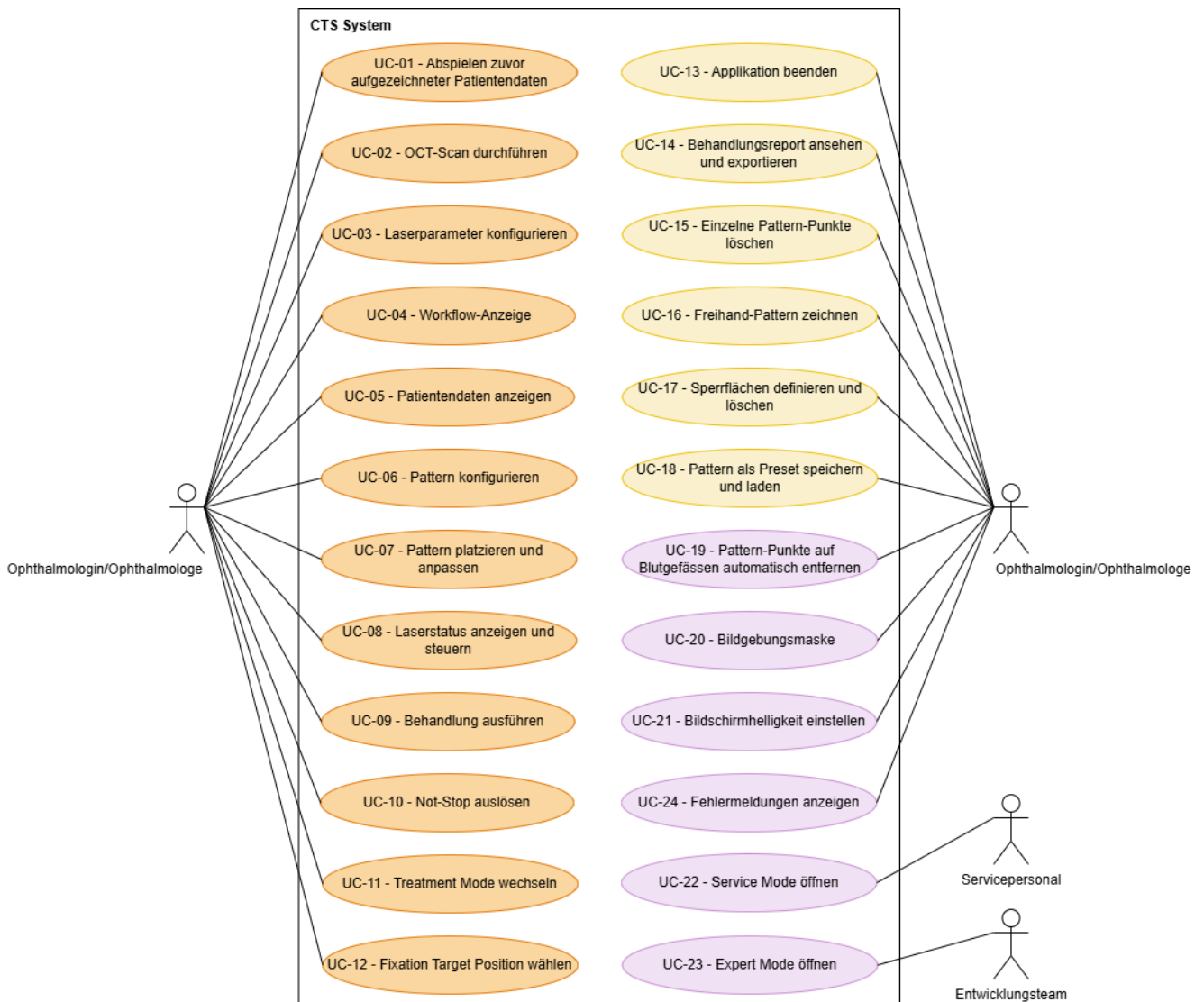


Abbildung 21: Use Case Diagramm

3.3.3 Use Cases

Die Use Cases werden gemäss dem Modell von Craig Larman definiert ([Larman, 2004](#)).

Wir verwenden drei Prioritätsstufen (High / Mid / Low) für die Klassifizierung. Sie definieren, was für den MVP in dieser BA wesentlich ist und was weniger wichtig ist. Die detaillierteren Klassifizierungen werden hier näher beschrieben.

Priorität	Bedeutung
High Prio	Dies sind die kritischen Kernfunktionen, die für den MVP innerhalb dieser BA implementiert werden müssen.
Mid Prio	Wird entsprechend der Priorität und je nach verfügbarer Zeit umgesetzt, optional für den MVP, aber es wäre gut, zumindest einige davon zu implementieren.
Low Prio	Nice to have, ist aber derzeit für diese BA nicht vorgesehen. Kann in zukünftigen Projekten oder bei Zeitüberschuss hier umgesetzt werden.

Tabelle 9: Priorität Legende (Use Cases)

Die folgenden Use Cases werden so beschrieben, wie sie ursprünglich definiert wurden, und stellen nicht den endgültigen Stand der Umsetzung dar. Einzelheiten dazu, wie die Use Cases im Endprodukt umgesetzt wurden und welche Aspekte angepasst wurden, finden Sie im Kapitel [Implementation](#).

UC-01 - Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin spielt zuvor aufgezeichnete SRT-Dateien (SLO+OCT) ab.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Eine aufgezeichnete SRT-Datei mit HRA+OCT Daten ist lokal verfügbar. System ist im Start- oder Standby-Zustand (keine aktive Behandlung).	
Nutzungshäufigkeit	Mittel	
Auslöser	Akteur klickt im CTS auf „Play File“.	
Hauptscenario	1. Der Akteur wählt im Dateidialog eine zuvor aufgezeichnete SRT-Datei (HRA+OCT) aus. 2. Das System lädt die Datei und spielt die Patientendaten in einer Schleife ab. 3. Während der Wiedergabe sind Bedienelemente deaktiviert, ausser der Button „Stop“ wechselt. 4. Der Akteur beendet die Wiedergabe durch Klick auf „Stop“. 5. Das System stoppt die Schleife und zeigt anschliessend (falls verfügbar) wieder das Live-SLO-Bild aus HEYEX an.	
Alternativscenario	• Es ist keine gültige Datei vorhanden oder die Datei kann nicht geladen werden: Das System zeigt eine Fehlermeldung, und es startet keine Wiedergabe.	

Tabelle 10: UC-01 - Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten

UC-02 - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan)		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin führt einen OCT-Scan durch und erhält zusätzlich eine visuelle Qualitätsbewertung des Messbereichs zur Unterstützung der Beurteilung und Freigabe der Behandlung.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	CTS ist mit HEYEX verbunden. Patient oder Patientin ist korrekt positioniert. System befindet sich nicht im Laser-Firing-Zustand.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Akteur wählt im OCT-Panel einen Scan-Modus (B-Scan, C-Scan oder M-Scan).	
Hauptszenario	1. Der Akteur wählt zwischen B-Scan, C-Scan oder M-Scan. 2. Das System aktiviert den gewählten OCT-Modus und startet die Bildakquisition über HEYEX. 3. Die aufgenommenen Schnittbilder werden in Echtzeit im OCT-Panel angezeigt. 4. Das System berechnet kontinuierlich eine Qualitätsbewertung des OCT-Bildes im relevanten Messbereich. 5. Die Qualitätsbewertung wird visuell durch eine farbliche Umrandung oder Statusanzeige dargestellt: • Grün: Messqualität gut, Behandlung grundsätzlich möglich • Orange: Messqualität unsicher, ärztliche Beurteilung erforderlich • Rot: Messqualität ungenügend, Behandlung nicht freigegeben 6. Die Statusanzeige wird fortlaufend aktualisiert und ist jederzeit sichtbar. 7. Beim M-Scan kann die Darstellung zusätzlich zur Beurteilung der SRT-Dosimetrie verwendet werden. 8. Der Akteur kann den Scan beenden oder in einen anderen Scan-Modus wechseln. 9. Abhängig vom aktiven Workflow-Schritt setzt das System einen Standard-Scan-Modus: • Im Schritt „Plan“ wird standardmässig der B-Scan aktiviert. • Im Schritt „Treat“ wird standardmässig der M-Scan aktiviert. 10. Der Akteur kann den automatisch gesetzten Scan-Modus bei Bedarf in einen anderen verfügbaren Modus wechseln.	
Alternativszenario	• HEYEX ist nicht verbunden oder liefert keine Daten: Das System zeigt eine entsprechende Status- oder Fehlermeldung. • Während Laser „Firing“: OCT-Modus kann nicht geändert werden, Stream läuft aber weiter.	

Tabelle 11: UC-02 - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan)

UC-03 - Laserparameter konfigurieren		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin konfiguriert die relevanten Laserparameter für die verschiedenen Treatment Modes, um die Behandlung vorzubereiten.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. HEYEX liefert Bild-Stream. System befindet sich nicht im Laser-Firing-Zustand.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Der Akteur hat einen Treatment Mode ausgewählt.	
Hauptszenario	1. Das System zeigt je nach Treatment Mode, die richtigen Parameter an. 2. Das System setzt unveränderbare Parameter auf Read Only, sodass die Werte trotzdem noch sichtbar sind. 3. Der Akteur passt die Parameter an. 4. Das System berechnet Grenzwerte selbst, validiert Eingaben und zeigt die aktuellen Werte sofort im UI an. 5. Die Parameter werden für die nächste Auslösung gespeichert (ohne Emission auszulösen).	
Alternativszenario	• Wert ausserhalb zulässigem Bereich: Das System verhindert die Übernahme. • Während Laser Firing: Das GUI ist deaktiviert, Parameter können nicht geändert werden.	

Tabelle 12: UC-03 - Laserparameter konfigurieren

UC-04 - Workflow-Anzeige		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin sieht den standardmässigen Workflow und wo er oder sie sich darin befindet.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Akteur bedient das GUI.	
Hauptszenario	1. Der Akteur bedient das GUI. 2. Das System aktualisiert automatisch die visuelle Workflow-Anzeige. 3. Die Punkte im Workflow sind: Setup > Plan > Treat > Report. Setup: Modus und Parameter bestimmen Plan: Pattern konfigurieren und setzen Treat: Laseremission & Überwachung der Behandlung Report: Möglichkeit einen Bericht der Behandlung anzuschauen 4. Beim Wechsel in den Schritt „Plan“ aktiviert das System standardmässig den B-Scan. 5. Beim Wechsel in den Schritt „Treat“ aktiviert das System standardmässig den M-Scan. 6. Der Akteur kann den automatisch gesetzten Scan-Modus bei Bedarf weiterhin manuell ändern.	
Alternativszenario	-	

Tabelle 13: UC-04 - Workflow-Anzeige

UC-05 - Patientendaten anzeigen		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin sieht die relevanten Patientendaten im GUI, um die Behandlung eindeutig dem richtigen Patienten zuzuordnen und Verwechslungen zu vermeiden.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Patientendaten wurden aus einer entsprechenden Quelle geladen. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Patient oder Patientin wird geladen.	
Hauptszenario	1. Das System zeigt die grundlegenden Patientendaten dauerhaft im GUI an (z.B. Name, Patienten-ID, Treatment-ID, Session-ID, etc.). 2. Die Patientendaten sind klar sichtbar und eindeutig identifizierbar dargestellt. 3. Das System aktualisiert die Anzeige automatisch, wenn ein anderer Patient oder eine andere Patientin geladen wird. 4. Der Akteur kann die Patientendaten jederzeit einsehen, ohne den aktuellen Workflow zu unterbrechen. 5. Die Anzeige bleibt auch während der Behandlung sichtbar, um eine kontinuierliche Zuordnung sicherzustellen.	
Alternativszenario	• Es sind keine Patientendaten verfügbar: Das System zeigt eine entsprechende Meldung oder einen leeren Zustand an.	

Tabelle 14: UC-05 - Patientendaten anzeigen

UC-06 - Pattern konfigurieren		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin konfiguriert die Eigenschaften eines Patterns, bevor es auf dem Retina-Bild platziert wird.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar. System befindet sich nicht im Laser-Firing-Zustand.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Akteur bearbeitet Pattern-Einstellungen.	
Hauptszenario	1. Der Akteur wählt eine Pattern-Form, Pattern-Grösse, Pattern-Rotation und den Punktabstand. 2. Das System aktualisiert die Vorschau des Patterns im UI. 3. Die gewählten Einstellungen werden für das aktuell aktive Pattern gespeichert.	
Alternativszenario	• Während Laser Firing: Das GUI ist deaktiviert und Einstellungen können nicht verändert werden.	

Tabelle 15: UC-06 - Pattern konfigurieren

UC-07 - Pattern platzieren und anpassen		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin platziert ein konfiguriertes Pattern auf dem SLO-Bild der Retina und kann dessen Position anpassen.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein Pattern ist konfiguriert. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar. System befindet sich nicht im Laser-Firing-Zustand.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Akteur klickt oder zieht das Pattern auf die gewünschte Position im SLO-Bild.	
Hauptszenario	1. Das System zeigt das Pattern auf dem SLO-Bild an. 2. Der Akteur positioniert das Pattern auf der gewünschten Stelle der Retina. 3. Der Akteur kann das Pattern verschieben oder feinjustieren. 4. Das System aktualisiert die Position in Echtzeit. 5. Der Akteur kann den Pattern fixieren mit dem Button „Lock Pattern“. 6. Das System ändert die visuelle Darstellung des Patterns, um anzuzeigen, dass es fixiert ist. 7. Die final gewählte Position wird für die Behandlung übernommen und kann nicht mehr angepasst werden.	
Alternativszenario	• Der Akteur kann die Fixierung lösen und erneut Änderungen vornehmen. • Während Laser Firing: Das GUI ist deaktiviert und das Pattern kann nicht verschoben werden.	

Tabelle 16: UC-07 - Pattern platzieren und anpassen

UC-08 - Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)		High Prio
Das System zeigt den aktuellen Laserstatus (Not connected, Standby, Ready, Firing) durchgehend im GUI an. Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin kann zwischen Standby und Ready wechseln, um den Behandlungslaser freizugeben oder wieder zu deaktivieren.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Laser und HEYEX sind verbunden, sofern ein Wechsel zu Ready erfolgen soll.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Akteur betätigt die Statuskontrolle im GUI, um zwischen Standby und Ready zu wechseln.	
Hauptszenario	1. Das System zeigt den aktuellen Laserstatus dauerhaft im GUI an (Not connected, Standby, Ready, Firing). 2. Wenn der Laser verbunden ist, befindet sich das System initial im Zustand „Standby“. 3. Der Akteur kann den Status von „Standby“ auf „Ready“ wechseln. 4. Das System prüft, ob alle Voraussetzungen für „Ready“ erfüllt sind. 5. Wenn die Voraussetzungen erfüllt sind, wechselt der Status zu „Ready“. 6. Der Akteur kann jederzeit von „Ready“ zurück zu „Standby“ wechseln. 7. Während der Laseremission zeigt das System den Status „Firing“ an.	
Alternativszenario	• Laser nicht verbunden: Der Status „Not connected“ wird angezeigt und ein Wechsel zu „Ready“ ist nicht möglich. • Voraussetzungen für „Ready“ nicht erfüllt: Das System verhindert den Statuswechsel und zeigt eine entsprechende Meldung. • Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und der Status kann nicht geändert werden.	

Tabelle 17: UC-08 - Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)

UC-09 - Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin löst die Laseremission aus, um die Behandlungspunkte des aktuell aktiven Patterns abzuarbeiten. Während der Laseremission zeigt das System den Status „Firing“ an und deaktiviert das GUI, um Fehlbedienungen zu verhindern.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Laserstatus ist „Ready“. Ein Pattern ist ausgewählt, platziert und gelockt. Es sind noch unbehandelte Punkte im Pattern vorhanden. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar.	
Nutzungshäufigkeit	Hoch	
Auslöser	Akteur betätigt den Joystick, um die Laseremission zu starten.	
Hauptszenario	1. Der Akteur betätigt den Joystick zur Emission. 2. Das System prüft unmittelbar die Sicherheitsbedingungen (Status „Ready“, Pattern gelockt, Punkte vorhanden). 3. Das System startet die Laseremission und setzt den Status auf „Firing“. 4. Das GUI wird während der Laseremission technisch und visuell deaktiviert (ausgegraut), um unbeabsichtigte Eingaben zu verhindern. 5. Das System gibt die Laserimpulse gemäss den eingestellten Parametern ab und arbeitet die vorgesehenen Punkte im Pattern ab. 6. Das System visualisiert den Fortschritt im Pattern (aktueller Punkt / bereits behandelte Punkte). 7. Das System zeigt zusätzlich einen numerischen und visuellen Fortschritt der Behandlung an, z.B. als Progress Bar mit Anzeige wie „20 / 100 Punkte“. 8. Nach Abschluss einer Emission kehrt das System in den Zustand „Ready“ zurück und aktiviert das GUI wieder.	
Alternativszenario	• Voraussetzungen nicht erfüllt: Emission wird verhindert und das System zeigt eine entsprechende Meldung. • Verbindung zu Laser oder HEYEX bricht ab: Das System stoppt die Emission, wechselt in einen Fehlerzustand und zeigt eine Fehlermeldung. • Not-Aus wird betätigt: Die Laseremission wird sofort unterbrochen und der Status wird entsprechend aktualisiert.	

Tabelle 18: UC-09 - Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)

UC-10 - Not-Stop auslösen		High Prio
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin kann die laufende Laseremission jederzeit über den Not-Stop sofort unterbrechen, um eine sichere Abschaltung des Lasers zu gewährleisten.		
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin	
Voraussetzungen	Laser befindet sich im Zustand „Ready“ oder „Firing“.	
Nutzungshäufigkeit	Sehr niedrig (nur im Notfall)	
Auslöser	Akteur betätigt den physischen Not-Stop Buzzer.	
Hauptszenario	1. Der Akteur betätigt den Not-Stop Buzzer. 2. Das System unterbricht die Laseremission sofort. 3. Der Laser wechselt in den Zustand „Standby“. 4. Das System zeigt eine entsprechende Statusmeldung an. 5. Weitere Laseremission ist blockiert, bis Laser wieder auf „Ready“ gestellt wird.	
Alternativszenario	-	

Tabelle 19: UC-10 - Not-Stop auslösen

UC-11 - Treatment Mode wechseln (CW / SP / SRT)**High Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin wechselt den Treatment Mode, um die Behandlung im passenden Betriebsmodus durchzuführen (CW, SP oder SRT).

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Laser ist verbunden. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur wählt im Bereich „Treatment Mode“ einen anderen Treatment Mode.
Hauptszenario	1. Der Akteur wählt den gewünschten Treatment Mode (CW, SP oder SRT). 2. Das System prüft, ob der gewünschte Mode verfügbar ist und ob alle Voraussetzungen erfüllt sind. 3. Das System wechselt in den gewählten Mode und aktualisiert die UI (System State, verfügbare Parameter, verfügbare Funktionen). 4. Das System zeigt den aktiven Treatment Mode dauerhaft sichtbar an.
Alternativszenario	• Voraussetzungen nicht erfüllt: Das System verhindert den Wechsel und zeigt eine Meldung an. • Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und der Treatment Mode kann nicht gewechselt werden.

Tabelle 20: UC-11 - Treatment Mode wechseln (CW / SP / SRT)**UC-12 - Fixation Target Position wählen****High Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin wählt die Position des Fixation Targets, um den Blick des Patienten oder der Patientin zu steuern und den gewünschten Bereich der Retina im SLO-Bild sichtbar zu machen.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. HEYEX ist verbunden. Ein SLO-Livebild ist sichtbar. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur wählt im GUI eine Position des Fixation Targets.
Hauptszenario	1. Der Akteur wählt eine Position innerhalb der Fixation-Target-Matrix (3×3). 2. Das System aktiviert die entsprechende LED-Position für den Patienten oder die Patientin. 3. Der Patient oder die Patientin richtet seinen bzw. ihren Blick auf das Fixation Target. 4. Das System zeigt den entsprechenden Bereich der Retina im SLO-Bild an.
Alternativszenario	• HEYEX oder das Fixation-Target-System ist nicht verfügbar: Das System zeigt eine entsprechende Fehlermeldung. • Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und die Fixation Target Position kann nicht geändert werden.

Tabelle 21: UC-12 - Fixation Target Position wählen

UC-13 - Applikation beenden**Mid Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin beendet die Applikation, um das System kontrolliert zu schließen.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Es läuft keine aktive Laseremission.
Nutzungshäufigkeit	Niedrig
Auslöser	Akteur wählt im GUI die Funktion zum Beenden der Applikation.
Hauptszenario	1. Der Akteur wählt „Shut Down“. 2. Das System prüft, ob sich der Laser in einem sicheren Zustand befindet. 3. Das System beendet laufende Hintergrundprozesse und schliesst die Verbindung zu HEYEX und dem Laser. 4. Das System schliesst die Applikation.
Alternativszenario	• Laser befindet sich im Zustand „Firing“: Das Beenden der Applikation ist nicht möglich.

Tabelle 22: UC-13 - Applikation beenden**UC-14 - Behandlungsreport ansehen und exportieren****Mid Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin kann nach einer Behandlung einen automatisch generierten Behandlungsreport ansehen und diesen optional exportieren (z.B. als PDF), um die Behandlung zu dokumentieren oder in ein Patientendossier zu übernehmen.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	Eine Behandlung wurde durchgeführt. Das System befindet sich nicht im Zustand „Firing“. Die Behandlungsdaten sind im System verfügbar.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur öffnet im Workflow den Schritt „Report“ oder wählt die Report-Funktion im GUI.
Hauptszenario	1. Der Akteur öffnet den Bereich „Report“ im GUI. 2. Das System generiert automatisch eine Zusammenfassung der Behandlung. 3. Der Report zeigt relevante Informationen wie Behandlungsmodus, Laserparameter, Anzahl gesetzter Laserpunkte und visuelle Darstellung des behandelten Patterns. 4. Der Akteur kann den Report im GUI ansehen. 5. Der Akteur kann den Report über eine Exportfunktion speichern (z.B. als PDF). 6. Das System speichert die exportierte Datei lokal oder im vorgesehenen Zielverzeichnis.
Alternativszenario	• Es sind keine Behandlungsdaten verfügbar: Das System zeigt eine entsprechende Meldung und öffnet keinen Report. • Fehler beim Export: Das System zeigt eine Fehlermeldung und der Export wird nicht abgeschlossen.

Tabelle 23: UC-14 - Behandlungsreport ansehen und exportieren

UC-15 - Einzelne Pattern-Punkte löschen**Mid Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin entfernt einzelne Punkte aus einem bereits platzierten Pattern, um die Behandlung an die anatomische Situation anzupassen und unerwünschte Behandlungsstellen auszuschliessen.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein Pattern ist platziert und noch nicht behandelt. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI den Löschmodus über einen Button.
Hauptszenario	1. Der Akteur aktiviert den Löschmodus über einen Button. 2. Das System zeigt visuell an, dass sich das GUI im Löschmodus befindet. 3. Der Akteur fährt mit dem Finger über einzelne Punkte des platzierten Patterns. 4. Das System erkennt die berührten Pattern-Punkte und entfernt diese aus dem Pattern. 5. Die gelöschten Punkte werden unmittelbar aus der visuellen Darstellung und aus der Behandlungslogik entfernt. 6. Der Akteur kann den Löschmodus wieder deaktivieren. 7. Das System zeigt das angepasste Pattern anschliessend in aktualisierter Form an.
Alternativszenario	• Es wird über keinen gültigen Pattern-Punkt gefahren: Das System nimmt keine Änderung vor. • Das Pattern ist bereits gelockt: Das System verhindert das Löschen und zeigt eine entsprechende Meldung. • Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und Punkte können nicht gelöscht werden.

Tabelle 24: UC-15 - Einzelne Pattern-Punkte löschen

UC-16 - Freihand-Pattern zeichnen**Mid Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin aktiviert den Freihand-Modus, zeichnet mit dem Finger eine individuelle Form auf dem SLO-Bild und lässt den markierten Bereich automatisch mit Behandlungspunkten füllen.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI den Freihand-Modus.
Hauptszenario	1. Der Akteur aktiviert den Freihand-Modus über den entsprechenden Button. 2. Das System zeigt visuell an, dass sich das GUI im Freihand-Modus befindet. 3. Der Akteur zeichnet mit dem Finger eine individuelle, geschlossene Form auf dem SLO-Bild. 4. Das System zeigt die gezeichnete Kontur in Echtzeit an. 5. Das System füllt den markierten Bereich automatisch mit Behandlungspunkten gemäss den aktuell gültigen Abständen. 6. Das erzeugte Pattern wird auf dem SLO-Bild angezeigt. 7. Der Akteur kann das generierte Pattern anschliessend verschieben, fixieren oder <u>Punkte löschen</u>. 8. Der Akteur kann den Freihand-Modus wieder deaktivieren.
Alternativszenario	• Die gezeichnete Form ist nicht geschlossen oder ausserhalb des zulässigen Behandlungsbereichs: Das System verwirft die Eingabe und zeigt eine entsprechende Meldung. • Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und der Freihand-Modus kann nicht verwendet werden.

Tabelle 25: UC-16 - Freihand-Pattern zeichnen

UC-17 - Sperrflächen definieren und löschen**Mid Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin definiert Sperrflächen auf dem SLO-Bild, in denen keine Behandlungspunkte platziert werden dürfen, und kann diese bei Bedarf wieder entfernen.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein SLO-Livebild von HEYEX ist sichtbar. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI den Modus zum Definieren oder Löschen von Sperrflächen.
Hauptszenario	1. Der Akteur aktiviert den Modus „Sperrfläche definieren“. 2. Das System zeigt visuell an, dass sich das GUI im Modus zur Bearbeitung von Sperrflächen befindet. 3. Der Akteur markiert mit dem Finger einen Bereich auf dem SLO-Bild als Sperrfläche. 4. Das System zeigt die definierte Sperrfläche deutlich auf dem SLO-Bild an. 5. Das System verhindert, dass neue Pattern oder Behandlungspunkte innerhalb einer Sperrfläche platziert werden. 6. Falls ein Pattern in eine Sperrfläche hineinragt, entfernt das System die betroffenen Punkte automatisch oder verhindert die Platzierung. 7. Der Akteur kann in den Modus „Sperrfläche löschen“ wechseln. 8. Der Akteur entfernt eine bestehende Sperrfläche durch Antippen. 9. Das System aktualisiert die Darstellung und gibt den Bereich wieder für zukünftige Pattern frei.
Alternativszenario	• Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und Sperrflächen können weder definiert noch gelöscht werden.

Tabelle 26: UC-17 - Sperrflächen definieren und löschen**UC-18 - Pattern als Preset speichern und laden****Mid Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin speichert ein konfiguriertes Pattern als Preset auf einem von drei vordefinierten Speicherplätzen und kann dieses später schnell wieder laden.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein Pattern ist konfiguriert (Form, Grösse, Rotation, Punktabstand). System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur wählt im GUI eine Preset-Speicherfunktion oder lädt ein bestehendes Preset.
Hauptszenario	1. Der Akteur konfiguriert ein Pattern (Form, Grösse, Rotation, Punktabstand). 2. Der Akteur wählt einen der drei Preset-Speicherplätze aus, indem er ihn gedrückt hält. 3. Das System speichert die aktuellen Pattern-Einstellungen auf dem gewählten Preset-Slot. 4. Falls der Slot bereits belegt ist, wird der bestehende Preset überschrieben. 5. Der Akteur kann jederzeit einen der drei Presets auswählen. 6. Das System setzt dann den Pattern und man kann diesen gewohnt bearbeiten.
Alternativszenario	• Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und Presets können weder gespeichert noch geladen werden.

Tabelle 27: UC-18 - Pattern als Preset speichern und laden

UC-19 - Pattern-Punkte auf Blutgefässen automatisch entfernen**Low Prio**

Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin lässt ein bereits platziertes Pattern automatisch analysieren, sodass Behandlungspunkte auf erkannten Blutgefässen entfernt werden und diese Bereiche nicht beschossen werden.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	Laser ist verbunden. Ein Pattern ist platziert. Ein SLO-Livebild ist verfügbar. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Mittel
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI die Funktion zur automatischen Erkennung von Blutgefässen.
Hauptszenario	1. Der Akteur aktiviert die Funktion zur automatischen Gefässererkennung. 2. Das System analysiert das zugrunde liegende Bild und erkennt Blutgefässe im sichtbaren Behandlungsbereich. 3. Das System markiert die erkannten Blutgefässe visuell im GUI oder verwendet sie im Hintergrund als Sperrbereiche. 4. Das System prüft das bereits platzierte Pattern gegen die erkannten Blutgefässe. 5. Behandlungspunkte, die auf Blutgefässen liegen oder diese überlappen, werden automatisch aus dem Pattern entfernt. 6. Der Akteur überprüft das bereinigte Pattern und kann anschliessend mit der weiteren Planung oder Behandlung fortfahren.
Alternativszenario	• Die automatische Erkennung liefert kein verwertbares Resultat: Das System informiert den Akteur und übernimmt keine automatische Änderung. • Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und die automatische Bereinigung kann nicht ausgeführt werden.

Tabelle 28: UC-19 - Pattern-Punkte auf Blutgefässen automatisch entfernen

UC-20 - Bildgebungsmaske Low Prio	
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin wechselt in eine reduzierte Bildgebungsmaske, in der nur noch UI-Elemente für die reine Bildgebung sichtbar sind und das OCT-Livebild gleich gross wie das SLO-Bild dargestellt wird.	
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. HEYEX ist verbunden. Ein SLO- und OCT-Livebild ist verfügbar. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Niedrig
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI die Bildgebungsmaske.
Hauptszenario	1. Der Akteur aktiviert die Bildgebungsmaske über das entsprechende Bedienelement im GUI. 2. Das System wechselt in eine reduzierte Ansicht für die reine Bildgebung. 3. Das System blendet alle nicht für die Bildgebung benötigten Bedienelemente aus, insbesondere laser- und behandlungsbezogene UI-Elemente. 4. Das SLO-Livebild und das OCT-Livebild werden prominent und gleich gross dargestellt. 5. Der Akteur kann in der Bildgebungsmaske weiterhin bildgebungsrelevante Funktionen bedienen, wie z.B. Scan-Modi. 6. Das System zeigt weiterhin die relevanten Statusinformationen an, soweit sie für Orientierung und Sicherheit notwendig sind. 7. Der Akteur kann die Bildgebungsmaske wieder verlassen und in die Standardansicht zurückkehren.
Alternativszenario	• Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und ein Wechsel in die Bildgebungsmaske ist nicht möglich.

Tabelle 29: UC-20 - Bildgebungsmaske

UC-21 - Bildschirmhelligkeit einstellen Low Prio	
Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin passt die Bildschirmhelligkeit des Systems an.	
Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Nutzungshäufigkeit	Niedrig
Auslöser	Akteur verwendet im GUI einen Regler zur Anpassung der Bildschirmhelligkeit.
Hauptszenario	1. Der Akteur öffnet die Einstellung zur Bildschirmhelligkeit. 2. Der Akteur passt die Helligkeit über einen Regler an. 3. Das System aktualisiert die Helligkeit in Echtzeit entsprechend der Eingabe. 4. Die gewählte Helligkeit bleibt gespeichert und wird bei der weiteren Nutzung beibehalten.
Alternativszenario	• Während „Firing“: Das GUI ist deaktiviert und die Helligkeit kann nicht angepasst werden.

Tabelle 30: UC-21 - Bildschirmhelligkeit einstellen

UC-22 - Service Mode öffnen**Low Prio**

Das Servicepersonal öffnet den passwortgeschützten Service Mode, um Diagnose-, Wartungs- und Support-funktionen am Gerät im realen Betrieb auszuführen.

Akteure	Servicepersonal
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Es läuft keine aktive Behandlung.
Nutzungshäufigkeit	Sehr niedrig
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI den Service Mode.
Hauptszenario	1. Der Akteur klickt auf „Service Mode“. 2. Das System zeigt einen Passwortdialog an. 3. Der Akteur gibt das Service-Passwort ein. 4. Wenn das Passwort korrekt ist, aktiviert das System den Service Mode. 5. Das System zeigt deutlich an, dass sich das System im Service Mode befindet. 6. Der Akteur kann entsprechende Funktionen nutzen.
Alternativszenario	• Falsches Passwort: Das System verweigert den Zugriff und bleibt im normalen Modus. • Während „Firing“: Zugriff wird verhindert.

Tabelle 31: UC-22 - Service Mode öffnen**UC-23 - Expert Mode öffnen****Low Prio**

Das Entwicklungsteam aktiviert den Expert Mode, um erweiterte interne Funktionen, Debugging-Optionen und experimentelle Features während der Entwicklung und beim Testen zu nutzen.

Akteure	Entwicklungsteam
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Gerät befindet sich im Entwicklungs- oder Testkontext (nicht im klinischen Betrieb).
Nutzungshäufigkeit	Sehr niedrig
Auslöser	Akteur aktiviert im GUI den Expert Mode.
Hauptszenario	1. Der Akteur klickt auf Expert Mode“. 2. Das System zeigt einen Passwortdialog an. 3. Der Akteur gibt das Expert-Passwort ein. 4. Nach erfolgreicher Aktivierung werden zusätzliche interne Funktionen sichtbar. 5. Das System zeigt deutlich an, dass sich das System im Expert Mode befindet. 6. Der Akteur kann den Expert Mode wieder deaktivieren und in den normalen Modus zurück-kehren.
Alternativszenario	• Falsches Passwort oder fehlende Berechtigung: Aktivierung wird verweigert. • Während „Firing“: Aktivierung ist nicht möglich.

Tabelle 32: UC-23 - Expert Mode öffnen

UC-24 - Fehlermeldungen anzeigen**Low Prio**

Das System zeigt automatisch Fehlermeldungen an, um den Ophthalmologen bzw. die Ophthalmologin über technische Probleme, ungültige Zustände oder fehlende Voraussetzungen zu informieren.

Akteure	Ophthalmologe/Ophthalmologin
Voraussetzungen	CTS ist gestartet. Im System tritt ein Fehler, ein ungültiger Zustand oder eine fehlende Voraussetzung auf.
Nutzungshäufigkeit	Sehr niedrig
Auslöser	Im System tritt ein Fehler oder ein problematischer Zustand auf.
Hauptszenario	1. Das System erkennt einen Fehler, einen ungültigen Zustand oder eine fehlende Voraussetzung. 2. Das System öffnet eine klare Fehlermeldung. 3. Die Fehlermeldung beschreibt das Problem in verständlicher Form. 4. Der Akteur bestätigt oder schliesst den Hinweis. 5. Das System bleibt, sofern sicher möglich, im aktuellen Zustand oder wechselt in einen sicheren Zustand.
Alternativszenario	• Während „Firing“ tritt ein kritischer Fehler auf: Das System unterbricht den Vorgang, wechselt in einen sicheren Zustand und zeigt anschliessend die Fehlermeldung an.

Tabelle 33: UC-24 - Fehlermeldungen anzeigen

3.3.4 Use Case Prioritäten & Planung

Nach der Umsetzung des ersten Use Cases wurden die restlichen **High Prio** Use Cases nach Priorität geordnet und in ungefähre Sprints geschätzt, in denen sie abgeschlossen werden sollten.

Die **Mid Prio** und **Low Prio** Use Cases wurden nach der Umsetzung der **High Prio** Use Cases priorisiert und eingeplant.

Use Case ID	Use Case	Priorität	Geplant in	Fertig in
<u>UC-10</u>	Not-Stop auslösen	High Prio	-	-
<u>UC-03</u>	Laserparameter konfigurieren	High Prio	Sprint 8	Sprint 8
<u>UC-11</u>	Treatment Mode wechseln (CW / SP / SRT)	High Prio	Sprint 8	Sprint 8
<u>UC-05</u>	Patientendaten anzeigen	High Prio	Sprint 9	Sprint 9
<u>UC-02</u>	OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan)	High Prio	Sprint 9	Sprint 9
<u>UC-12</u>	Fixation Target Position wählen	High Prio	Sprint 9	Sprint 9
<u>UC-04</u>	Workflow-Anzeige	High Prio	Sprint 10	Sprint 9
<u>UC-06</u>	Pattern konfigurieren	High Prio	Sprint 10	Sprint 10
<u>UC-07</u>	Pattern platzieren und anpassen	High Prio	Sprint 10	Sprint 10
<u>UC-08</u>	Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)	High Prio	Sprint 10	Sprint 10
<u>UC-09</u>	Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)	High Prio	Sprint 11	Sprint 10
<u>UC-01</u>	Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten	High Prio	Sprint 11	-
<u>UC-13</u>	Applikation beenden	Mid Prio	Sprint 11	Sprint 11
<u>UC-16</u>	Freihand-Pattern zeichnen	Mid Prio	Sprint 11	Sprint 11
<u>UC-18</u>	Pattern als Preset speichern und laden	Mid Prio	Sprint 11	Sprint 11
<u>UC-15</u>	Einzelne Pattern-Punkte löschen	Mid Prio	Sprint 12	Sprint 11
<u>UC-14</u>	Behandlungsreport ansehen und exportieren	Mid Prio	Sprint 12	-
<u>UC-17</u>	Sperrflächen definieren und löschen	Mid Prio	Sprint 12	Sprint 12
<u>UC-23</u>	Expert Mode öffnen	Low Prio	Sprint 12	Sprint 12
<u>UC-20</u>	Bildgebungsmaske	Low Prio	Sprint 12	Sprint 13
<u>UC-22</u>	Service Mode öffnen	Low Prio	Sprint 12	Sprint 13
-	Vertical Screen GUI	-	Sprint 13	Sprint 13
-	Undo Button	-	Sprint 14	Sprint 14
<u>UC-24</u>	Fehlermeldungen anzeigen	Low Prio	-	-
<u>UC-21</u>	Bildschirmhelligkeit einstellen	Low Prio	-	-
<u>UC-19</u>	Pattern-Punkte auf Blutgefäßen automatisch entfernen	Low Prio	-	-

Tabelle 34: Use Case Prioritäten & Planung

Nach der Priorisierung wurde UC-10: Not-Stop auslösen gestrichen. Der Grund dafür ist, dass diese Funktion über den physischen Not-Stop am Gerät ausgelöst wird und nicht als eigenständige Funktion im GUI umgesetzt werden soll.

UC-01 , UC-14 , UC-24 , UC-21 und UC-19 wurden nicht im geplanten Umfang implementiert, der Grund dazu wird im Kapitel Zukünftige Weiterentwicklung erläutert. Ebenfalls werden die zusätzlich hinzugekommenen Funktionen im Kapitel Implementation in den Abschnitten Vertical Screen GUI und Undo Button genauer erläutert.

3.4 Non-Functional Requirements

Zusätzlich zu den funktionalen Anforderungen wurden mehrere nicht-funktionale Anforderungen (Non-Functional Requirements, NFRs) definiert. Sie beschreiben Qualitätsaspekte des Systems, die nicht direkt mit einzelnen Funktionen verbunden sind, jedoch für Usability, Zuverlässigkeit, Performance oder Sicherheit wesentlich sind.

Um Klarheit und Überprüfbarkeit sicherzustellen, wurden die NFRs nach dem SMART-Prinzip (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) formuliert.

Die folgenden NFRs wurden aus den Vorgaben, der Anforderungsanalyse sowie der Aufgabenstellung abgeleitet. Jedes NFR wird mit seinem Verifizierungsansatz, seiner Priorität sowie den Kriterien für eine erfolgreiche Erfüllung dokumentiert.

NFR-01 - Touch-optimierte Bedienung		High Prio
ID	NFR-01	
Titel	Touch-optimierte Bedienung	
Beschreibung	Das GUI muss für die Bedienung über einen Touchscreen optimiert sein. Interaktive Bedienelemente wie Buttons, Slider oder Parameterfelder müssen ausreichend grosse Touch-Zielflächen besitzen, sodass sie zuverlässig mit dem Finger bedient werden können.	
Verifikations-Tools	Usability-Tests mit Touchscreen-Geräten, manuelle UI-Tests	
Definiert am	06.03.2026	
Verifikationsdatum	05.06.2026	
Erfüllungsgrad	Erfüllt	
Verifikationsdetails	Getestet auf einem 22-Zoll-Touch-Monitor in horizontaler sowie vertikaler Ausrichtung. Der Monitor ist repräsentativ für den zukünftig am Lasergerät vorgesehenen Bildschirm. Alle relevanten Bedienelemente wie Buttons, Slider, Workflow-Schritte, Treatment Modes, Pattern Controls und das Fixation Target konnten zuverlässig per Touch bedient werden.	

Tabelle 35: NFR-01 - Touch-optimierte Bedienung

NFR-02 - Berücksichtigung relevanter Normen		High Prio
ID	NFR-02	
Titel	Berücksichtigung relevanter Normen	
Beschreibung	Das GUI muss unter Berücksichtigung der für das Projekt relevanten Anforderungen aus IEC 60601-2-22 (International Electrotechnical Commission, 2019) und IEC 62366-1 (International Electrotechnical Commission, 2020) entwickelt werden. Sicherheitsrelevante Zustände und laserspezifische Kennzeichnungen müssen eindeutig dargestellt werden. Zudem muss der Usability-Engineering-Prozess im Projekt angewendet und dokumentiert werden.	
Verifikations-Tools	Normen-Review, Experten-Review, Dokumentationsprüfung	
Definiert am	06.03.2026	
Verifikationsdatum	05.06.2026	
Erfüllungsgrad	Erfüllt	
Verifikationsdetails	Die relevanten Normen wurden analysiert und bei der Konzeption sowie Evaluation des GUIs berücksichtigt. Besonders berücksichtigt wurden laserspezifische Kennzeichnungen, sicherheitsrelevante Systemzustände und die Dokumentation des Usability-Engineering-Prozesses. Der Prozess wurde durch Anforderungsanalyse, Prototyping, Usability-Tests und Evaluation dokumentiert.	

Tabelle 36: NFR-02 - Berücksichtigung relevanter Normen

NFR-03 - Multimodale Statusanzeige**High Prio**

ID	NFR-03
Titel	Multimodale Statusanzeige
Beschreibung	Sicherheitsrelevante Systemzustände dürfen nicht ausschliesslich über Farben kommuniziert werden. Zustände wie z. B. <i>LASER STANDBY</i> , <i>LASER READY</i> , <i>LASER FIRING</i> oder <i>NOT CONNECTED</i> müssen zusätzlich durch Text oder Symbole eindeutig dargestellt werden.
Verifikations-Tools	UI-Review anhand Designrichtlinien, manuelle UI-Tests
Definiert am	06.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Erfüllt
Verifikationsdetails	Die Laserzustände werden nicht nur farblich, sondern zusätzlich durch Text und Symbolik dargestellt. Zustände wie <i>LASER STANDBY</i> , <i>LASER READY</i> , <i>LASER FIRING</i> und <i>NOT CONNECTED</i> sind dadurch auch ohne reine Farbwahrnehmung unterscheidbar. Dies wurde im UI-Review und bei manuellen Tests überprüft.

Tabelle 37: NFR-03 - Multimodale Statusanzeige**NFR-04 - Echtzeitdarstellung des SLO-Bildes****High Prio**

ID	NFR-04
Titel	Echtzeitdarstellung des SLO-Bildes
Beschreibung	Das SLO- und OCT-Bild muss im GUI ohne wahrnehmbare Verzögerung dargestellt werden, sodass der Benutzer oder die Benutzerin das Live-Bild der Retina für die präzise Platzierung von Behandlungs-Patterns verwenden kann.
Verifikations-Tools	Manuelle Tests während der Systemintegration, Beobachtung der Bilddarstellung im Betrieb
Definiert am	06.03.2026
Verifikationsdatum	11.05.2026
Erfüllungsgrad	Erfüllt
Verifikationsdetails	Während der Integrationstests am Laser-Prototypen konnten SLO- und OCT-Bild im GUI angezeigt werden. Die Darstellung war für die Bedienung und Pattern-Platzierung ohne störende Verzögerung nutzbar. Eine formale Messung der Latenz wurde nicht durchgeführt, die Anforderung wurde jedoch durch Beobachtung im Betrieb und manuelle Tests validiert.

Tabelle 38: NFR-04 - Echtzeitdarstellung des SLO-Bildes

NFR-05 - Usability-Heuristiken**High Prio**

ID	NFR-05
Titel	Usability-Heuristiken
Beschreibung	Die Benutzeroberfläche soll die wichtigsten Usability-Heuristiken einhalten, welche im Kapitel <u>Designkonzept</u> genauer beschrieben werden.
Verifikations-Tools	UI-Review
Definiert am	06.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Erfüllt
Verifikationsdetails	Die Oberfläche wurde anhand der im Designkapitel beschriebenen Usability-Heuristiken überprüft. Besonders berücksichtigt wurden klare Sichtbarkeit des Systemstatus, kontextabhängige Bedienelemente, konsistente Interaktionen, Fehlervermeidung und eine reduzierte Informationsdichte während sicherheitskritischer Arbeitsschritte.

Tabelle 39: NFR-05 - Usability-Heuristiken**NFR-06 - Fehlerzustand bei Verbindungsabbruch****High Prio**

ID	NFR-06
Titel	Fehlerzustand bei Verbindungsabbruch
Beschreibung	Bei Verlust der Verbindung zum Laser oder zu HEYEX muss das System sofort in einen sicheren Fehlerzustand wechseln und den Benutzer oder die Benutzerin darüber informieren. Zusätzlich soll das System automatisch versuchen, die Verbindung wiederherzustellen.
Verifikations-Tools	Manuelle Tests durch simulierten Verbindungsabbruch
Definiert am	06.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Teilweise erfüllt
Verifikationsdetails	Ein nicht verbundener Laserzustand wird im GUI über <i>NOT CONNECTED</i> dargestellt. Dadurch wird der Benutzer bzw. die Benutzerin sichtbar über die fehlende Verbindung informiert. Eine vollständig produktive Fehlerbehandlung mit automatischem Wiederverbindungsversuch konnte aufgrund der eingeschränkten Hardwareverfügbarkeit und der unvollständigen realen Systemintegration noch nicht abschliessend umgesetzt und getestet werden.

Tabelle 40: NFR-06 - Fehlerzustand bei Verbindungsabbruch

NFR-07 - Konsistente Systemarchitektur**High Prio**

ID	NFR-07
Titel	Konsistente Systemarchitektur
Beschreibung	Alle für Diagnose und Behandlung relevanten Konfigurationen müssen innerhalb eines einzigen GUI verfügbar sein. Funktionen, die derzeit in getrennten Systemen konfiguriert werden (z.B. HEYEX und CTS), sollen im neuen System in einem konsistenten Interface integriert werden.
Verifikations-Tools	Review des UI-Konzepts, Funktionsprüfung während der Integration
Definiert am	06.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Erfüllt
Verifikationsdetails	Die wichtigsten Funktionen für Bildgebung, Behandlungsplanung, Laserstatus, Treatment Modes, Parameter, Presets und Pattern-Platzierung wurden in einer gemeinsamen Treatment View zusammengeführt. Dadurch reduziert das neue GUI den Medienbruch zwischen HEYEX und CTS. Einzelne Funktionen bleiben technisch weiterhin von bestehenden Backend- und Hardwarekomponenten abhängig, sind für den Benutzer bzw. die Benutzerin jedoch in einer konsistenten Oberfläche erreichbar.

Tabelle 41: NFR-07 - Konsistente Systemarchitektur**NFR-08 - Echtzeitfähige Systemrückmeldung****High Prio**

ID	NFR-08
Titel	Echtzeitfähige Systemrückmeldung
Beschreibung	Das System muss auf Benutzerinteraktionen, Statusänderungen und Systemereignisse in Echtzeit reagieren. Änderungen müssen ohne wahrnehmbare Verzögerung im GUI sichtbar werden. Sicherheitsbedingte, bewusst eingebaute Verzögerungen, z.B. beim Wechsel in den Zustand „Ready“, sind zu beachten, sofern sie von der Norm gefordert und für den Benutzer oder die Benutzerin nachvollziehbar sind.
Verifikations-Tools	Manuelle UI-Tests, Beobachtung der Reaktionszeiten im Betrieb
Definiert am	18.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Teilweise erfüllt
Verifikationsdetails	Benutzerinteraktionen wie Wechsel des Workflow-Schritts, Auswahl des Treatment Modes, Anpassung von Parametern, Pattern-Platzierung, Locking, Preset-Laden und Laserstatusänderungen wurden im GUI ohne wahrnehmbare Verzögerung dargestellt. Bewusste Verzögerungen bei Zustandswechsel wurden nicht implementiert.

Tabelle 42: NFR-08 - Echtzeitfähige Systemrückmeldung

NFR-09 - Dunkles GUI-Design**High Prio**

ID	NFR-09
Titel	Dunkles GUI-Design
Beschreibung	Das GUI muss in einer dunklen Farbgestaltung umgesetzt werden, da das System in einer abgedunkelten klinischen Umgebung betrieben wird. Helle oder stark leuchtende UI-Elemente sind zu vermeiden, um Blendung oder Ablenkung der zu behandelnden Person sowie des Ophthalmologen bzw. der Ophthalmologin zu verhindern. Die Darstellung muss dennoch ausreichend kontrastreich sein, sodass alle Informationen klar erkennbar bleiben.
Verifikations-Tools	UI-Review, Usability-Tests im abgedunkelten Raum
Definiert am	18.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Erfüllt
Verifikationsdetails	Das GUI wurde mit einer dunklen Farbpalette umgesetzt. Helle Flächen wurden reduziert und wichtige Informationen werden über Kontrast, Text, Icons und dezente Signalfarben hervorgehoben. Zusätzlich wurde die Oberfläche separat in einem abgedunkelten Raum geprüft. Dabei konnten die Lesbarkeit, die Wahrnehmbarkeit der Bedienelemente und die Wirkung der dunklen Farbgestaltung unter realitätsnahen Lichtbedingungen überprüft werden.

Tabelle 43: NFR-09 - Dunkles GUI-Design**NFR-10 - Minimierung der kognitiven Belastung****Mid Prio**

ID	NFR-10
Titel	Minimierung der kognitiven Belastung
Beschreibung	Die Benutzeroberfläche soll nur die für den aktuellen Systemzustand relevanten Bedienelemente anzeigen und nicht benötigte Funktionen kontextabhängig ausblenden oder deaktivieren, um die kognitive Belastung des Benutzers oder der Benutzerin zu reduzieren.
Verifikations-Tools	UI-Review anhand Designrichtlinien, Usability-Tests
Definiert am	06.03.2026
Verifikationsdatum	05.06.2026
Erfüllungsgrad	Erfüllt
Verifikationsdetails	Die Treatment View ist in die Schritte <i>Setup</i> , <i>Plan</i> , <i>Treat</i> und <i>Report</i> gegliedert. Je nach Schritt werden nur die jeweils relevanten Bedienbereiche prominent angezeigt. Funktionen, die im aktuellen Zustand nicht erlaubt sind, werden deaktiviert oder ausgeblendet. Dadurch wird die Oberfläche stärker auf den aktuellen Arbeitsschritt fokussiert und die kognitive Belastung reduziert.

Tabelle 44: NFR-10 - Minimierung der kognitiven Belastung

4 Design & Prototyping

Dieses Kapitel beschreibt die gestalterischen Grundlagen sowie die prototypische Umsetzung der Benutzeroberfläche für das SRT-Lasersystem. Ziel ist die Entwicklung eines intuitiven, sicheren und normkonformen Touch-Interfaces, das den klinischen Workflow unterstützt und Fehlbedienungen minimiert.

4.1 Designkonzept

Das Design wurde unter Einhaltung von etablierten Human-Computer-Interaction-Prinzipien und Usability-Heuristiken für medizinische Systeme entwickelt, ebenfalls wurde sich an die regulatorischen Anforderungen wie IEC 62366-1 ([International Electrotechnical Commission, 2020](#)) (Usability Engineering für Medizinprodukte) und IEC 60601-2-22 ([International Electrotechnical Commission, 2019](#)) (medizinische Lasergeräte) gehalten. Diese Normen fordern insbesondere die Berücksichtigung von Benutzerinteraktionen, potenziellen Bedienfehlern und sicherheitskritischen Situationen bereits im Designprozess. Nachfolgend wird auf die einzelnen Aspekte genauer eingegangen.

4.1.1 Human-Computer-Interaction Prinzipien

Die Gestaltung moderner Benutzeroberflächen basiert auf etablierten Erkenntnissen der Human-Computer Interaction (HCI). Ziel dabei ist es, herauszufinden wie Menschen mit interaktiven Systemen interagieren und welche Designprinzipien eine effiziente, verständliche und sichere Nutzung ermöglichen. Für die Gestaltung des in dieser Arbeit entwickelten GUIs wird insbesondere auf die Konzepte aus dem Standardwerk Human-Computer Interaction (Third Edition) von Alan Dix et al. zurückgegriffen ([Dix et al., 2004](#)). Die darin beschriebenen Prinzipien bilden eine wichtige Grundlage für die Gestaltung des SRT-Laser-GUIs und dienen als Leitlinien für die Entwicklung einer benutzerfreundlichen und sicheren Interaktionsstruktur.

Dix definiert in seinem Buch *Design Rules*, also Richtlinien, an die sich ein Entwickler oder eine Entwicklerin halten kann, um die Benutzerfreundlichkeit des fertigen Softwareprodukts zu verbessern. Diese werden klassifiziert in zwei Dimensionen: *Authority* (Verbindlichkeit) und *Generality* (Allgemeingültigkeit). Unter Verbindlichkeit wird verstanden, ob die Regel beim Design befolgt werden muss oder ob sie lediglich eine Empfehlung darstellt. Unter Allgemeingültigkeit wird verstanden, ob die Regel auf viele Design-Situationen anwendbar ist oder ob sie sich auf eine eher begrenzte Anwendungssituation konzentriert. Regeln unterscheiden sich zudem in drei Abstraktionsgrade. *Prinzipien* sind abstrakte Gestaltungsregeln, die sich durch hohe Allgemeingültigkeit und geringe Verbindlichkeit auszeichnen. *Standards* sind spezifische Gestaltungsregeln, die eine hohe Verbindlichkeit aufweisen und nur begrenzt anwendbar sind, während *Guidelines* in der Regel eine geringere Verbindlichkeit und eine allgemeinere Anwendbarkeit haben. ([Dix et al., 2004, S. 259](#))

In diesem Kapitel werden die von Dix definierten HCI-Prinzipien in einen für den SRT-Laser relevanten Kontext gesetzt. Die Prinzipien werden in drei Hauptkategorien gesetzt:

- **Learnability:** Beschreibt, wie einfach es für neue Benutzer und Benutzerinnen ist, ein System zu verstehen und produktiv zu nutzen.
- **Flexibility:** Beschreibt, wie viele unterschiedliche Wege ein System bietet, damit Benutzer und Benutzerinnen ihre Ziele erreichen können.
- **Robustness:** Beschreibt, wie gut ein System den Benutzer oder die Benutzerin bei der Zielerreichung unterstützt, insbesondere in Bezug auf Feedback, Fehlerbehandlung und Systemtransparenz.

([Dix et al., 2004, S. 260](#))

In den folgenden Tabellen werden die übergeordneten Kategorien in ihre zugrunde liegenden, spezifischeren Prinzipien unterteilt. Zudem werden diese Prinzipien auf den konkreten Anwendungskontext des SRT-GUIs übertragen, um ihre Relevanz für die Gestaltung der Benutzeroberfläche aufzuzeigen. Da das SRT-GUI primär von geschulten medizinischen Routineanwenderinnen und -anwendern genutzt wird, steht dabei weniger die erstmalige Einführung in grundlegende Bedienkonzepte im Vordergrund. Relevanter ist, dass bekannte fachliche Abläufe, Terminologie und Interaktionsmuster zuverlässig wiedererkannt und auf wiederkehrende Behandlungssituationen übertragen werden können.

Learnability

Prinzip	Definition	SRT-GUI Kontext
Predictability	Unterstützung des Benutzers oder der Benutzerin, die Auswirkungen zukünftiger Aktionen auf Basis früherer Interaktionen vorherzusagen.	Im GUI soll jederzeit erkennbar sein, welche Auswirkung eine Aktion hat. Beispielsweise muss beim Wechsel des Laserstatus von Standby zu Ready klar vorhersehbar sein, dass anschließend eine Emission möglich ist, sofern alle Voraussetzungen erfüllt sind (UC-08). In der Implementation wird dies unter anderem durch die Workflow-Anzeige und den dauerhaft sichtbaren Laserstatus in Setup-, Plan- und Treat-View umgesetzt (siehe Abbildung 39 , Abbildung 46 und Abbildung 42).
Synthesizability	Unterstützung des Benutzers oder der Benutzerin, die Auswirkungen vergangener Aktionen auf den aktuellen Systemzustand zu verstehen.	Nach dem Anpassen von Laserparametern muss das GUI den neuen Zustand unmittelbar sichtbar machen, damit nachvollziehbar bleibt, welche Änderungen übernommen wurden (UC-03). Dies zeigt sich konkret in der implementierten Treatment-Mode-Auswahl und den Parameterbereichen, in denen aktive Modi und schreibgeschützte SRT-Werte visuell von editierbaren Einstellungen unterschieden werden (siehe Abbildung 45).
Familiarity	Ausmass, in dem vorhandenes Wissen aus der realen Welt oder anderen Systemen auf die Interaktion übertragen werden kann.	Im SRT-GUI wird Familiarity unter anderem durch die Verwendung etablierter medizinischer Fachbegriffe wie z.B. OCT-Scan erreicht (UC-02). Da die Zielgruppe aus geschulten Routineanwenderinnen und -anwendern besteht, kann das GUI auf vorhandenes ophthalmologisches Domänenwissen und bekannte klinische Arbeitsabläufe aufbauen. Die implementierte Setup-View greift diese Begriffe direkt auf, etwa bei Treatment Mode, OCT-Scan und Fixation Target (siehe Abbildung 39).
Generalizability	Unterstützung des Benutzers oder der Benutzerin, erlernte Interaktionen auf ähnliche Situationen innerhalb oder zwischen Anwendungen zu übertragen.	Wenn Benutzer und Benutzerinnen gelernt haben, wie Parameter im SRT-Mode angepasst werden, sollte dieselbe Bedienlogik auch für die weiteren Modi SP und CW gelten (UC-03). Für Routineanwenderinnen und -anwender ist dies besonders relevant, da sie wiederkehrende Interaktionen effizient auf ähnliche Behandlungssituationen übertragen können. In der Implementation wird deshalb für SRT, SP und CW dieselbe Grundstruktur der Parameterdarstellung verwendet (siehe Abbildung 45).
Consistency	Ähnlichkeit im Ein- und Ausgabeverhalten bei vergleichbaren Situationen oder Aufgaben.	Gleiche oder ähnliche Interaktionen sollen im gesamten GUI gleich funktionieren. Beispielsweise soll die Platzierung für alle Behandlungsmustern nach derselben visuellen und funktionalen Logik aufgebaut sein, damit die Bedienung konsistent bleibt (UC-07). Gerade im Routineeinsatz reduziert dies die kognitive Belastung und unterstützt eine sichere, wiederholbare Bedienung. In der implementierten Plan-View werden die Pattern-Werkzeuge, Lock-Zustände und Bearbeitungsfunktionen nach dieser wiederkehrenden Logik dargestellt (siehe Abbildung 46 und fortfolgende Tabellen). Die verschiedenen Pattern-Formen lassen sich nach ähnlichen Prinzipien bewegen, rotieren, vergrössern oder verkleinern; bei Raster- und Form-Patterns werden zudem vergleichbare Funktionen zum Hinzufügen oder Entfernen von Reihen, Spalten oder Punkten verwendet.

Tabelle 45: Learnability Prinzipien ([Dix et al., 2004, S. 261](#))

Flexibility

Prinzip	Definition	SRT-GUI Kontext
Dialogue Initiative	Beschreibt, in welchem Ausmass Benutzer und Benutzerinnen die Kontrolle über den Ablauf der Interaktion haben und Aktionen selbst initiieren können.	Im SRT-GUI steuert der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin aktiv den Ablauf der Behandlung, z.B. durch Auswahl des Treatment Modes (UC-11). Diese Benutzerinitiative ist in der implementierten Setup-View über die Treatment-Mode-Auswahl sichtbar und wird im weiteren Ablauf durch Continue-, Arm-Laser- und Navigationsaktionen fortgeführt (siehe Abbildung 39 und Abbildung 46).
Multithreading	Unterstützung mehrerer paralleler oder unterbrechbarer Aufgaben innerhalb eines Systems.	Während bestimmte Prozesse wie der OCT-Scan laufen, können Benutzer und Benutzerinnen andere Aktionen durchführen, wie ein Pattern vorbereiten, solange kein sicherheitskritischer Zustand wie „Firing“ aktiv ist (UC-02 , UC-06). In der Implementation zeigt sich dies durch die parallele Darstellung von Bildgebung, Parametern und Pattern-Planung in der Plan-View (siehe Abbildung 46).
Task Migratability	Möglichkeit, Aufgaben flexibel zwischen Benutzer oder Benutzerin und System zu verteilen.	Das System übernimmt im SRT-Mode automatisch die Berechnung der Parameterwerte und zeigt diese an (UC-03). In der implementierten Treatment-Mode-Ansicht sind diese Werte im SRT-Modus bewusst sichtbar, aber nicht direkt editierbar (siehe Abbildung 45).
Substitutivity	Möglichkeit, eine Aufgabe auf unterschiedliche Arten oder mit verschiedenen Eingabemethoden zu erfüllen.	Benutzer und Benutzerinnen können Treatment Patterns auf verschiedene Arten anwenden: entweder über eine Auswahl vordefinierter Formen oder durch eine Freihand-Zeichnen-Funktion (UC-07 , UC-16). Die implementierte Plan-View zeigt diese Alternativen in den Pattern-Werkzeugen, unter anderem Grid, Triangle, Circle, Freehand und Fill (siehe Abbildung 46 und fortfolgende Tabellen).
Customizability	Möglichkeit für Benutzer/ Benutzerinnen oder System, die Interaktion oder Darstellung an individuelle Bedürfnisse anzupassen.	Das GUI bietet die Möglichkeit, Treatment Patterns als Presets zu speichern und wieder zu laden (UC-18). Zusätzlich können Parameterkonfigurationen pro Treatment Mode als Parameter Presets gespeichert werden (UC-03). Damit können häufig verwendete Pattern- und Parameter-Konfigurationen wiederverwendet werden, ohne sie jedes Mal neu aufzubauen (siehe Parameter Presets und Pattern Presets in der Implementation).

Tabelle 46: Flexibility Prinzipien ([Dix et al., 2004, S. 266](#))

Robustness

Prinzip	Definition	SRT-GUI Kontext
Observability	Unterstützung des Benutzers oder der Benutzerin, den aktuellen Zustand des Systems sowie relevante Informationen jederzeit wahrnehmen und verstehen zu können.	Das System stellt den aktuellen Zustand sowohl visuell (z.B. Laserstatus, Parameteranzeigen, Workflow) als auch auditiv (z.B. Warn- oder Bestätigungssignale) dar, sodass Benutzer und Benutzerinnen den Systemzustand jederzeit eindeutig wahrnehmen können (UC-24). Visuell wird dies in der Implementation durch die Kombination aus Workflow-Anzeige, Laserstatus und aktiven Auswahlzuständen umgesetzt (UC-04 , UC-08 , siehe Abbildung 39 , Abbildung 46 und Abbildung 42).
Recoverability	Unterstützung des Benutzers oder der Benutzerin, nach Fehlern oder unerwarteten Situationen den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen oder korrekt weiterzuarbeiten.	Das System unterstützt die Wiederherstellung nach Fehlern, indem es verständliche Fehlermeldungen anzeigt und klare Hinweise zur Korrektur gibt. Dadurch können Benutzer und Benutzerinnen fehlerhafte Eingaben erkennen, anpassen und ihre Aufgabe fortsetzen (UC-24). Zusätzlich können komplexere Planungsinteraktionen über den Undo-Button rückgängig gemacht werden, beispielsweise beim Platzieren, Löschen oder Bearbeiten von Treatment Patterns (siehe Abbildung 46).
Responsiveness	Ausmass, in dem das System zeitnah und angemessen auf Benutzeraktionen reagiert.	Das System reagiert konsistent und vorhersehbar auf Benutzeraktionen, wobei insbesondere bei sicherheitskritischen Zustandsänderungen des Lasers definierte, normkonforme Verzögerungen eingehalten werden. Dadurch wird sichergestellt, dass Statuswechsel wie von Standby zu Ready kontrolliert und nachvollziehbar erfolgen (UC-08).
Task conformance	Grad, in dem das System die tatsächlichen Aufgaben und Ziele der Benutzer und Benutzerinnen unterstützt.	Das GUI bildet den klinischen Workflow (Setup, Plan, Treat, Report) direkt ab und zeigt dem Benutzer oder der Benutzerin, in welchem Schritt er oder sie sich aktuell befindet (UC-04). Dadurch werden die realen Arbeitsabläufe der Behandlung strukturiert unterstützt und transparent dargestellt. Die vier Schritte sind in der Implementation als durchgehende Workflow-Anzeige in den Treatment Views sichtbar (siehe Abbildung 39 , Abbildung 46 , Abbildung 47 und Abbildung 50).

Tabelle 47: Robustness Prinzipien ([Dix et al., 2004, S. 270](#))

Die Tabellen beschreiben die Prinzipien zunächst abstrakt und übertragen sie auf den Anwendungskontext des SRT-GUIs. Die konkrete gestalterische Umsetzung ist in der [Implementation](#) insbesondere in der Setup-, Plan- und Treat-View sichtbar. Dort werden beispielsweise Workflow-Anzeige, Laserstatus, Treatment-Mode-Auswahl und fixierte Treatment Patterns eingesetzt, um die beschriebenen Prinzipien sichtbar und bedienbar zu machen.

4.1.2 Sicherheitskritische Designaspekte

Die relevanten Normen und regulatorischen Anforderungen wurden im Kapitel [Symbolik und Normen](#) bereits analysiert. Im Folgenden wird darauf aufbauend beschrieben, wie diese Anforderungen konkret in Designentscheidungen für das SRT-GUI umgesetzt werden. Im Sinne der Einordnung nach Dix et al. handelt es sich hierbei um *Standards*, die verbindliche Vorgaben darstellen und somit direkt das Design der Benutzeroberfläche beeinflussen ([Dix et al., 2004, S. 275](#)).

Im Zentrum stehen dabei insbesondere Anforderungen aus IEC 62366-1 (Usability Engineering) ([International Electrotechnical Commission, 2020](#)), ISO 14971 (Risikomanagement) ([International Organization for Standardization, 2019](#)) sowie IEC 60601-2-22 (medizinische Lasergeräte) ([International Electrotechnical Commission, 2019](#)). Diese Normen fordern, dass Risiken durch Fehlbedienung minimiert, Systemzustände eindeutig kommuniziert und sicherheitskritische Aktionen kontrolliert ausgeführt werden.

Risikominimierung durch UI-Design

Ausgehend von den im Usability-Engineering-Prozess identifizierten Hazard-Related Use Scenarios wurden konkrete Designmassnahmen abgeleitet, um Fehlbedienungen zu verhindern oder deren Auswirkungen zu minimieren.

Im SRT-GUI zeigt sich dies insbesondere durch:

Massnahme	Konkrete Umsetzung im GUI	Adressiertes Risiko
Sperrung während Laseremission	In der implementierten Treat-View wird der Interaktionsumfang während der Behandlung reduziert; der Benutzer oder die Benutzerin sieht primär Fortschritt und Systemzustand (siehe Abbildung 47).	Unbeabsichtigte Eingaben während der Laseremission werden verhindert (UC-09).
Freigabe erst nach bestätigter Planung	In der implementierten Plan-View müssen Treatment Patterns gelockt werden, bevor der Button „Arm Laser“ aktiviert werden kann (UC-07 , UC-09 , siehe Abbildung 46).	Eine Behandlung mit unbestätigten Patterns wird verhindert.
Schreibschutz sicherheitsrelevanter Parameter	Im SRT-Modus werden berechnete oder fixe Laserparameter angezeigt, aber nicht direkt editierbar gemacht (UC-03 , siehe Abbildung 45).	Manuelle Fehlkonfiguration von durch das System vorgegebenen Behandlungswerten wird reduziert.
Dauerhaft sichtbare Statusinformationen	Workflow-Anzeige und Laserstatus bleiben über Setup-, Plan- und Treat-View hinweg sichtbar (UC-04 , UC-08 , siehe Abbildung 39 , Abbildung 42 und Abbildung 46).	Die falsche Einschätzung des aktuellen System- oder Laserzustands wird reduziert.

Tabelle 48: Konkrete UI-Massnahmen zur Risikominimierung

Diese Massnahmen ergänzen die technische Validierung im System. Sie machen sicherheitsrelevante Einschränkungen nicht nur im Hintergrund wirksam, sondern auch in der Benutzeroberfläche nachvollziehbar.

Klare und eindeutige Systemzustände

Ein zentrales Konzept sicherheitskritischer Systeme ist die klare Definition und Kontrolle von Systemzuständen. Interaktionen sind dabei strikt an den aktuellen Zustand gebunden.

Im SRT-GUI wurde eine zustandsbasierte Logik umgesetzt:

- Aktionen sind nur in definierten Zuständen möglich (z.B. Emission nur in Ready)
- Zustandswechsel erfolgen kontrolliert und unter Prüfung aller Voraussetzungen
- Delay zwischen Zustandswechsel, um die Normen einzuhalten
- Kritische Zustände führen automatisch zu Einschränkungen der Interaktion

Diese Logik stellt sicher, dass Benutzer und Benutzerinnen nur solche Aktionen ausführen können, die im jeweiligen Kontext sicher sind ([UC-08](#)).

Risk Control Measures

Gemäss ISO 14971 müssen identifizierte Risiken durch geeignete Massnahmen kontrolliert werden. Im SRT-GUI wurden diese sogenannten Risk Control Measures direkt in die Benutzeroberfläche integriert.

Dazu gehören unter anderem:

- Automatische Begrenzung und Anpassung von Parametern
- Sperrmechanismen für kritische Funktionen
- Systemseitige Prüfungen vor der Ausführung von Aktionen

Ein Beispiel ist die automatische Berechnung und Begrenzung der Behandlungsenergie im SRT-Mode. Werte sind dort Readonly und können nicht vom Benutzer oder von der Benutzerin verändert werden ([UC-03](#)).

4.1.3 Usability-Heuristiken für medizinische Geräte

Nachdem im vorherigen Abschnitt verbindliche Sicherheitsanforderungen behandelt wurden, werden im Folgenden konkretere *Guidelines* für Benutzeroberflächen betrachtet. Gemäss der Einordnung nach Dix et al. handelt es sich hierbei um *Guidelines*, da sie zwar auf etablierten Erkenntnissen basieren, jedoch im Gegensatz zu *Standards* eine geringere Verbindlichkeit aufweisen und stärker kontextabhängig angewendet werden. (Dix et al., 2004, S. 277)

Die verwendeten Heuristiken basieren auf den 10 Usability-Heuristiken von Jakob Nielsen, welche auf den medizinischen Kontext übertragen wurden (Nielsen, 1994). Dabei bleiben die ursprünglichen Aussagen bestehen, werden jedoch auf die Anforderungen eines sicherheitskritischen Systems wie das SRT-GUI angewendet.

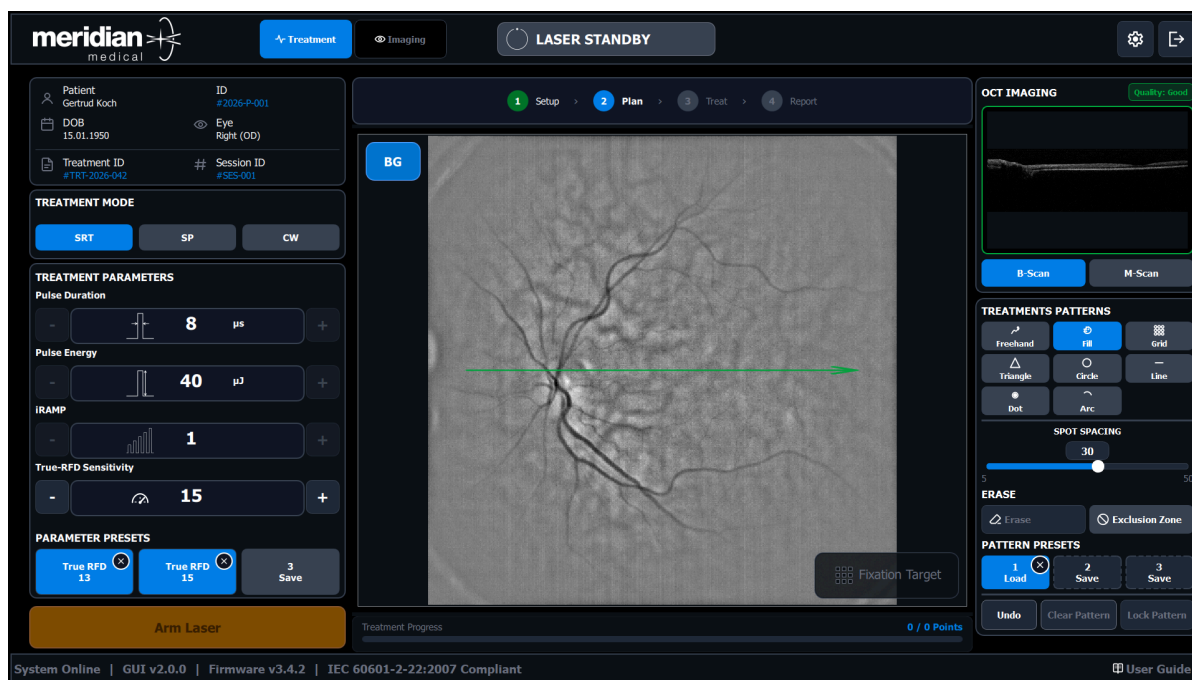
Heuristik (Nielsen)	Definition	SRT-GUI Kontext
Visibility of System Status	Das System soll den Benutzer oder die Benutzerin jederzeit über den aktuellen Systemzustand informieren.	Wie bereits im Kontext der <u>Robustness</u> beschrieben, wird der Systemzustand im SRT-GUI kontinuierlich sichtbar gemacht. Ergänzend dazu unterstützt die Workflow-Anzeige die Orientierung im Behandlungsprozess (<u>UC-04</u>).
Match between System and the Real World	Das System soll Begriffe und Konzepte verwenden, die der realen Welt und dem Fachgebiet der Benutzer und Benutzerinnen entsprechen.	Aufbauend auf dem Prinzip der <u>Familiarity</u> werden etablierte medizinische Begriffe und Konzepte wie <i>SRT-/SP-Mode</i> und <i>Fixation Target</i> verwendet (<u>UC-11</u> , <u>UC-12</u>). Diese Begriffe erscheinen in der Implementation direkt in der Treatment-Mode-Auswahl und in der Fixation-Target-Steuerung der Setup-View (siehe <u>Abbildung 39</u>).
User Control and Freedom	Benutzer und Benutzerinnen sollen Aktionen jederzeit abbrechen oder korrigieren können.	Ergänzend zur bereits beschriebenen <u>Dialogue Initiative</u> behalten Benutzer und Benutzerinnen die Kontrolle, indem sie Abläufe stoppen oder Anpassungen vornehmen können. Beispielsweise können sie die Behandlung unterbrechen, in die Plan-View zurückkehren und dort weitere Punkte planen oder bestehende Patterns anpassen (<u>UC-07</u> , <u>UC-09</u>).
Consistency and Standards	Ähnliche Elemente und Interaktionen sollen einheitlich gestaltet sein.	Wie im Kapitel <u>Learnability</u> erläutert, sorgt ein konsistentes Design für bessere Verständlichkeit. Ähnliche Funktionen sind im SRT-GUI visuell konsistent gestaltet und räumlich gruppiert, etwa die seitlichen Parameter- und Werkzeugbereiche in Setup- und Plan-View.
Error Prevention	Das System soll Fehler möglichst verhindern, bevor sie auftreten.	Aufbauend auf den <u>sicherheitskritischen Designaspekten</u> werden fehleranfällige Situationen durch strukturierte Abläufe und UI-Einschränkungen reduziert, z.B. beim automatischen Setzen der Parameterwerte im SRT-Mode und beim Locking der Treatment Patterns vor der Laserfreigabe (<u>UC-03</u> , <u>UC-09</u>).
Recognition rather than Recall	Benutzer und Benutzerinnen sollen Informationen erkennen können, anstatt sich diese merken zu müssen.	Ähnlich wie bei <u>Learnability</u> beschrieben, werden relevante Informationen im UI sichtbar gehalten. Beispielsweise unterstützt das Fixation Target die direkte visuelle Orientierung und wird in der implementierten Setup-View durch ein 3x3 Raster angezeigt (<u>UC-12</u> , siehe <u>Abbildung 43</u>).

Tabelle 49: Usability-Heuristiken Teil 1

Heuristik (Nielsen)	Definition	SRT-GUI Kontext
Flexibility and Efficiency of Use	Das System soll sowohl für Anfänger und Anfängerinnen als auch für erfahrene Benutzer und Benutzerinnen effizient nutzbar sein.	Beim Platzieren von Treatment Patterns steht es dem Benutzer oder der Benutzerin frei, vordefinierte Patterns zu nutzen oder mit der Freihand-Zeichnen-Funktion zu arbeiten (UC-07 , UC-16). Die implementierte Plan-View stellt diese Alternativen direkt nebeneinander bereit (siehe Abbildung 46).
Aesthetic and Minimalist Design	Es sollen nur relevante Informationen angezeigt werden, um Überlastung zu vermeiden.	Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin kann in eine separate Bildgebungsmaske wechseln, in der nur noch UI-Elemente für die reine Bildgebung sichtbar sind und keine nicht relevanten Informationen angezeigt werden (UC-20 , siehe Abbildung 51).
Help Users Recognize, Diagnose, and Recover from Errors	Fehlermeldungen sollen verständlich sein und Lösungen anbieten.	Wie bereits im Sicherheitskapitel beschrieben, werden Fehlermeldungen so gestaltet, dass sie Benutzer und Benutzerinnen bei der Fehlerbehebung unterstützen (UC-24).
Help and Documentation	Das System soll bei Bedarf unterstützende Informationen bereitstellen.	Ergänzend zu den bisherigen Konzepten bietet der Service Mode Zugriff auf weiterführende Funktionen und Informationen für geschultes Personal (UC-22). Zudem wird nach Abschluss der Behandlung ein Report als Zusammenfassung generiert (UC-14), und Benutzer und Benutzerinnen haben innerhalb des GUIs die Möglichkeit, ein User Guide einzusehen.

Tabelle 50: Usability-Heuristiken Teil 2

Um den Bezug zwischen Heuristiken und konkreter Oberfläche sichtbar zu machen, zeigt [Abbildung 22](#) exemplarisch die implementierte Plan-View. In dieser Ansicht greifen mehrere Heuristiken gleichzeitig ineinander.

**Abbildung 22:** Visuelles Beispiel für Usability-Heuristiken in der implementierten Plan-View

Die Workflow-Anzeige unterstützt die *Visibility of System Status*, da der aktuelle Behandlungsschritt jederzeit sichtbar bleibt. Das Locking der Treatment Patterns und die davon abhängige Aktivierung von „Arm Laser“ dienen der *Error Prevention*. Die festen Seitenbereiche für Patientendaten, Parameter und Werkzeuge unterstützen *Recognition rather than Recall*, weil relevante Informationen nicht aus dem Gedächtnis rekonstruiert werden müssen. Die verschiedenen Pattern-Werkzeuge wie Grid, Circle, Fill und Freehand zeigen zudem *Flexibility and Efficiency of Use*, da unterschiedliche Planungsstrategien direkt in derselben View verfügbar sind.

4.1.4 Touchscreen-Design

Nach der Betrachtung von Prinzipien, normativen Anforderungen und Usability-Heuristiken wird in diesem Abschnitt auf spezifische Gestaltungsaspekte für Touchscreen-basierte Benutzeroberflächen eingegangen. Diese stellen *Guidelines* dar, da sie konkrete Empfehlungen für die Interaktion liefern, jedoch nicht zwingend normativ vorgeschrieben sind.

Gemäss Dix werden sogenannte Input- und Output-Kanäle unterschieden, die auf den menschlichen Sinnen basieren. Zu den wichtigsten zählen dabei Sehen (Vision), Hören (Hearing) und Tasten (Touch). Während in den vorherigen Kapiteln insbesondere visuelle und auditive Aspekte behandelt wurden, liegt der Fokus dieses Kapitels auf dem Tastsinn, konkret der Bedienung über Touchscreens ([Dix et al., 2004, S. 25](#)).

Touch-Freundliche Interaktionselemente

Eine grundlegende Anforderung an Touchscreens ist die ausreichende Grösse von Bedienelementen, um Fehlbedienungen zu vermeiden.

Im SRT-GUI wird dies umgesetzt durch:

- Ausreichend grosse Buttons und Interaktionsflächen
- Genügend Abstand zwischen interaktiven Elementen
- Klare visuelle Abgrenzung einzelner Bedienelemente

Vermeidung von präzisionskritischen Eingaben

Touchscreens sind weniger präzise als Maus- oder Joystick-Eingaben. Daher sollten Interaktionen so gestaltet werden, dass keine hohe Genauigkeit erforderlich ist.

Im SRT-GUI wird dies berücksichtigt durch:

- Verwendung von Schiebereglern oder vordefinierten Auswahlwerten anstelle freier Eingaben
- Vermeidung von sehr kleinen interaktiven Bereichen
- Unterstützung durch visuelle Hilfen bei der Platzierung von Elementen

Minimierung von Interaktionsschritten

Touch-basierte Systeme sollten möglichst wenige Interaktionsschritte erfordern, da jede zusätzliche Eingabe Zeit kostet und potenzielle Fehlerquellen darstellt.

Im SRT-GUI zeigt sich dies durch:

- Direkte Anpassung von Parametern ohne komplexe Dialoge
- Logische Gruppierung von Funktionen
- Schnelle Erreichbarkeit zentraler Aktionen

Dadurch können Benutzer und Benutzerinnen Aufgaben effizient ausführen, was insbesondere im klinischen Umfeld relevant ist.

Trennung von Touch- und sicherheitskritischen Aktionen

Ein wichtiger Aspekt im medizinischen Kontext ist die bewusste Trennung zwischen Touch-Interaktionen und sicherheitskritischen Aktionen. Im SRT-GUI wird die eigentliche Laseremission nicht über den Touchscreen, sondern bisher über ein Fusspedal und im neuen Konzept über den Joystick ausgelöst ([UC-09](#)). Dadurch wird verhindert, dass kritische Aktionen unbeabsichtigt durch Touch-Eingaben erfolgen.

4.2 Farbpalette

Farben sind ein zentrales Gestaltungsmittel im SRT-GUI, da sie Informationen effizient vermitteln, die Benutzerführung unterstützen und insbesondere sicherheitskritische Zustände visuell hervorheben. Gemäss Dix et al. erfolgt ein grosser Teil der Interaktion über den visuellen Kanal, wodurch Farben eine wichtige Rolle in der Systemkommunikation einnehmen (Dix et al., 2004, S. 14).

Die Farbpalette wurde auf Basis etablierter Erkenntnisse aus der Farbtheorie, UX-Guidelines sowie HCI-Literatur entwickelt und gezielt auf die Anforderungen eines medizinischen Lasersystems abgestimmt.

Zudem wurde bewusst ein Dark-UI-Ansatz gewählt, um die Darstellung medizinischer Bilddaten zu optimieren und visuelle Ablenkung zu reduzieren. Da das System in einem klinischen Umfeld mit abgedunkelten Räumen eingesetzt wird, reduziert die dunkle Gestaltung zudem Blendung und unterstützt eine ruhigere visuelle Wahrnehmung während der Behandlung.

4.2.1 Farbtheorie und UX-Grundlagen

Für die Gestaltung der Farbpalette wurden die wichtigsten Prinzipien aus der Farbtheorie und UX-Praxis berücksichtigt. Insbesondere aus dem Werk Designing The User Interface von Shneiderman und Plaisant (Shneiderman & Plaisant, 2010).

Die zentralen Erkenntnisse daraus werden in der folgenden Tabelle erläutert und in den Kontext des SRT-GUIs gesetzt:

Prinzip	Beschreibung	SRT-GUI Kontext
Reduktion der Farbanzahl	Die Anzahl der verwendeten Farben sollte begrenzt werden, um visuelle Überladung und Fehlinterpretationen zu vermeiden.	Die Farbpalette ist klar in wenige Kategorien unterteilt (Primary, Secondary, Statusfarben und Neutral), wodurch die Oberfläche übersichtlich bleibt.
Kontrast (Value)	Ein ausreichender Helligkeitskontrast ist entscheidend für Lesbarkeit und klare Unterscheidbarkeit von Elementen.	Systemzustände und UI-Elemente sind klar vom Hintergrund abgegrenzt, so dass wichtige Informationen sofort erkennbar sind.
Gezielte Sättigung	Stark gesättigte Farben sollten sparsam eingesetzt werden, da sie Aufmerksamkeit stark beeinflussen.	Hohe Sättigung wird primär für kritische Zustände (z.B. Firing) verwendet, während strukturelle Elemente weniger gesättigt sind.
Farbe als Codierung	Farben können als effizientes Mittel zur schnellen Informationsvermittlung und Zustandsdarstellung genutzt werden.	Zustände wie Ready, Warning oder Error werden farblich kodiert und sind sofort erkennbar.
Konsistenz	Farben müssen im gesamten System dieselbe Bedeutung haben, um Verwirrung zu vermeiden.	Jede Farbe hat im SRT-GUI eine feste Bedeutung (z.B. Rot = kritisch) und wird konsistent verwendet.
Farbskalen verwenden	Statt einzelner Farben sollten abgestufte Farbskalen (hell/dunkel) verwendet werden.	Jede Farbgruppe besitzt mehrere Abstufungen, z.B. für Hover, Disabled oder Hintergrund.
Erwartungskonformität	Farben sollten bekannten Konventionen entsprechen (z.B. Rot = Gefahr, Grün = sicher).	Statusfarben folgen etablierten Bedeutungen, was eine schnelle Interpretation ermöglicht.
Unterstützung durch mehrere Kanäle	Informationen sollten nicht nur über Farbe vermittelt werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.	Statusanzeigen werden zusätzlich durch Text und visuelle Zustände ergänzt, nicht nur durch Farbe.

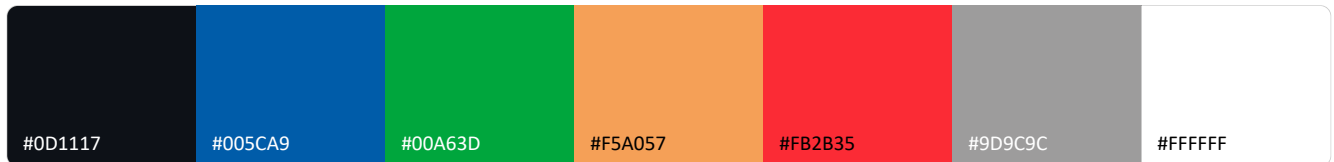
Tabelle 51: Farbtheorie nach Shneiderman

Neben den allgemeinen UX- und HCI-Grundlagen wurde bei der Gestaltung der Farbpalette auch der bestehende Styleguide von Meridian berücksichtigt. Dieser definiert unter anderem die Unternehmensfarben sowie grundlegende visuelle Prinzipien, die für ein konsistentes Erscheinungsbild der Produkte sorgen. Die für die Farbpalette relevanten Inhalte des internen Styleguides sind im [Anhang D](#) dokumentiert.

4.2.2 Aufbau der Farbpalette

Basierend auf diesen Grundlagen wurde die Farbpalette des SRT-GUIs systematisch aufgebaut.

Basisfarben

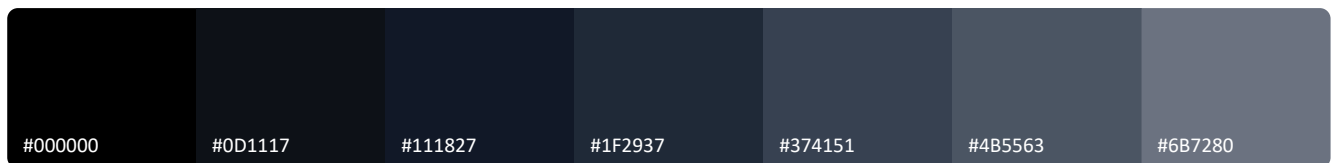


Die Basisfarben bilden die Grundlage der gesamten Farbpalette. Ausgehend von diesen Farben wurden die jeweiligen Farbskalen durch Variation von Helligkeit und Sättigung abgeleitet, um konsistente Abstufungen für unterschiedliche UI-Zustände zu ermöglichen.

Die Auswahl der Basisfarben erfolgte unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien. Einerseits wurde auf ausreichende Kontraste geachtet, um eine gute Lesbarkeit und klare visuelle Unterscheidbarkeit sicherzustellen. Andererseits wurden Aspekte der Farbfehlsichtigkeit berücksichtigt, sodass wichtige Informationen nicht ausschliesslich durch schwer unterscheidbare Farbkombinationen vermittelt werden.

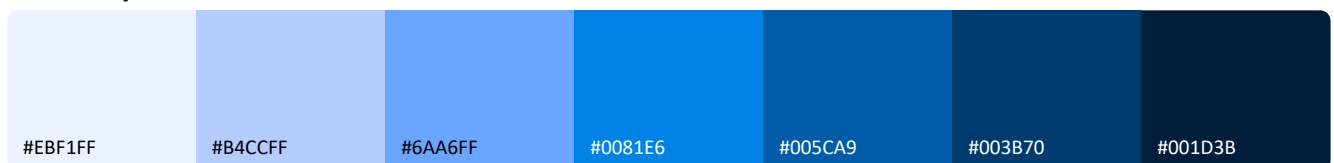
Zusätzlich orientiert sich die Farbwahl teilweise am bestehenden Meridian-Branding, um eine visuelle Konsistenz zum Produktumfeld zu gewährleisten. So sind zum Beispiel die Basisfarben für die Secondary-, Warning- und Neutral-Skalen vom Meridian Styleguide übernommen worden.

Primary



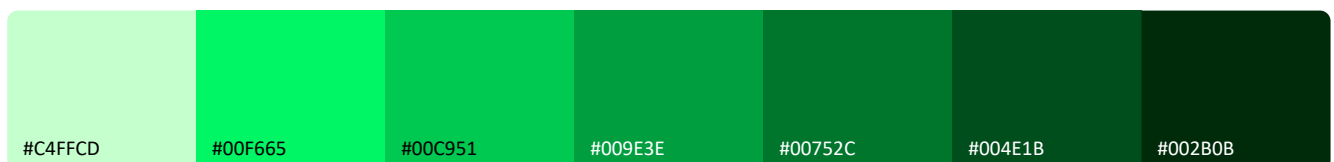
Die Primärfarbe bildet die strukturelle Grundlage des Interfaces und wird für Hintergrundflächen, Container und visuelle Hierarchien verwendet.

Secondary



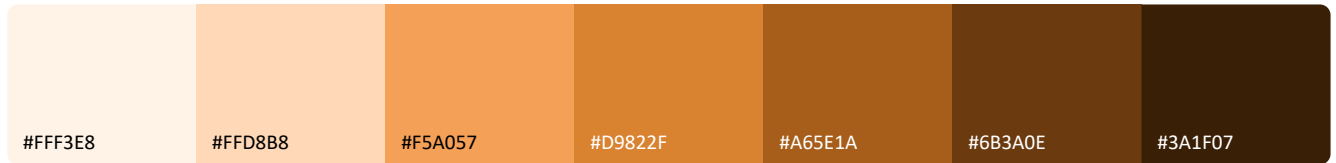
Die Sekundärfarbe dient der Hervorhebung interaktiver Elemente und wird für aktive Zustände, Selektionen und Navigation verwendet.

Success



Diese Farbskala wird für sichere oder erfolgreiche Zustände verwendet und unterstützt eine schnelle positive Rückmeldung.

Warning



Die Warning-Skala basiert auf dem Meridian Orange und dient zur Kennzeichnung von Hinweisen oder Zuständen, die erhöhte Aufmerksamkeit erfordern.

Error



Die Error-Farben markieren kritische oder fehlerhafte Zustände und heben diese klar vom restlichen Interface ab.

Neutral



Die Neutral-Skala basiert auf dem Meridian Grey und wird primär für Typografie, sekundäre Inhalte sowie UI-Elemente verwendet.

Für jede Kategorie wurde eine Farbskala mit mehreren Abstufungen definiert (hell → dunkel). Dies ermöglicht:

- Flexible Anwendung im UI (z.B. Hover, Disabled)
- Klare visuelle Hierarchien
- Konsistente Gestaltung über das gesamte System

4.2.3 Verwendung von Signalfarben

In medizinischen Systemen sind bestimmte Farben stark semantisch belegt und müssen konsistent eingesetzt werden. Insbesondere Rot, Grün und Orange besitzen etablierte Bedeutungen, die von Benutzer und Benutzerinnen unmittelbar interpretiert werden.

Gemäss etablierten HCI-Konventionen, unter anderem nach Shneiderman und Plaisant, gilt für UI-Farben ([Shneiderman & Plaisant, 2010](#)) :

- Rot kennzeichnet kritische oder gefährliche Zustände
- Grün steht für sichere oder freigegebene Zustände
- Orange signalisiert Warnungen oder erhöhte Aufmerksamkeit

Für das SRT-GUI bedeutet dies:

- Diese Farben werden ausschliesslich für Status- und Sicherheitsinformationen verwendet
- Eine dekorative oder funktional andere Nutzung wird vermieden
- Die Farbzuoordnung ist im gesamten System konsistent

Zusätzlich werden Signalfarben nicht isoliert verwendet, sondern immer durch Text, Icons oder visuelle Zustände ergänzt. Dadurch wird sichergestellt, dass Systemzustände eindeutig erkennbar sind und Fehlinterpretationen vermieden werden.

4.2.4 Beitrag zur Usability und Sicherheitsanforderungen

Die strukturierte Farbpalette unterstützt die Bedienung des Systems direkt:

- Schnelle Erkennung von Systemzuständen
- Reduzierte kognitive Belastung
- Klare visuelle Hierarchie
- Hervorhebung sicherheitskritischer Informationen

Insbesondere im Kontext eines medizinischen Lasersystems trägt die Farbgestaltung dazu bei, Fehlbedienungen zu reduzieren und kritische Situationen eindeutig erkennbar zu machen.

4.2.5 Barrierefreiheit und Wahrnehmbarkeit

Eine wichtige Anforderung an die Farbgestaltung ist die zuverlässige Wahrnehmbarkeit von Informationen. Auch wenn die WCAG-Richtlinien primär für webbasierte Anwendungen gelten, werden deren zentrale Prinzipien im SRT-GUI berücksichtigt, insbesondere in Bezug auf Kontrast und farbumabhängige Informationsdarstellung.

Gemäss den Empfehlungen aus WCAG sowie den Richtlinien von Shneiderman ist insbesondere darauf zu achten, dass Farben nicht die einzige Informationsquelle darstellen und ausreichend Kontrast zwischen Elementen besteht.

Für das SRT-GUI bedeutet dies:

- Ausreichender Kontrast zwischen Vorder- und Hintergrund für gute Lesbarkeit
- Kombination von Farbe mit Text, Symbolen oder Zuständen
- Vermeidung von rein farbbasierter Informationsvermittlung
- Klare visuelle Unterscheidbarkeit auch bei eingeschränkter Farbwahrnehmung

4.3 Figma Prototyp

Wir haben uns für Figma zur Prototypenentwicklung entschieden. Es bietet zahlreiche Funktionen, insbesondere um Prototypen interaktiv zu gestalten, und eignet sich daher ideal für realistische Usability-Tests. Dies birgt jedoch wieder den Nachteil, dass Personen oft denken, dass es bereits fertig programmiert ist.

4.3.1 Erster Entwurf

Der erste Entwurf orientiert sich stark am bestehenden TT-Device von Meridian (siehe [Abbildung 23](#)). Das Vorgehen bestand zunächst darin, die sichtbare Struktur des bestehenden Systems zu analysieren und diejenigen Elemente zu identifizieren, welche für den klinischen Ablauf bereits vertraut und aufgabenrelevant waren. Anschliessend wurden diese Layoutmuster mit den zuvor definierten Anforderungen und Use Cases abgeglichen und in Figma auf die neuen Funktionen des SRT-GUIs übertragen. Ziel war es, eine vertraute Struktur und bekannte Interaktionsmuster beizubehalten, damit sich zukünftige Nutzer und Nutzerinnen schnell im neuen System zurechtfinden, ohne sicherheitsrelevante Informationen suchen zu müssen.

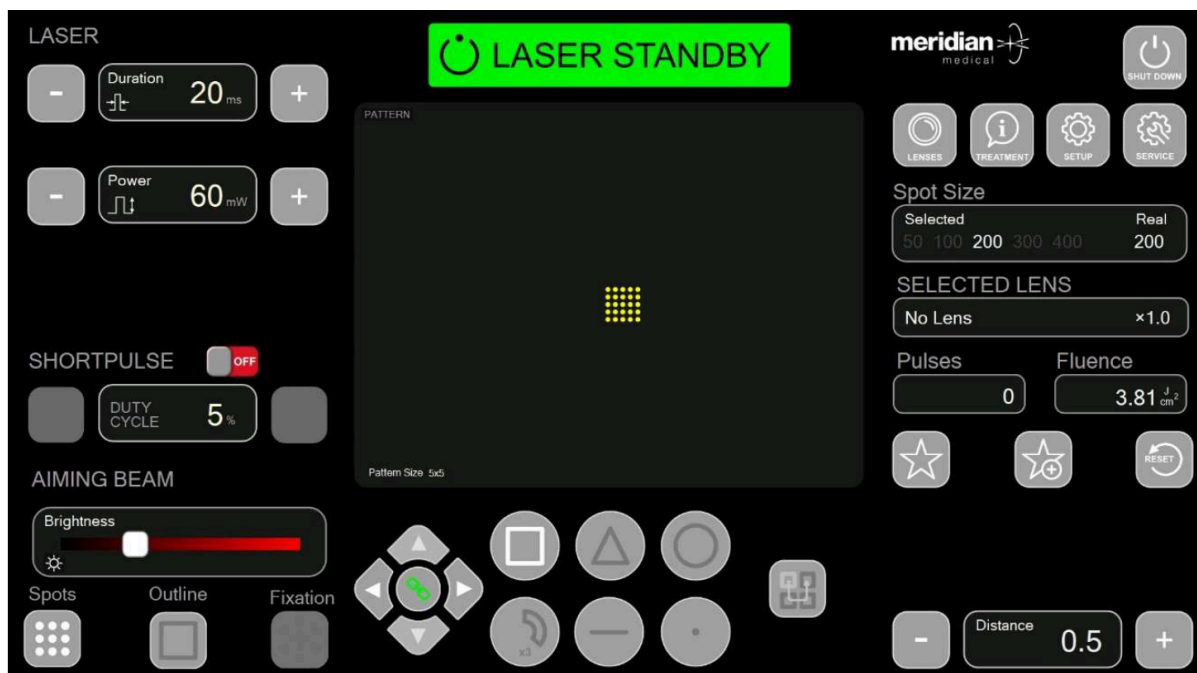


Abbildung 23: GUI TT Device Meridian

Der daraus entstandene Entwurf wurde in Figma erstellt (siehe [Abbildung 24](#)). Dabei wurde bewusst darauf geachtet, die zuvor definierten Designprinzipien und Guidelines aus den vorherigen Kapiteln konsequent anzuwenden. Insbesondere die Gestaltung orientierte sich an den usability-relevanten Prinzipien nach Dix sowie den definierten medizinischen Designanforderungen. Auch die entwickelte [Farbpalette](#) wurde bereits im ersten Prototyp integriert, um Statuszustände klar zu kommunizieren und eine konsistente visuelle Sprache sicherzustellen.

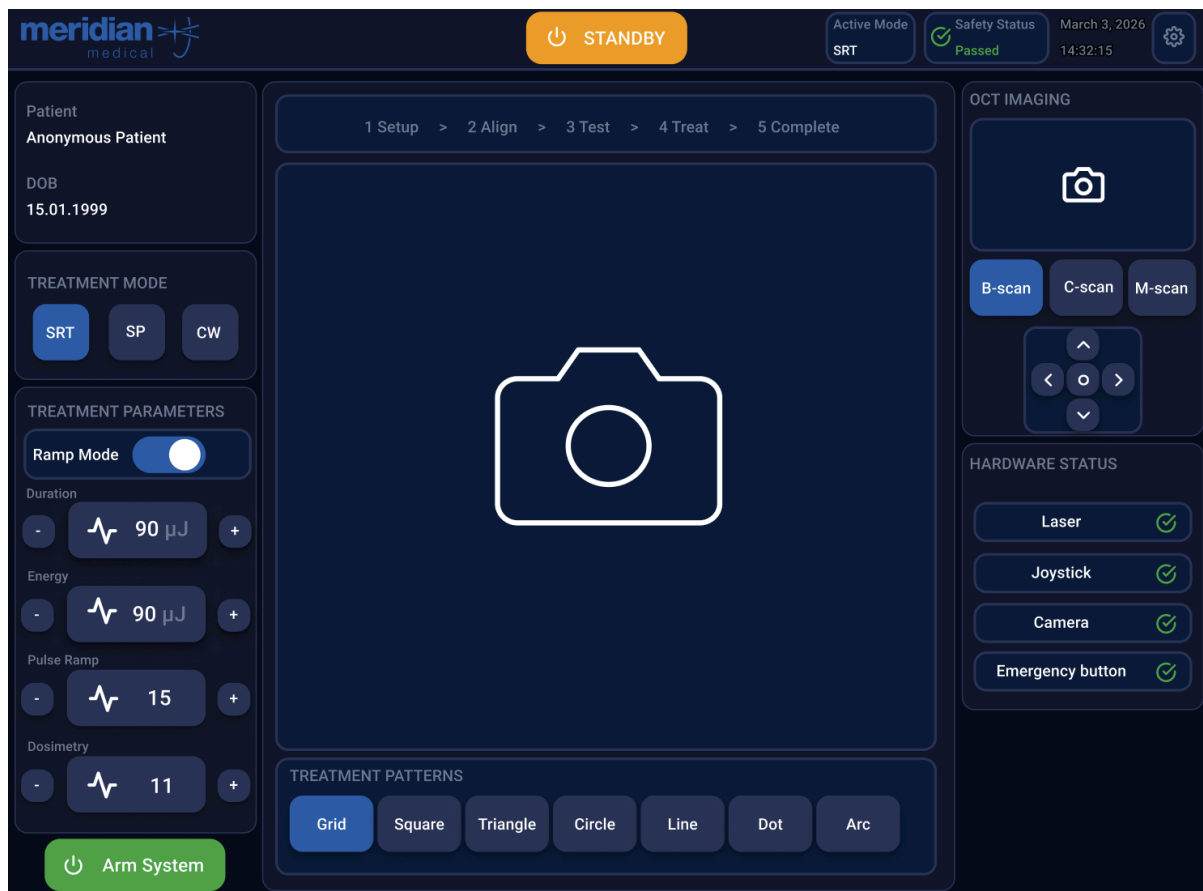


Abbildung 24: Erster Entwurf des Figma Prototyps

Die zuvor beschriebenen Designgrundlagen wurden im ersten Entwurf nicht erneut als separate Guidelines behandelt, sondern in konkrete Layout- und Interaktionsentscheidungen übersetzt. Die folgende Tabelle zeigt deshalb nur die wichtigsten sichtbaren Anwendungen im Grundentwurf:

Gestaltungsentscheidung	Sichtbare Umsetzung im ersten Entwurf	Bezug zu den Designgrundlagen
Vertraute Grundstruktur aus dem Meridian TT-Device übernehmen	Behandlungsparameter und zentrale Bildfläche wurden in einer ähnlichen räumlichen Grundordnung angelegt wie beim bestehenden System.	Unterstützt <u>Familiarity</u> und reduziert die Einstiegshürde für geschulte Meridian-Anwender und -Anwenderinnen.
Zentrale Bildfläche als fachlicher Arbeitsbereich priorisieren	SLO-Bild und Treatment-Pattern-Planung erhielten den grössten zusammenhängenden Bereich des Screens.	Bildgebung und Planung bilden den Kern der klinischen Aufgabe und setzen damit <u>Task conformance</u> sichtbar um.
Behandlungsablauf als Workflow darstellen	Die Schritte Setup, Plan, Treat und Report wurden im oberen Bereich als durchgehende Prozessanzeige platziert.	Macht den aktuellen Prozessschritt sichtbar und unterstützt <u>Predictability</u> sowie <u>Visibility of System Status</u> .
Sicherheitsrelevante Zustände dauerhaft anzeigen	Laserstatus, Safety-Status und aktive Modis blieben unabhängig vom aktuellen Arbeitsschritt im Blickfeld. Der Laserstatus wurde zusätzlich zur Farbe auch über Text und Symbol kommuniziert, damit der Zustand nicht ausschliesslich über Farbe erkennbar ist.	Verknüpft <u>sicherheitskritische Designaspekte</u> mit <u>Error Prevention</u> , da sicherheitsrelevante Zustände nicht gesucht werden müssen.
Seitenbereiche für wiederkehrende Informationen stabil halten	Patientendaten, Treatment Mode, Parameter und Werkzeuge wurden in festen seitlichen Bereichen gruppiert.	Unterstützt <u>Recognition rather than Recall</u> und <u>Consistency and Standards</u> .

Tabelle 52: Anwendung der Designgrundlagen im ersten Entwurf

4.3.2 Zweiter Entwurf

Während der weiteren Entwicklung wurde dieser initiale Entwurf mithilfe der KI-Funktion Figma Make weiter ausgearbeitet (Figma, o. J.). Durch gezielte Prompts konnte der bestehende Aufbau effizient verfeinert und in einen interaktiven Prototyp überführt werden. Dies ermöglichte es, erste Navigationsflüsse und Zustandswechsel realistisch abzubilden (siehe Abbildung 25).

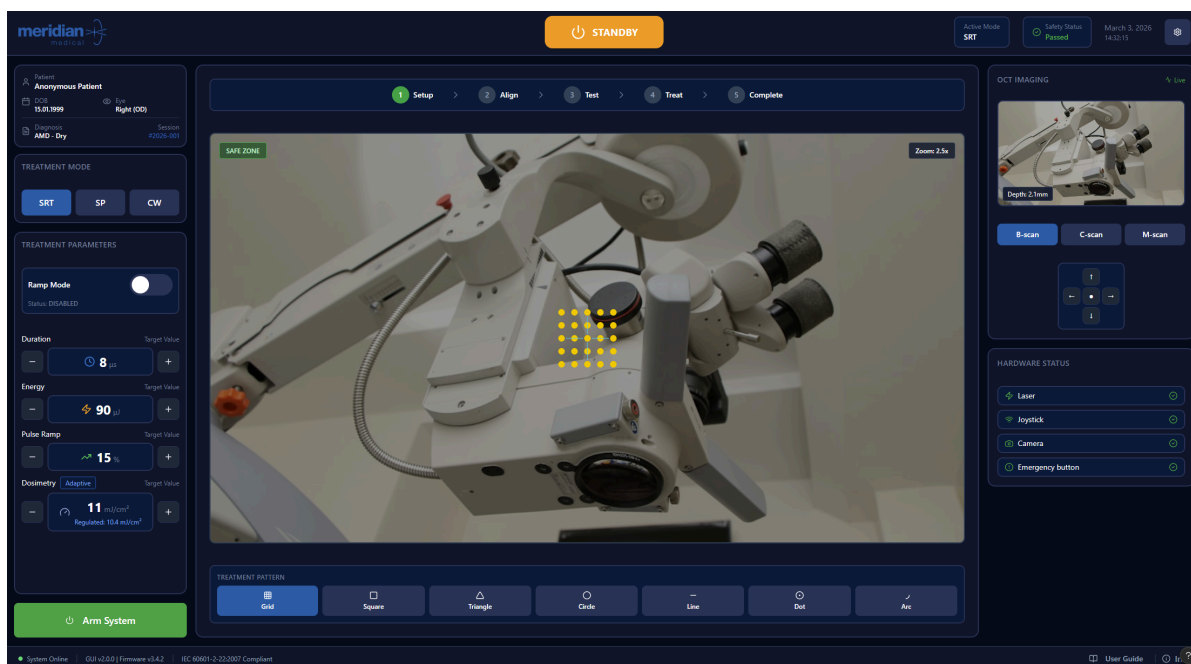


Abbildung 25: Zweiter Entwurf mit Figma Make

Der so entstandene zweite Entwurf wurde im Rahmen eines Besuchstags in Thun bei Meridian präsentiert. Dabei erhielten wir direktes Feedback von Fachpersonen, insbesondere zu Workflow-Struktur, Verständlichkeit der UI-Elemente und klinischer Relevanz einzelner Funktionen.

4.3.3 Dritter Entwurf

Basierend auf diesem Feedback sowie weiteren Abstimmungen mit der Ansprechperson von Meridian wurde der Prototyp iterativ überarbeitet. Neben visuellen Anpassungen wurden auch funktionale Änderungen vorgenommen, um den realen Anforderungen des klinischen Einsatzkontexts besser gerecht zu werden. So wurden beispielsweise die Treatment Patterns an geeignetere Stellen verschoben und nicht benötigte Elemente entfernt.

Zusätzlich wurden die bisherigen Platzhalterbilder für OCT-Scans und Fundusaufnahmen durch reale Aufnahmen ersetzt, die während des Besuchstags am SRT-Laser an der BFH entstanden waren (siehe [Abbildung 26](#)).

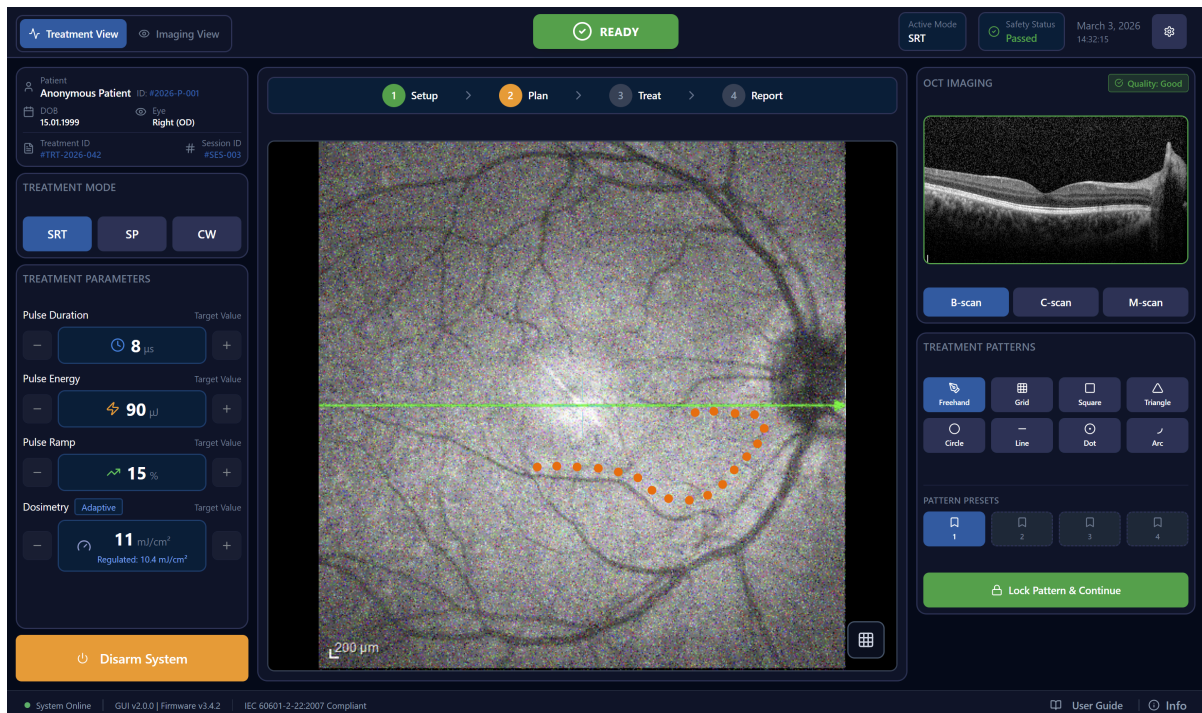


Abbildung 26: Dritter Entwurf des Figma-Prototyps

Der dritte Entwurf wurde anschliessend erneut gemeinsam mit der Ansprechperson von Meridian überprüft und final verfeinert. Die letzten Anpassungen umfassten insbesondere Änderungen an der Farbgebung, um den Styleguide von Meridian sowie die etablierten Signalfarben im medizinischen Kontext besser zu berücksichtigen. Zudem wurden verschiedene Begrifflichkeiten angepasst, damit die offiziellen Trademark-Bezeichnungen von Meridian konsistent verwendet werden. Daraus resultierte der finale Prototyp, der im nachfolgenden Kapitel genauer vorgestellt wird.

4.4 Finaler Prototyp

Dieses Kapitel zeigt Screenshots für jede View des finalen Figma-Prototyps. Mit diesem Prototyp wurden anschliessend die Usability-Tests durchgeführt.

Für diese Version des Prototyps wurden die OCT- und SLO-Bilder durch Beispielaufnahmen von Patienten und Patientinnen mit altersbedingter Makuladegeneration (AMD) ersetzt. Dadurch konnten die dargestellten Bilddaten besser an die definierten Testszenarien angepasst werden, was eine realistischere Durchführung der Usability-Tests ermöglichte.

4.4.1 Treatment View - Setup

Nachdem der Benutzer oder Benutzerin die Applikation startet, kann eine Patientenakte geöffnet werden oder eine neue angelegt werden. Danach öffnet sich der Startscreen, auf dem der Behandlungsprozess beginnt. Die Workflow-Anzeige startet im 1. Schritt „Setup“ (siehe [Abbildung 27](#)).

Hier können Ärzte oder Ärztinnen die Patientendaten einsehen, zwischen den verschiedenen Treatment Modes wechseln (genauer beschrieben im [nächsten Unterkapitel](#)) sowie die Parameter konfigurieren und diese auch als Presets speichern.

Ausserdem können das OCT- und SLO-Bild analysiert werden. Beim OCT wird zusätzlich die Bildqualität visuell dargestellt, und es kann zwischen einem B-Scan und einem M-Scan gewechselt werden.

Das Fixation Target kann ebenfalls mithilfe einer 3×3-Matrix angepasst werden, um den Augenfokus zu verändern.

Abgedeckte Use Cases: [UC-01](#) - Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten, [UC-02](#) - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan), [UC-04](#) - Workflow-Anzeige, [UC-05](#) - Patientendaten anzeigen, [UC-12](#) - Fixation Target Position wählen



Abbildung 27: Finaler Figma Prototyp - Setup

4.4.2 Treatment View - Treatment Modes

Es gibt drei verschiedene Treatment Modes: SRT (Hauptmodus), SP (Short Pulse) und CW (Continuous Wave). Jeder Modus verfügt über eigene Konfigurationsparameter (siehe [Abbildung 28](#)). Im SRT-Modus sind jedoch alle Einstellungen ausser True-RFD schreibgeschützt, da diese Werte direkt vom Laser übernommen werden. Trotzdem werden sie bewusst angezeigt zur Info für die medizinische Fachperson.

Abgedeckte Use Cases: [UC-03](#) - Laserparameter konfigurieren, [UC-11](#) - Treatment Mode wechseln (CW / SP / SRT)

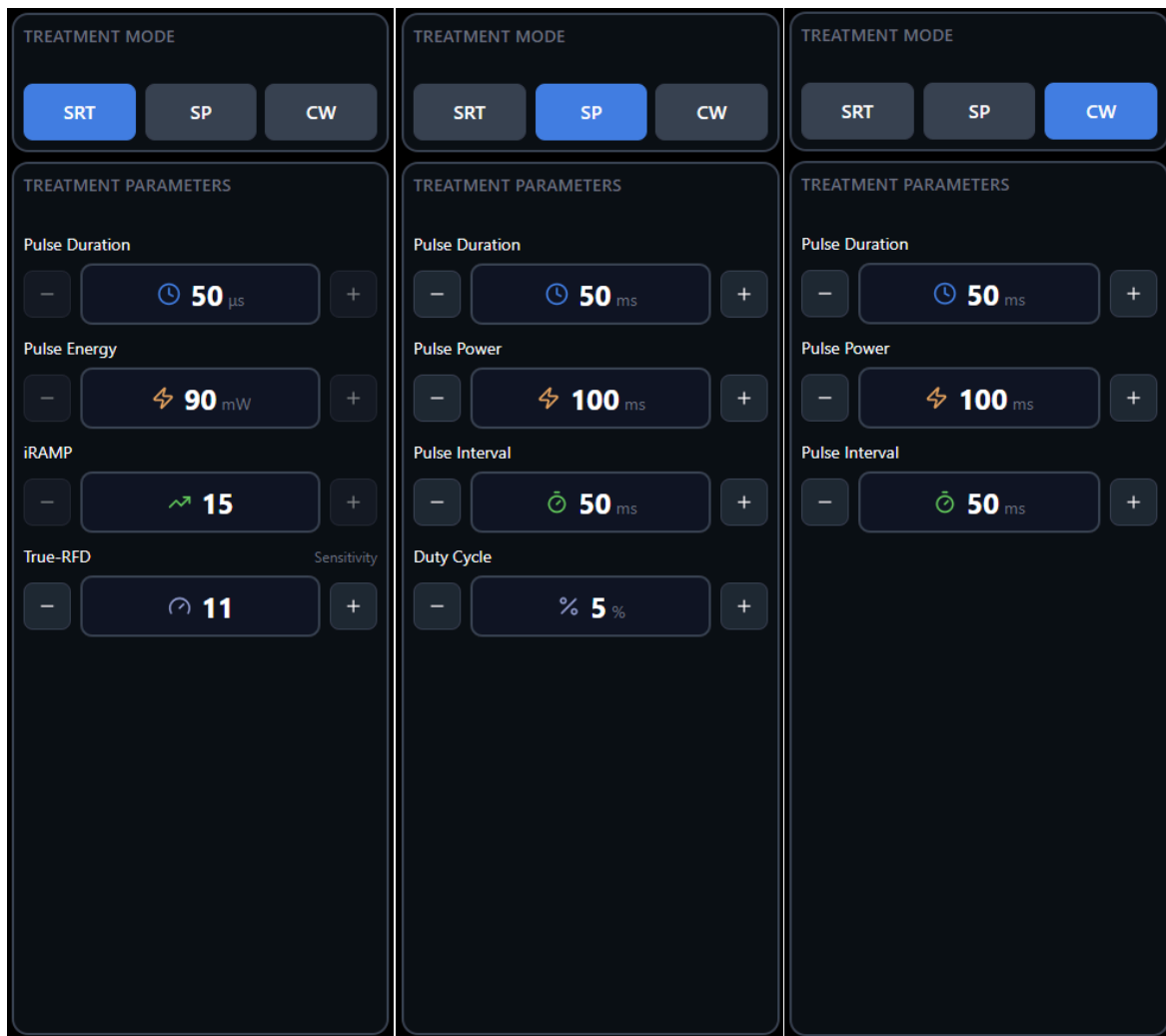


Abbildung 28: Vergleich Treatment Modes mit Parameter Einstellungen

4.4.3 Treatment View - Plan

Nachdem der Benutzer oder die Benutzerin auf Continue klickt, wechselt die Workflow-Anzeige in den Schritt „Plan“. Hier können die Treatment-Punkte für die Laseremissionen gesetzt werden. Dafür stehen mehrere vordefinierte Patterns zur Auswahl, beispielsweise Grid, Triangle oder Circle (siehe [Abbildung 29](#)).

Es gibt zwei spezielle Treatment Patterns:

1. *Freehand*: Laserpunkte können frei nach belieben auf dem SLO-Bild gezeichnet werden.
2. *Fill*: Eine beliebige Form kann gezeichnet werden, welche dann automatisch mit Laserpunkten gefüllt wird.

Die Patterns können frei auf dem SLO-Bild verschoben und gedreht werden. Zudem können je nach Form auch Reihen und Kolonnen hinzugefügt oder entfernt sowie einzelne Punkte gelöscht werden. Der Abstand zwischen den Punkten lässt sich über die Einstellung „Spot Spacing“ anpassen. Dieser wird auch bei *Freehand* und *Fill* berücksichtigt.

Wie die Treatment Parameter können auch Treatment Patterns als Presets gespeichert werden.

Auch wenn die Workflow-Anzeige etwas anderes impliziert, kann man auch in diesem Modus noch etwas an den Treatment Parametern ändern. Dies ist so gewünscht, dass man in diesem Fall nicht extra nochmals zurück müsste.

Damit in den nächsten Schritt gewechselt werden kann, müssen alle Treatment Patterns gelockt werden. Dabei ändert sich ihre Farbe von Orange zu Blau. Erst danach kann der Button „Arm Laser“ aktiviert werden.

Abgedeckte Use Cases: [UC-02](#) - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan), [UC-04](#) - Workflow-Anzeige, [UC-05](#) - Patientendaten anzeigen, [UC-06](#) - Pattern konfigurieren, [UC-07](#) - Pattern platzieren und anpassen, [UC-15](#) - Einzelne Pattern-Punkte löschen, [UC-16](#) - Freihand-Pattern zeichnen, [UC-17](#) - Sperrflächen definieren und löschen, [UC-18](#) - Pattern als Preset speichern und laden, [UC-19](#) - Pattern-Punkte auf Blutgefäßen automatisch entfernen

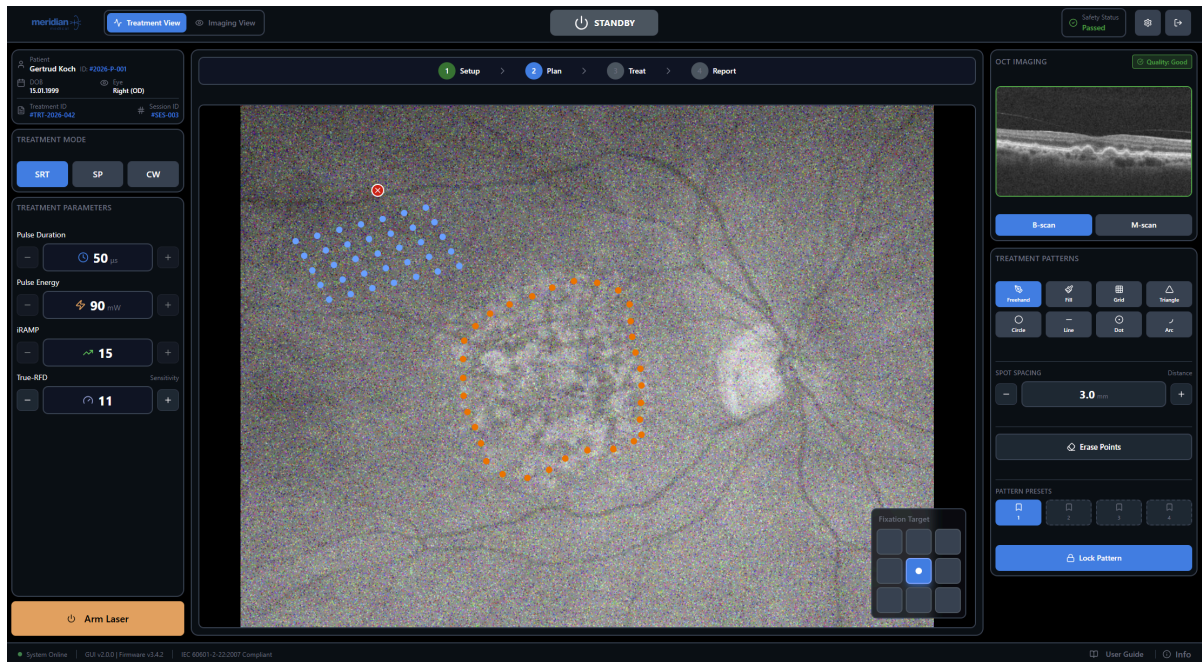


Abbildung 29: Finaler Figma Prototyp - Plan

4.4.4 Treatment View - Treat

Im 3. Schritt wechselt die Workflow-Anzeige auf „Treat“. Hier werden die physischen Laseremissionen abgefeuert. Eine Anzeige zeigt den Fortschritt der gelaserten Punkte an (siehe [Abbildung 30](#)).

Abgedeckte Use Cases: [UC-02](#) - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan), [UC-04](#) - Workflow-Anzeige, [UC-05](#) - Patientendaten anzeigen, [UC-09](#) - Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)

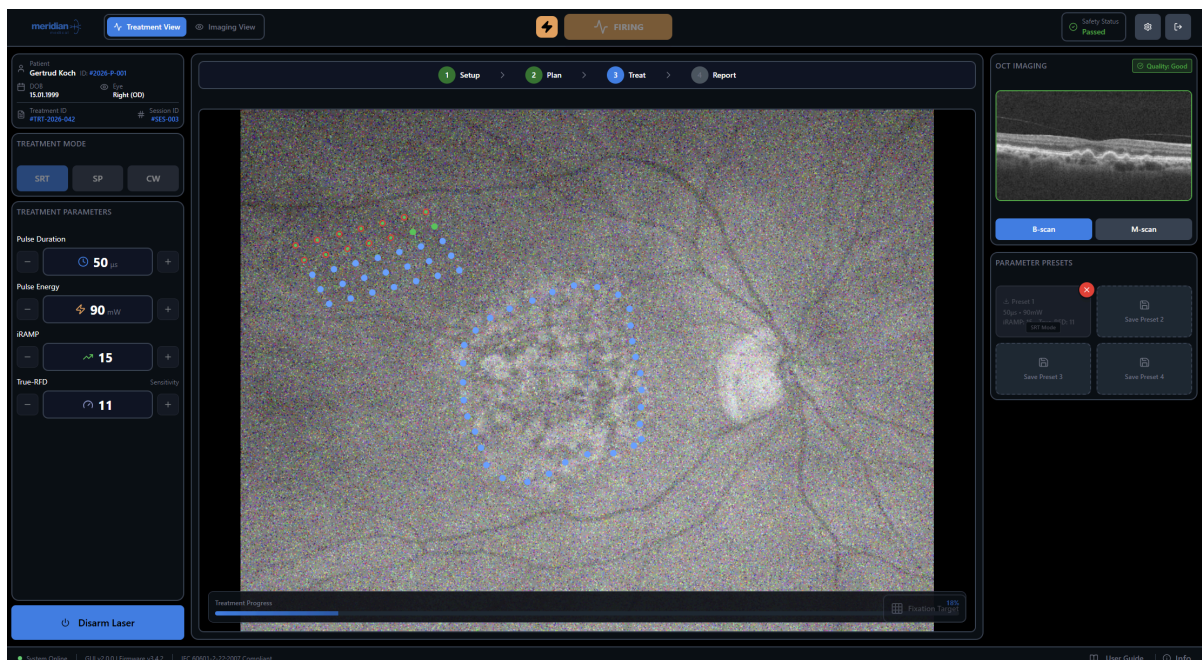


Abbildung 30: Finaler Figma Prototyp - Treat

4.4.5 Treatment View - Report

Wenn alle Laserpunkte gelasert worden sind, wechselt die Workflow-Anzeige automatisch auf den letzten Schritt „Report“. Hier kann entweder eine neue Behandlung gestartet oder der Report generiert werden (siehe [Abbildung 31](#)).

Wenn noch Laserpunkte nachgelasert werden müssen, kann man von hier in den Plan Mode zurückkehren und neue Punkte planen.

Abgedeckte Use Cases: UC-04 - Workflow-Anzeige, UC-05 - Patientendaten anzeigen, UC-14 - Behandlungsreport ansehen und exportieren



Abbildung 31: Finaler Figma Prototyp - Report

4.4.6 Imaging View

In die Imaging View kann jederzeit gewechselt werden. Hier geht es nicht um die Behandlung selbst, sondern um die Bildgebung des SLO- und OCT-Bildes. Vor allem der OCT-Scan wird hier grösser dargestellt, damit die Qualität besser eingeschätzt werden kann (siehe Abbildung 32).

Der OCT-Scan kann hier zwischen B-Scan, C-Scan und M-Scan gewechselt werden.

Abgedeckte Use Cases: UC-02 - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan), UC-05 - Patientendaten anzeigen, UC-20 - Bildgebungsmaske

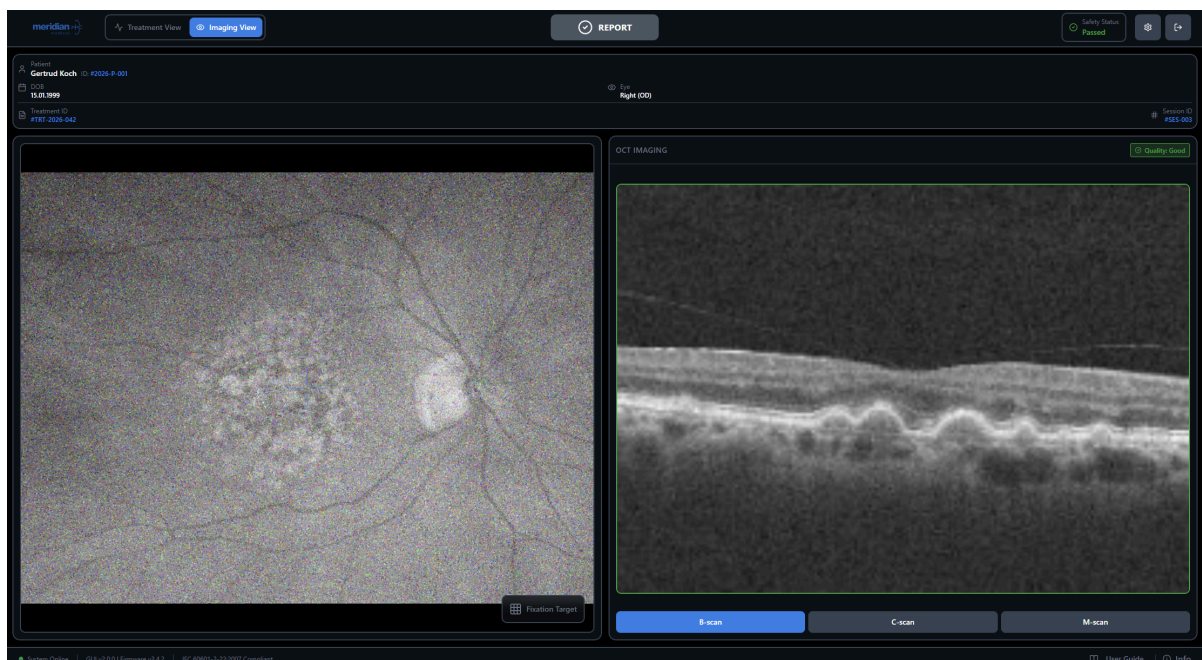


Abbildung 32: Finaler Figma Prototyp - Imaging View

4.4.7 Settings

In der Einstellungen Navigation gibt es die Möglichkeit, in den Service oder Expert Modus zu wechseln. Diese Modi ermöglichen es weitere Einstellungen und Konfigurationen für System-Admins vorzunehmen (siehe [Abbildung 33](#)). Ebenso kann hier die Helligkeit geändert werden.

Abgedeckte Use Cases: [UC-13](#) - Applikation beenden, [UC-21](#) - Bildschirmhelligkeit einstellen, [UC-22](#) - Service Mode öffnen, [UC-23](#) - Expert Mode öffnen

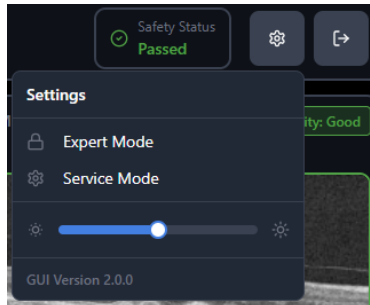


Abbildung 33: Finaler Figma Prototyp - Settings

4.5 Usability-Tests

Nachdem Umsetzen des Feedbacks von Meridian, war es uns wichtig, Feedback von Fachpersonen zum überarbeiteten Prototypen einzuholen. Zu diesem Zweck haben wir uns entschlossen, Usability-Tests direkt am interaktiven Figma-Prototypen durchzuführen.

4.5.1 Screener

Bevor wir unsere Testpersonen auswählten, haben wir klare Kriterien festgelegt, um eine repräsentative Gruppe zu gewährleisten. Zu diesem Zweck haben wir einen Screener erstellt, der die Zielgruppe und die Auswahlkriterien für die Usability-Tests definiert.

Der Screener stellt sicher, dass die ausgewählten Testpersonen die tatsächliche Zielgruppe des medizinischen Augenlasers möglichst gut repräsentieren. Dies trägt dazu bei, relevante Erkenntnisse über die Benutzerfreundlichkeit, die Erwartungen der Nutzenden und mögliche Verbesserungen zu gewinnen.

Primäre Zielgruppe

Ophthalmologische Fachpersonen, insbesondere Fachärztinnen und Fachärzte für Ophthalmologie sowie weitere wie z.B. Orthoptistinnen und Orthoptisten

Sekundäre Zielgruppe

Ärzte und Ärztinnen aus anderen Fachgebieten sowie medizinisches Fachpersonal (z.B. Medizinische Praxisassistenten und Praxisassistentinnen (MPA), Pflegefachpersonen)

Einschlusskriterien

- Tätigkeit im ophthalmologischen Umfeld
- Erfahrung mit ophthalmologischen Geräten (Laser, OCT, Diagnostiksysteme)
- Grundlegende Erfahrung mit GUIs/medizinischer Software
- Bereitschaft, an einem Usability-Test teilzunehmen

Ausschlusskriterien

- Keine Erfahrung mit medizinischen Geräten
- Teilnahme an der Entwicklung des Systems (Bias vermeiden)

Rekrutierungsstrategie

Wir haben verschiedene Augenarztpraxen angeschrieben.

Alle Testpersonen geben vor Beginn der Sitzung ihre Einwilligung. Personenbezogene Daten werden vertraulich behandelt und ausschliesslich zu Auswertungszwecken verwendet.

4.5.2 Durchgeführte Tests

Das Finden geeigneter Testpersonen stellte sich als schwieriger heraus als erwartet. Nach dem Anschreiben von ca. 15 verschiedenen Augenarztpraxen ohne Zusage verzögerte sich die Durchführung der Usability-Tests.

Über einen persönlichen Kontakt zum Stadtspital Triemli konnte dennoch Kontakt zu Ärzten und Ärztinnen aus der Augenklinik aufgebaut werden. Dadurch wurden im Stadtspital Triemli in Zürich zwei betreute Usability-Tests mit einem stellvertretenden Chefarzt und einer leitenden Ärztin der Augenklinik durchgeführt.

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Rekrutierung weiterer Testpersonen wurde zusätzlich über Kontakte von Meridian weiteres Feedback zum Prototyp eingeholt. Dadurch erhielten wir vier zusätzliche Rückmeldungen, darunter drei von Mitarbeitenden von Meridian sowie eine von einer Optometristin.

Obwohl diese Personen gemäss den definierten Screener-Kriterien nur eingeschränkt geeignet waren, da die Tests nicht unter direkter Beobachtung stattfanden und einzelne Personen an der Entwicklung des Lasers beteiligt waren, wurden die Rückmeldungen ergänzend berücksichtigt.

Die Ergebnisse dieser Tests werden im [Kapitel Ergebnisse und Schwachstellen](#) beschrieben.

4.5.3 Testform & -inhalt

Die Tests finden vor Ort bei den jeweiligen Fachpersonen statt. Der Einfachheit halber sitzen wir zu zweit neben der Testperson, ohne in den Test einzugreifen. Es gibt einen Testleiter, der den Test durchführt und zu Beginn Anweisungen gibt. Die zweite Person macht sich Notizen.

Die Testperson führt die Tests auf einem von uns bereitgestellten und vorbereiteten Notebook mit einem Touchscreen durch. Diese Vorgehensweise vereinfacht den Ablauf für die Testpersonen und minimiert das Risiko technischer Probleme.

Ein Test inkl. Interview sollte etwa 30-45 Minuten dauern.

4.5.4 Testszenarien

Vor den Tests haben wir verschiedene Testszenarien erstellt, die die Testperson während des Tests durchliest und die Aufgabe ohne weitere Hilfe ausführt. Das Ziel der Testszenarien ist es, eine Art Geschichte zu erzählen und den Nutzenden nicht zu stark vorzuschreiben, was sie tun sollen. So können wir testen, ob die Testperson die Benutzeroberfläche versteht oder, falls nötig, auf der Grundlage ihrer Intuition andere Ideen entwickelt.

Die Szenarien orientieren sich an einem realistischen Behandlungsablauf und führen die Testperson schrittweise durch die wichtigsten Situationen der Treatment View. Zu Beginn steht die Orientierung im Fall im Vordergrund, anschliessend folgen die Beurteilung der Bildgebung, das Einstellen der Laserparameter, die Planung der Treatment Patterns, die sichere Freigabe und Durchführung der Behandlung sowie der abschliessende Report. Dadurch werden nicht nur einzelne Bedienelemente isoliert geprüft, sondern vor allem deren Zusammenspiel innerhalb des gesamten Workflows.

Bewusst wurden die Aufgaben nicht als exakte Klickanleitungen formuliert. Die Testperson soll selbst entscheiden, welche Bereiche der Oberfläche sie für die jeweilige Situation verwendet. So lassen sich insbesondere Auffindbarkeit, Verständlichkeit der Begriffe, Erwartungskonformität der Navigation und der Umgang mit sicherheitsrelevanten Zuständen beobachten.

Wir haben mehrere Testszenarien erstellt, die möglichst alle Funktionen der Behandlungsansicht abdecken. Jedes Szenario ist zusätzlich den relevanten Use Cases zugeordnet, damit nach dem Test nachvollziehbar bleibt, welche Funktionen und Anforderungen durch die Beobachtungen abgedeckt wurden. Diese sind im [Anhang F](#) zu finden.

4.5.5 Vor- und Nachinterview

Vor dem Test führen wir ein Vorinterview durch, um einige grundlegende Informationen zur beruflichen Tätigkeit und zur Erfahrung mit medizinischen Benutzeroberflächen und Lasern zu erhalten. Nach den Tests findet ein Nachinterview statt. Dabei fragen wir nach dem Gesamteindruck, was den Testpersonen gefallen hat und was verbessert werden könnte. Ausserdem stellen wir spontane Fragen, die sich aus unseren Beobachtungen während des Tests ergeben haben. Ziel der Interviews ist es, zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen, die aus den Beobachtungen nicht ersichtlich waren.

Wir haben die festen Fragen bereits vordefiniert, diese können im [Anhang E](#) gefunden werden. Die Fragen können je nach Testperson aber leicht variieren. Ebenfalls ist es schwierig, geeignete Fachpersonen für die Tests zu finden, da diese im klinischen Alltag häufig nur wenig Zeit zur Verfügung haben. Aus diesem Grund können die Interviews je nach verfügbarer Zeit gekürzt oder flexibel angepasst werden.

4.6 Ergebnisse und Schwachstellen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den durchgeführten Usability-Tests zusammengefasst. Dabei werden sowohl positive Rückmeldungen als auch identifizierte Schwachstellen beschrieben. Zusätzlich werden mögliche Verbesserungen erläutert, die aus den Beobachtungen und Interviews abgeleitet wurden. Ebenso wird aufgezeigt, welche dieser Verbesserungsvorschläge umgesetzt werden.

Aufgrund der verzögerten Durchführung der Usability-Tests wurde parallel mit der Implementation begonnen. Daher werden die identifizierten Verbesserungen direkt im implementierten GUI umgesetzt und nicht mehr in den Figma-Prototypen eingearbeitet.

Die Ergebnisse der beiden betreuten Usability-Tests im Stadtspital Triemli werden dabei stärker gewichtet und priorisiert. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den zusätzlichen externen Tests werden dennoch ebenfalls berücksichtigt und entsprechend eingeordnet.

Die ausführlichen Ergebnisse und Protokolle sind im [Anhang G](#) sowie im [Anhang H](#) dokumentiert.

4.6.1 Gesamteindruck

Der Gesamteindruck des Systems war bei beiden Fachpersonen überwiegend positiv.

Besonders hervorgehoben wurden:

- Klarer Workflow
- Reduzierte Benutzeroberfläche
- Übersichtliche Struktur
- Intuitive Bedienbarkeit

Auch die lineare Navigation von links nach rechts entsprach den Erwartungen aus dem klinischen Alltag. Die Testpersonen hatten jederzeit das Gefühl zu wissen, in welchem Schritt des Workflows sie sich befinden.

Trotz des insgesamt positiven Eindrucks zeigten sich einzelne Stellen, an denen die Benutzerführung noch klarer werden muss. Die konkreten Beobachtungen und daraus abgeleiteten Verbesserungen werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

4.6.2 Imaging View und Bildgebung

Die Möglichkeit, zwischen verschiedenen OCT-Scan-Modi zu wechseln, wurde grundsätzlich verstanden und korrekt verwendet. Auch die vergrößerte Darstellung innerhalb der Imaging View wurde als sinnvoll bewertet. Zusätzlich wurde die visuelle Darstellung der Bildqualität im OCT positiv wahrgenommen.

Mehrere Schwierigkeiten zeigten sich bei der räumlichen Orientierung zwischen OCT- und SLO-Bild. Den Testpersonen fehlte eine klare visuelle Verbindung zwischen beiden Ansichten. Auch das Fixation Target wurde teilweise nicht direkt gefunden oder dessen Nutzen hinterfragt, da bei fortgeschrittenem AMD dieses Target gar nicht mehr vom Patienten oder von der Patientin wahrgenommen werden kann.

Umzusetzende Verbesserungen

- Aktuelle OCT-Position im SLO-Bild markieren

4.6.3 Treatment Parameter und Presets

Die Darstellung der Laserparameter wurde insgesamt als verständlich wahrgenommen. Die Testpersonen konnten die Parameter korrekt kontrollieren und anpassen.

Die Preset-Funktion war für beide Testpersonen schwierig auffindbar. Die Platzierung der Presets entsprach nicht den Erwartungen der Fachpersonen, da sie nicht direkt bei den Parametern lokalisiert waren. Zusätzlich wirkten die Preset-Buttons teilweise wie deaktivierte Elemente. Unklar war ausserdem, welche Parameterwerte genau gespeichert werden.

Umzusetzende Verbesserungen

- Presets näher bei den Parametern platzieren
- Buttons deutlicher als interaktive Elemente gestalten
- Visuell darstellen welche Daten gespeichert werden

4.6.4 Treatment Patterns und Planung

Die grundlegende Pattern-Planung wurde insgesamt positiv bewertet. Insbesondere das Drehen, Verschieben und Skalieren der Patterns funktionierte für die Testpersonen verständlich und intuitiv. Auch die Freehand- und Fill-Funktion wurden als nützlich wahrgenommen. Besonders die Möglichkeit, einzelne Punkte gezielt anzupassen oder zu löschen, wurde positiv hervorgehoben.

Die grösste Schwachstelle in diesem Bereich war der Lock-/Unlock-Mechanismus der Patterns. Beide Testpersonen empfanden diesen zusätzlichen Schritt als unnötig oder nicht intuitiv. Zusätzlich war nicht klar ersichtlich, dass Patterns aktiv gelockt werden müssen oder warum gelockte Patterns nicht mehr bearbeitet werden können.

Mehrere Pattern-Typen, beispielsweise das Dot-Pattern, wurden ausserdem als unnötig bewertet. Das Verschieben von Patterns wurde teilweise erst spät entdeckt, da hierfür keine sichtbare Schaltfläche vorhanden war. Zusätzlich wurde eine Undo-Funktion vermisst.

Bei der Freehand-Funktion wurde angemerkt, dass sich diese ähnlich wie beim Navilas-System verhalten sollte. Wenn mehrfach über dieselbe Stelle gezeichnet wird, sollten keine überlappenden Punkte entstehen. Stattdessen sollten neue Punkte automatisch mit korrektem Abstand angeordnet werden und keine zusätzlichen Punkte erzeugt werden, wenn an dieser Position bereits Punkte vorhanden sind. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass dies teilweise eine Einschränkung des Figma-Prototyps darstellt, da sich solche Funktionen nur begrenzt realistisch simulieren lassen.

Zusätzlich wurde erwähnt, dass Presets nicht nur das aktuell bearbeitete Pattern speichern sollten, sondern sämtliche gelockten Patterns inklusive deren Positionen und Einstellungen.

Umzusetzende Verbesserungen

- Unlock-Mechanismus für Pattern hinzufügen
- Nicht benötigte Pattern-Typen reduzieren
- Undo-Funktion ergänzen
- Freehand-Verhalten verbessern und Überschneidungen vermeiden
- Presets um das Speichern aller gelockten Patterns erweitern

4.6.5 Behandlung und Reporting

Die Behandlungsausführung wurde von beiden Testpersonen als sicher und nachvollziehbar wahrgenommen. Es war klar ersichtlich, wann das System bereit für die Behandlung ist. Auch die Fortschrittsanzeige während der Behandlung wurde verstanden.

Im Bereich Reporting wurden offene Fragen bezüglich der Dokumentation von Vorher-/Nachher-Bildern festgestellt. Es war nicht eindeutig ersichtlich, wie diese Bilder erstellt oder in den Report integriert werden.

4.6.6 Farben, Kontraste und visuelle Gestaltung

Die dunkle Farbgestaltung wurde von beiden Fachpersonen sehr positiv bewertet. Insbesondere wurde erwähnt, dass die reduzierte Verwendung von Farben angenehm wirkt und weniger visuelle Unruhe erzeugt. Auch die allgemeine Übersichtlichkeit der Benutzeroberfläche wurde mehrfach positiv hervorgehoben.

Einzelne interaktive Elemente waren visuell nicht eindeutig erkennbar. Besonders die Preset-Buttons wurden teilweise als deaktiviert wahrgenommen, obwohl sie anklickbar waren. Zusätzlich waren gewisse Interaktionen nicht ausreichend sichtbar oder verständlich kommuniziert.

Ausserdem wurde erwähnt, dass die Planungsfläche auf dem SLO-Bild häufig zu klein ist. Für das präzise Platzieren und Zeichnen der Laserpunkte ist eine hohe Genauigkeit erforderlich. Eine Testperson erwähnte deshalb, dass bei vergleichbaren Geräten wie dem Navilas-System häufig zusätzlich eine Maus verwendet wird, um präziser arbeiten zu können.

Das GUI wurde daher so konzipiert, dass sämtliche Interaktionen nicht nur per Touchbedienung funktionieren, sondern zusätzlich auch mit Maussteuerung effizient bedienbar sind. Zusätzlich wurde ein grösserer Bildschirm als sinnvoll bewertet, um die Planung und Positionierung der Patterns präziser durchführen zu können.

Umzusetzende Verbesserungen

- Interaktive Elemente deutlicher hervorheben
- Kontraste und Button-Zustände klarer differenzieren
- Grösserer Bildschirm für präzisere Eingaben

5 Architektur

Dieses Kapitel beschreibt die technische Grundlage des SRT-GUIs. Zunächst werden mögliche GUI-Technologien analysiert und anhand der projektspezifischen Anforderungen bewertet. Anschliessend werden die gewählten Technologien begründet und die daraus resultierende Softwarearchitektur des Systems beschrieben.

5.1 Technologieanalyse

Ziel dieses Kapitels ist es, verschiedene GUI-Technologien systematisch zu analysieren und zu bewerten, um eine geeignete Grundlage für die Weiterentwicklung der Benutzeroberfläche des SRT-Lasersystems zu bestimmen. Die Analyse baut dabei auf die Anforderungen des zuvor erarbeiteten Designkonzepts auf.

Die Durchführung dieser Technologieanalyse wurde ebenfalls vom Auftraggeber gewünscht. Gleichzeitig entspricht eine solche Analyse auch dem üblichen Vorgehen in einem strukturierten Projektprozess. Hintergrund ist die Frage, wie der bestehende SRT-Laser-Prototyp künftig weiterentwickelt werden soll und ob die aktuell eingesetzte Qt/C++-Technologie weiterhin die beste Wahl darstellt. Insbesondere spielt dabei auch die Einschätzung eine Rolle, ob die mit Qt verbundenen Lizenzkosten im Verhältnis zum Nutzen gerechtfertigt sind oder ob alternative Technologien eine sinnvolle Option darstellen könnten.

Im Fokus der Analyse steht deshalb nicht nur ein allgemeiner Vergleich von Technologien, sondern vor allem deren Eignung im konkreten Projektkontext. Dazu gehören die Integration in die bestehende Architektur, die Unterstützung der definierten Anforderungen sowie der Aufwand, der bei einem möglichen Technologiewechsel entstehen würde. Ziel ist es, auf dieser Grundlage eine fundierte und nachvollziehbare Empfehlung für die zukünftige technologische Ausrichtung des SRT-GUIs abzuleiten.

5.1.1 Evaluationskriterien

Um die verschiedenen Technologien objektiv und nachvollziehbar vergleichen zu können, wurden mehrere Evaluationskriterien definiert. Diese Kriterien basieren direkt auf den Anforderungen des SRT-Systems sowie auf den im Designkonzept und den Usability- und Sicherheitsüberlegungen festgelegten Prinzipien.

Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien erläutert und deren Bedeutung im Kontext des SRT-Lasersystems beschrieben.

Systemintegration

Die Systemintegration beschreibt, wie gut sich eine Technologie in die bestehende Architektur einfügt.

Das SRT-System basiert auf einer C++-Anwendung, welche die Kommunikation mit dem Mikrocontroller sowie die sicherheitskritische Steuerlogik übernimmt. Die GUI-Technologie muss daher möglichst direkt mit diesem Backend zusammenarbeiten können.

Eine gute Integration ist entscheidend, da zusätzliche Schnittstellen oder Zwischenschichten die Komplexität erhöhen und potenziell neue Fehlerquellen einführen. Insbesondere im medizinischen Kontext ist es wichtig, dass die Kommunikation zwischen GUI und System stabil und nachvollziehbar bleibt.

Kosten

Das Kriterium Kosten bewertet die finanziellen Auswirkungen der jeweiligen Technologie.

Dieses Kriterium wurde bewusst höher gewichtet, da der Auftraggeber explizit die Frage gestellt hat, ob die Lizenzkosten von Qt im Verhältnis zum Nutzen gerechtfertigt sind. Neben direkten Lizenzkosten werden auch indirekte Kosten berücksichtigt, beispielsweise:

- Zusätzlicher Entwicklungsaufwand
- Schulung von Entwicklern
- Langfristige Wartung

Für ein Unternehmen wie Meridian ist es entscheidend, eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung zu wählen, ohne dabei die Qualität oder Sicherheit des Systems zu gefährden.

Migrationsaufwand

Der Migrationsaufwand beschreibt, wie viel Aufwand ein Wechsel von der bestehenden Qt-basierten Lösung zu einer anderen Technologie verursachen würde.

Da bereits ein funktionierender Prototyp existiert, ist dieses Kriterium besonders relevant. Ein Technologiewechsel bedeutet nicht nur die Neuentwicklung der Benutzeroberfläche, sondern auch Anpassungen an bestehenden Schnittstellen sowie zusätzliche Tests und Validierungen.

Im medizinischen Kontext ist dieser Punkt besonders kritisch, da Änderungen am System häufig mit erhöhtem Validierungsaufwand verbunden sind.

Reifegrad / Risiko

Dieses Kriterium bewertet, wie etabliert und zuverlässig eine Technologie ist.

Für das SRT-System ist dies besonders wichtig, da es sich um ein sicherheitskritisches Gerät handelt. Technologien mit hoher Verbreitung und stabiler Entwicklung bieten in der Regel bessere Dokumentation, langfristigen Support und geringere Risiken.

Ein geringer Reifegrad kann hingegen zu Problemen bei Wartung, Weiterentwicklung oder Fehlerbehebung führen.

UI / Designkonzept

Dieses Kriterium bewertet, wie gut eine Technologie die Umsetzung des zuvor definierten Designkonzepts unterstützt.

Für das SRT-GUI ist es wichtig, dass:

- Systemzustände klar dargestellt werden
- Farben konsistent eingesetzt werden
- Visuelle Hierarchien erkennbar sind
- Touch-Interaktionen zuverlässig funktionieren

Die Benutzeroberfläche spielt eine zentrale Rolle für die sichere Bedienung des Systems. Eine Technologie muss daher genügend Flexibilität bieten, um diese Anforderungen umzusetzen.

Wartbarkeit

Die Wartbarkeit beschreibt, wie einfach die Software langfristig gepflegt und erweitert werden kann.

Für das SRT-System ist dies relevant, da:

- Neue Funktionen ergänzt werden können
- Regulatorische Anpassungen notwendig sein können
- Fehler schnell behoben werden müssen

Eine klare Struktur und gut verständlicher Code sind hierbei entscheidend.

Performance

Die Performance beschreibt, wie schnell und zuverlässig die Benutzeroberfläche auf Eingaben reagiert.

Im Kontext des SRT-Lasersystems ist insbesondere wichtig, dass:

- Benutzeraktionen unmittelbar sichtbar sind
- Die Oberfläche flüssig reagiert
- Systemzustände ohne Verzögerung dargestellt werden

Gerade bei sicherheitskritischen Interaktionen ist eine konsistente und vorhersehbare Reaktion des Systems entscheidend.

Gewichtung der Kriterien

Basierend auf den beschriebenen Anforderungen und der Priorisierung im Projekt wurden die Kriterien wie folgt gewichtet:

Kriterium	Gewicht
Systemintegration	25%
Kosten	15%
Migrationsaufwand	15%
Reifegrad / Risiko	15%
UI / Designkonzept	10%
Wartbarkeit	10%
Performance	10%

Tabelle 53: Kriterien Technologieanalyse

Die hohe Gewichtung der Systemintegration reflektiert die Bedeutung der bestehenden Architektur. Die Kosten wurden ebenfalls bewusst stärker gewichtet, da sie ein zentrales Anliegen des Auftraggebers darstellen. Der Migrationsaufwand und der Reifegrad sind insbesondere im medizinischen Kontext entscheidend, da sie direkten Einfluss auf Risiko und Entwicklungsaufwand haben.

5.1.2 Betrachtete Technologien

Im Folgenden werden die Technologien, welche sorgfältig durch Internetrecherche und Empfehlungen von Betreuern sowie Auftraggeber ausgewählt wurden, im Detail beschrieben und im Kontext des SRT-Lasersystems eingeordnet.

Qt

Qt ist die aktuell im SRT-System eingesetzte Technologie und bildet somit die Referenz für die Bewertung. Die bestehende Architektur basiert vollständig auf C++, wodurch sich Qt nahtlos integrieren lässt. ([The Qt Company, o. J.-a](#))

Im Kontext der Evaluationskriterien überzeugt Qt insbesondere bei der Systemintegration und beim Migrationsaufwand, da bestehende Komponenten direkt weiterverwendet werden können. Auch beim Reifegrad schneidet Qt sehr gut ab, da es sich um ein etabliertes Framework mit breiter industrieller Nutzung handelt, insbesondere auch im medizinischen Bereich. In Bezug auf das UI / Designkonzept bietet Qt mit Qt Quick und QML gute Möglichkeiten zur Umsetzung moderner Benutzeroberflächen. Zustände, Farbkonzepte und Interaktionen lassen sich konsistent abbilden.

Grösster Vorteil: Nahtlose Integration in bestehende C++-Architektur bei gleichzeitig hoher Reife und Stabilität.

Grösster Nachteil: Hohe Lizenzkosten.

Flutter

Flutter ist ein modernes Framework mit eigener Rendering-Engine und besonders stark im Bereich UI-Design. ([Google LLC, o. J.](#))

Im Kontext des SRT-Systems überzeugt Flutter vor allem beim Kriterium UI / Designkonzept, da sich visuelle Konzepte wie Farbskalen, Zustände und Touch-Interaktionen sehr flexibel und konsistent umsetzen lassen. Auch bei den Kosten schneidet Flutter gut ab, da keine Lizenzgebühren anfallen. Schwächer ist Flutter hingegen bei der Systemintegration und beim Migrationsaufwand, da eine zusätzliche Schnittstelle zum bestehenden C++-Backend notwendig ist. Dies erhöht die Komplexität und bringt zusätzliche Risiken mit sich.

Grösster Vorteil: Sehr flexible und moderne UI-Entwicklung ohne Lizenzkosten.

Grösster Nachteil: Zusätzliche Integrationsschicht zum bestehenden System.

Crank Storyboard

Crank Storyboard ist ein spezialisiertes Framework für Embedded-HMI-Anwendungen, insbesondere in industriellen und medizinischen Geräten. ([Crank Software Inc., o. J.](#))

Für das SRT-System ist Crank vor allem im Bereich UI / Designkonzept interessant, da es speziell für visuell anspruchsvolle und touchbasierte Benutzeroberflächen entwickelt wurde. Auch im Bereich Performance ist die Technologie gut geeignet für Embedded-Systeme. Der grösste Nachteil liegt im Migrationsaufwand sowie in der Systemintegration, da die bestehende Qt-basierte Architektur nicht direkt weiterverwendet werden kann. Zudem entstehen durch die proprietäre Lösung zusätzliche Abhängigkeiten.

Grösster Vorteil: Optimierte für Embedded-HMIs und visuell anspruchsvolle Interfaces.

Grösster Nachteil: Hoher Migrationsaufwand und starke Abhängigkeit vom Hersteller.

GTK

GTK ist ein etabliertes Open-Source-Framework, das vor allem im Linux-Umfeld verbreitet ist. ([The GTK Project, o. J.](#))

Im Kontext des SRT-Systems punktet GTK insbesondere bei den Kosten, da es frei verfügbar ist, sowie beim Reifegrad, da es seit vielen Jahren aktiv entwickelt wird. Schwächen zeigen sich jedoch im Bereich UI / Designkonzept, da moderne, stark angepasste Benutzeroberflächen schwieriger umzusetzen sind als bei Qt oder Flutter. Auch der Migrationsaufwand ist relativ hoch, da das bestehende Qt-basierte GUI vollständig ersetzt werden müsste.

Grösster Vorteil: Kostenfreie und stabile Open-Source-Lösung.

Grösster Nachteil: Eingeschränkte Flexibilität bei modernen UI-Konzepten.

NodeGUI

NodeGUI ermöglicht die Entwicklung von Desktop-Anwendungen mit JavaScript auf Basis von Qt. ([NodeGUI Contributors, o. J.](#))

Im Kontext des SRT-Systems bietet NodeGUI gewisse Vorteile im Bereich UI-Entwicklung, insbesondere für Entwickler und Entwicklerinnen mit Web-Hintergrund. Auch die Kosten sind vergleichsweise gering. Allerdings bringt NodeGUI Nachteile bei der Systemintegration und Wartbarkeit, da eine zusätzliche Runtime eingeführt wird. Zudem bleibt die Abhängigkeit von Qt bestehen, wodurch kein echter Vorteil gegenüber der direkten Nutzung von Qt entsteht.

Grösster Vorteil: Nutzung von JavaScript für Qt-basierte GUIs.

Grösster Nachteil: Zusätzliche Komplexität ohne klaren Mehrwert.

Dear ImGUI

Dear ImGui verfolgt einen anderen Ansatz als klassische GUI-Frameworks und basiert auf dem sogenannten Immediate-Mode-Paradigma. Dabei wird die Benutzeroberfläche in jedem Frame direkt aus dem aktuellen Programmzustand neu aufgebaut, anstatt dauerhaft gespeicherte UI-Elemente zu verwalten. ([Cornut, o. J.](#))

Im Kontext der Evaluationskriterien schneidet ImGui vor allem bei der Performance und der Systemintegration gut ab, da es direkt in C++ eingebunden werden kann und sehr leichtgewichtig ist. Der entscheidende Nachteil liegt jedoch im Bereich UI / Designkonzept sowie Usability. ImGui ist nicht für komplexe, benutzerorientierte Anwendungen gedacht, sondern primär für Entwickler-Tools. Konzepte wie klare visuelle Hierarchien, strukturierte Workflows oder konsistente Zustandsdarstellungen lassen sich nur schwer umsetzen. Für das SRT-System, bei dem eine sichere und intuitive Bedienung im Vordergrund steht, ist dieser Ansatz ungeeignet.

Grösster Vorteil: Sehr leichtgewichtig und performant.

Grösster Nachteil: Ungeeignet für komplexe, sicherheitskritische Benutzeroberflächen.

5.1.3 Bewertung

Basierend auf den definierten Kriterien ergibt sich folgende Bewertung (Skala von 1 - 5):

Kriterium	QT	Flutter	Crank	GTK	NodeGUI	ImGUI
Systemintegration	5	4	3	4	3	4
Kosten	2	5	3	5	5	5
Migrationsaufwand	5	3	2	2	2	3
Reifegrad / Risiko	5	4	3	4	2	3
UI / Designkonzept	5	5	5	3	3	1
Wartbarkeit	5	4	3	3	2	2
Performance	4	4	4	4	3	5

Tabelle 54: Bewertung Technologieanalyse

Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$\text{Score} = \sum_{i=1}^n (\text{bewertung}_i * \text{gewicht}_i)$$

Dabei entspricht:

- *bewertung_i* der Bewertung eines Kriteriums (1 - 5).
- *gewicht_i* der Gewichtung des jeweiligen Kriteriums (z.B. 0.25 für 25%).

Mit Einberechnung der Gewichtung ergeben sich folgende Scores und eine endgültige Rangliste:

Rang	Technologie	Score
1.	QT	4.45
2.	Flutter	4.10
3.	GTK	3.65
4.	ImGUI	3.45
5.	Crank	3.15
6.	NodeGUI	2.90

Tabelle 55: Rangliste Technologieanalyse

Qt belegt den ersten Platz, da es die beste Kombination aus Integration, Stabilität und geringem Migrationsaufwand bietet. Flutter stellt die stärkste Alternative dar, insbesondere im Hinblick auf moderne Benutzeroberflächen.

5.1.4 SWOT-Analyse der besten Technologien

Qt überzeugt durch seine starke Integration in das bestehende System sowie durch seine Reife und Stabilität. Schwächen liegen hauptsächlich in den Kosten. Chancen ergeben sich durch die Weiterentwicklung der bestehenden Lösung, während Risiken in der Abhängigkeit vom Anbieter bestehen.

Flutter punktet mit hoher Flexibilität und modernen UI-Möglichkeiten. Schwächen liegen in der Integration mit dem bestehenden System. Chancen ergeben sich durch mögliche Kosteneinsparungen, während Risiken vor allem im zusätzlichen Integrationsaufwand liegen.

5.1.5 Kostenanalyse QT

Ein zentraler Aspekt dieser Technologieevaluation ist die Kostenstruktur von Qt, da diese vom Auftraggeber explizit hinterfragt wurde. Ziel ist es, abzuschätzen, ob die mit Qt verbundenen Kosten im Verhältnis zum Nutzen und zur technischen Eignung gerechtfertigt sind.

Für das SRT-Lasersystem ist insbesondere relevant, dass Qt im Kontext von Hardware-Produkten ein spezifisches Lizenzmodell verwendet. Dieses besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: einer Developer License pro Entwickler oder Entwicklerin sowie einer Distribution License pro Gerät.

Developer License

Für die Entwicklung eines Geräts wie dem SRT-Laser wird eine sogenannte Qt for Device Creation (DC) Lizenz benötigt. Diese ist erforderlich, da die Software Bestandteil eines physischen Produkts ist und nicht nur als reine Desktop-Anwendung genutzt wird. ([The Qt Company, o. J.-b\)](#)

Dabei stehen zwei Varianten zur Verfügung:

- **Qt for Device Creation Professional:**

Die Professional-Version deckt alle grundlegenden Funktionen für die Entwicklung eines Embedded-Systems ab. Dazu gehören insbesondere:

- Entwicklung von GUI und Applikation
- Integration in Embedded-Systeme
- Nutzung von Qt Quick und weiteren Kernkomponenten

Für das SRT-System ist diese Variante grundsätzlich ausreichend, da keine erweiterten sicherheitskritischen Zusatzfunktionen benötigt werden, wie sie beispielsweise im Automotive-Bereich relevant sind.

Preis: 6'890€ pro Entwickler/Entwicklerin und Jahr

- **Qt for Device Creation Enterprise:**

Die Enterprise-Version erweitert die Professional-Version um zusätzliche Funktionen, insbesondere für sicherheitskritische Systeme. Dazu gehören unter anderem:

- Qt Safe Renderer für sicherheitskritische Anzeige
- Erweiterte Frameworks für komplexe Systemarchitekturen
- Zusätzliche Tools für stark regulierte Umgebungen

Diese Variante ist vor allem für Systeme mit sehr hohen Safety-Anforderungen oder komplexen Softwarearchitekturen relevant. Für das SRT-System ist sie nicht zwingend notwendig, könnte jedoch optional eingesetzt werden.

Preis: auf Anfrage

Distribution License

Zusätzlich zu den Developer-Lizenzen wird eine sogenannte Distribution License benötigt. Diese ist erforderlich für jedes Gerät, das mit Qt-Software ausgeliefert wird. ([The Qt Company, o. J.-c\)](#)

Das bedeutet konkret:

- Für jeden produzierten SRT-Laser fallen zusätzliche Lizenzkosten an.
- Die Kosten skalieren somit direkt mit der Anzahl der verkauften Geräte.

Der genaue Preis für die Distribution License wird von Qt nicht öffentlich angegeben und wird pro Anfrage berechnet. Basierend auf öffentlich verfügbaren Erfahrungswerten und Diskussionen aus der Praxis bewegen sich solche Kosten jedoch typischerweise im Bereich von **ca. 50€ bis 200€ pro Gerät** (Schätzung, nicht offiziell bestätigt).

Diese Werte dienen lediglich zur groben Orientierung und können je nach Vertragsgestaltung deutlich variieren.

Gesamtkostenabschätzung

Für eine bessere Abschätzung der Kosten werden folgende Annahmen getroffen:

- 2 Entwickler/Entwicklerinnen
- Nutzung von QT DC Professional
- 10 verkaufte Geräte pro Jahr

Entwicklungskosten pro Jahr:

$$2 \text{ Entwickler/Entwicklerinnen} * 6'890\text{€} = 13'780\text{€}$$

Distributionskosten (geschätzt):

$$10 \text{ Geräte} * 50 - 200\text{€} = 500\text{€} - 2'000\text{€}$$

Dies ergeben Gesamtkosten von ungefähr **14'000€ bis 16'000€ pro Jahr**.

5.1.6 Fazit

Qt bleibt die technisch beste Lösung, insbesondere aufgrund der bestehenden Architektur und der nahtlosen Integration in das C++-basierte System. Mit Qt Quick steht zudem eine geeignete Technologie zur Verfügung, um die im Designkonzept definierten Anforderungen an moderne, touchbasierte Benutzeroberflächen effizient umzusetzen.

Durch die stärkere Gewichtung der Kosten zeigt sich jedoch, dass Flutter eine ernsthafte Alternative darstellt, insbesondere im Hinblick auf langfristige Kostenoptimierung. Ein Technologiewechsel würde jedoch zusätzlichen Integrationsaufwand und Risiken mit sich bringen.

Für das aktuelle Projekt und im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde daher entschieden, die Entwicklung weiterhin mit Qt fortzuführen. Dies ermöglicht eine effiziente Weiterentwicklung des bestehenden Prototyps, während Flutter als mögliche Alternative für zukünftige Entwicklungen bestehen bleibt.

5.2 Technologien

In diesem Kapitel werden die verwendeten Technologien und Frameworks vorgestellt sowie die Gründe für deren Auswahl erläutert.

Wie bereits in der Technologieanalyse beschrieben, werden weitgehend Technologien verwendet, die bereits in der bestehenden Architektur eingesetzt werden. Dies vereinfacht die Integration sowie die Weiterentwicklung des GUIs bei zukünftigen Änderungen.

5.2.1 C++

Hauptsprache der GUI-Anwendung sowie der zugehörigen Applikationslogik. C++ wird verwendet, da die bestehende Projektarchitektur bereits darauf basiert. Ausserdem ermöglicht C++ performante native Desktop-Anwendungen.



5.2.2 Qt5

Zentrales Framework für die Entwicklung des Desktop-GUI. Qt wird verwendet, da die bestehende GUI-Architektur bereits darauf basiert und das Framework zudem als Ergebnis der Technologieanalyse ausgewählt wurde.



5.2.3 Qt Widgets

Erweiterung von Qt zur Entwicklung klassischer GUI-Oberflächen. Wird weiterhin vom alten GUI benutzt, welches im Expert Mode angezeigt wird.

5.2.4 QML & Qt Quick

Erweiterungen für Qt, um moderne, flexiblere GUI-Komponenten wie Panels, Overlays, Statusanzeigen und interaktive Bedienelemente zu erstellen. Sie sind besonders wichtig für die Touchsteuerung des GUIs. Das neu entwickelte GUI verwendet dieses Framework für die Umsetzung der UI-Elemente.

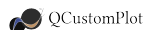


5.2.5 QQuickWidget

Ermöglicht die Einbettung von QML- und Qt-Quick-Komponenten in die bestehende Qt-Widgets-Anwendung. Dadurch kann das neue GUI parallel zum alten GUI deployed werden.

5.2.6 QCustomPlot

Wird für Diagramme und Plot-Visualisierungen innerhalb des GUI genutzt, z.B. für Scan-, Mess- und Kalibrationsdaten.



5.2.7 CMake

Wird verwendet, um die GUI-Anwendung, Ressourcen und Testziele reproduzierbar zu konfigurieren und zu bauen.



5.2.8 QtTest

Dient zur automatisierten Prüfung GUI-naher Applikationslogik, z.B. Workflow-Regeln, Services und Controller-Verhalten.

5.2.9 CTest

Wird verwendet, um die automatisierten Tests über das CMake-Testsystem zentral auszuführen.



5.3 Softwarearchitektur

Die Softwarearchitektur ordnet die neue GUI-Ebene in die bestehende Applikation und Hardwareanbindung ein.

5.3.1 C4 Model

Die folgenden C4-Diagramme beschreiben die Architektur des neuen GUIs im Gesamtsystem des Laserbehandlungsgeräts ([Brown, 2026](#)). Das Modell umfasst den Systemkontext, die Container-Ebene sowie zwei Komponentenansichten für GUI-/Applikationslogik und SRT-/Hardwareintegration. Die Diagramme veranschaulichen, wie klinische Anwender und Anwenderinnen, Servicepersonal und Entwicklungsteam mit der Desktop-Applikation interagieren, wie die Zuständigkeiten auf UI-, Applikations- und Hardwareintegrationskomponenten verteilt sind und wie das GUI mit externen Systemen wie Lasergerät, OCT-/Spektrometer-System, Strahlsteuerung/DAQ und lokalen Dateien zusammenarbeitet. Ziel des Modells ist es, einen klaren, strukturierten Überblick über den aktuellen technischen Aufbau des Systems, die Architektur zwischen Legacy-Widgets und neuer QML-basierter Treatment UI sowie die Interaktionen zwischen den beteiligten Komponenten zu bieten.

Eine wichtige Randbedingung der Arbeit war, dass das bestehende Projekt ohne Teile der proprietären und sicherheitskritischen Behandlungslogik sowie ohne vollständige reale Hardwareumgebung vorlag. Daher wurde die Architektur so weiterentwickelt, dass vorhandene Schnittstellen, Datenflüsse und Integrationspunkte möglichst erhalten bleiben. Dieses Vorgehen reduziert das Risiko bei der späteren Wiederanbindung an die reale Hardware. Gleichzeitig können das neue GUI und die Applikationsschicht lokal mithilfe von Kompatibilitäts- und Mock-Komponenten entwickelt und getestet werden.

Systemkontext

Das Systemkontextdiagramm zeigt die Desktop-Applikation als zentrales Softwaresystem innerhalb des Laserbehandlungsgeräts. Es stellt dar, welche Benutzergruppen mit dem GUI interagieren und welche externen Hardware- und Dateisysteme an der Behandlung beteiligt sind. Im Fokus stehen dabei die klinische Bedienung durch Ophthalmologinnen und Ophthalmologen, Wartungs- und Diagnosezugriffe durch Servicepersonal sowie Entwicklungszugriffe durch das Entwicklungsteam.

Neben den Benutzergruppen zeigt das Diagramm die wichtigsten externen Systeme: das Lasergerät zur Abgabe der Laserpulse, das OCT-/Spektrometer-System zur Bereitstellung von OCT- und SLO-Bilddaten, die Strahlsteuerung/DAQ für Scannerpositionen und Trigger sowie lokale Dateien für Kalibrierungen, Ressourcen und Aufzeichnungen. Damit beschreibt diese Sicht die fachliche Systemgrenze und die zentralen Kommunikationsbeziehungen des GUIs (siehe [Abbildung 34](#)).

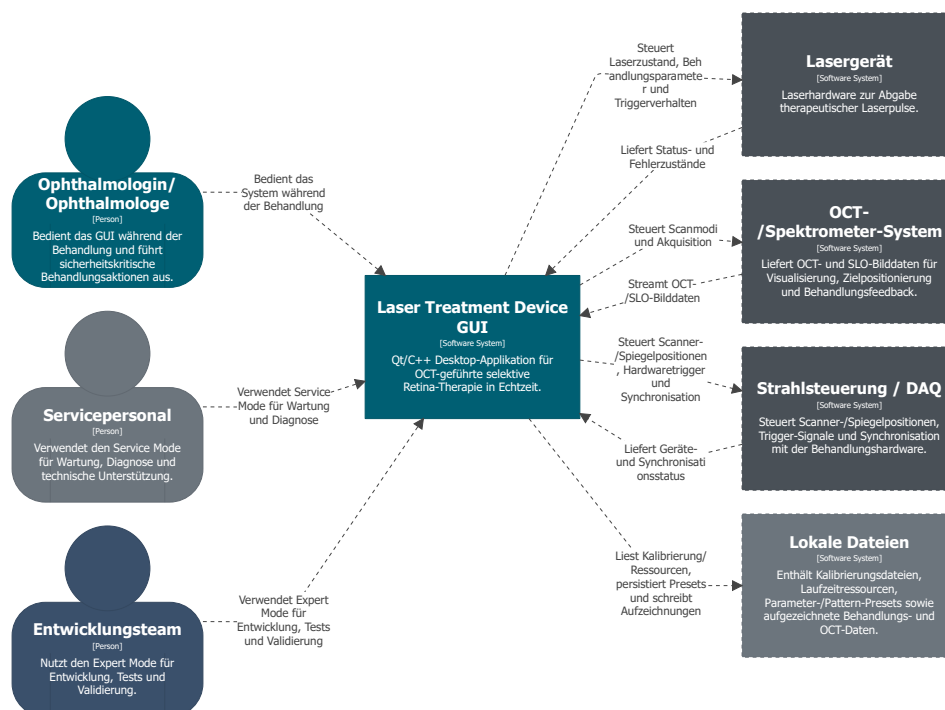


Abbildung 34: C4 Context-Diagramm

Container

Das Containerdiagramm verfeinert die Systemkontextsicht und zeigt die Desktop-Applikation als zentralen Softwarecontainer des Systems. Da es sich beim GUI um eine lokal ausgeführte Qt/C++-Anwendung handelt, liegt die wesentliche Softwarefunktionalität innerhalb dieses Containers: Benutzeroberfläche, Applikationslogik, Zustandsverwaltung und Hardwareintegration werden gemeinsam in der Desktop-Applikation ausgeführt.

Die Sicht zeigt zudem die Desktop-Applikation als zentrale Vermittlerin zwischen Benutzergruppen und Behandlungshardware. Sie steuert Laser, OCT-/Spektrometer-System und DAQ, empfängt Bild- und Statusdaten und nutzt lokale Dateien für Ressourcen, Kalibrierungen sowie Aufzeichnungen (siehe [Abbildung 35](#)).

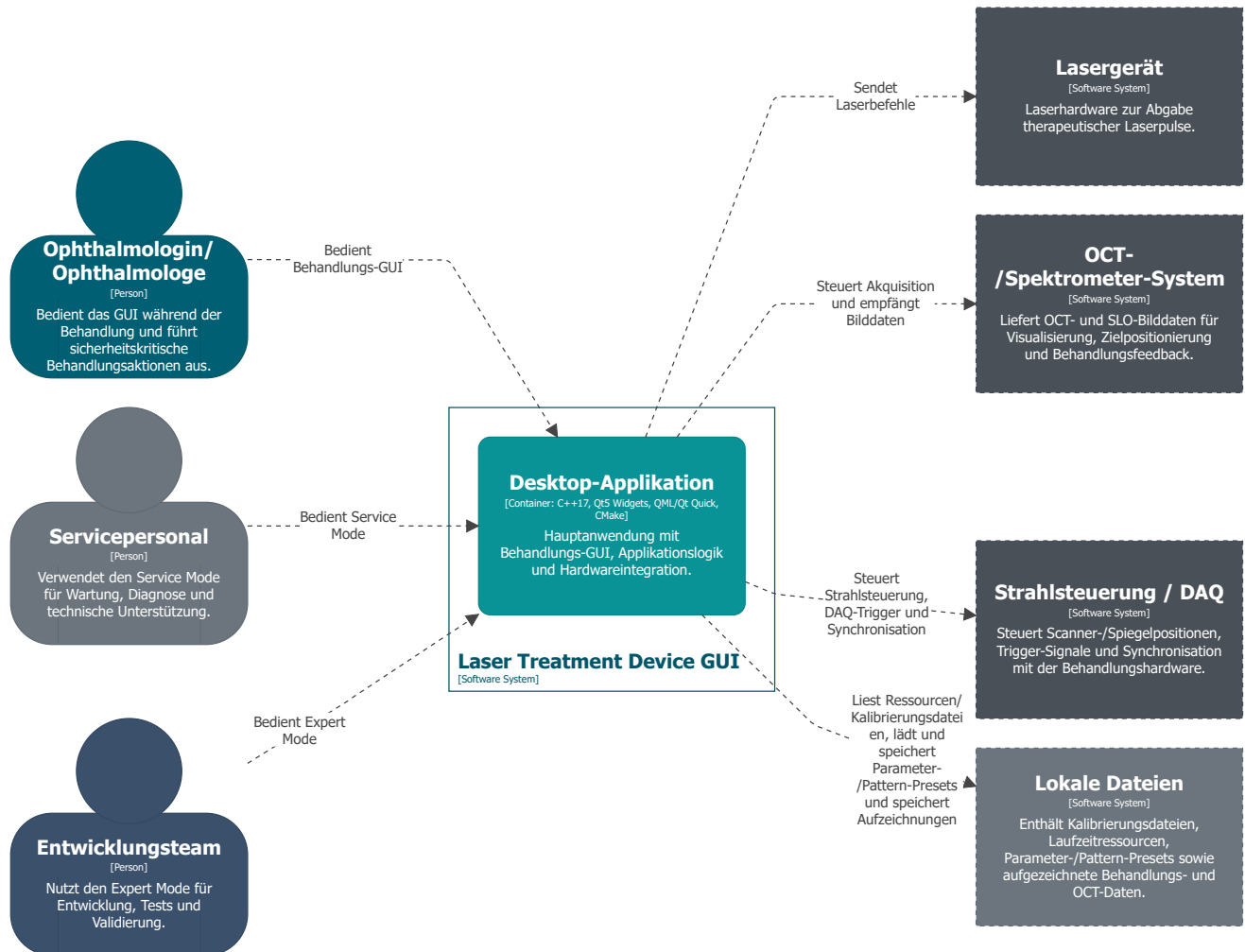


Abbildung 35: C4 Container-Diagramm

GUI- und Applikationskomponenten

Die Komponentenansicht der GUI- und Applikationslogik zeigt die interne Struktur der Desktop-Applikation aus Sicht der Bedienoberfläche und der behandlungsnahen Anwendungslogik. Da das vollständige Diagramm sehr umfangreich ist, wurde es zur besseren Lesbarkeit in zwei Teilabbildungen aufgeteilt. Das vollständige Diagramm ist zusätzlich im [Anhang I](#) unter [Abbildung 81](#) aufgeführt.

Die erste Teilansicht zeigt den GUI-nahen Bereich der Applikation (siehe [Abbildung 36](#)). Im Mittelpunkt steht der bestehende QWidget-basierte Widget-Host, der die Legacy-Bedienelemente, die neue QML-basierte Treatment UI sowie Service- und Expert-Mode-Bereiche miteinander verbindet. Die neue Treatment UI wird über den QuickTreatmentUiBridge-Adapter in die bestehende Anwendung integriert. QML-Signale für Moduswahl, Parameteränderungen, Presets und primäre Behandlungsaktionen werden dabei in Qt-Signale übersetzt und an bestehende Slots im Widget-Host weitergeleitet.

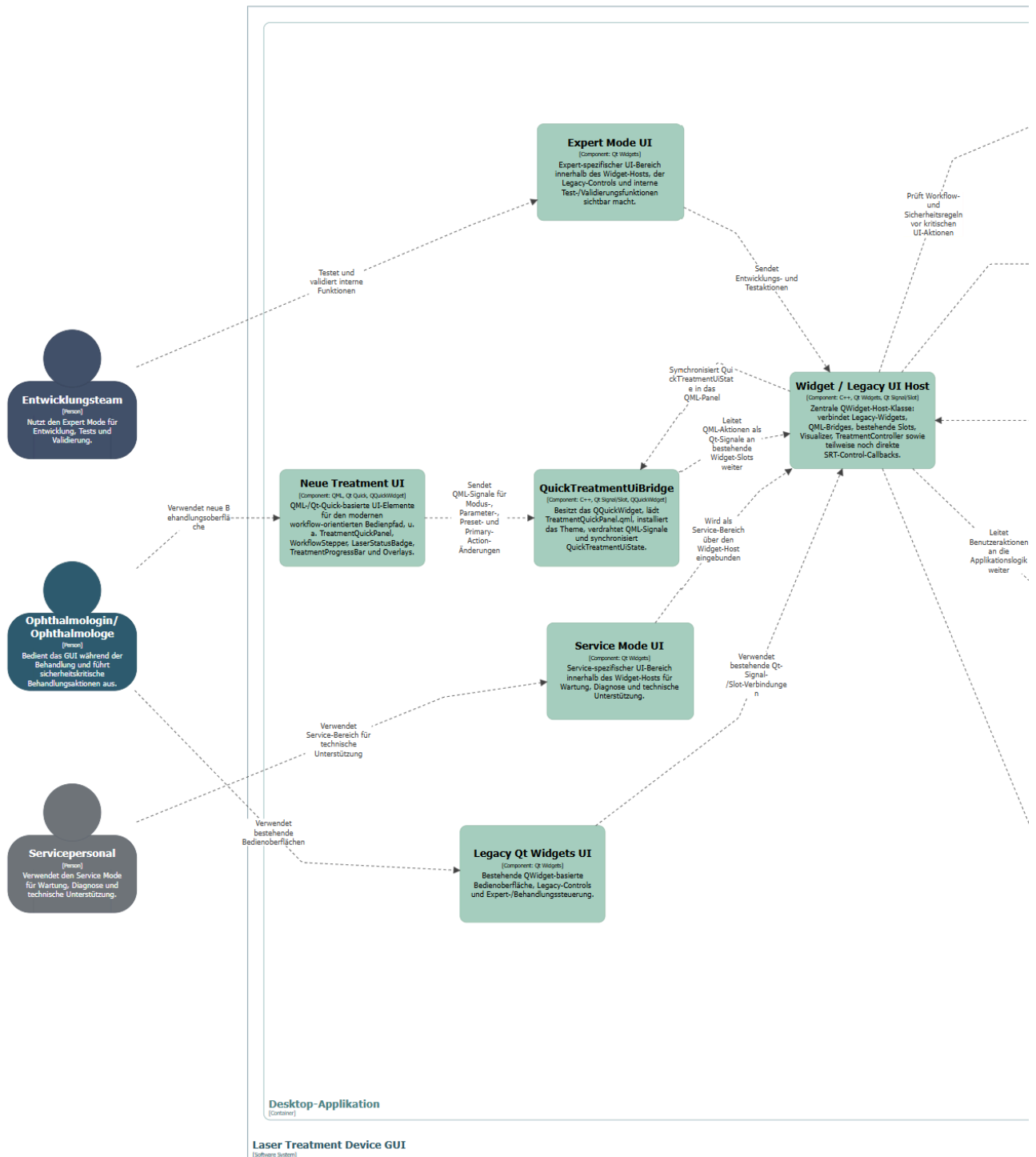


Abbildung 36: C4 GUI- und Applikations Component-Diagramm, Teil 1: GUI und Widget-Host

Die zweite Teilansicht zeigt die behandlungsnah Applikationslogik und die darunterliegenden Services (siehe Abbildung 37). Der TreatmentController koordiniert die fachlichen Aktionen und delegiert diese an spezialisierte Services für Lasersteuerung, Akquisition, Verarbeitung, Aufzeichnung, Wiedergabe und behandlungsnah Ausführung. Zusätzlich sind die Backend-Abstraktionen, Mock-Stubs, lokale Dateien sowie die Anbindung an SRT Control dargestellt.

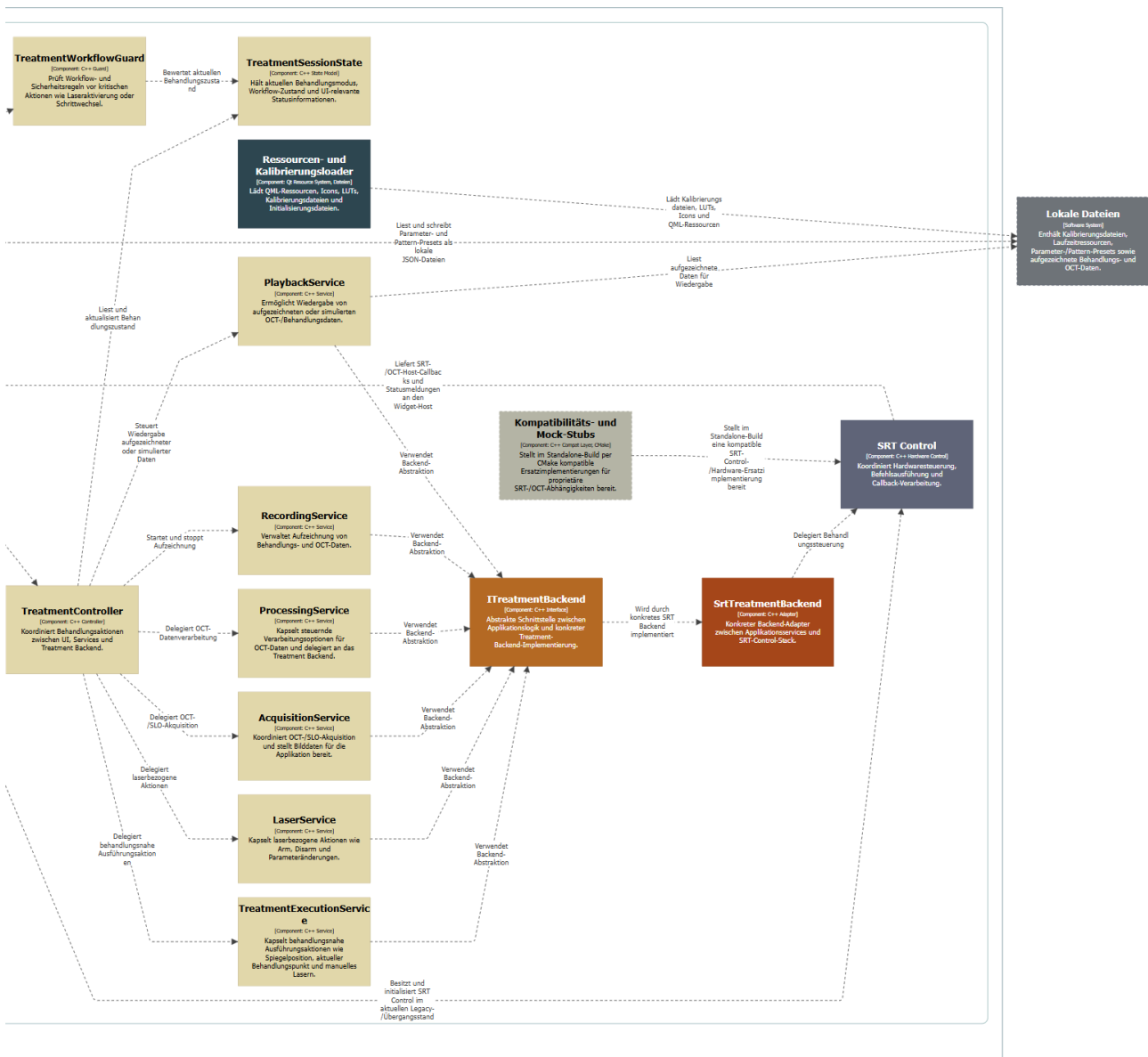


Abbildung 37: C4 GUI- und Applikations Component-Diagramm, Teil 2: Applikationslogik, Services und Backend-Anbindung

Diese beiden Teilansichten verdeutlichen den gewählten Ansatz einer inkrementellen Modernisierung: Die neue QML-basierte Treatment UI wird schrittweise in die bestehende QWidget-Anwendung integriert, ohne bewährte Behandlungslogik und Hardwareanbindung vollständig neu aufzubauen. Durch die eingeführten Controller-, Service- und Backend-Abstraktionen entsteht eine klarere Trennung zwischen Bedienoberfläche, Applikationslogik und Hardwarezugriff, während der bestehende Widget-Host als stabiler Integrationspunkt für Legacy-Funktionen, Visualisierung und SRT-Control-Callbacks erhalten bleibt.

SRT- und Hardwareintegration

Die Komponentenansicht der SRT- und Hardwareintegration (siehe [Abbildung 38](#)) fokussiert auf den technischen Pfad zwischen Applikationslogik, SRT-Control-Stack und angeschlossener Behandlungshardware. Sie zeigt, wie der SrtTreatmentBackend als Adapter zwischen der applikationsnahen Backend-Abstraktion und der bestehenden SRT-Control-Schicht vermittelt.

Im Zentrum dieser Sicht steht SRT Control, das die hardwarebezogenen Abläufe koordiniert. Dazu gehören die Kommunikation mit dem Lasergerät, die OCT-/SLO-Akquisition, die Pufferung und Weitergabe von Bilddaten, die Aufzeichnung von Behandlungsdaten sowie die Ansteuerung von Strahlsteuerung, DAQ und Trigger-Synchronisation. Die Visualisierungskomponenten sind ebenfalls dargestellt, da der bestehende Widget-Host die empfangenen OCT- und Fundusdaten für A-/B-Scan- und SLO-Anzeigen aktualisiert.

Die Sicht zeigt damit, wie die neue Applikationsschicht an die vorhandene Hardwareintegration angebunden wird. Gleichzeitig bleibt ersichtlich, welche Bestandteile im Standalone-Build durch Kompatibilitäts- und Mock-Stubs ersetzt werden, um Entwicklung und Tests auch ohne reale Hardware zu ermöglichen.

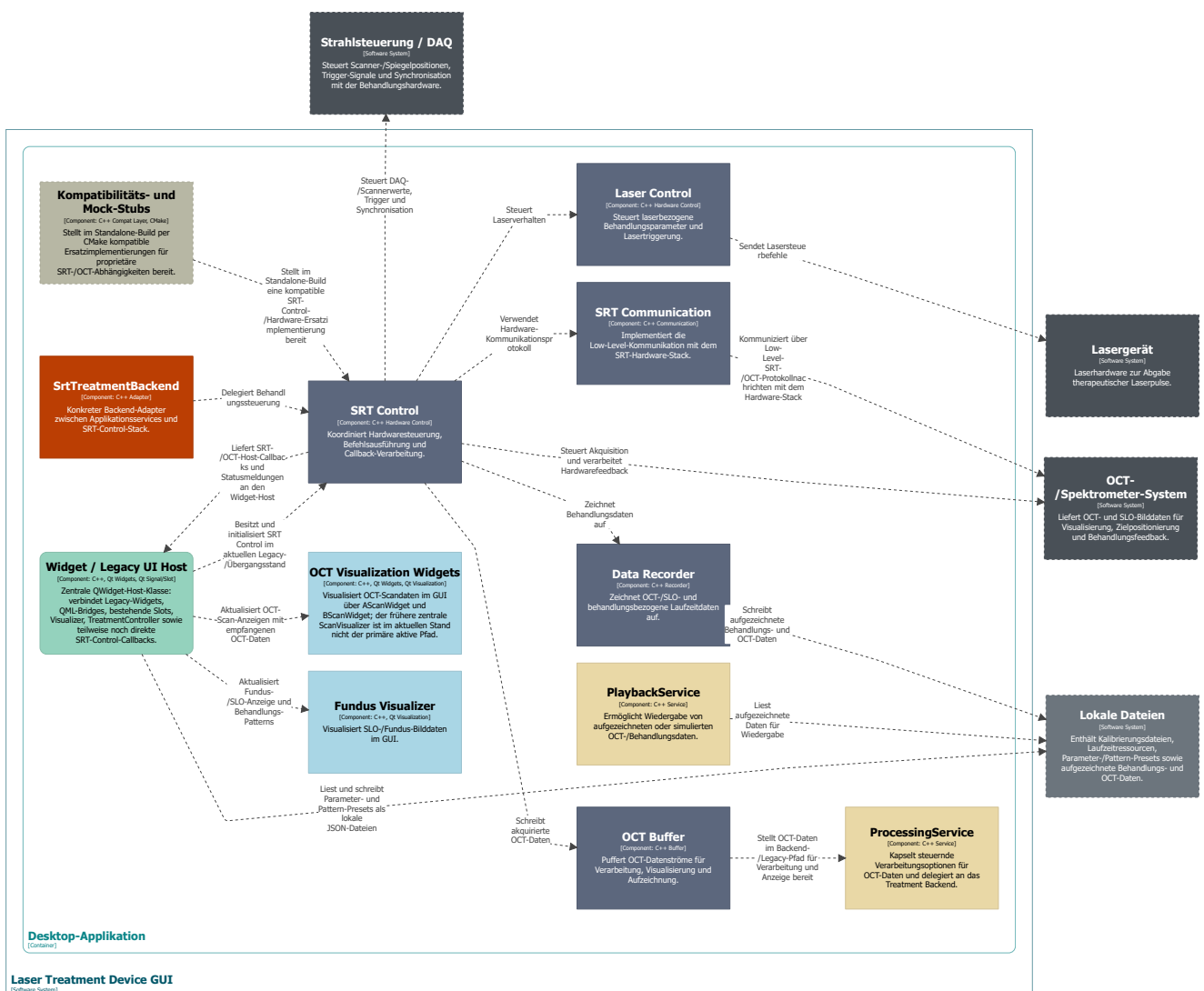


Abbildung 38: C4 Hardwareintegration Component-Diagramm

5.3.2 Projektstruktur und architektonische Einordnung

Neben den C4-Diagrammen lässt sich die Architektur auch anhand der Ordnerstruktur des Codes einordnen. Das Projekt ist keine vollständig neu aufgebaute Anwendung, sondern eine weiterentwickelte Qt/C++-Desktop-Applikation. Die neue Applikationsschicht wurde gezielt eingeführt, um Behandlungslogik, UI-Zustand und Hardwarezugriffe stärker voneinander zu trennen, während bestehende Legacy-Komponenten weiterhin eingebunden bleiben.

Ordner / Bereich	Bedeutung
app/ui	Enthält die QWidget-basierte Hauptoberfläche, den zentralen Widget-Host, UI-Elemente, Visualisierungseinbindungen und die Integration der neuen QML-Komponenten über QQuickWidget.
app/resources	Enthält QML-Dateien, Icons, Mock-Bilder, LUTs, Kalibrierungs- und Initialisierungsdateien.
app/application	Enthält die neu eingeführte Applikationsschicht mit TreatmentController, Services, Zustandsmodell, Workflow-Regeln und der Backend-Abstraktion ITreatmentBackend.
app/srt	Enthält bestehende SRT-Komponenten für Hardwaresteuerung, Kommunikation, OCT-Pufferung, Recording, Lasersteuerung und Visualisierung.
compat	Enthält Kompatibilitäts- und Mock-Implementierungen, die den Standalone-Build ohne proprietäre Hardware- und OCT-Abhängigkeiten ermöglichen.
app/standalone	Enthält ergänzende Standalone-spezifische Komponenten und Mock-Runtime-Funktionalität für lokale Entwicklung und Tests.
app/tests	Enthält Tests für die neue Applikationsschicht sowie Fake-Backends zur Prüfung der Controller- und Service-Logik ohne reale Hardware.

Tabelle 56: Wichtige Projektbereiche und ihre architektonische Rolle

Die Ordnerstruktur zeigt den Modernisierungsansatz des Projekts: Neue fachliche Logik wird vor allem in app/application gekapselt und über ITreatmentBackend von der konkreten SRT-/Hardwareintegration getrennt. Die bestehende GUI in app/ui dient weiterhin als zentraler Integrationspunkt, da sie Legacy-Widgets, QML-Bridges, Visualisierung und SRT-Callbacks zusammenführt. Dadurch kann die neue Applikationsschicht schrittweise eingeführt werden, ohne die bestehende Hardwareanbindung und bewährte Bedienlogik vollständig zu ersetzen.

6 Implementation

Dieses Kapitel beschreibt die implementierten Ansichten der Anwendung und zeigt, welche Aktionen Benutzer und Benutzerinnen in den einzelnen Bereichen ausführen können. Zusätzlich wird erläutert, welche Prozesse im Hintergrund ablaufen und welche der definierten Use Cases durch die aktuelle Implementation abgedeckt werden.

Die Anwendung wurde primär für eine Touch-Bedienung umgesetzt, kann jedoch auch problemlos mit Maus und Tastatur bedient werden. Dadurch kann das GUI einerseits am vorgesehenen Touchscreen des Lasergeräts genutzt und andererseits je nach Situation, Präferenz oder Testumgebung auch mit angeschlossener Maus und Tastatur bedient werden.

Die ursprünglich definierten Use Cases aus der Anforderungsanalyse wurden bewusst nicht im Detail überarbeitet. Sie behalten weitgehend ihre Gültigkeit, jedoch haben sich während der Implementation verschiedene technische und gestalterische Details gegenüber den ursprünglichen Annahmen verändert. Diese Abweichungen werden in den jeweiligen Abschnitten zusammengefasst, damit nachvollziehbar bleibt, wie aus dem Figma-Prototyp und den Anforderungen das lauffähige GUI entstanden ist.

6.1 Treatment View

Die Treatment View ist die zentrale Ansicht für die Vorbereitung, Planung und Durchführung einer Laserbehandlung. Sie bildet den klinischen Hauptworkflow des neuen GUIs ab und führt den Ophthalmologen bzw. die Ophthalmologin schrittweise durch die Behandlung. Dafür ist die Ansicht in die vier Schritte *Setup*, *Plan*, *Treat* und *Report* gegliedert (siehe [Abbildung 39](#)) im oberen Bereich). Damit wird der bisher eher technisch geprägte Ablauf in eine klarere Prozessstruktur überführt.

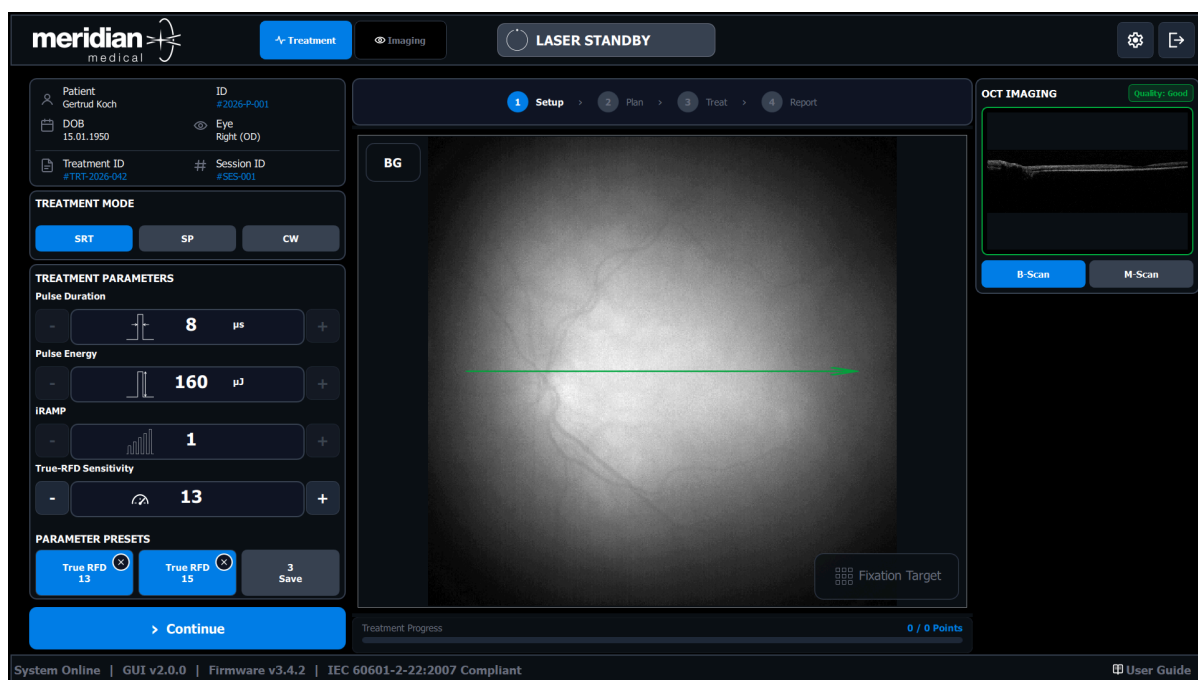


Abbildung 39: Treatment View: Setup

Die View basiert auf der Idee, die früher getrennten Funktionen von HEYEX und CTS stärker in einer gemeinsamen Oberfläche zusammenzuführen. Im [Studien-GUI](#) wurden Bildgebung und Lasersteuerung noch über zwei getrennte Oberflächen bedient. HEYEX stellte dabei das SLO- und OCT-Bild sowie das SRT-Preset bereit, während CTS die Laserparameter, den Ziel- bzw. Behandlungslaser und die Pattern-Platzierung verwaltete. Diese Trennung wurde in der Analyse als Medienbruch bewertet, da der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin zwischen zwei Systemen wechseln musste. Im neuen GUI werden die relevanten Behandlungsfunktionen deshalb in einer gemeinsamen Treatment View zusammengefasst.

Je nach aktuellem Workflow-Schritt verändert das GUI seine sichtbaren Elemente. Dadurch wird der vorhandene Platz besser genutzt und es werden nur diejenigen Funktionen prominent angezeigt, die im jeweiligen Arbeitsschritt relevant sind. Die Workflow-Schritte sind dabei nicht nur visuelle Elemente, sondern werden in der Implementation über den Zustand `TreatmentSessionState` geführt. Zustandswechsel werden zusätzlich durch `TreatmentWorkflowGuard` abgesichert. Dadurch können sicherheitsrelevante Aktionen wie das Scharfschalten des Lasers nur erfolgen, wenn die notwendigen fachlichen und technischen Voraussetzungen erfüllt sind.

```
stateDiagram-v2
    [*] --> Setup
    Setup --> Plan : Continue Button
    Setup --> Plan : Zurück zu Setup via Stepper
    Plan --> armGuard : requestArmTreatmentLaser()
    armGuard --> Plan : Guard lehnt Arming ab
    armGuard --> Plan : Guard akzeptiert Arming
    armGuard --> Plan : Laser disarmed oder zurück via Stepper
    armGuard --> Plan : Neue Behandlung / Zurück zur Planung via Stepper
    Plan --> LASER_STANDBY
    state "Treat" {
        LASER_STANDBY --> LASER_READY : Treatment-Laser armed
        LASER_READY --> LASER_READY : Puls ausgelöst
        LASER_READY --> LASER_READY : Puls beendet, weitere Punkte vorhanden
        LASER_READY --> LASER_FIRING : Puls beendet, weitere Punkte vorhanden
        LASER_FIRING --> LASER_STANDBY : Laser/OCT wieder bereit
        LASER_FIRING --> LASER_FIRING : Verbindung verlohren / ERROR
        LASER_FIRING --> LASER_NOT_CONNECTED : Verbindung verlohren / ERROR
        LASER_FIRING --> LASER_NOT_CONNECTED : Verbindung fehlt / ERROR
        LASER_NOT_CONNECTED --> LASER_STANDBY : Verbindung fehlt / ERROR
        LASER_NOT_CONNECTED --> LASER_STANDBY : Verbindung verlohren / ERROR
    }
    LASER_STANDBY --> Report : Behandlung abgeschl.
    Report --> Plan : Neue Behandlung / Zurück zur Planung via Stepper
```

Abbildung 40: Zustandsdiagramm der Treatment View

Der fachliche Behandlungsablauf ist in [Abbildung 41](#) zusammengefasst. Das Aktivitätsdiagramm zeigt, wie der Benutzer bzw. die Benutzerin von der Vorbereitung über die Planung zur eigentlichen Behandlung geführt wird. Besonders wichtig sind dabei die Prüfpunkte im Plan-Schritt: Der Arzt bzw. die Ärztin beurteilt an diesen Stellen, ob Bildqualität, Ausrichtung und Planung für die Behandlung ausreichen. Falls dies nicht der Fall ist, bleibt die Behandlung im Planungsablauf und kann angepasst werden. Erst wenn alle notwendigen Punkte gelockt sind und die Sicherheitsbedingungen erfüllt sind, wird der Laser scharf geschaltet und der Workflow wechselt in *Treat*. Nach Abschluss aller Laserpunkte führt der Ablauf in den *Report*-Schritt. Falls weitere Bereiche behandelt werden müssen, kann wieder in die Planung zurückgesprungen werden.

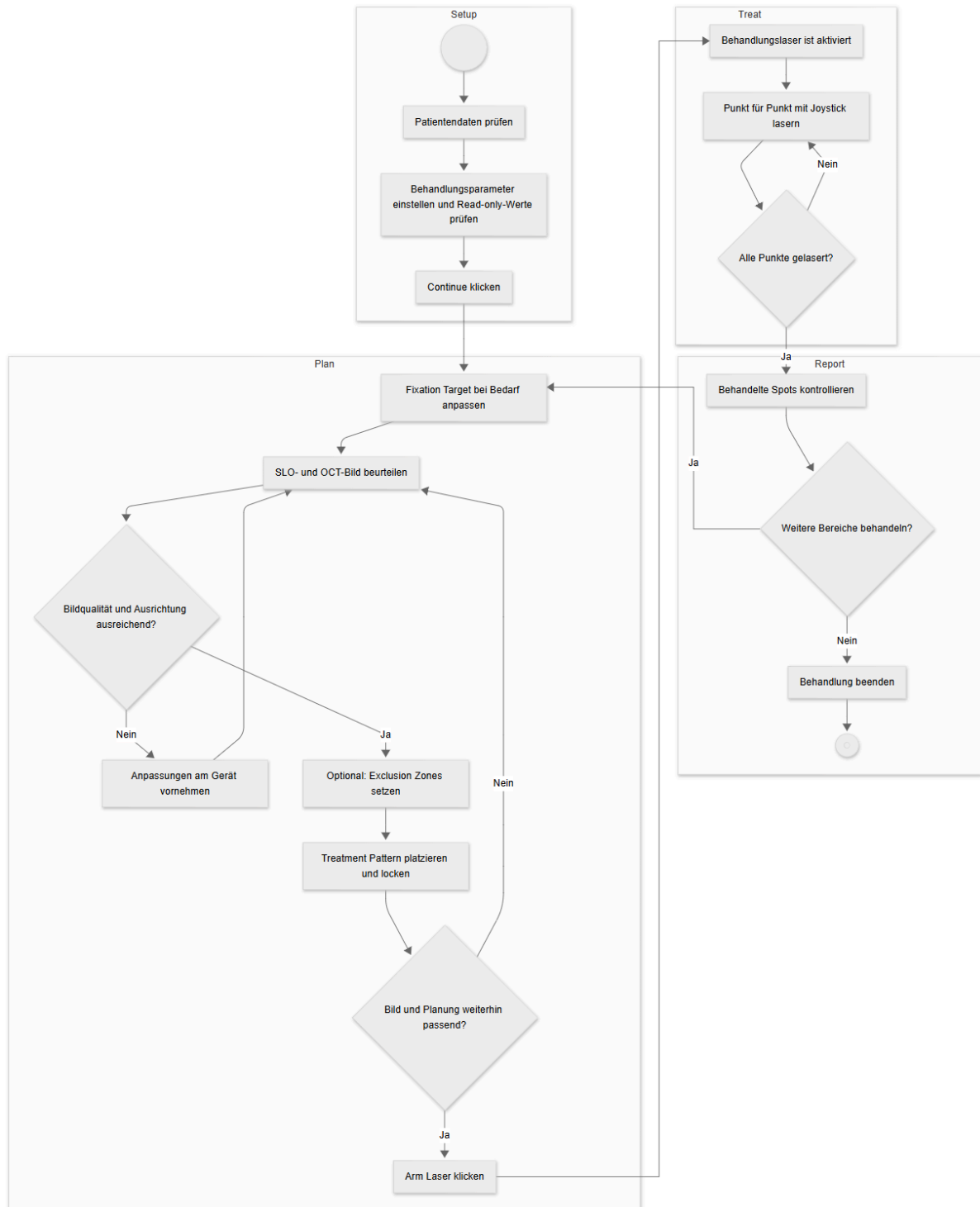


Abbildung 41: Aktivitätsdiagramm des Behandlungsablaufs

In der Treatment View können die Patientendaten jederzeit eingesehen werden (siehe [Abbildung 39](#) oben links). Angezeigt werden der volle Name mit Patienten-ID, das Geburtsdatum, das aktuell behandelte Auge sowie Treatment- und Session-ID der aktuellen Behandlung. Diese Daten dienen in der aktuellen Implementation noch als Platzhalter, da zum Zeitpunkt der Entwicklung der vollständige Ablauf zum Erfassen, Laden und Speichern von Patientendaten noch nicht existierte. Die Darstellung ist jedoch bereits als eigene QML-Komponente umgesetzt, sodass später eine reale Datenquelle angebunden werden kann.

Weiter kann der Benutzer bzw. die Benutzerin das aktuelle OCT-Bild ansehen, welches ein Tiefenbild der Netzhaut abbildet. Es kann zwischen B-Scan (Querschnitt durch das Auge) und M-Scan (Zeitverlauf an einer Stelle) gewechselt werden (siehe [Abbildung 39](#) oben rechts). Ist der B-Scan aktiv, wird in der Mitte des SLO-Bildes ein grüner Pfeil angezeigt (zu sehen in [Abbildung 39](#) mittig). Dieser Pfeil zeigt an, an welcher Position der Querschnitt des B-Scans im SLO-Bild aufgenommen wird. In der Treatment View stehen diese beiden Scan-Modi im Vordergrund. Beim Wechsel in den Schritt *Plan* wird automatisch der B-Scan aktiviert, beim Wechsel in den Schritt *Treat* der M-Scan. Durch einen farblich markierten Rahmen und ein dazugehöriges Label kann die Qualität des OCT-Bildes leichter eingeschätzt werden. Die Anzeige kann aktuell *Quality: Good*, *Uncertain* oder *Poor* darstellen. Eine echte numerische Qualitätsbewertung durch Laser, Mikrocontroller oder HEYEX ist noch nicht vollständig implementiert.

Mittig am oberen Rand befindet sich die Statusanzeige des Lasers (siehe [Abbildung 39](#)). Sie zeigt den aktuellen Zustand des Lasers an und kann zwischen *LASER STANDBY*, *LASER READY*, *LASER FIRING* und *NOT CONNECTED* wechseln (siehe [Abbildung 42](#)). Dabei wird jeweils das passende normgerechte Symbol angezeigt, damit der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin den aktuellen Laserstatus jederzeit nachvollziehen kann. Während *LASER FIRING* sind sämtliche Interaktionselemente deaktiviert.



Abbildung 42: Varianten der Laserstatus-Anzeige

In der Mitte des GUIs (siehe [Abbildung 39](#)) befindet sich das SLO-Bild, welches die zu behandelnde Netzhaut des Patienten oder der Patientin abbildet. Hier betrachtet der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin die Netzhaut in Echtzeit. Im weiteren Verlauf der Behandlung werden auf dieser Ansicht die Laserspots geplant, positioniert und abgearbeitet. Die Livebilder der OCT- und SLO-Komponenten werden über die bestehende SRT-/OCT-Backend-Anbindung verarbeitet und anschliessend im GUI dargestellt.

In der unteren rechten Ecke des SLO-Bildes kann das Fixation Target angepasst werden (siehe [Abbildung 39](#)). Dadurch wird der Fokuspunkt verändert, auf den sich der Patient oder die Patientin während der Behandlung konzentriert. Über ein 3x3-Grid können neun Positionen ausgewählt werden, um den Fixationspunkt zu verschieben. Dies bewirkt, dass der Patient oder die Patientin beispielsweise nach oben oder rechts unten blickt, wodurch sich die Netzhaut im SLO-Bild verschiebt und andere Bereiche untersucht oder behandelt werden können. In der Standalone-Implementation wird der gewählte Index bereits an die lokale SRT-Kontrolllogik weitergegeben. Für die vollständige Integration mit dem realen Device bzw. der HEYEX-Schnittstelle ist jedoch noch eine weitere Anbindung notwendig.

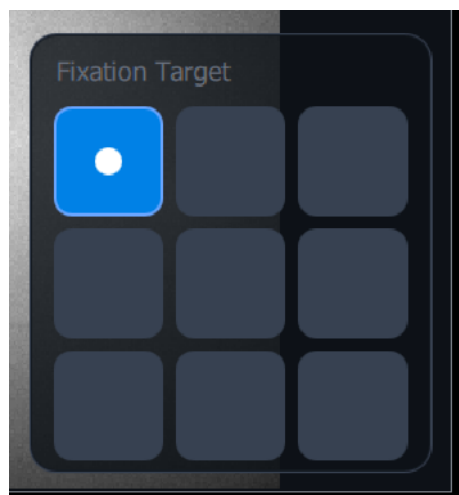


Abbildung 43: Ausgeklapptes Fixation-Target-Raster

In der oberen linken Ecke des SLO-Bildes befindet sich ein BG-Button. Damit kann zwischen der Originalansicht des Laserstreams (siehe [Abbildung 44 links](#)) und einer zweiten Ansicht mit Background Removal (siehe [Abbildung 44 rechts](#)) gewechselt werden. In dieser Ansicht sind Strukturen wie Blutgefäße besser sichtbar. Die Bildverarbeitung wird vom Mikrocontroller berechnet und an das GUI übertragen.

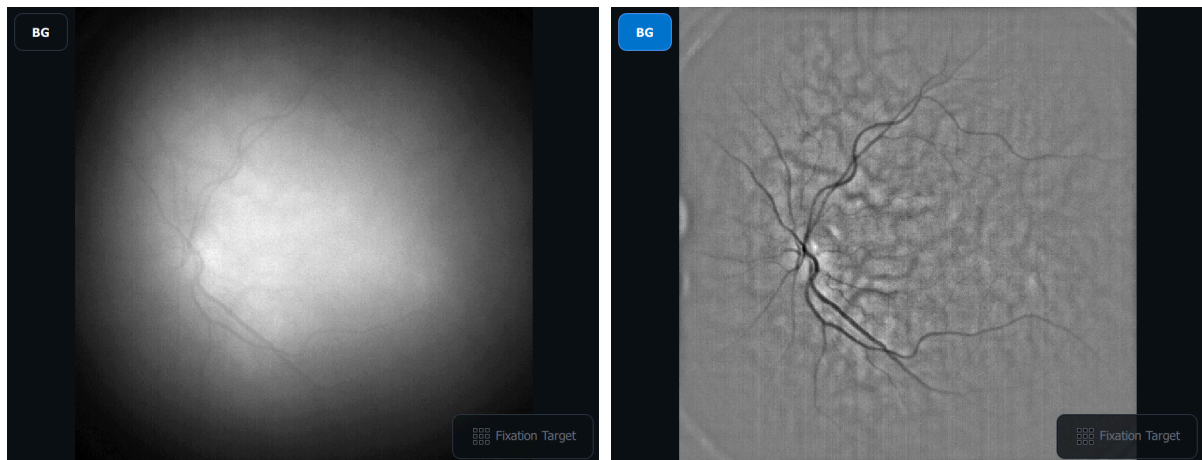


Abbildung 44: Background Removal inaktiv und aktiv

Die neue Oberfläche kombiniert klassische Qt-Widgets mit mehreren QML-Komponenten. Die zentrale Synchronisation zwischen C++ und QML erfolgt über Properties und Signale. Beispielsweise werden Workflow-Schritt, Laserstatus, Parameterwerte, Read-only-Zustände, Patientendaten und Preset-Zustände aus C++ an die QML-Komponenten übergeben. Dadurch bleibt die eigentliche Behandlungslogik im C++-Code, während die neu gestalteten Bedienelemente als moderne, touch-orientierte QML-Komponenten umgesetzt werden.

6.1.1 Schritt 1: Setup

Das GUI startet automatisch im Schritt *Setup*. In diesem Schritt bereitet der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin die Behandlung vor, prüft Patientendaten, Bildgebung und Laserstatus und wählt den passenden Treatment Mode. Im Bereich *Treatment Mode* kann zwischen drei Modi gewechselt werden. Je nach Modus zeigt das GUI unterschiedliche Parameter im Bereich *Treatment Parameters* an (siehe [Abbildung 45](#)).

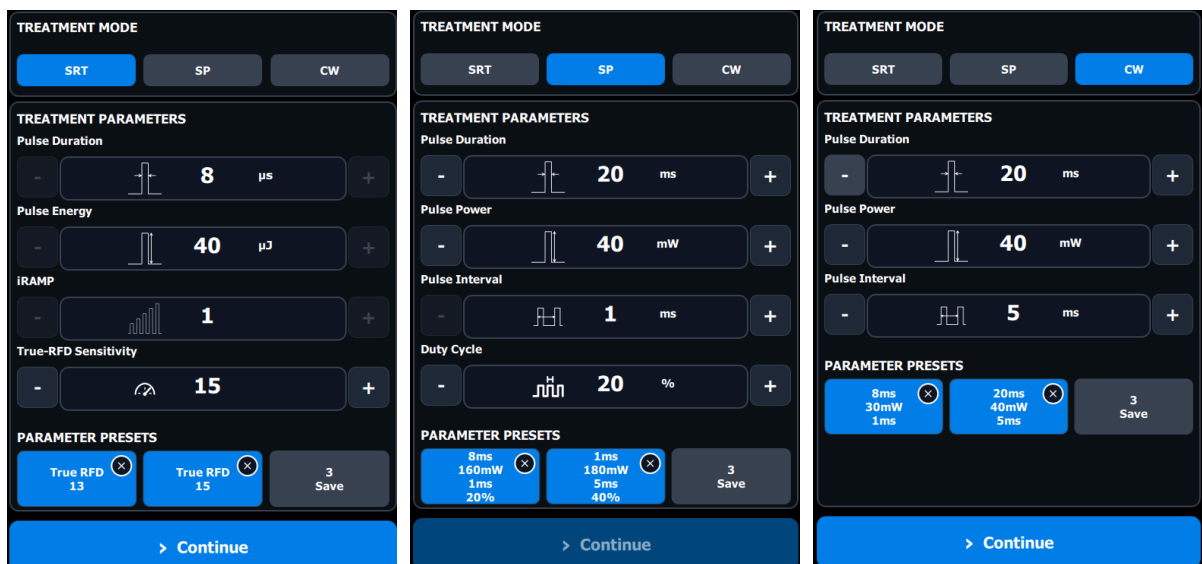


Abbildung 45: Treatment Modes und ihre Parameter

In der folgenden Tabelle werden die einzelnen Modi und ihre Parameter genauer erläutert:

Mode	Beschreibung	Parameter / Einschränkungen
SRT (Selective Retina Therapy)	SRT ist der Hauptmodus des Lasers und bildet den Kern der geplanten selektiven Retina-Therapie. Mit dieser Therapie sollen unter anderem Krankheiten wie AMD behandelt werden können.	<i>Pulse Duration</i> , <i>Pulse Energy</i> und <i>iRAMP</i> werden vom Laser und Mikrocontroller bestimmt und an das GUI gesendet. Diese Werte sind im GUI <i>Read-only</i> . Anpassbar ist nur die Sensitivität des <i>True-RFD</i> .
SP (Short Pulse)	SP ist aktuell als visueller Konzeptmodus umgesetzt, da der Laser diese Funktionalität noch nicht vollständig besitzt. Später soll hier mit einzelnen gezielten Laserimpulsen behandelt werden können.	Der Modus kann ausgewählt werden und die Parameter <i>Pulse Duration</i> , <i>Pulse Power</i> , <i>Pulse Interval</i> und <i>Duty Cycle</i> werden angezeigt. Ein Wechsel in den Behandlungsablauf bzw. das Scharfschalten des Lasers wird in diesem Modus aktuell verhindert.
CW (Continuous Wave)	In diesem Modus kann ein längerer Laserimpuls vorbereitet werden.	Einstellbar sind <i>Pulse Duration</i> , <i>Pulse Power</i> und <i>Pulse Interval</i> .

Tabelle 57: Treatment Modes

Im Bereich *Parameter Presets* können pro Modus jeweils drei Konfigurationen gespeichert werden, damit Parameterwerte für eine spätere Behandlung wieder abgerufen werden können. Während der Laser scharf geschaltet ist oder feuert, können Parameter-Presets weder gespeichert noch geladen werden. Diese Presets werden persistent in der Datei `parameter_presets.json` im folgenden Format gespeichert:

```
{
  "version": 1,
  "srt": [
    {
      "pulseDuration": 10,
      "pulsePower": 800,
      "pulseInterval": 7,
      "dutyValue": 8
    },
    {},
    {}
  ],
  "sp": [
    {
      "pulseDuration": 20,
      "pulsePower": 500,
      "pulseInterval": 50,
      "dutyValue": 25
    },
    {},
    {}
  ],
  "cw": [
    {
      "pulseDuration": 100,
      "pulsePower": 300,
      "pulseInterval": 100
    },
    {},
    {}
  ]
}
```

Jeder Modus hat genau drei Slots, wobei ein leerer Slot als `{}` gespeichert wird.

Sind alle Einstellungen abgeschlossen, kann der Benutzer bzw. die Benutzerin über *Continue* in den Schritt *Plan* wechseln. Dieser Wechsel wird durch die Workflow-Logik nur erlaubt, wenn sich die Anwendung in einem sicheren Zustand befindet, also der Laser weder scharf geschaltet ist noch feuert und keine offene Behandlungsausführung aktiv ist.

Nachfolgend sind die abgedeckten Use Cases mit ihren Abweichungen aufgelistet:

Use Case	Umsetzung / Abweichung
<u>UC-02</u> : OCT-Scan durchführen	B-Scan und M-Scan sind in der Treatment View verfügbar. Der C-Scan ist in der Imaging View UI-seitig vorhanden. Die numerische Qualitätsbewertung ist noch nicht vollständig integriert.
<u>UC-03</u> : Laserparameter konfigurieren	Die Parameter werden abhängig vom Treatment Mode angezeigt. Im SRT-Modus sind sicherheitsrelevante Werte Read-only, nur True-RFD kann angepasst werden.
<u>UC-04</u> : Workflow-Anzeige	Der Workflow ist als Stepper mit den Schritten Setup, Plan, Treat und Report umgesetzt und an den internen Behandlungszustand gekoppelt.
<u>UC-05</u> : Patientendaten anzeigen	Patientendaten werden angezeigt, sind aktuell jedoch Platzhalter. Eine echte Patientenakte wird noch nicht geladen.
<u>UC-11</u> : Treatment Mode wechseln	SRT, SP und CW können ausgewählt werden. SP ist aktuell nur als Konzeptmodus umgesetzt und blockiert den Wechsel in den Behandlungsablauf.

Tabelle 58: Abgedeckte Use Cases: Setup

6.1.2 Schritt 2: Plan

Im Schritt *Plan* werden die Laserpunkte auf dem SLO-Bild geplant, die später behandelt werden sollen. Die Planung erfolgt über verschiedene *Treatment Patterns*. Die aktuelle Implementation unterstützt Freehand, Fill, Grid, Triangle, Circle, Line, Dot und Arc (siehe [Abbildung 46](#)).

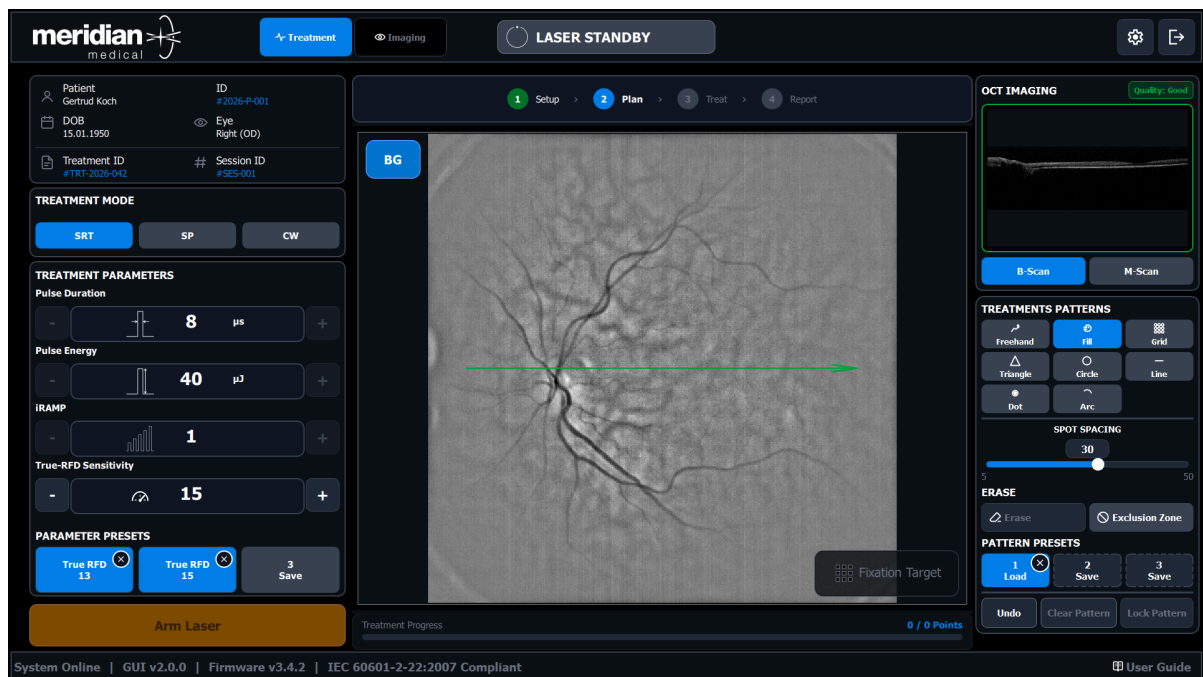


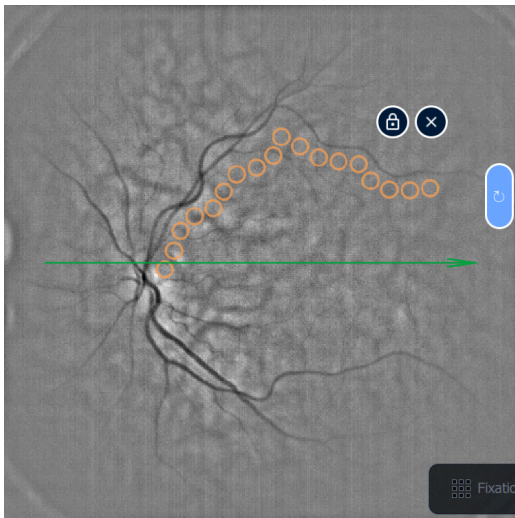
Abbildung 46: Treatment View: Plan

In den folgenden Tabellen werden die einzelnen Patterns durch Screenshots in verschiedenen Varianten und Formen visualisiert:

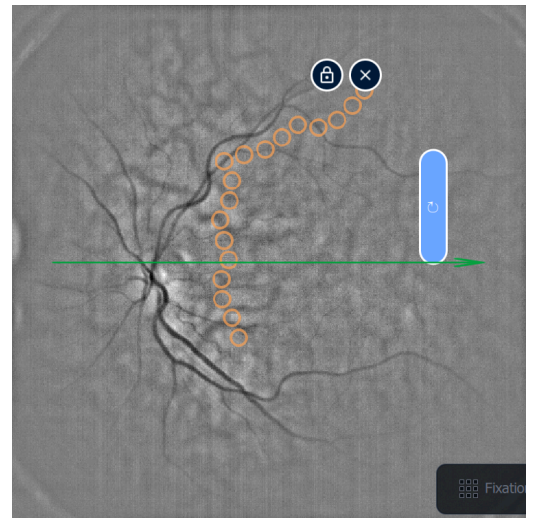
Freehand

Zeichnet Punkte frei entlang dem Finger nach, um Behandlungsbereiche flexibel zu planen.

Default



Rotiert



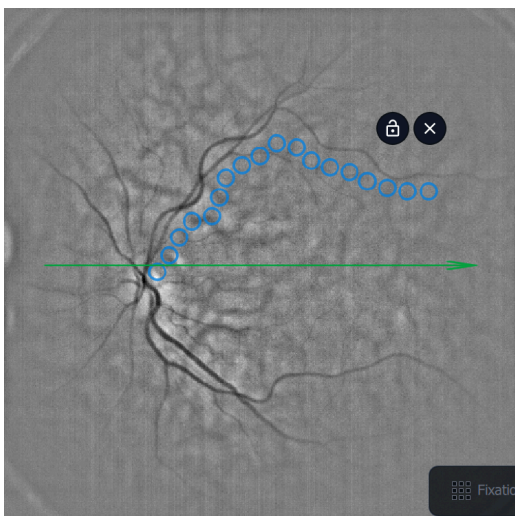
Achsen

Keine Achsenänderungen möglich bei Freehand

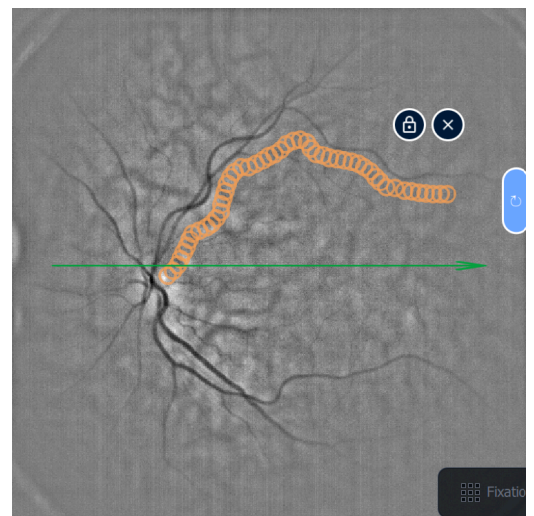
Punkte gelöscht



Gelockt



Spot spacing



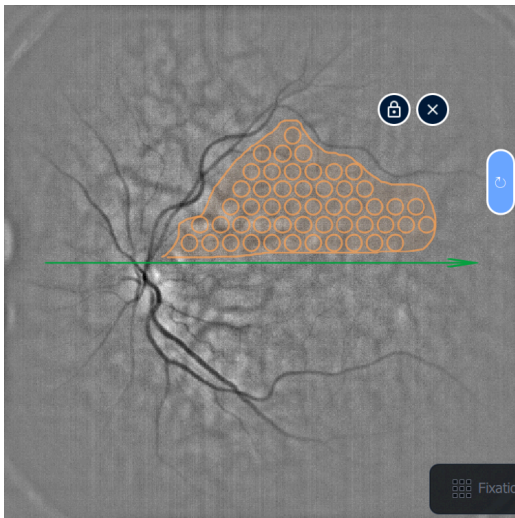
Spot Spacing 10, kleinerer Abstand

Tabelle 59: Freehand Beispiele

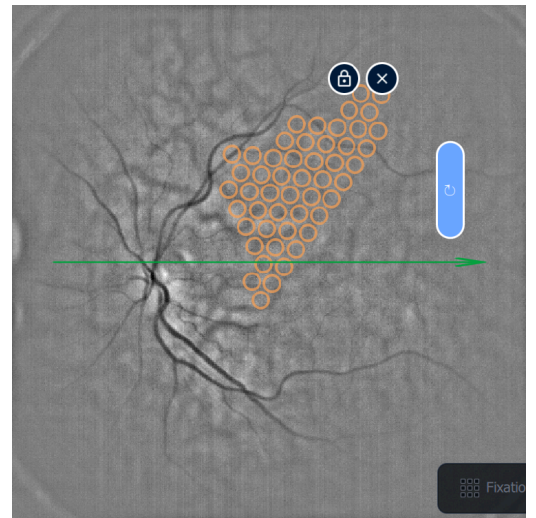
Fill

Füllt eine gezeichnete Form mit regelmässig angeordneten Laserpunkten aus.

Default



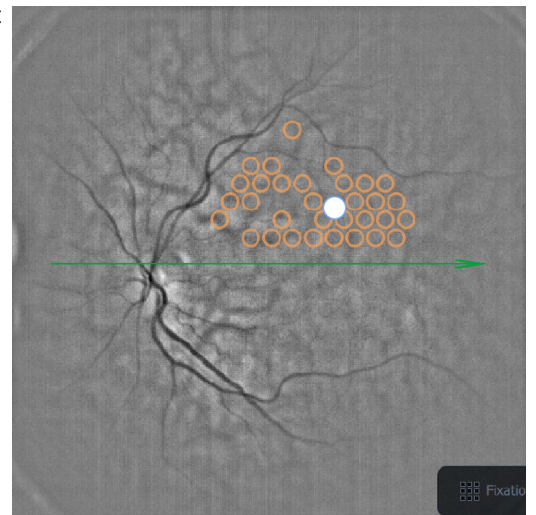
Rotiert



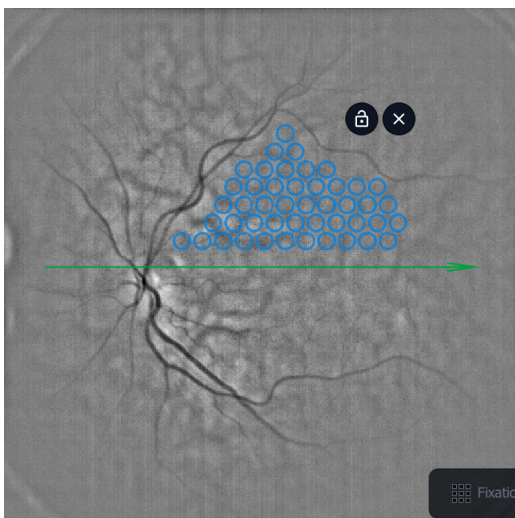
Achsen

Keine Achsenänderungen möglich bei Fill

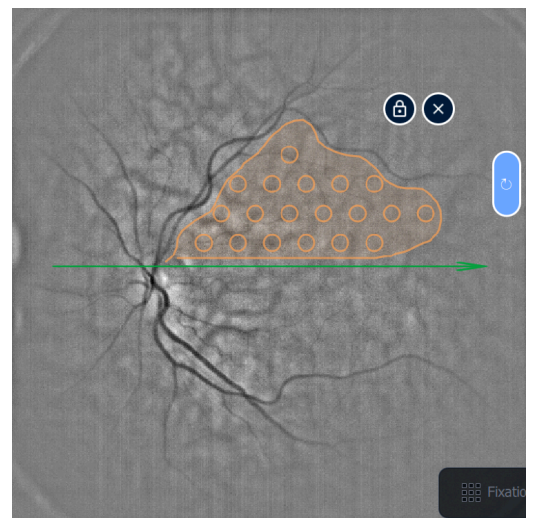
Punkte gelöscht



Gelockt



Spot spacing

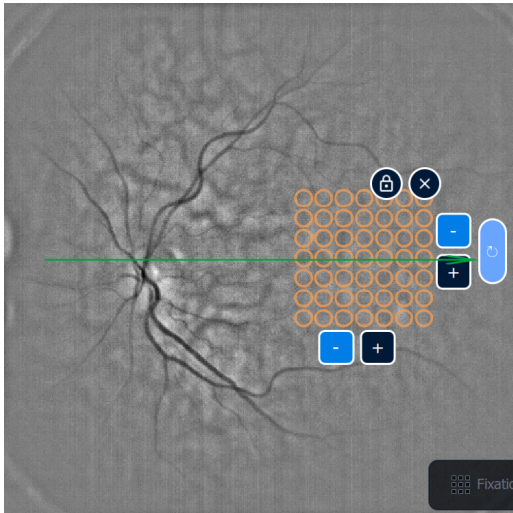


Spot Spacing 40, grösserer Abstand

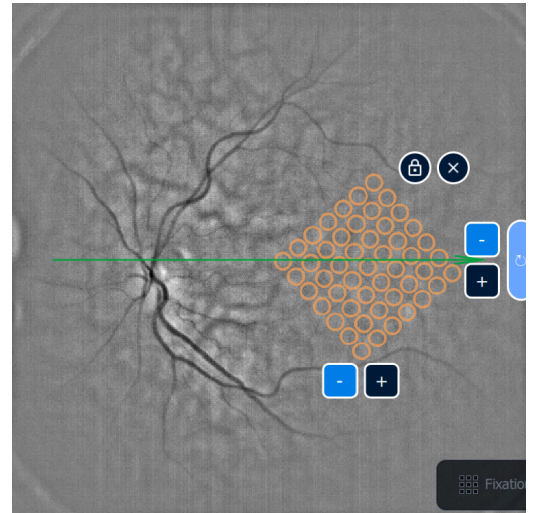
Tabelle 60: Fill Beispiele

Grid

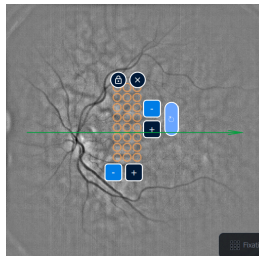
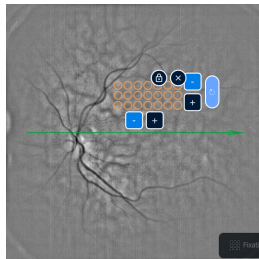
Default



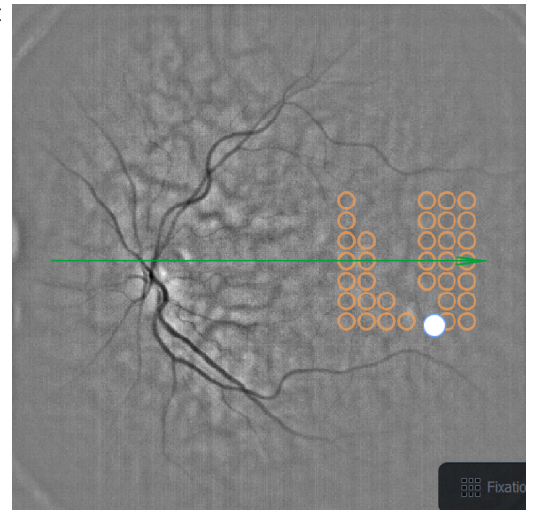
Rotiert



Achsen

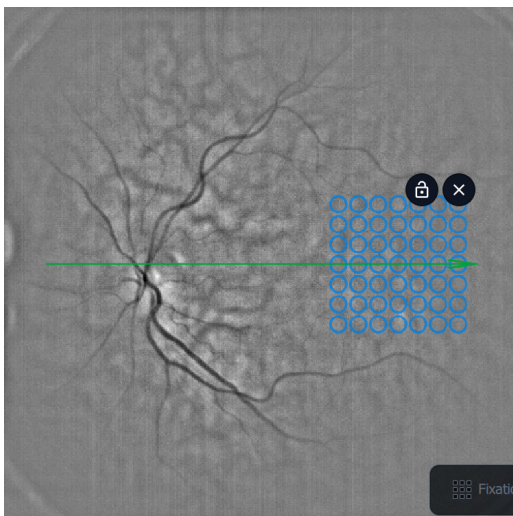


Punkte gelöscht

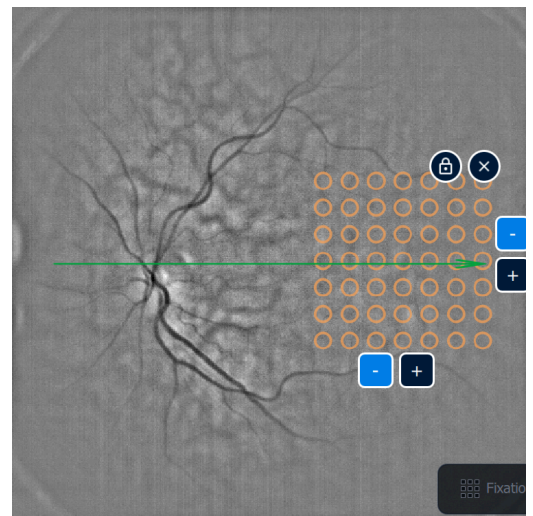


Höhe und Breite veränderbar

Gelockt



Spot spacing

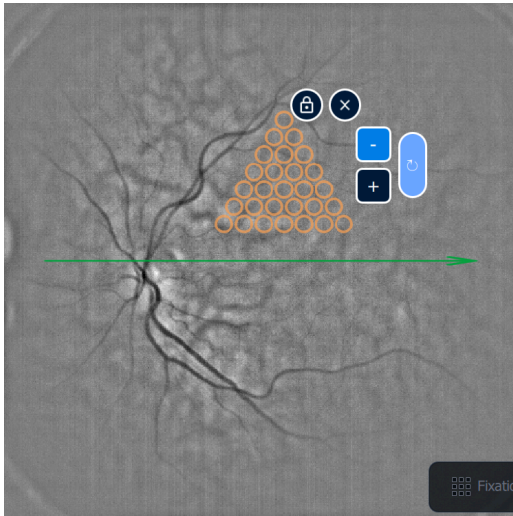


Spot Spacing 40, grösserer Abstand

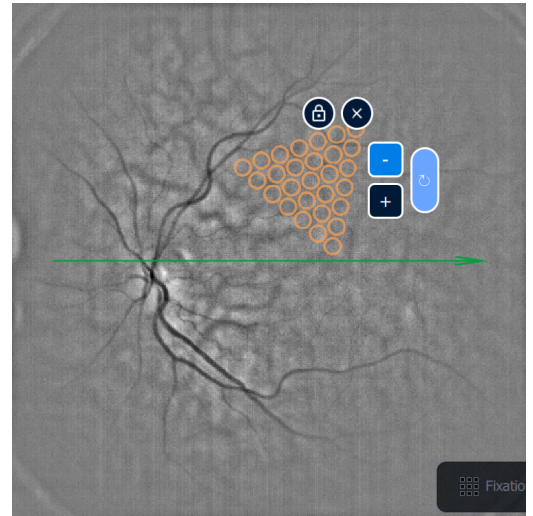
Tabelle 61: Grid Beispiele

Triangle

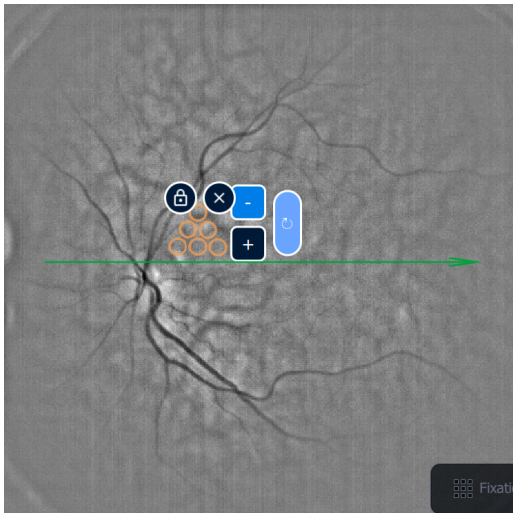
Default



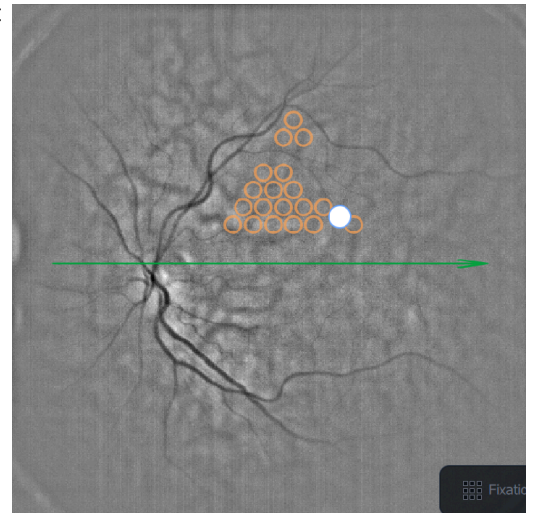
Rotiert



Achsen

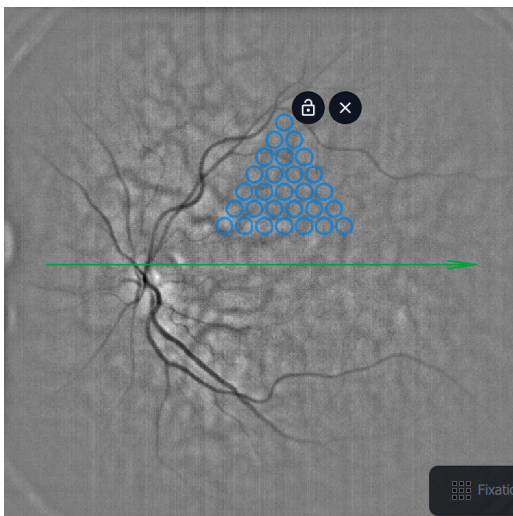


Punkte gelöscht

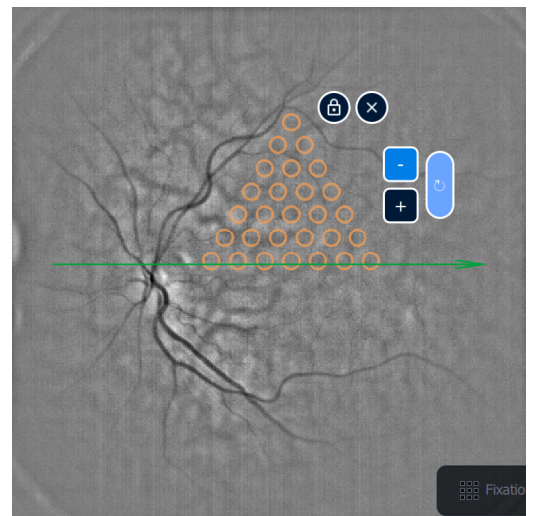


Nur Höhe veränderbar

Gelockt



Spot spacing

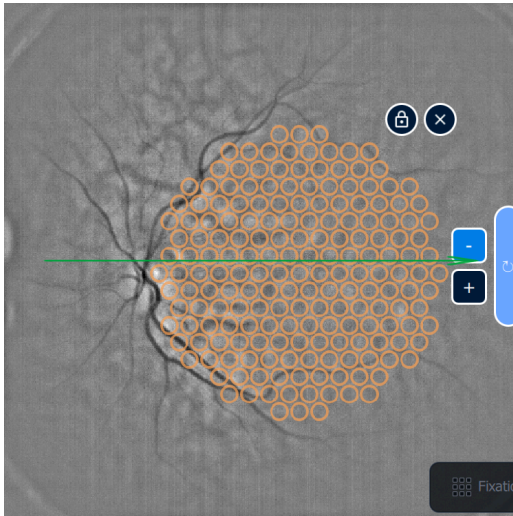


Spot Spacing 40, grösserer Abstand

Tabelle 62: Triangle Beispiele

Circle

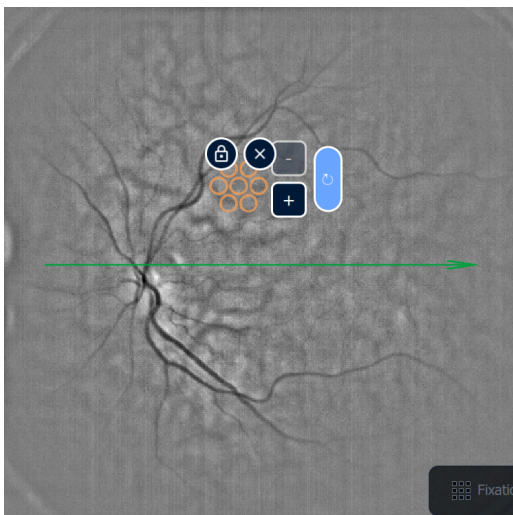
Default



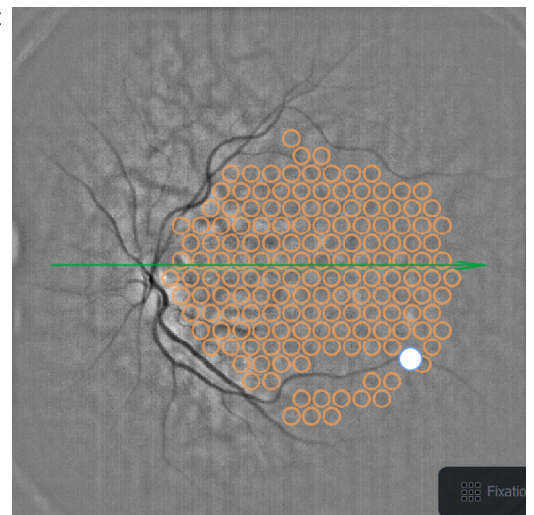
Rotiert

Keine Rotation bei Circle

Achsen

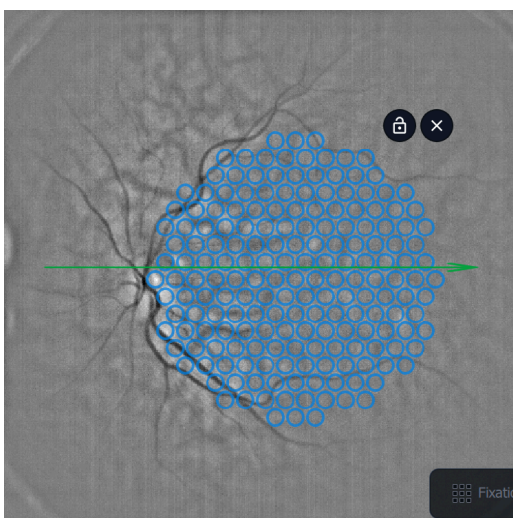


Punkte gelöscht

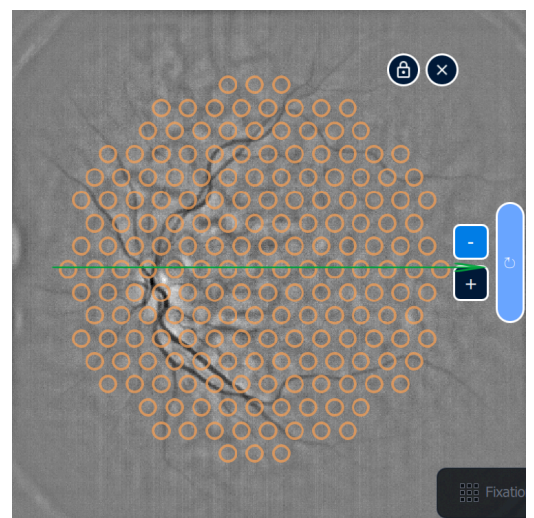


Radius wird vergrößert oder verkleinert

Gelockt



Spot spacing

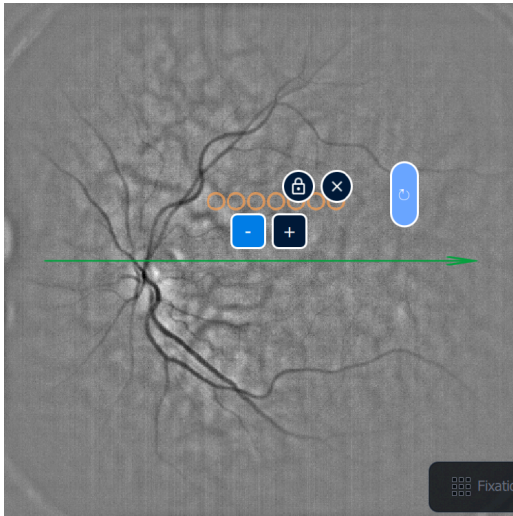


Spot Spacing 40, grösserer Abstand

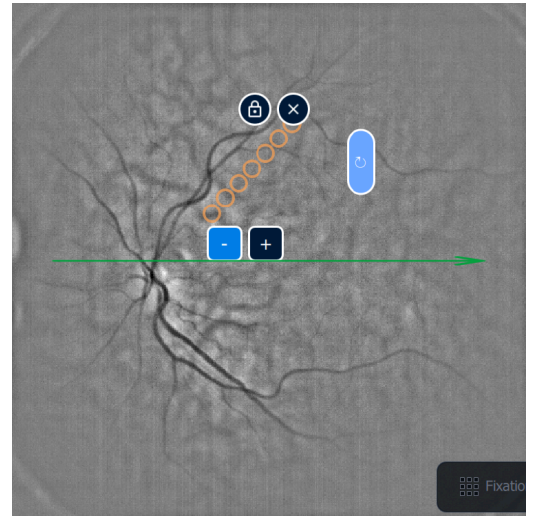
Tabelle 63: Circle Beispiele

Line

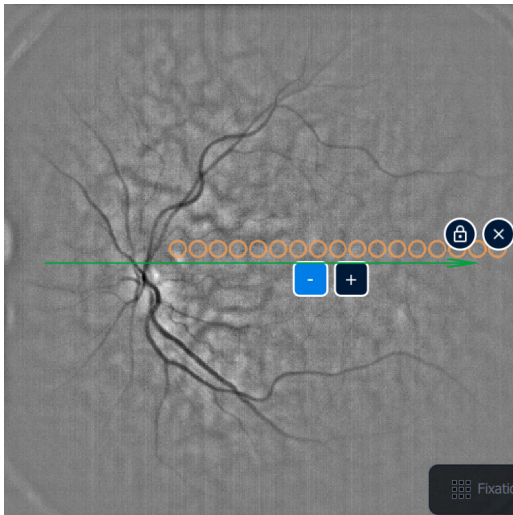
Default



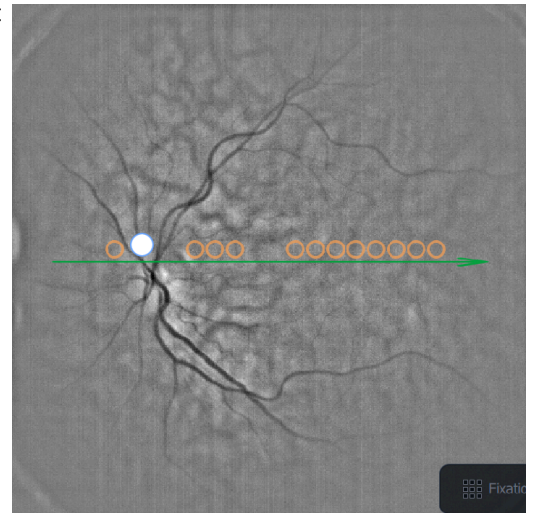
Rotiert



Achsen

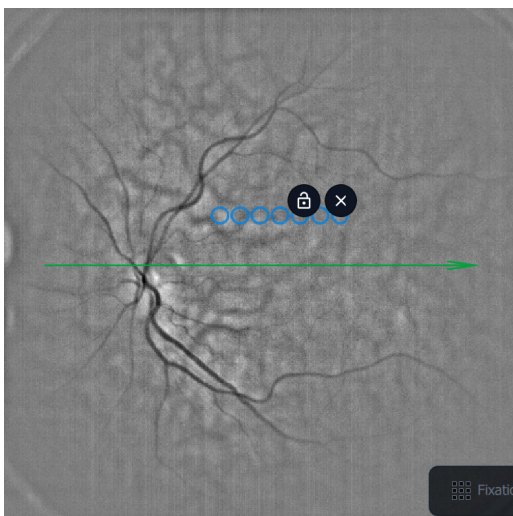


Punkte gelöscht

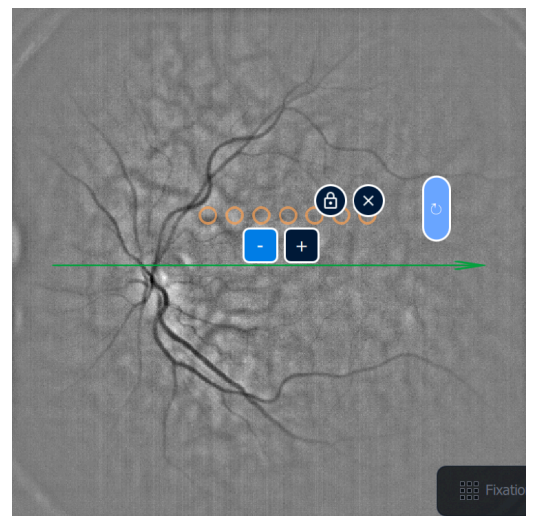


Nur Länge veränderbar

Gelockt



Spot spacing



Spot Spacing 40, grösserer Abstand

Tabelle 64: Line Beispiele

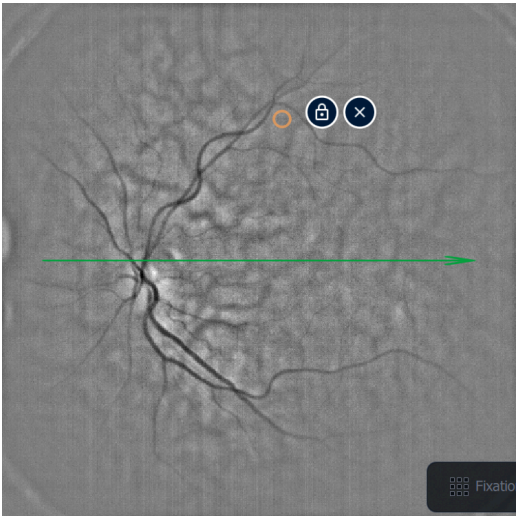
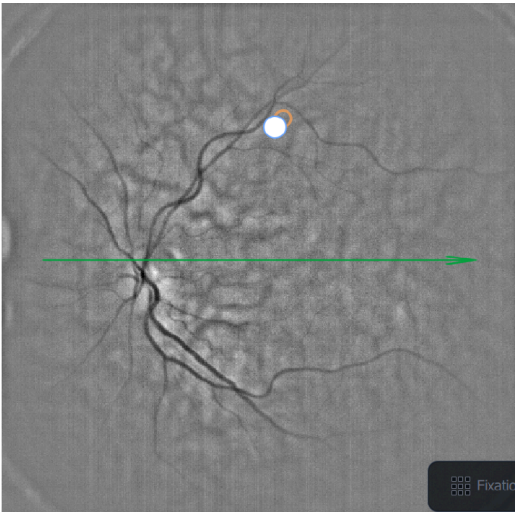
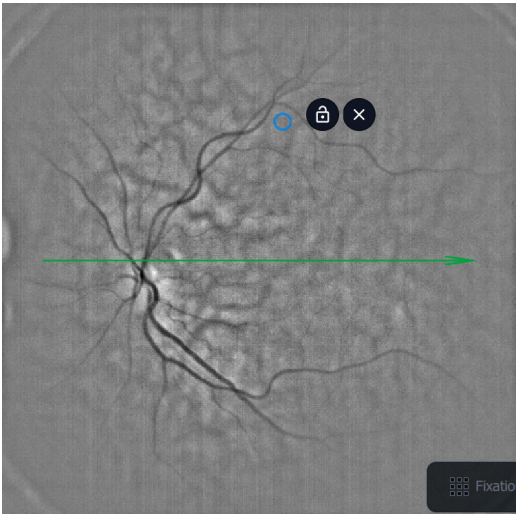
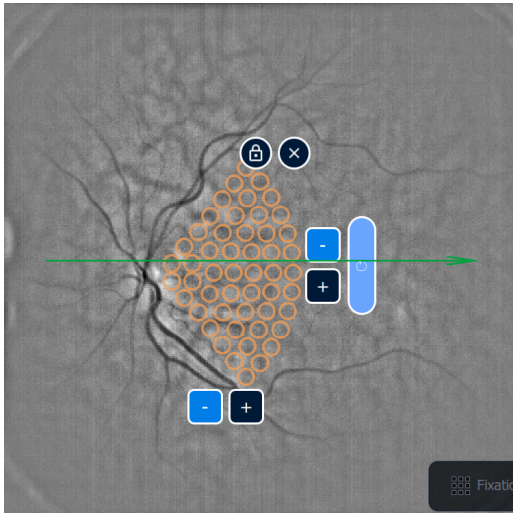
Dot		
Default		Rotiert
		Keine Rotation bei Dot
Achsen	Keine Achsenänderungen möglich bei Dot	Punkte gelöscht
		
Gelockt		Spot spacing
		Kein Spot Spacing bei Dot

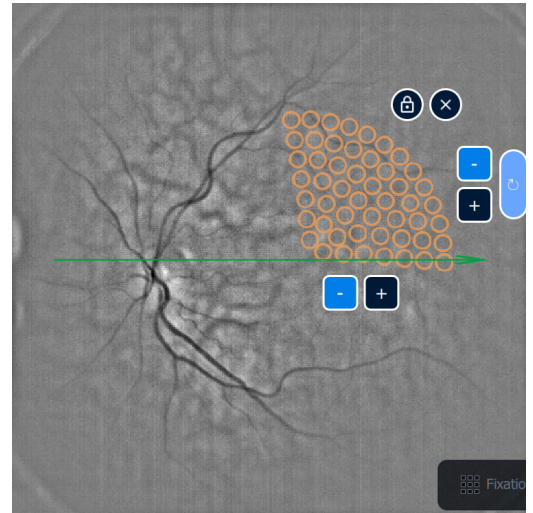
Tabelle 65: Dot Beispiele

Arc

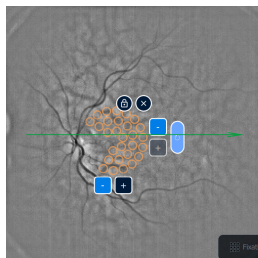
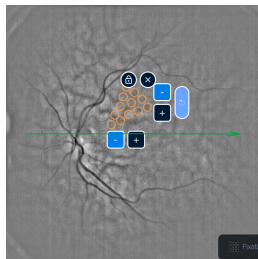
Default



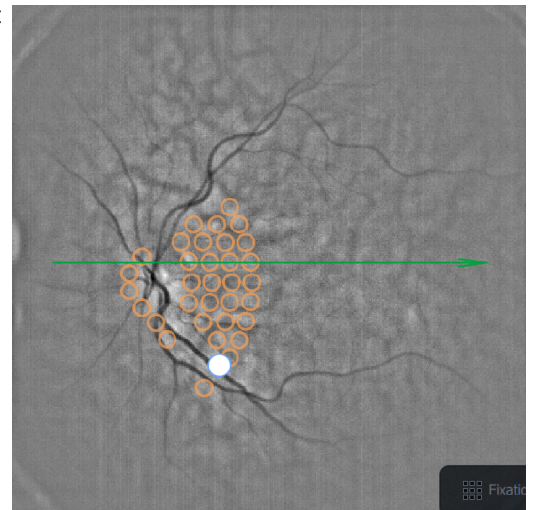
Rotiert



Achsen

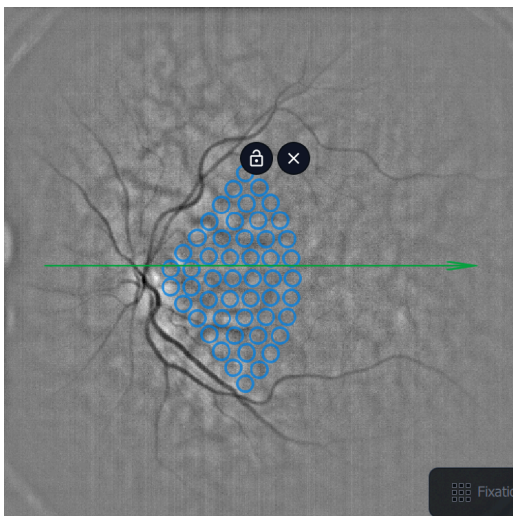


Punkte gelöscht

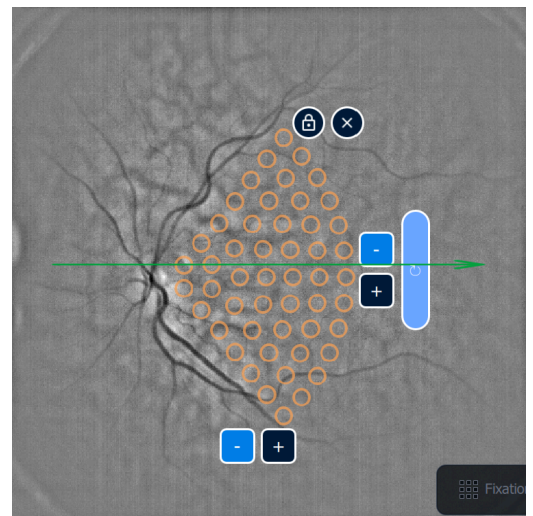


Reihen und Winkel veränderbar

Gelockt



Spot spacing

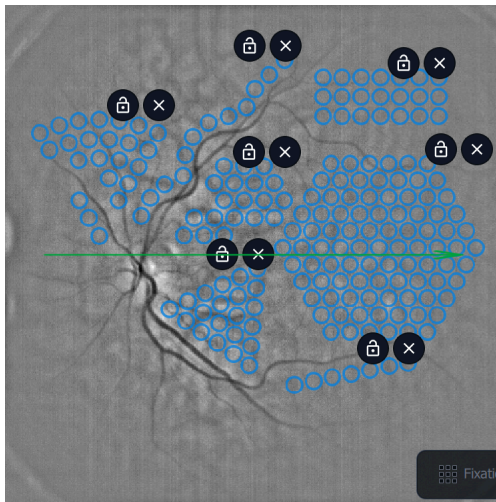


Spot Spacing 40, grösserer Abstand

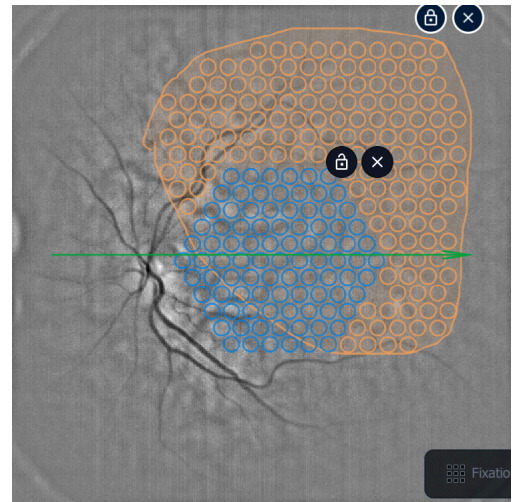
Tabelle 66: Arc Beispiele

Weitere Beispiele

Alle Patterns



Fill Spezialfall



Nur leerer Platz wird befüllt

Tabelle 67: Weitere Beispiele

Während der Planung unterscheidet das GUI zwischen *Floating Points* und gelockten Behandlungspunkten. Floating Points (Orange) sind Vorschau-Punkte eines noch nicht fixierten Patterns (Blau). Sie können verschoben, rotiert, bearbeitet oder gelöscht werden. Erst durch Klick auf den *Lock Pattern* Button oder das Schloss Icon über den Patterns, werden sie in fixe Behandlungspunkte überführt.

Je nach Pattern können Form, Rotation, Position, Anzahl Zeilen und Spalten sowie der minimale Abstand zwischen Punkten angepasst werden. Der Punktabstand wird über *Spot Spacing* gesteuert und verhindert, dass neue Punkte zu nahe an bestehenden Punkten platziert werden. Der Bereich liegt in der aktuellen Oberfläche zwischen 5 und 50 Einheiten und kann einfach über einen Slider angepasst werden. Wobei der Default bei 30 liegt. Dies ist besonders bei Freehand und Fill relevant: Wird nochmals über eine bereits geplante Fläche gefahren, werden nur dort neue Punkte erzeugt, wo der minimale Abstand zu bestehenden Punkten eingehalten wird. Das *Spot Spacing* kann immer bei Floating Patterns angepasst werden, welche noch in ihrer originalen Form sind, das heisst z.B., dass noch keine Punkte gelöscht wurden. Bei Fill kann nach dem Zeichnen der Form, das *Spot Spacing* ebenfalls noch angepasst werden, die Punkte richten sich dann entsprechend neu aus in der Form. Bei Freehand hat das Spot Spacing keinen Einfluss auf bereits gezeichnete Punkte, sondern bestimmt nur den Mindestabstand bei neu gezeichneten Punkten.

Einzelne Pattern-Punkte können über den Erase Mode entfernt werden. Der Erase Mode arbeitet auf den noch nicht gelockten Floating Points und erlaubt es, mit dem Finger über Punkte zu fahren, die aus der Planung entfernt werden sollen.

Die technische Verarbeitung dieser Planungsinteraktionen ist im [Anhang I](#) in [Abbildung 79](#) dargestellt. Die Touch-Eingaben werden in `PatternTouchOverlay.qml` erfasst und über das eingebettete `QQuickWidget` an das C++-Widget weitergegeben. Dort wird zuerst geprüft, ob sich die Anwendung im Plan-Schritt befindet und ob der Laser weder aktiv noch bewaffnet ist. Nur wenn die Eingabe erlaubt ist, wird eine Undo-Aktion gestartet und der aktuelle `PlanningSnapshot` gesichert. Anschliessend aktualisiert `Srt_fundusVisualizer` die Preview-Geometrie, rechnet Viewport-Koordinaten in Scene-Koordinaten um, baut das Floating Pattern neu auf und rendert die Fundus-Ansicht erneut. Beim Locken eines Patterns werden die Vorschau-Punkte in fixe Behandlungspunkte überführt und die Undo-Aktion abgeschlossen. Wird Undo ausgelöst, stellt der Visualizer den gespeicherten Snapshot wieder her und synchronisiert anschliessend Overlay und Pattern-Controls.

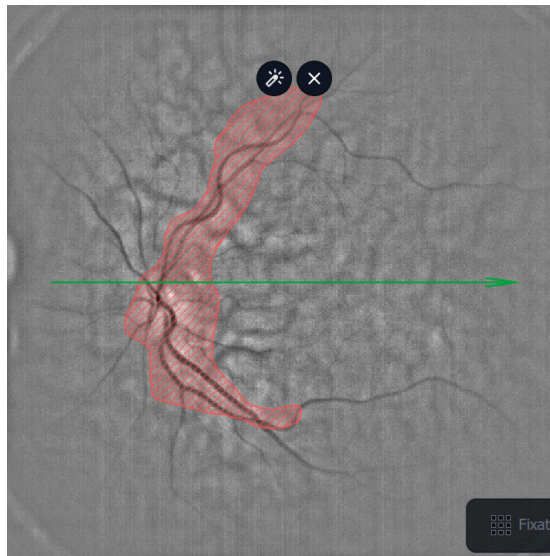
Eine wichtige Erweiterung gegenüber dem ursprünglichen [Studien-GUI](#) sind die *Exclusion Zones*. Damit können bestimmte Bereiche im SLO-Bild als Sperrflächen markiert werden, in denen keine Behandlungspunkte platziert werden dürfen. Dies ist insbesondere für empfindliche anatomische Strukturen wie Makula oder Blutgefässe relevant. In der Implementation werden Exclusion Zones als Polygonflächen gespeichert. Neue Floating Points werden gegen diese Flächen geprüft und betroffene Punkte automatisch entfernt. Auch bereits fixierte Punkte, die in eine neue Exclusion Zone fallen, werden erkannt und aus der Behandlungsplanung entfernt.

Exclusion Zones können zusätzlich geglättet, verschoben oder wieder gelöscht werden. Die automatische Erkennung von Blutgefässen ist hingegen noch nicht implementiert. Die aktuell umgesetzte Risk-Control-Massnahme besteht deshalb in manuell definierbaren Sperrflächen.

Nachfolgend gibt es Beispiele mit Screenshots wie diese Exclusion Zones eingesetzt werden können.

Exclusion Zones

Normalfall



Geglättet

vorher

nachher

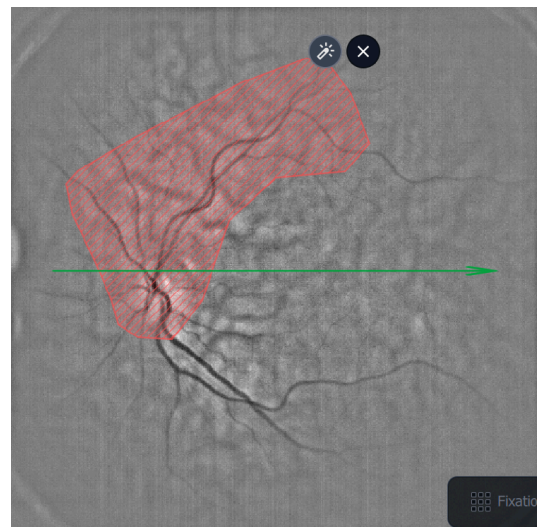


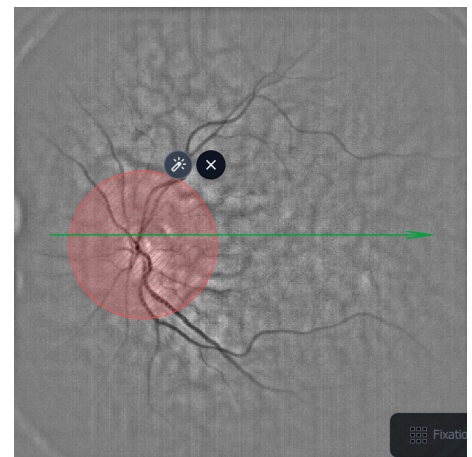
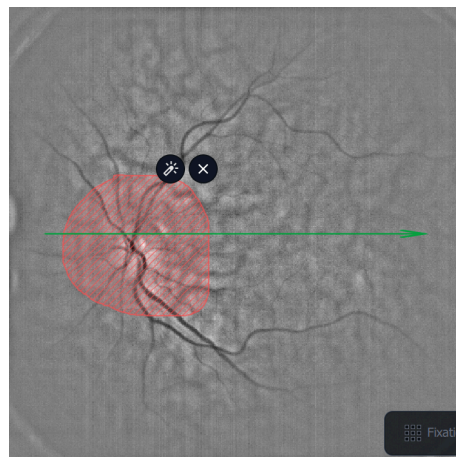
Tabelle 68: Exclusion Zones Beispiele

Exclusion Zones

Geglättet Kreis

vorher

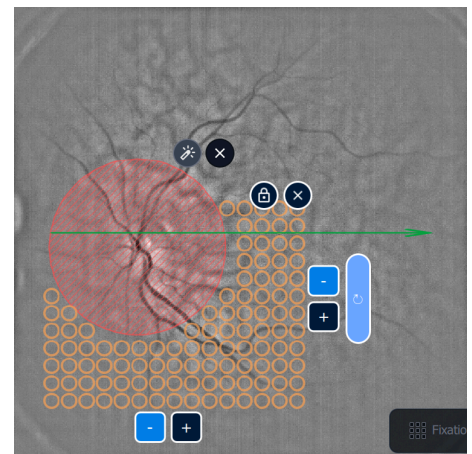
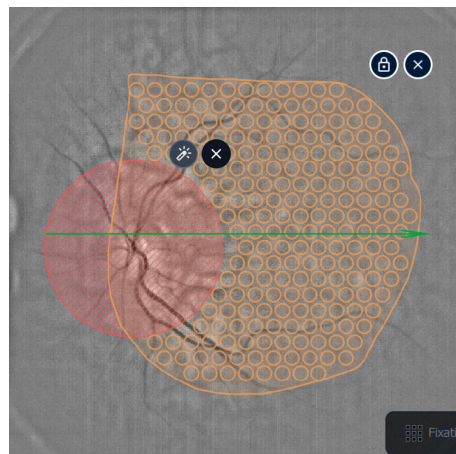
nachher



Eingeschobene Patterns

Fill

Grid



Geteiltes Line Pattern

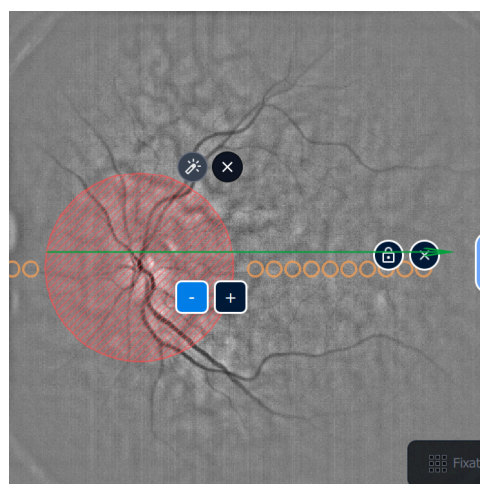


Tabelle 69: Exclusion Zones Beispiele 2

Für komplexere Bearbeitungsschritte gibt es zusätzlich eine Undo-Funktion (siehe [Abbildung 46](#) unten rechts). Dafür speichert das GUI Planning-Snapshots, die unter anderem Floating Points, gelockte Pattern-Gruppen, Exclusion Zones und weitere Planungszustände enthalten. So können Aktionen wie Platzieren, Löschen, Locken, Unlocken, Freehand-Zeichnen, Exclusion-Zone-Erstellung oder Glätten rückgängig gemacht werden.

Auch im Plan-Schritt können Presets gespeichert werden. Dies geschieht im Bereich *Pattern Presets* (siehe [Abbildung 46](#) unten rechts). Beim Speichern eines Pattern-Presets wird jeweils der gesamte aktuelle Planungsstand auf dem SLO-Bild gespeichert. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Punkte bereits gelockt sind oder noch als Floating Points vorliegen. Das Preset speichert die Punktpositionen relativ zueinander, damit es später an einer neuen Stelle auf dem SLO-Bild wieder eingefügt werden kann. Wird ein gespeichertes Preset erneut geladen, erscheint es als verschiebbare und rotierbare Vorschau auf dem SLO-Bild. Auch diese werden persistent in der Datei `pattern_presets.json` im folgenden Format gespeichert:

```
{
  "version": 1,
  "slots": [
    {
      "points": [
        [-30.0, -20.0],
        [0.0, -20.0],
        [30.0, -20.0],
        [-30.0, 0.0],
        [0.0, 0.0],
        [30.0, 0.0],
        [-30.0, 20.0],
        [0.0, 20.0],
        [30.0, 20.0]
      ]
    },
    {},
    {}
  ]
}
```

Die drei Einträge in `slots` entsprechen den drei Pattern-Preset-Buttons. Ein leerer Slot wird gespeichert als `{}`.

Damit der Laser scharf gestellt werden kann, muss mindestens ein gelocktes Pattern bzw. eine gelockte Punktgruppe vorhanden sein. Zusätzlich dürfen keine offenen Floating Points existieren, der Laser darf nicht feuern und die geprüften Laser-/OCT-Voraussetzungen müssen erfüllt sein.

Nachfolgend sind die abgedeckten Use Cases mit ihren Abweichungen aufgelistet:

Use Case	Umsetzung / Abweichung
<u>UC-02</u> : OCT-Scan durchführen	Der B-Scan wird im Plan-Schritt als Standardansicht verwendet. Die Bilddaten werden über die bestehende OCT-Anbindung dargestellt.
<u>UC-04</u> : Workflow-Anzeige	Der aktive Schritt wird im Workflow-Stepper angezeigt und durch die interne Zustandslogik geführt.
<u>UC-05</u> : Patientendaten anzeigen	Patientendaten bleiben auch während der Planung sichtbar.
<u>UC-06</u> : Pattern konfigurieren	Mehrere vordefinierte Patterns können ausgewählt und abhängig von der Form konfiguriert werden.
<u>UC-07</u> : Pattern platzieren und anpassen	Patterns können auf dem SLO-Bild verschoben, rotiert, angepasst und gelockt werden.
<u>UC-15</u> : Einzelne Pattern-Punkte löschen	Einzelne Punkte können über den Erase Mode entfernt werden.
<u>UC-16</u> : Freihand-Pattern zeichnen	Der ursprüngliche Use Case beschrieb eher ein automatisches Füllen einer gezeichneten Fläche. Während der Implementation wurde diese Funktion deshalb in zwei Pattern aufgeteilt: <i>Freehand</i> und <i>Fill</i>. <i>Freehand</i> wurde neu so umgesetzt, dass Behandlungspunkte frei entlang der Fingerbewegung gezeichnet werden können. <i>Fill</i> übernimmt die Idee des Flächenfüllens und erzeugt automatisch Laserpunkte innerhalb einer gezeichneten Form. Die gezeichnete Form muss dabei nicht manuell geschlossen werden, da Start- und Endpunkt automatisch verbunden werden. Dadurch ist die Bedienung weniger fehleranfällig.
<u>UC-17</u> : Sperrflächen definieren und löschen	Exclusion Zones können gezeichnet, geglättet, verschoben und gelöscht werden.
<u>UC-18</u> : Pattern als Preset speichern und laden	Pattern-Presets sind umgesetzt. Sie speichern den aktuellen Planungsstand auf dem SLO-Bild und fügen ihn beim Laden wieder als verschieb- und rotierbares Pattern ein. Die Struktur des Presets bleibt dabei erhalten. Einzelne Punkte können jedoch gelöscht werden.
<u>UC-19</u> : Pattern-Punkte auf Blutgefäßen automatisch entfernen	Die automatische Blutgefäßererkennung ist nicht umgesetzt. Manuell definierte Exclusion Zones übernehmen aktuell diese Schutzfunktion.

Tabelle 70: Abgedeckte Use Cases: Plan

6.1.3 Schritt 3: Treat

Im Schritt *Treat* wird die eigentliche Behandlung durchgeführt (siehe [Abbildung 47](#)). Der Wechsel in diesen Schritt erfolgt durch das Scharfschalten des Behandlungslasers über den Button unten links (siehe [Abbildung 46](#)).

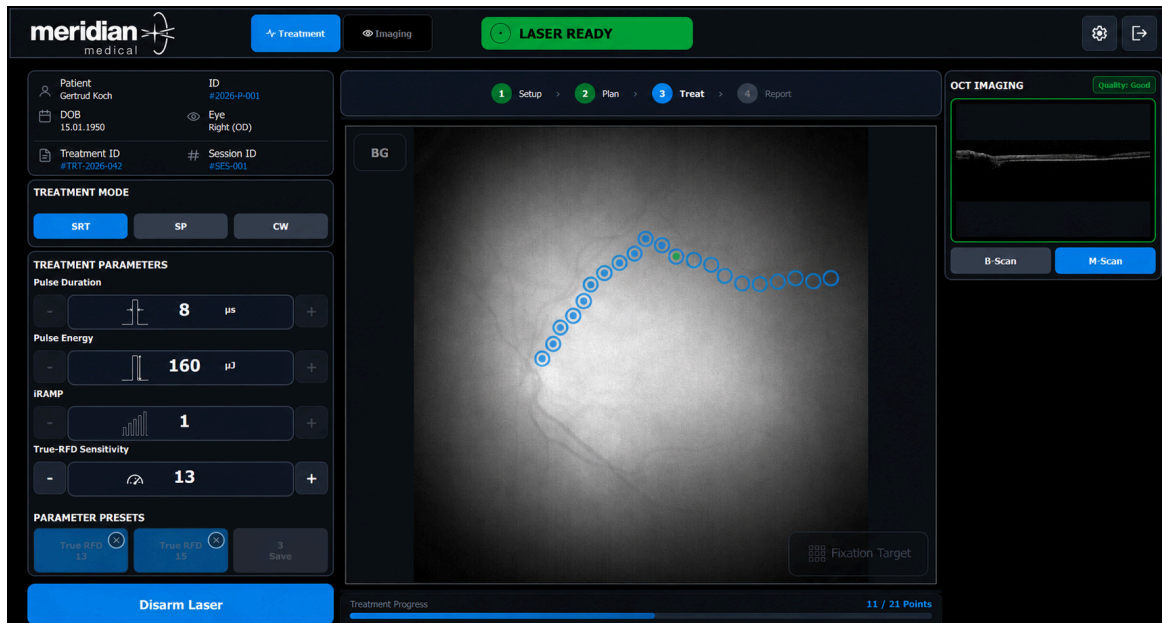


Abbildung 47: Treatment View: Treat

In der aktuellen Standalone-Implementation können Laserimpulse durch Drücken der Leertaste oder per Linksklick auf das Bild simuliert werden. Während den [Integration Tests](#) an der BFH konnte zusätzlich verifiziert werden, dass Laserimpulse bei angeschlossenem realen Laser erkannt und verarbeitet werden. Das schlussendliche abfeuern konnte nicht getestet werden, da der Laser nicht angeschlossen war.

Die geplanten Behandlungspunkte werden dem Laser bzw. der Hardwareintegration als Koordinaten übergeben, damit die Laserpulse an den vorgesehenen Positionen ausgelöst werden können. Am unteren Bildschirmrand zeigt eine Progressbar den Behandlungsfortschritt an. Dabei wird dargestellt, wie viele Laserpunkte bereits behandelt wurden und wie viele Punkte insgesamt geplant sind.

Die technische Sequenz vom Scharfschalten bis zur Abarbeitung der Behandlungspunkte ist im [Anhang I](#) in [Abbildung 80](#) dargestellt. Beim Start der Behandlung prüft TreatmentWorkflowGuard zuerst, ob der aktuelle Zustand ein Scharfschalten des Behandlungslasers erlaubt. Sind die Voraussetzungen erfüllt, wechselt TreatmentController in den Schritt *Treat* und setzt den Laserzustand auf *Ready*. Der jeweils nächste Behandlungspunkt wird über TreatmentExecutionService und SrtTreatmentBackend an die Hardware weitergegeben, damit Spiegelposition und Laserparameter vorbereitet werden können. Wird der Laser ausgelöst, meldet die Hardware über `srt_host_lockGUI_cb(true)` den feuernenden Zustand zurück. Das GUI sperrt daraufhin die sicherheitskritischen Interaktionen und aktualisiert nach `srt_host_lockGUI_cb(false)` den Treatment Record sowie den Fortschritt. Solange weitere Behandlungspunkte vorhanden sind, wird der nächste Punkt vorbereitet. Sind alle Punkte abgeschlossen, deaktiviert das GUI den Behandlungslaser und wechselt automatisch in den Report-Schritt.

Während der Laser aktiv feuert und *LASER FIRING* in der Statusanzeige angezeigt wird, können keine sicherheitskritischen Änderungen am GUI vorgenommen werden. Parameter, Pattern, Navigation und Settings sind in diesem Zustand gesperrt (siehe [Abbildung 48](#)). Dadurch wird verhindert, dass während der Laseremission versehentlich Behandlungsparameter oder Zielpunkte verändert werden.

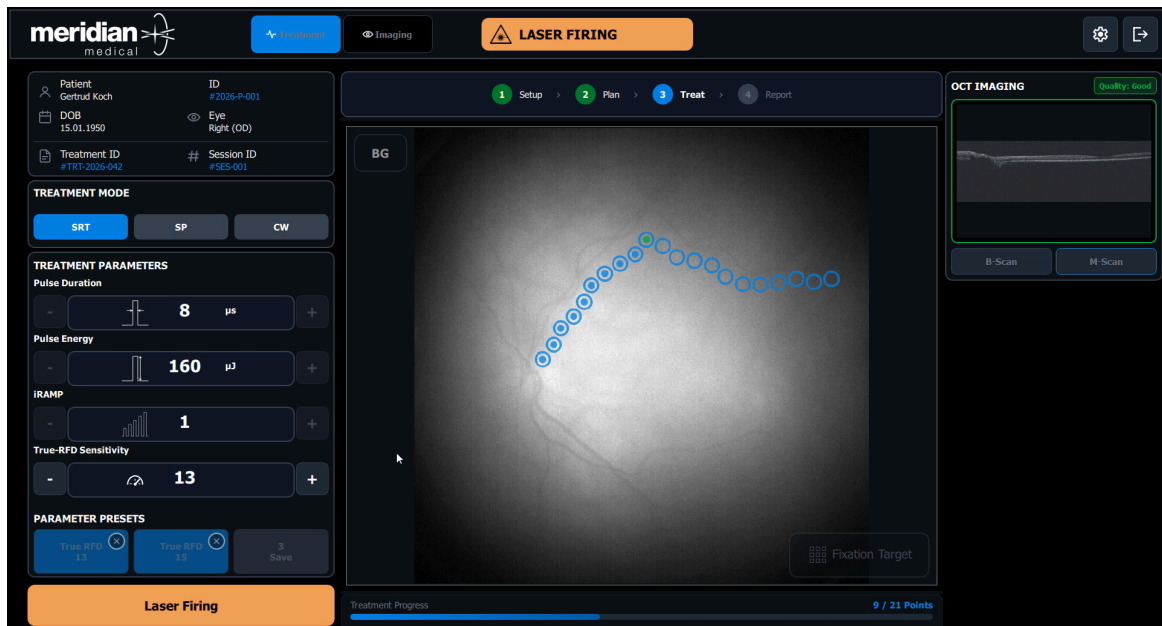


Abbildung 48: Treatment View: Treat, feuender Zustand

Wenn der Laser nicht aktiv feuert, kann er wieder deaktiviert werden. Dadurch kann zurück in den Schritt *Plan* gewechselt werden. Bereits behandelte Punkte bleiben dabei als behandelte Historie erhalten und werden als grüne Punkte angezeigt. Sie können nicht mehr bearbeitet oder entfernt werden. Noch nicht behandelte, aber bereits gelockte Punkte bleiben ebenfalls bestehen und werden als blaue Kreise dargestellt. Der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin kann auch weitere Punkte zur Planung hinzufügen. Diese neuen Punkte werden orange dargestellt. Noch nicht behandelte Kreise / Punkte (blau oder orange) können bearbeitet oder aus der Planung entfernt werden (siehe [Abbildung 49](#)).

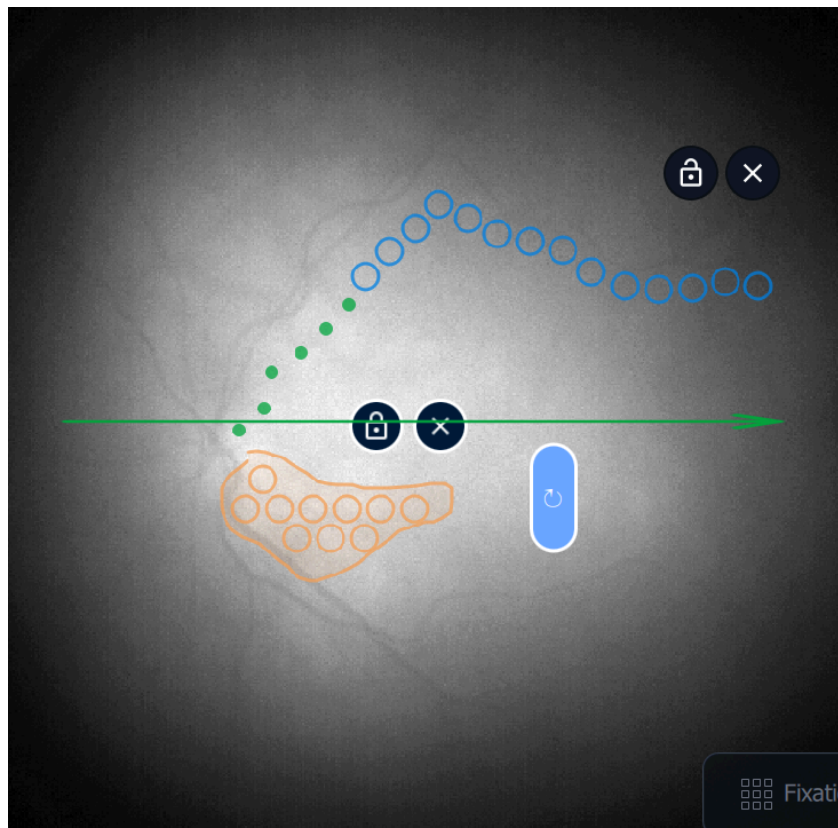


Abbildung 49: Ansicht bereits gelaserte Punkte

Sobald alle geplanten Punkte behandelt wurden, wechselt das GUI automatisch in den Schritt *Report*.

Nachfolgend sind die abgedeckten Use Cases mit ihren Abweichungen aufgelistet:

Use Case	Umsetzung / Abweichung
<u>UC-02</u> : OCT-Scan durchführen	Im Treat-Schritt wird der M-Scan als Standardansicht verwendet. Die OCT-Qualitätsbewertung ist noch nicht vollständig funktional.
<u>UC-04</u> : Workflow-Anzeige	Der Workflow-Stepper zeigt den Treat-Schritt und wird automatisch aktualisiert.
<u>UC-05</u> : Patientendaten anzeigen	Patientendaten bleiben während der Behandlung sichtbar.
<u>UC-09</u> : Behandlung ausführen	Die Behandlung kann in der Standalone-Version simuliert werden. Die Integration mit der realen Laserhardware konnte im Rahmen der Integrationstests grundsätzlich verifiziert werden, soweit dies der technische Prototyp zuließ.

Tabelle 71: Abgedeckte Use Cases: Treat

6.1.4 Schritt 4: Report

Im Schritt *Report* ist die Behandlung abgeschlossen. Das GUI zeigt, dass alle aktuell geplanten Behandlungspunkte abgearbeitet wurden (siehe [Abbildung 50](#)).

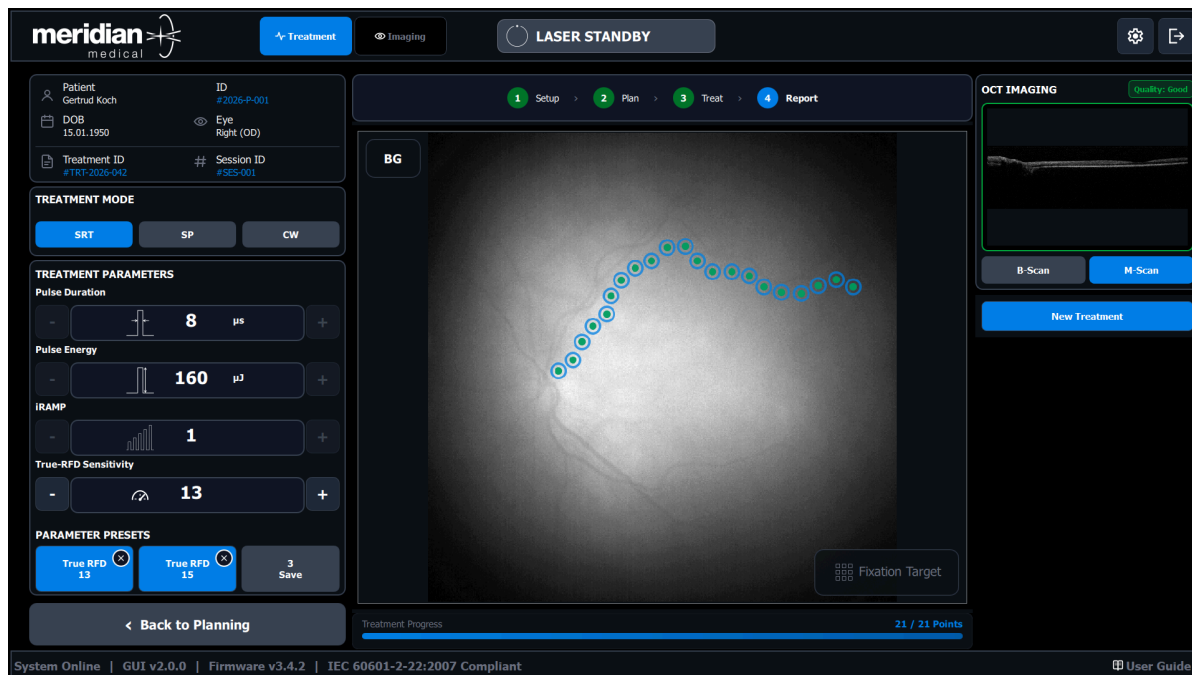


Abbildung 50: Treatment View: Report

Falls zusätzliche Punkte notwendig sind oder einzelne Punkte nachbehandelt werden sollen, kann von hier aus wieder in den Schritt *Plan* gewechselt werden. Bereits behandelte Punkte bleiben dabei archiviert und werden weiterhin als nicht mehr veränderbare Historie angezeigt.

Wenn der Ophthalmologe bzw. die Ophthalmologin mit der aktuellen Session fertig ist, kann eine neue Behandlung gestartet werden. In der aktuellen Implementation wird dabei die aktive Planung zurückgesetzt und die behandelte Historie gelöscht. Ein echter Patientenreport mit Exportfunktion ist noch nicht implementiert, da noch keine vollständige Patientenverwaltung und keine Report-Generierung im Backend existieren. Der Report-Schritt ist deshalb aktuell vor allem ein Abschluss- und Reset-Zustand des Workflows.

Nachfolgend sind die abgedeckten Use Cases mit ihren Abweichungen aufgelistet:

Use Case	Umsetzung / Abweichung
UC-04: Workflow-Anzeige	Der Report-Schritt wird automatisch erreicht, sobald alle geplanten Punkte behandelt wurden.
UC-05: Patientendaten anzeigen	Patientendaten bleiben auch im Abschlusszustand sichtbar.
UC-09: Behandlung ausführen	Bereits behandelte Punkte werden als Historie geführt und beim Zurückwechseln in den Plan-Schritt geschützt.
UC-14: Behandlungsreport ansehen und exportieren	Der Report-Schritt ist UI-seitig vorhanden. Ein echter Report mit Exportfunktion ist noch nicht implementiert.

Tabelle 72: Abgedeckte Use Cases: Report

6.2 Imaging View

Die zweite Hauptansicht des GUIs ist die Imaging View. Sie dient nicht der Behandlung selbst, sondern der grösseren Darstellung und Kontrolle der Bildgebung. In dieser Ansicht werden SLO- und OCT-Bild nebeneinander und deutlich prominenter dargestellt (siehe [Abbildung 51](#)). Dadurch kann die Qualität der Bilddaten besser beurteilt werden.

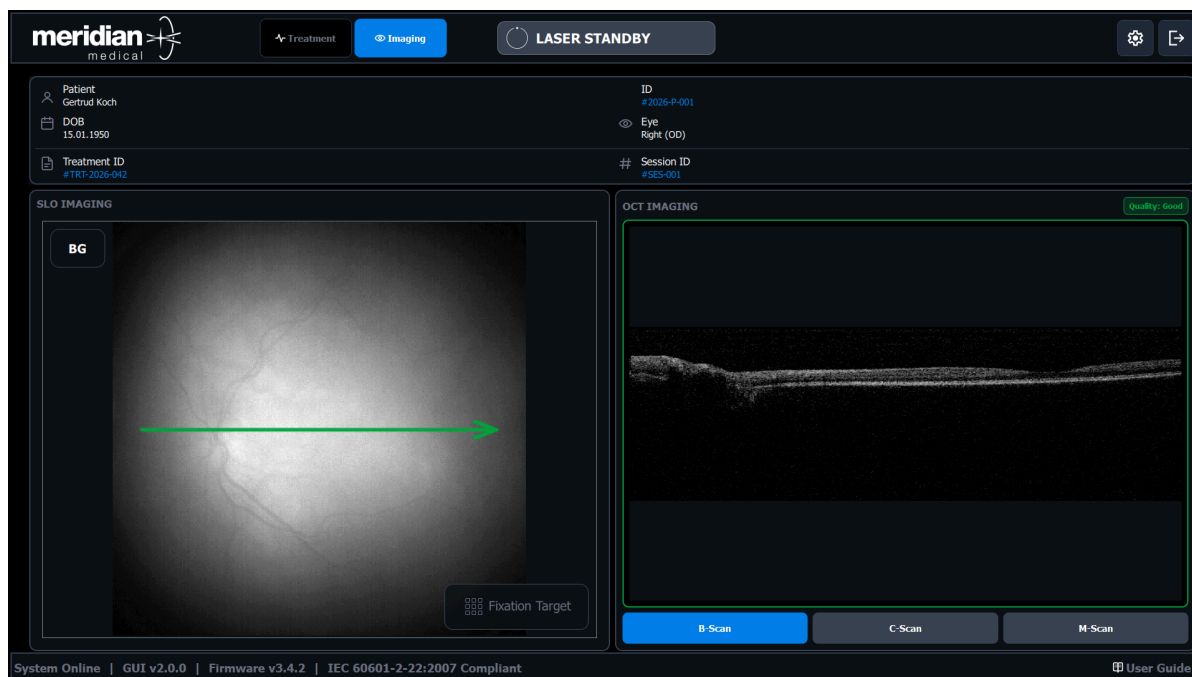


Abbildung 51: Imaging View

In der Imaging View stehen für den OCT-Scan B-Scan, M-Scan sowie ein C-Scan-Modus zur Auswahl (siehe [Abbildung 51](#) unten rechts). Der C-Scan ist derzeit als UI-seitiger Auswahlzustand implementiert. Eine eigenständige fachliche C-Scan-Datenverarbeitung beziehungsweise Draufsicht auf eine definierte Tiefenschicht ist in der Imaging View jedoch noch nicht vollständig integriert. Die OCT-Anzeige nutzt weiterhin die bestehenden OCT-Widgets und B-Scan-orientierten Datenpfade.

Wie in der Treatment View werden auch in der Imaging View die Patientendaten angezeigt (siehe [Abbildung 51](#) oben). Ebenso wird die OCT-Qualität durch Rahmen und Label visualisiert. Das Fixation Target bleibt bedienbar, solange kein sicherheitskritischer Zustand aktiv ist.

Die Imaging View ist ebenfalls an die zentrale Statuslogik angebunden. Behandlungshandlungen sind in dieser Ansicht deaktiviert. Insbesondere verhindert das GUI, dass der Laser in der Imaging View auf *Ready* geschaltet oder eine Treatment-Aktion ausgeführt wird.

Nachfolgend sind die abgedeckten Use Cases mit ihren Abweichungen aufgelistet:

Use Case	Umsetzung / Abweichung
UC-02 : OCT-Scan durchführen	B-Scan und M-Scan sind verwendbar. C-Scan ist als UI-seitiger Auswahlzustand vorhanden, nutzt aber noch die bestehenden B-Scan-orientierten Datenpfade.
UC-05 : Patientendaten anzeigen	Patientendaten werden auch in der Imaging View angezeigt.
UC-08 : Behandlungslaser aktivieren	In der Imaging View wird das Scharfschalten des Behandlungslasers blockiert.
UC-12 : Fixation Target Position wählen	Das Fixation Target kann auch in der Imaging View angepasst werden, solange kein sicherheitskritischer Zustand aktiv ist.
UC-20 : Bildgebungsmaske	Die Imaging View stellt SLO- und OCT-Bild grösser dar und dient der Kontrolle der Bildgebung.

Tabelle 73: Abgedeckte Use Cases: Imaging View

6.3 User Guide

Im Footer des GUIs kann jederzeit der User Guide geöffnet werden. Er ist als Overlay innerhalb der Anwendung umgesetzt und erscheint als zentrierte, scrollbare Karte über dem aktuellen GUI.

Der User Guide beschreibt die wichtigsten Bedienbereiche des Systems (siehe [Abbildung 52](#)). Dazu gehören Treatment Workflow, Treatment Modes, Treatment Parameters, Pattern Planning, OCT Imaging, Laser- und Sicherheitszustände sowie Settings. Zusätzlich werden laserspezifische Begriffe wie *iRAMP* oder *True-RFD* kurz erklärt.

Damit unterstützt der User Guide den Benutzer bzw. die Benutzerin direkt im Arbeitskontext. Er ersetzt keine vollständige Gebrauchsanweisung, bietet aber eine kurze Hilfestellung für zentrale Funktionen der Anwendung.

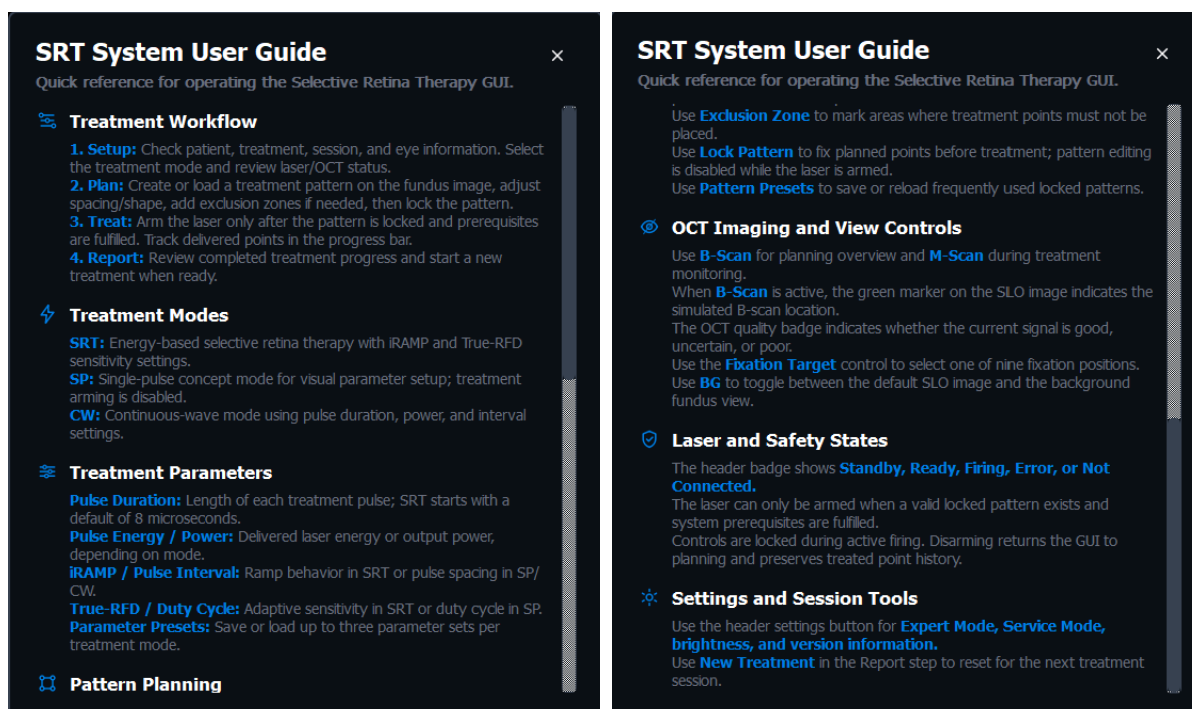


Abbildung 52: User Guide

6.4 Settings, Expert Mode und Service Mode

Das Zahnrad-Menü im Header bündelt mehrere nicht direkt behandlungsbezogene Funktionen (siehe [Abbildung 53](#) links). Dazu gehören der Expert Mode, der Service Mode und eine Helligkeitseinstellung. Neben dem Zahnrad-Menü gibt es den Exit-Button, der die Applikation kontrolliert schliesst. Während *LASER FIRING* sind diese Menüs deaktiviert, damit sicherheitskritische Zustände nicht durch globale Navigation oder Einstellungen unterbrochen werden.

Über dieses Menü können der Expert Mode und der Service Mode geöffnet werden. Beide Bereiche sind passwortgeschützt (siehe [Abbildung 53](#), rechts).

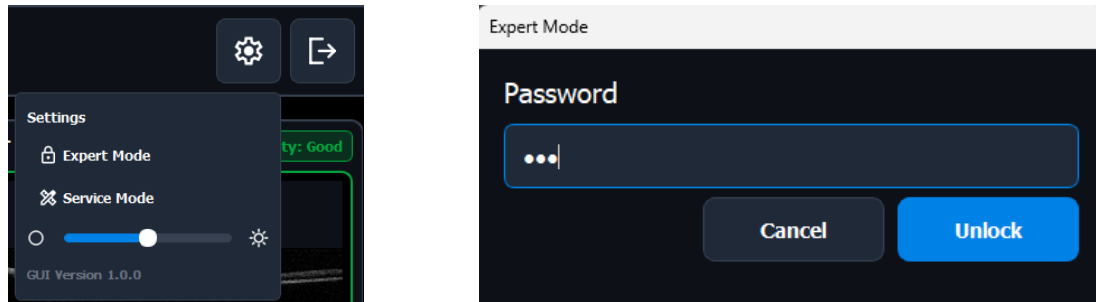


Abbildung 53: Settings-Menü und Passwortabfrage

Der Expert Mode kann im Zahnrad-Menü geöffnet werden. Nach erfolgreicher Eingabe des Passworts wird auf eine Experten-Ansicht gewechselt. Diese Ansicht basiert auf der von der BFH übernommenen [Prototypen-Version](#) und wurde visuell leicht an die neue Oberfläche angepasst. Sie richtet sich an Entwicklung und Tests und enthält weiterhin technische Funktionen, die für den klinischen Endbenutzer bzw. die klinische Endbenutzerin nicht vorgesehen sind (siehe [Abbildung 54](#)).

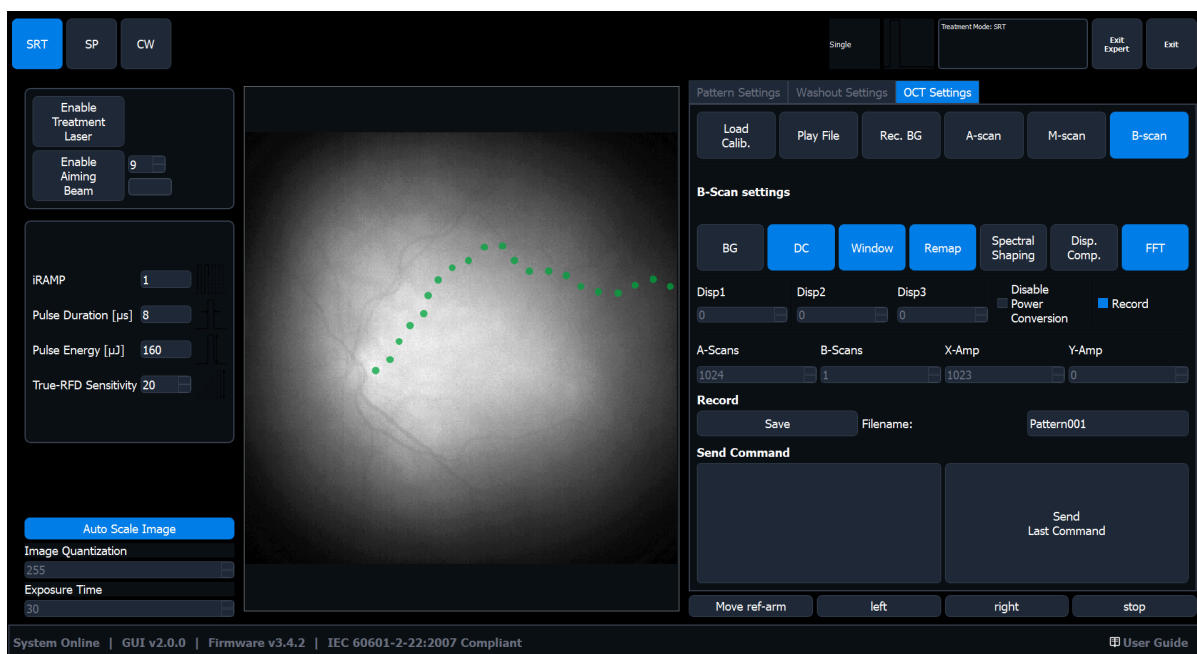


Abbildung 54: Expert Mode

Der Service Mode kann ebenfalls über das Zahnrad-Menü geöffnet werden. Aktuell ist dieser Modus nur als Platzhalter umgesetzt. Später soll er Funktionen für Servicepersonal und System-Admins enthalten, beispielsweise Diagnose, Wartung sowie die Konfiguration von Standardparametern und Grenzwerten (siehe [Abbildung 55](#)).

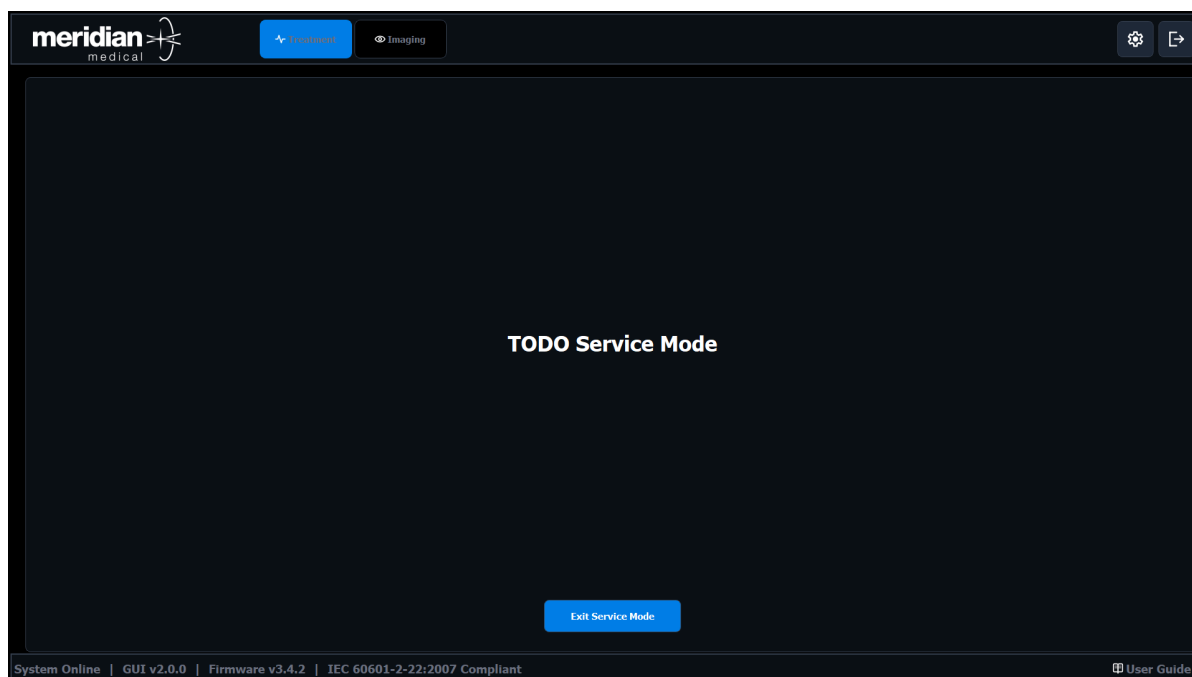


Abbildung 55: Service Mode

Zusätzlich enthält das Settings-Menü einen Schieberegler für die Bildschirmhelligkeit. Dieser ist in der aktuellen Implementation UI-seitig vorbereitet, jedoch noch nicht an die tatsächliche Bildschirmhardware angebunden.

Nachfolgend sind die abgedeckten Use Cases mit ihren Abweichungen aufgelistet:

Use Case	Umsetzung / Abweichung
UC-08 : Behandlungslaser aktivieren	Während <i>LASER FIRING</i> werden globale Einstellungen und Navigation gesperrt.
UC-13 : Applikation beenden	Die Applikation kann über den Exit-Button kontrolliert geschlossen werden.
UC-21 : Bildschirmhelligkeit einstellen	Der Schieberegler für die Anpassung der Bildschirmhelligkeit ist als Platzhalter umgesetzt. Die eigentliche Funktion ist noch nicht implementiert. Der Grund dafür ist, dass die Steuerung der Hardware-Helligkeit nicht plattformunabhängig trivial umgesetzt werden kann. Während die Entwicklung hauptsächlich unter Windows erfolgte, wird das System an der BFH teilweise unter Linux betrieben. Gleichzeitig ist der aktuell vorgesehene Touchscreen wiederum für eine Windows-Umgebung vorgesehen. Deshalb wurde das UI bereits vorbereitet, die konkrete technische Anbindung an die jeweilige Bildschirmhardware jedoch noch nicht umgesetzt.
UC-22 : Service Mode	Der Service Mode ist als Platzhalter mit Passwortschutz umgesetzt. Die eigentlichen Servicefunktionen sind noch nicht implementiert.
UC-23 : Expert Mode	Der Expert Mode ist eingebunden und basiert auf dem übernommenen Prototypen-GUI, wurde jedoch visuell an das neue GUI angepasst.

Tabelle 74: Abgedeckte Use Cases: Settings, Expert Mode und Service Mode

6.5 Vertikaler Modus

Im Laufe der Entwicklung wurde von Meridian ein 22-Zoll-Touchscreen für den Laserprototyp bestellt. Dieser ist grösser als ursprünglich angenommen, da festgestellt wurde, dass grössere Bildschirme die Bedienung während der Behandlung erleichtern können. An diesem Bildschirm konnte das GUI auch im Rahmen der Integration Tests getestet werden.

Durch die grössere Breite zeigte sich jedoch, dass der Bildschirm in horizontaler Ausrichtung die Bedienung am Laser erschweren kann. Daraus entstand die Idee, den Bildschirm im Hochformat zu verwenden. Deshalb wurde das bestehende Layout zusätzlich für eine vertikale Ausrichtung angepasst. Als Ausgangspunkt erhielten wir dazu eine erste Skizze von Meridian (siehe Abbildung 56).

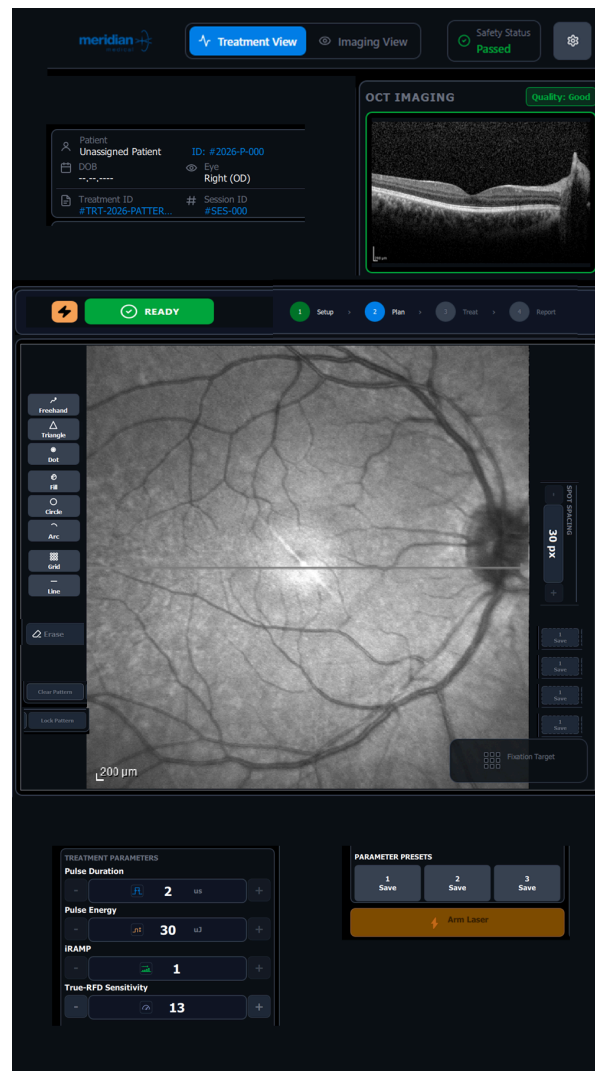


Abbildung 56: Erste Skizze für vertikales GUI

Da zu diesem Zeitpunkt nicht mehr viel Zeit übrig blieb, der vertikale Modus aber wichtig für Meridian war, haben wir uns dazu entschieden mithilfe von ChatGPT und Codex diese Skizze mit AI effizienter auszufeuern. Dabei wurden stets die bereits evaluierten Design Heuristiken von früheren Kapiteln berücksichtigt.

Der vertikale Modus wird beim Starten der Applikation automatisch gewählt, wenn die Bildschirmhöhe grösser als die Bildschirmbreite ist. In diesem Fall wird im Widget die Funktion `applyPortraitTreatmentLayout()` aufgerufen. Dabei werden dieselben bestehenden Elemente weiterverwendet, jedoch an andere Stellen verschoben und neu angeordnet. Es wurde also keine vollständig separate Oberfläche erstellt, sondern das bestehende GUI wurde für die vertikale Darstellung umstrukturiert.

Auch das Quick Treatment Panel besitzt eine eigene Portrait-Darstellung. Die C++-Bridge setzt dafür die QML-Property `portraitLayout` auf `true`. Dadurch wird das Panel breiter und niedriger dargestellt. Parameter und Presets werden in QML anders angeordnet, ohne dass eine separate Behandlungslogik notwendig ist.

Abbildung 57 zeigt zwei Screenshots des vertikalen Modus: links die Treatment View und rechts die Imaging View.

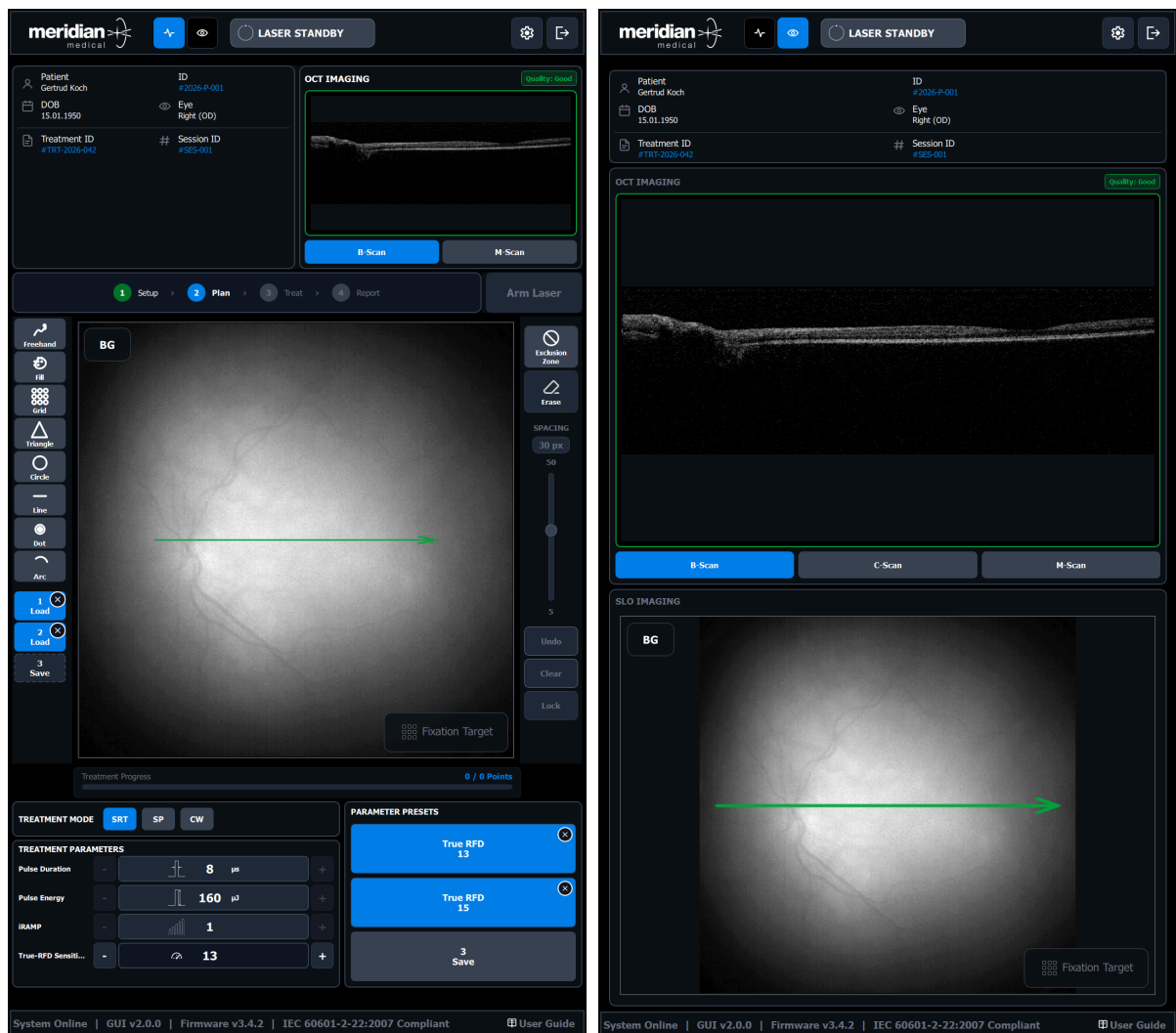


Abbildung 57: Vertikaler Modus Treatment View und Imaging View

6.6 Zusammenfassung

Die Implementation zeigt, dass der Figma-Prototyp in eine lauffähige Qt/C++-Anwendung mit QML-basierten modernen Bedienelementen überführt werden konnte. Der Schwerpunkt liegt auf der Treatment View, welche die bisher getrennten Funktionen von Bildgebung, Lasersteuerung und Behandlungsplanung in einem geführten Workflow zusammenführt.

Gegenüber den ursprünglich definierten Use Cases wurden einige Funktionen vollständig umgesetzt, andere bewusst nur als Platzhalter oder Konzept integriert. Besonders die zentrale Workflow-Anzeige, die Treatment Modes, Pattern-Planung, Exclusion Zones, Presets, Imaging View und die grundlegende Laserstatuslogik sind sichtbar umgesetzt. Noch nicht vollständig umgesetzt sind insbesondere echte Patientendaten, Report-Export, automatische Blutgefässererkennung, vollständige C-Scan-Verarbeitung sowie der produktive Service Mode.

Die Implementation bleibt damit bewusst prototypisch, bildet aber die wichtigsten Kernfunktionen des neuen GUIs ab und schafft eine Grundlage, auf der die reale Hardwareintegration und weitere sicherheitsrelevante Funktionen in zukünftigen Entwicklungsschritten weitergeführt werden können.

7 Qualitätsmassnahmen

Dieses Kapitel beschreibt die Massnahmen, mit denen die Qualität des GUI-Prototyps und der Projektdokumentation abgesichert wurde. Die gemeinsamen Regeln für Arbeitsumfeld und Vorgehen sind im Anhang dokumentiert (siehe [Anhang B](#)). Im Fokus dieses Kapitels stehen das Testkonzept, automatisierte Testprotokolle, manuelle Acceptance Tests, der Integrationstest am Laser-Prototypen sowie die abschliessende Usability-Bewertung.

7.1 Testkonzept

Dieses Testkonzept beschreibt, wie die Qualität des Projekts sichergestellt wird. Obwohl der Gesamtumfang der Tests bewusst begrenzt ist, zeigen die ausgewählten Tests einen strukturierten und wartungsfreundlichen Ansatz zur Validierung des GUIs. Ziel ist es, das zentrale Funktionsverhalten des GUIs zu testen und dabei den Aufwand in einem angemessenen Verhältnis zur Projektgrösse zu halten.

7.1.1 Ausgangslage

Das Ziel der Tests ist nicht, die reale Hardware vollständig zu simulieren. Stattdessen sollen die wichtigsten technischen Risiken abgesichert werden:

- Die zentrale Behandlungslogik arbeitet mit definierten Zuständen und Parametern korrekt.
- Die neue GUI-nahe Logik verwendet weiterhin die vorgesehenen alten Schnittstellen.
- Der Standalone-Build bleibt ausführbar und erkennt früh, wenn Ressourcen, QML-Dateien oder Mock-Komponenten brechen.

Der Testumfang wird bewusst klein gehalten. Es sollen nur wenige, aber aussagekräftige automatisierte Tests umgesetzt werden, die regelmässig lokal und optional in einer CI-Umgebung ausgeführt werden können.

7.1.2 Unit- und Workflow-Tests

Diese Tests prüfen die zentrale Logik der Anwendung unabhängig von echter Hardware und weitgehend unabhängig vom sichtbaren GUI. Im Fokus stehen Klassen, die Behandlungsabläufe, Parameter und Systemzustände steuern.

Der Schwerpunkt liegt auf den Klassen, die Entscheidungen treffen oder Zustände verändern. Reine UI-Darstellung, Layout und Farben werden nicht automatisiert getestet.

Diese Tests liefern den grössten Nutzen. Sie prüfen genau den Teil der Anwendung, der für Sicherheit, Bedienlogik und spätere Integration relevant ist. Gleichzeitig können sie mit QTest und einfachen Test-Mocks ohne reale Hardware ausgeführt werden.

7.1.3 Schnittstellen- und Integrationstest an der BFH

Die technische Anschlussfähigkeit an die reale Laser-Hardware wird nicht durch automatisierte Tests geprüft. Stattdessen ist ein manueller Integrationstest an der BFH vorgesehen, bei dem die entwickelte Software mit der vorhandenen Laser-Hardware verbunden wird.

Ziel dieses Tests ist es zu überprüfen, ob die neue GUI-nahe Logik grundsätzlich mit der realen Systemumgebung kommunizieren kann. Dabei wird insbesondere geprüft, ob die vorgesehenen Schnittstellen korrekt verwendet werden und ob zentrale Zustände, Parameter und Steuerbefehle zwischen Software und Hardware nachvollziehbar übertragen werden können.

Im Fokus stehen dabei nicht die vollständige Validierung der Hardware oder eine klinische Behandlung, sondern die technische Integrationsfähigkeit des Prototyps. Der Besuch an der BFH dient somit als praktischer Nachweis, dass der Standalone-Build mit Mocks nicht nur isoliert funktioniert, sondern grundsätzlich an die reale Infrastruktur anschliessbar ist.

Während des Integrationstests werden die beobachteten Ergebnisse dokumentiert. Falls Abweichungen oder Einschränkungen auftreten, werden diese festgehalten.

Dieser Ansatz ist für das Projekt sinnvoll, da nur begrenzt Zugriff auf die reale Laser-Hardware und den zugehörigen Code besteht. Eine vollständige automatisierte Absicherung der realen Schnittstellen wäre in dieser Projektphase deshalb nicht verhältnismässig.

7.1.4 Standalone Smoke-Tests

Smoke-Tests prüfen, ob der Standalone-Build grundsätzlich lauffähig ist. Sie dienen als schneller technischer Rauchmelder nach Änderungen an CMake, Qt-Ressourcen, QML-Dateien, Mocks oder der GUI-Initialisierung.

Der Smoke-Test bleibt bewusst klein und prüft lediglich, ob der bereits erstellte Standalone-Build startet, zentrale Qt-/QML-Ressourcen verfügbar sind und die Anwendung im Headless-Modus grundsätzlich ohne Absturz läuft.

Viele Fehler in Qt-Anwendungen entstehen nicht in einzelnen Algorithmen, sondern beim Zusammenspiel von Buildsystem, Ressourcen, QML, Widgets und Laufzeitdateien. Ein kleiner Smoke-Test erkennt solche Probleme früh, ohne aufwendige GUI-Automatisierung einzuführen.

7.1.5 Nicht vorgesehene Tests

Folgende Testarten sind für dieses Projekt nicht vorgesehen:

- Umfangreiche automatisierte GUI-Klicktests
- Tests gegen reale Laser- oder OCT-Hardware
- Performance- oder Langzeitstabilitätstests

Für die aktuelle Entwicklungsphase wären sie zu aufwendig oder schlecht umsetzbar, da uns nur sehr begrenzt Zugang zur Laser-Hardware und dem zugehörigen Code möglich ist.

7.1.6 Technische Umsetzung

Als Testframework bietet sich QtTest an, da das Projekt bereits auf Qt basiert. Dadurch können sowohl klassische Unit-Tests als auch Signal-/Slot-Tests mit QSignalSpy umgesetzt werden. Die Tests werden als separates CMake-Target angelegt:

- `gen2SRT_tests`

Dieses Testtarget sollte nur die für Tests notwendigen Klassen linken und mit einfachen Test-Mocks arbeiten. Die Tests sollen im Standalone-Profil ausführbar sein.

7.1.7 Acceptance Tests

Zusätzlich zu den automatisierten Tests soll es zu allen Features des GUI's mindestens einen manuellen Acceptance Test geben. Diese werden gegen Ende von Sprint 14 vom Team durchgeführt. Die Testfälle sind im [Anhang J](#) zu finden.

7.1.8 Abschliessende Usability-Tests und Akzeptanzbewertung

Nach der Fertigstellung des Projekts wird ein abschliessender summativer Usability-Test mit qualitativer Akzeptanzbewertung durchgeführt. Die Tests finden mit Personen statt, die zuvor noch an keinem Usability-Test im Rahmen dieses Projekts teilgenommen haben. Dadurch soll das GUI aus einer möglichst unvoreingenommenen Perspektive beurteilt werden.

Ziel des Tests ist es, letzte kleinere Fehler, Unklarheiten oder Bedienprobleme zu identifizieren und qualitatives Feedback für die zukünftige Weiterentwicklung des Systems einzuholen. Die Teilnehmenden bearbeiten dazu vordefinierte Aufgaben entlang der wichtigsten Funktionen. Während der Durchführung wird beobachtet, ob die zentralen Abläufe verständlich sind, ob die Bedienung erwartungskonform funktioniert und ob die umgesetzten Funktionen grundsätzlich akzeptiert werden.

Die Tests werden moderiert durchgeführt und die Beobachtungen werden dokumentiert. Ergänzend werden kurze Rückfragen oder ein Nachinterview eingesetzt, um die wahrgenommene Usability und Zufriedenheit festzuhalten. Die Ergebnisse dienen als abschliessende qualitative Bewertung und als Grundlage für mögliche zukünftige Verbesserungen. Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens werden nur kleine, kurzfristig behebbare Fehler nach Möglichkeit noch innerhalb der Bachelorarbeit korrigiert, grössere Verbesserungsvorschläge werden für die Weiterentwicklung dokumentiert.

7.1.9 Non-Functional Requirements

Für die Non-Functional Requirements (NFRs) sind keine speziellen automatisierten Tests implementiert. Stattdessen erfolgt die Verifizierung durch manuelle Leistungsbewertungen, Code-Prüfungen oder Verhaltensüberprüfungen während und nach der Entwicklung. Die Verifizierungsmethoden für jedes NFR sind direkt im Kapitel [NFR](#) definiert.

7.2 Automatisierte Testprotokolle

Die automatisierten Tests wurden über CTest ausgeführt. Dabei wurden sowohl die Application-Layer-Tests als auch der Standalone-Smoke-Test erfolgreich abgeschlossen (siehe [Abbildung 58](#)).

```
Test project C:/Users/tobia/OneDrive - OST/Studium/BA/Code/laser-treatment-device-gui-code/build-standalone
Start 1: gen2SRT_tests
1/2 Test #1: gen2SRT_tests ..... Passed    0.02 sec
Start 2: gen2SRT_standalone_smoke
2/2 Test #2: gen2SRT_standalone_smoke ..... Passed    1.10 sec

100% tests passed, 0 tests failed out of 2
```

Abbildung 58: CTest-Ergebnis der automatisierten Tests

Die detaillierte Ausgabe der Application-Layer-Tests ist ebenfalls dokumentiert (siehe [Abbildung 59](#)). Diese Tests prüfen zentrale Zustände, Workflow-Regeln sowie die Delegation an die Service-Schicht. Der ergänzende Smoke-Test validiert, dass der Standalone-Build grundsätzlich gestartet werden kann und die benötigten Qt-/QML-Ressourcen verfügbar sind.

```
Config: Using QtTest library 5.15.2, Qt 5.15.2 (x86_64-little_endian-llp64 shared (dynamic) release build; by MSVC 2019), windows 10
PASS : ApplicationLayerTests::initTestCase()
PASS : ApplicationLayerTests::sessionDefaults()
PASS : ApplicationLayerTests::sessionWorkflowRules()
PASS : ApplicationLayerTests::sessionProfilesAndProgress()
PASS : ApplicationLayerTests::workflowGuardPrerequisites()
PASS : ApplicationLayerTests::workflowGuardBlocksCriticalStates()
PASS : ApplicationLayerTests::workflowGuardReportRequiresCompletion()
PASS : ApplicationLayerTests::laserServiceDelegates()
PASS : ApplicationLayerTests::acquisitionServiceDelegates()
PASS : ApplicationLayerTests::recordingServiceDelegates()
PASS : ApplicationLayerTests::processingServiceDelegates()
PASS : ApplicationLayerTests::executionServiceDelegates()
PASS : ApplicationLayerTests::controllerWiresServicesAndAppliesParameters()
PASS : ApplicationLayerTests::controllerShutdownStopsSubsystems()
PASS : ApplicationLayerTests::cleanupTestCase()
Totals: 15 passed, 0 failed, 0 skipped, 0 blacklisted, 1ms
```

Abbildung 59: QtTest-Ergebnis der Application-Layer-Tests

7.3 Acceptance Tests Functional Requirements

Die folgenden Testprotokolle dokumentieren die Ergebnisse der durchgeführten Acceptance Tests. Alle Tests wurden sowohl im Hochformat als auch im Querformat durchgeführt, um die Funktionalität und Darstellung in beiden Bildschirmorientierungen zu prüfen.

Die folgende Legende erklärt die verwendeten Bewertungen in den Testprotokollen.

Feld	Bedeutung
OK	Test erfolgreich durchgeführt, Ergebnis wie erwartet
NOK	Test durchgeführt, aber mit fehlerhaftem Ergebnis
NOT TESTED	Test wurde noch nicht ausgeführt, da Feature noch nicht implementiert

Tabelle 75: Legende Testbewertung

7.3.1 Testprotokoll erster Durchlauf - 05.06.2026

ID	Pattern/Mode	Ergebnis	Bewertung
TF-01	SRT	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	SP	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	CW	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-02	SRT	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	SP	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	CW	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-03	SRT	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	SP	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	CW	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-04	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-05	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-06	Freehand	Wenn beim Zeichnen eines Freehand-Patterns auf einer Sperrfläche begonnen wird (1. Punkt), verschiebt sich die Sperrfläche. Die Sperrfläche darf jedoch während der Bearbeitung anderer Patterns nicht bewegbar sein.	NOK
	Fill	Wenn beim Zeichnen einer Fill-Form auf einer Sperrfläche begonnen wird, verschiebt sich die Sperrfläche mit. Die Sperrfläche darf jedoch während der Bearbeitung anderer Patterns nicht bewegbar sein.	NOK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-07	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-08		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-09		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-10		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
TF-11		Sperrflächen konnten während dem Zeichnen von Freehand- und Fill-Patterns verschoben werden. Während der Bearbeitung ungelockter Patterns müssen sie jedoch gesperrt bleiben.	NOK
TF-12	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK

Tabelle 76: Testprotokoll 05.06.2026 - Teil 1

ID	Pattern/Mode	Ergebnis	Bewertung
<u>TF-13</u>	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-14</u>	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-15</u>	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-16</u>	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-17</u>	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Grid	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Triangle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Circle	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Line	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Arc	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-18</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-19</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-20</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-21</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-22</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-23</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-24</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-25</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-26</u>	Expert Mode	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Service Mode	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK

Tabelle 77: Testprotokoll 05.06.2026 - Teil 2

7.3.2 Testprotokoll zweiter Durchlauf - 06.06.2026

Die im ersten Durchlauf festgestellten Fehler wurden anschliessend behoben. In einem zweiten Durchlauf wurden gezielt die betroffenen Testfälle erneut geprüft.

ID	Pattern/Mode	Ergebnis	Bewertung
<u>TF-06</u>	Freehand	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
	Fill	Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK
<u>TF-11</u>		Test erfolgreich im Hoch- und Querformat durchgeführt.	OK

Tabelle 78: Testprotokoll 06.06.2026 - Teil 1

Im zweiten Durchlauf konnten die zuvor fehlerhaften Testfälle erfolgreich abgeschlossen werden. Damit sind alle geprüften Acceptance Tests im Hoch- und Querformat erfolgreich durchgeführt worden.

7.4 Integration Tests Laser & Screen at BFH

Wie im Testkonzept beschrieben, haben wir unser GUI auch am realen Laser-Prototypen an der BFH in Biel getestet.

Dafür sind wir am 11.05.2026 nach Biel an die BFH gereist. Dort konnten wir den Code unseres GUIs auf den PC des Laser-Prototypen laden und ihn wieder mit dem Backend sowie dem Mikrocontroller verbinden, welche uns während der Entwicklung nicht zur Verfügung standen (siehe Abbildung 60).

Zusammen mit der Ansprechperson von der BFH konnten wir letzte kleine Integrationsfehler beheben und unser GUI dadurch innerhalb weniger Stunden erfolgreich mit dem Laser verbinden.



Abbildung 60: Debugging der Integration am Laser-Prototypen

Wir konnten unser GUI damit auch dahingehend verifizieren, dass es zu diesem Stand korrekt mit dem Prototypen kommuniziert. So konnte man beispielsweise die Geräusche des Lasers wahrnehmen, nachdem dieser scharf geschaltet wurde, und zudem den Kamera- sowie OCT-Stream in unserem GUI sehen. Das eigentliche Lasern war jedoch noch nicht möglich, da der Laser zu diesem Zeitpunkt noch nicht fest montiert und korrekt verbunden war.

Zudem konnten wir unser GUI während des Besuchs erstmals am zukünftigen Touchscreen testen, welcher neu bestellt wurde und zu Beginn des Projekts noch nicht feststand. Nach einigen kleineren Anpassungen konnten wir die EXE-Datei des GUIs auf dem Bildschirm ausführen. Einige GUI-Elemente waren zunächst noch abgeschnitten, diese Probleme konnten wir jedoch auch nach dem Besuch weiter beheben. Durch die Einrichtung auf dem Bildschirm konnten wir Meridian jeweils neue EXE-Dateien zusenden, die direkt auf dem Gerät getestet werden konnten. So konnten sie uns einerseits Feedback zum GUI selbst geben und andererseits prüfen, ob das GUI korrekt auf den spezifischen Bildschirm skaliert (siehe [Abbildung 61](#)).



Abbildung 61: Zukünftiger Touchscreen und Tisch mit unserem GUI

7.5 Abschliessende Usability-Tests und Akzeptanzbewertung

Die abschliessenden Usability-Tests mit Akzeptanzbewertung wurden in der vorletzten Projektwoche durchgeführt, um das implementierte GUI aus einer externen Perspektive zu beurteilen. Im Gegensatz zu den früheren Usability-Tests, die an einem Figma-Prototyp durchgeführt wurden, fanden diese Tests am vollständig implementierten GUI statt.

Da es gegen Ende des Projekts nicht mehr möglich war, zusätzliche Fachpersonen aus dem medizinischen Umfeld für weitere Tests zu gewinnen, wurden die Tests mit Studierenden durchgeführt, die zuvor noch nicht an einem Usability-Test dieses Projekts teilgenommen hatten. Diese Testpersonen entsprechen damit nicht den tatsächlichen Endnutzern des Systems, konnten das GUI jedoch unvoreingenommen bedienen und dadurch wertvolle Rückmeldungen zur Verständlichkeit, Bedienbarkeit und allgemeinen Akzeptanz liefern.

Der Fokus lag darauf, zu prüfen, ob die zentralen Benutzerabläufe wie beabsichtigt funktionieren und auch ohne vertieftes Vorwissen nachvollziehbar sind. Die Ergebnisse dienen deshalb nicht als vollständige Validierung durch die finale Zielgruppe, sondern als qualitative Einschätzung des aktuellen GUI-Stands und als Grundlage für die zukünftige Entwicklung über den Rahmen dieser Bachelorarbeit hinaus.

7.5.1 Testpersonen

Der Test wurde mit drei Studierenden der OST durchgeführt. Um Verzerrungen und Lerneffekte zu vermeiden, hatte keiner der Teilnehmer an den früheren Figma-Usability-Tests teilgenommen oder auf andere Weise mit dem GUI Kontakt.

7.5.2 Testablauf

Der Testablauf orientierte sich eng am Aufbau, der bereits bei den früheren Usability-Tests verwendet wurde. Jede Sitzung wurde von einem Testleiter moderiert, während das zweite Teammitglied das Nutzerverhalten beobachtete und Notizen machte. Während der Aufgaben wurde zuerst keine Hilfe oder Anleitung gegeben, und die Teilnehmer wurden dazu ermutigt, ihre Gedanken nach Möglichkeit in Worte zu fassen. Da die Personen aber keinen medizinischen Hintergrund haben, wurde mehr erklärt und geholfen, wenn die Personen nicht mehr weitergekommen sind.

Die Tests fanden auf einem 14-Zoll-Bildschirm statt und damit auf einem kleineren Display als in der vorgesehenen Praxisumgebung, in der ein 21.5-Zoll-Bildschirm eingesetzt wird. Ausserdem handelte es sich um den ersten Usability-Test mit der vertikalen Version des GUI. Beide Rahmenbedingungen wurden bei der Interpretation der Beobachtungen berücksichtigt, da insbesondere Platzverhältnisse, Bedienkomfort und einzelne Layout-Eindrücke dadurch beeinflusst werden können.

Jede Sitzung dauerte etwa 20 Minuten und folgte diesem Ablauf:

- Kurze Einführung und Erläuterung des Testablaufs
- Durchführung vordefinierter Testszenarien
- Interview nach dem Test

Für jede Sitzung wurden schriftliche Beobachtungsprotokolle erstellt. Die detaillierten Beobachtungsnotizen sind im Anhang K zu finden.

7.5.3 Testszenarien

Die Testszenarien basierten auf denselben Kernszenarien, die bereits in den früheren Usability-Tests verwendet wurden (Anhang F), wurden jedoch leicht an die tatsächlich implementierte Funktionalität angepasst. Ziel war es, zu überprüfen, ob die Nutzer diese Aufgaben möglichst intuitiv erledigen können.

7.5.4 Interviews

Im Gegensatz zu den Usability-Tests mit dem Prototyp wurde für diesen summativen Test kein Vorinterview durchgeführt. Nach Abschluss der Aufgaben wurde mit jedem Teilnehmer ein strukturiertes Nachinterview durchgeführt. Neben allgemeinen Fragen enthielt das Interview spezifische Folgefragen, die auf die implementierten MVP-Funktionen abzielten. Die detaillierten Fragen und die einzelnen Antworten sind in Anhang K dokumentiert.

7.5.5 Gesamtergebnis

Das Gesamtergebnis der abschliessenden Usability-Tests mit Akzeptanzbewertung fiel positiv aus. Alle drei Testpersonen konnten die zentralen Abläufe des GUI nachvollziehen und die wichtigsten Aufgaben mit wenig Unterstützung durchführen. Besonders der geführte Workflow, die klare farbliche Kennzeichnung von Aktionen und die grundsätzliche Struktur des Systems wurden positiv wahrgenommen.

Da die Testpersonen keinen medizinischen Hintergrund hatten, mussten einzelne fachliche Funktionen, insbesondere das Fixation Target und die Bedeutung gewisser Laserparameter, kurz erklärt werden. Trotzdem konnten sie wertvolle Rückmeldungen zur allgemeinen Bedienbarkeit, Verständlichkeit und visuellen Führung des GUIs geben. Die Tests zeigten damit, dass der MVP aus Sicht unvoreingenommener Nutzer grundsätzlich verständlich und bedienbar ist.

7.5.6 Identifizierte Probleme und Verbesserungspotenzial

Während der Tests wurden mehrere kleinere Punkte beobachtet, die den Bedienkomfort beeinflussen. Gleichzeitig wurden aber auch einige Elemente ausdrücklich positiv wahrgenommen. Die Rückmeldungen lassen sich deshalb in bereits behobene Fehler, positive Beobachtungen und weiteres Verbesserungspotenzial einteilen.

Direkt behobene Fehler

Der Lock Pattern-Button direkt beim Pattern war in einem Test nur unzuverlässig bedienbar und musste teilweise länger gedrückt werden. Dieses Verhalten wurde nach dem Test angepasst, sodass das Schloss-Icon nun normal klickbar ist. Ausserdem konnte der User Guide während eines Tests nicht mit der üblichen Wischgeste gescrollt werden, sondern nur über die seitliche Scrollbar. Auch dieser Fehler wurde behoben, sodass der User Guide nun wie vorgesehen scrollbar ist.

Positive Rückmeldungen

Mehrere zentrale Interaktionen wurden von den Testpersonen positiv bewertet. Der geführte Workflow wurde als verständlich wahrgenommen, und der Laserstatus war für alle Testpersonen klar erkennbar. Insbesondere der Wechsel zu LASER READY und die farbliche Hervorhebung von Arm Laser halfen dabei, den sicherheitsrelevanten Behandlungsschritt bewusst wahrzunehmen.

Auch die Pattern-Bearbeitung funktionierte insgesamt gut. Die Testpersonen nutzten vor allem Freehand und Fill, da diese Bearbeitungsarten als natürlich und effizient empfunden wurden. Das Platzieren und Ergänzen von Patterns wurde grundsätzlich verstanden und konnte ohne grössere Probleme durchgeführt werden. Positiv erwähnt wurde ausserdem der Undo-Button. Eine Testperson hob hervor, dass eine solche Funktion in vielen Anwendungen fehlt, obwohl sie beim Arbeiten sehr häufig erwartet wird.

Offenes Verbesserungspotenzial

Weitere Beobachtungen betreffen vor allem die zukünftige Verfeinerung des GUI. Dazu gehören eine flüssigere Rotation von Patterns sowie eine effizientere Anpassung von Parameterwerten bei grösseren Sprüngen. Einzelne Bedienelemente, zum Beispiel das x zum Löschen von Presets, wurden als eher klein oder schwer treffbar wahrgenommen. Diese Rückmeldung ist jedoch auch im Zusammenhang mit dem Testaufbau zu betrachten, da die Tests auf einem 14-Zoll-Bildschirm durchgeführt wurden. In der vorgesehenen Praxisumgebung steht ein deutlich grösserer 21.5-Zoll-Bildschirm zur Verfügung, wodurch solche Elemente voraussichtlich besser bedienbar sind. Auch die unterschiedliche Benennung von Plan und Back to Planning wurde als kleiner Wording-Punkt festgehalten. Diese Punkte beeinträchtigen die grundsätzliche Bedienbarkeit nicht, zeigen aber, wo das GUI in einer nächsten Iteration noch angenehmer und konsistenter gemacht werden kann.

7.5.7 Limitationen und Ausblick

Die Aussagekraft der Tests ist begrenzt, da sie mit Studierenden und nicht mit den tatsächlichen medizinischen Endnutzern durchgeführt wurden. Zudem fand der Test auf einem 14-Zoll-Bildschirm statt, während in der vorgesehenen Praxisumgebung ein grösserer 21.5-Zoll-Bildschirm verwendet wird. Einzelne Rückmeldungen zu Buttongrössen, Platzverhältnissen und Bedienkomfort müssen deshalb vorsichtig interpretiert werden.

Trotz dieser Einschränkungen waren die Tests für das Projekt wertvoll. Sie bestätigten, dass die vertikale Version des GUIs grundsätzlich funktioniert, verständlich aufgebaut ist und die wichtigsten MVP-Abläufe unterstützt. Für die zukünftige Entwicklung sollten die verbleibenden Rückmeldungen weiterverfolgt und anschliessend erneut mit Fachpersonen aus dem medizinischen Umfeld validiert werden.

8 Fazit

Dieses Kapitel ordnet die wichtigsten Erkenntnisse der Bachelorarbeit ein und fasst den Projektverlauf aus fachlicher, technischer und organisatorischer Sicht zusammen. Im Zentrum stehen die Erfahrungen aus der Entwicklung des GUIs, die offenen Punkte der aktuellen Umsetzung sowie die nächsten Schritte für die weitere Arbeit am Laserprototyp.

8.1 Reflexion

Ein GUI für einen medizinischen Augenlaser zu entwickeln, war für uns eine spannende und neue Herausforderung. Das Projekt erforderte nicht nur eine technische Umsetzung, sondern auch eine intensive Einarbeitung in den medizinischen Kontext, die bestehende Geräteumgebung sowie die damit verbundenen Normen und Sicherheitsanforderungen. Gerade die Zusammenarbeit mit Meridian und der BFH gab dem Projekt eine starke Praxisnähe und zeigte, dass die entwickelte Lösung nicht nur ein theoretisches Studienprojekt ist, sondern auf einem realen Bedarf basiert.

Neben der eigentlichen Entwicklung des GUIs waren auch die Analysephase, die Gestaltung des Prototyps und die iterative Validierung wichtige Bestandteile des Projekts. Die Anforderungen, Design-Heuristiken, der medizinische Kontext und bestehende ophthalmologische Systeme bildeten die Grundlage für den ersten Entwurf. Die Besuche bei Meridian und an der BFH halfen zusätzlich, das System, die Hardware und die praktischen Rahmenbedingungen besser zu verstehen. Besonders wertvoll war anschliessend das Validieren und Verfeinern des Entwurfs durch die Usability-Tests. Dadurch entwickelte sich das GUI schrittweise weiter, bis ein Ergebnis entstand, mit dem wir sehr zufrieden sind. Die Kombination aus Analyse, UI/UX, Figma-Prototyping, Usability-Tests und Implementation war deshalb für das Projekt besonders wertvoll.

Nach der Technologieanalyse stellte sich die Integration mit Qt, C++ und QML als technisch anspruchsvoll heraus. Die Herausforderung lag vor allem darin, das neue GUI in ein bestehendes System einzubinden und gleichzeitig die Nähe zur Laser-Hardware zu berücksichtigen. Trotz dieser Komplexität konnte das GUI erfolgreich mit dem Laserprototyp verbunden werden, was eines der zentralen Ziele der Arbeit war. Dabei zeigte sich, dass die gewählte technische Richtung grundsätzlich funktioniert und eine sinnvolle Grundlage für weitere Arbeiten bildet.

Auch funktional konnte ein grosser Teil der geplanten Kernfunktionen umgesetzt werden. Viele GUI-Elemente wurden nicht nur visuell realisiert, sondern auch mit bestehenden Schnittstellen oder vorhandener Applikationslogik verbunden. Damit entstand ein funktionsfähiger Prototyp, der die wichtigsten Abläufe des neuen Bedienkonzepts demonstriert. Besonders wertvoll sind dabei der klarere Workflow, der Benutzer und Benutzerinnen durch den Behandlungsprozess unterstützt, die intuitive Behandlungsplanung mit verschiedenen Patterns für unterschiedliche Arbeitsweisen sowie die klar getrennte Bildgebungsansicht. Gleichzeitig ist das Resultat bewusst noch keine produktionsreife medizinische Software. Der Laserprototyp selbst befindet sich ebenfalls noch in Entwicklung, und mehrere Integrationspunkte müssen für einen späteren produktiven Einsatz weiter ausgearbeitet, getestet und abgesichert werden.

Eine Herausforderung war die Suche nach geeigneten Fachpersonen für die Usability-Tests. Trotzdem konnten durch verschiedene Tests sowie die abschliessende Evaluation wichtige Grundfunktionen validiert und relevante Rückmeldungen gesammelt werden. Zusammen mit den regelmässigen Meetings und den gezielten Besuchen bei Meridian und an der BFH konnte das GUI dadurch iterativ weiterentwickelt, überprüft und verbessert werden. Diese enge Rückkopplung mit realen Stakeholdern war für die Qualität des Ergebnisses entscheidend.

Insgesamt zeigte das Projekt, dass die Entwicklung eines GUIs für ein medizinisches Lasersystem deutlich mehr umfasst als die reine Umsetzung einer Benutzeroberfläche. Medizinischer Kontext, Sicherheitsaspekte, technische Integration, Usability und Dokumentation mussten gemeinsam betrachtet werden. Gerade diese Verbindung machte das Projekt anspruchsvoll, aber auch sehr lehrreich. Es ist motivierend zu wissen, dass die im Rahmen dieser Arbeit geschaffene Grundlage bei erfolgreicher Weiterentwicklung und Validierung künftig dazu beitragen könnte, die Behandlung von Patienten und Patientinnen mit Netzhauterkrankungen wie AMD weiter zu verbessern.

8.2 Zukünftige Weiterentwicklung

Dieses Kapitel fasst die notwendigen Verbesserungen und Optimierungsmöglichkeiten zusammen, die während der Implementierung ermittelt wurden, sowie diejenigen, die sich aus den abschliessenden Usability-Tests ergeben haben. Es bündelt sowohl technische als auch nutzerzentrierte Erkenntnisse in einer strukturierten Übersicht und dient als Orientierung für zukünftige Entwickler und Entwicklerinnen. Die aufgeführten Punkte erfassen die Limitationen des aktuellen GUIs und skizzieren konkrete Richtungen für die weitere Entwicklung über den Rahmen dieses Projekts hinaus.

8.2.1 Verbesserungen und Erweiterungen zu bestehenden Features

Feature	Verwandte Use Cases	Beschreibung
SP-Modus vollständig unterstützen	UC-03 , UC-11	Der SP-Modus ist als Treatment Mode vorgesehen, kann jedoch technisch noch nicht vollständig genutzt werden. Zukünftig sollen die Parameter des SP-Modus vollständig angebunden, validiert und in die Lasersteuerung integriert werden.
Helligkeitseinstellung anbinden	UC-21	Die Helligkeitseinstellung wird aktuell ohne Funktion im Settings-Bereich dargestellt. Zukünftig soll die Helligkeit des GUIs mit diesem Regler angepasst werden können.
Expert Mode ausbauen	UC-23	Der Expert Mode kann noch mit weiteren Konfigurationsparametern und Einstellungen ausgebaut werden.
Service Mode ausbauen	UC-22	Der Service Mode ist aktuell noch leer und soll zukünftig mit den notwendigen Service- und Wartungsfunktionen ausgebaut werden.

Tabelle 79: Potenzielle Verbesserungen und Erweiterungen zu bestehenden Features

8.2.2 Anbindung statischer GUI-Elemente an Schnittstellen

Feature	Verwandte Use Cases	Beschreibung
Patienten-, Behandlungs- und Sitzungsdaten anbinden	UC-01 , UC-05	Patient Name, Patient ID, Geburtsdatum, behandeltes Auge, Treatment ID und Session ID werden aktuell mit statischen Default-Werten im GUI angezeigt. Zukünftig sollen diese Daten aus der bestehenden Systemumgebung übernommen und bei Sitzungswechseln automatisch aktualisiert werden.
OCT C-Scan-Daten anbinden	UC-02	Der C-Scan ist im GUI als Auswahl vorgesehen, muss jedoch noch an die realen OCT-Daten und die bestehende Bildgebungslogik angebunden werden. Dadurch soll der C-Scan wie B- und M-Scan echte Bilddaten laden, anzeigen und synchron aktualisieren.
OCT-Qualitätswert übernehmen	UC-02	Die OCT-Qualität wird aktuell nur aus dem Verbindungszustand beziehungsweise vorhandenen OCT-Daten abgeleitet. Zukünftig soll ein numerischer Qualitätswert über die Geräteschnittstelle an das GUI übertragen werden, damit die Anzeige zuverlässig zwischen <i>Quality: Good</i> , <i>Quality: Uncertain</i> und <i>Quality: Poor</i> wechseln kann.
OCT-Scan-Position im SLO-Bild synchronisieren	UC-02	Die Markierung der OCT-Position im SLO-Bild ist aktuell eine statische Overlay-Darstellung. Zukünftig soll sie aus der tatsächlichen Scan-Geometrie beziehungsweise Scannerposition berechnet und dynamisch im SLO-Bild nachgeführt werden.
Fixation Target an Gerät anbinden	UC-12	Die Auswahl des Fixation Targets ist im neuen GUI bereits als Bedienoberfläche vorhanden. In der echten Integration muss die gewählte Position noch an das Gerät übertragen und mit dem aktuellen Gerätezustand synchronisiert werden.
Background-Ansicht anbinden	-	Der BG-Schalter ist im GUI vorhanden, wird in der echten Integration jedoch noch nicht mit der Bildgebungs-Pipeline synchronisiert. Zukünftig soll darüber zwischen dem aktuellen Fundusbild und der Background-Removal-Ansicht umgeschaltet werden können.
Behandlungsreport generieren und exportieren	UC-14	Der Report-Schritt ist im Workflow vorgesehen. Zukünftig soll daraus ein vollständiger Behandlungsreport erzeugt werden, der relevante Patientendaten, Behandlungsparameter, gesetzte und behandelte Punkte sowie optional Vorher-/Nachher-Bilder enthält und exportiert werden kann.

Tabelle 80: Statische GUI-Elemente mit notwendiger Schnittstellenanbindung

8.2.3 Neue Features

Feature	Verwandte Use Cases	Beschreibung
Pattern-Punkte auf Blutgefässen automatisch entfernen	<u>UC-19</u>	Behandlungspunkte, die auf Blutgefässen liegen, sollen automatisch erkannt und aus dem geplanten Pattern entfernt oder als ungültig markiert werden. Dies kann auf Basis der Bilddaten beziehungsweise einer Segmentierung der Blutgefässe erfolgen und soll die Sicherheit der Behandlungsplanung erhöhen.
Fehlermeldungen direkt im GUI anzeigen	<u>UC-24</u>	Systemfehler, Warnungen und Bedienhinweise sollen direkt im neuen GUI angezeigt werden. Dabei sollen Meldungen nach Kritikalität unterschieden und mit verständlichen Handlungsanweisungen ergänzt werden, statt nur technische Zustände oder externe Meldungen anzuzeigen.
Redo-Funktion ergänzen	-	Ergänzend zur Undo-Funktion soll eine Redo-Funktion umgesetzt werden. Damit können rückgängig gemachte Änderungen an Patterns, Punkten oder Sperrflächen wiederhergestellt werden, was besonders bei komplexer Behandlungsplanung hilfreich ist.

Tabelle 81: Potenzielle neue Features

8.3 Ausblick

Der entwickelte Prototyp zeigt, dass das neue GUI-Konzept technisch umsetzbar ist und grundsätzlich mit dem bestehenden Laserprototyp verbunden werden kann. Bereits in der aktuellen Version bildet das GUI zentrale Abläufe der Behandlungsplanung und Laserbedienung ab, führt Benutzer und Benutzerinnen durch den Workflow und stellt wichtige Zustände und Bedienelemente übersichtlich dar. Damit bietet der Prototyp eine konkrete Grundlage für den nächsten Schritt, die Integration weiter auszubauen und zu stabilisieren. Dabei sollte das GUI nicht nur isoliert getestet werden, sondern regelmässig zusammen mit der realen Hardware betrieben werden, damit Zustände, Rückmeldungen und Bedienabläufe zuverlässig überprüft werden können.

Parallel dazu muss auch der Laserprototyp weiterentwickelt werden. Einige GUI-Elemente konnten im Rahmen dieser Arbeit bereits mit bestehenden Schnittstellen verbunden werden, andere bleiben jedoch noch konzeptionell oder mit statischen Daten umgesetzt. Damit das GUI vollständig genutzt werden kann, müssen auf Systemseite weitere Schnittstellen, Zustände und Funktionen bereitgestellt werden. Erst dadurch können alle relevanten Bedienelemente und Anzeigen des GUIs mit dem realen Gerät verbunden und unter realistischen Bedingungen validiert werden.

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen offenen Punkte bilden die Grundlage für die nächsten Entwicklungsschritte. Auf Basis der umgesetzten Funktionen kann der Übergang vom funktionsfähigen GUI-Prototypen zu einer stärker integrierten und verlässlicher getesteten Anwendung erfolgen. Dafür sind insbesondere weitere Tests am Laserprototyp sowie Tests in einem realitätsnahen oder klinischen Umfeld mit zusätzlichen Fachpersonen wichtig. So kann überprüft werden, ob das GUI nicht nur technisch funktioniert, sondern auch im praktischen Einsatz verständlich, effizient und sicher bedienbar ist.

Danksagung

Wir möchten uns herzlich bei allen Personen bedanken, die uns während dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt **Prof. Dr. Frieder Loch** für die kompetente Betreuung der Arbeit, die konstruktiven Inputs während der wöchentlichen Meetings sowie die fachliche Begleitung über den gesamten Projektverlauf.

Ebenso danken wir **Dr. Christian Burri** und dem gesamten **Meridian Medical Team** für das Vertrauen, die offene Zusammenarbeit und die wertvolle Unterstützung während der Bachelorarbeit. Durch die bereitgestellten Unterlagen, den Einblick in den bestehenden Laserprototyp und das kontinuierliche Feedback zu unseren Entwürfen und Usability-Tests konnten wir das GUI gezielt weiterentwickeln und praxisnah ausrichten.

Ein weiterer Dank gilt **Prof. Dr. Patrik Arnold** und dem **HuCE-optoLab Team der BFH** für das Empfangen an der BFH in Biel, die Unterstützung bei der Integration des Codes mit dem Laser sowie für den zur Verfügung gestellten Source Code des bestehenden Laser- und GUI-Prototyps. Diese Grundlage war für die technische Weiterentwicklung im Rahmen dieser Arbeit sehr wertvoll.

Wir danken ausserdem **Dr. med. univ. Stephan Kinzl** und **Dr. med. Andrea Bräutigam** vom Stadtspital Triemli in Zürich sowie allen weiteren Personen aus verschiedenen Augenpraxen und Spitälern für die Teilnahme an den Usability-Tests. Ihr medizinisches Fachwissen und das dabei entstandene Feedback haben wesentlich dazu beigetragen, das GUI aus Sicht der späteren klinischen Anwendung zu beurteilen.

Abschliessend danken wir allen Studierenden der OST, die an unseren End-User-Tests teilgenommen haben. Ihr Feedback hat uns geholfen, die Bedienbarkeit des fertigen Prototyps zusätzlich zu überprüfen und weiter zu verbessern.

Bibliographie

- Berliner Hochschule für Technik. (2020,). *NAVILAS Navigierter Netzhautlaser*. https://studiengang.bht-berlin.de/fileadmin/studiengang/ptm/Projektreportagen/Neu_September_2020/Navilas.jpg
- Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab. (2023). *User Manual: SPECTRALIS CENTAURUS* [User Manual].
- Berner Fachhochschule. (2024,). *SPECTRALIS CENTAURUS*. <https://www.bfh.ch/de/forschung/referenzprojekte/spectralis-centaurus/>
- Brown, S. (2026,). *C4 Model*. <https://c4model.com/>
- Carl Zeiss Meditec AG. (2026a,). *ZEISS ATLAS 500 Corneal Topographer*. <https://www.zeiss.com/meditec/en/products/zeiss-corneal-topographers/zeiss-atlas-500-corneal-topographer.html>
- Carl Zeiss Meditec AG. (2026b,). *ZEISS ATLAS 500 Keratokonus-Patient (Produktabbildung)*. <https://www.zeiss.com/content/dam/med-hcp/reference-master/product-portfolio/corneal-topographers/atlas-500/images/zeiss-atlas-500-keratoconus-patient.jpg>
- Christopher S. Langlo, S. S. P., Aana Amin. (2025). Optical coherence tomography retinal imaging: narrative review of technological advancements and clinical applications. *Annals of Translational Medicine*. <https://doi.org/10.21037/atm-24-211>
- Cornut, O. (o. J.). *Dear ImGui*. <https://github.com/ocornut/imgui>
- Crank Software Inc. (o. J.). *Crank Software - Embedded GUI Development*. <https://www.cranksoftware.com/>
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. D., & Beale, R. (2004). *Human-Computer Interaction* (3rd Aufl.). Pearson Education. https://digilib.stekom.ac.id/assets/dokumen/ebook/feb_2dcde6582c2499d3c9c90f44d3bff4cc3c05ec88_1659964886.pdf
- Figma, I. (o. J.). *Figma Make*. <https://www.figma.com/make/>
- Google LLC. (o. J.). *Flutter*. <https://flutter.dev/>
- The GTK Project. (o. J.). *GTK - A Multi-Platform Toolkit for Creating Graphical User Interfaces*. <https://www.gtk.org/>
- International Electrotechnical Commission. (2005,). *Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance* [International Standard]. <https://webstore.iec.ch/en/publication/2606>
- International Electrotechnical Commission. (2019). *Medical electrical equipment – Part 2-22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment* (International Standard Nos. IEC60601–2–22; 4.0 Aufl.). <https://webstore.iec.ch/en/publication/66126>
- International Electrotechnical Commission. (2020). *Medical devices – Part 1: Application of usability engineering to medical devices* (International Standard Nos. IEC62366–1; 1.1 Aufl.). <https://webstore.iec.ch/en/publication/67220>
- International Organization for Standardization. (2019). *Medical devices — Application of risk management to medical devices* (International Standard No. ISO14971:2019). <https://www.iso.org/standard/72704.html>
- Larman, C. (2004). *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development* (3rd Aufl.). Prentice Hall PTR.
- Meridian AG. (2021). *Corporate Graphic Design Guidelines* [Internal Styleguide].
- NavilasLaserSystem. (2019,). *Einführung in die navigierte Lasertherapie der Netzhaut mit Navilas 577s*. <https://www.youtube.com/watch?v=TYVJ9Xa4Kic>
- Nielsen, J. (1994,). *10 Usability Heuristics for User Interface Design*. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- NodeGUI Contributors. (o. J.). *NodeGUI Documentation*. <https://docs.nodegui.org/>
- NY Eye Doctors. (2026,). *Macular Degeneration Vision*. <https://nyeyedoctors.com/portals/9/disorders/MacularD/MacD-Vision.jpg>
- OD-OS GmbH. (2025,). *Navilas Laser System 577s: Der navigierte Netzhautlaser*. https://www.od-os.com/wp-content/uploads/2025/11/2025-11-26_ODOS_Navilas577s_Brochure_V2.0_DE.pdf
- OD-OS GmbH. (2026,). *NAVILAS Navigierter Netzhautlaser*. <https://www.od-os.com/de/navilas-navigierter-netzhautlaser/>
- Oertli Instrumente AG. (2026a,). *Medtech für Ophthalmologie | Making the difference in eye surgery*. <https://www.oertli-instruments.com/de#introtext>

- Oertli Instrumente AG. (2026b,). *OS 4 UP Operationsplattform GUI*. https://www.oertli-instruments.com/images/operation-splattformen/os4up/16_9/4313/image-thumb_4313_gallery_element/rendering-os4up_front_with_gfi_hook.04d62a00.png
- The Qt Company. (o. J.-c). *Qt Distribution Licenses*. <https://www.qt.io/development/qt-framework/commercial-qt#distribution-licenses>
- The Qt Company. (o. J.-b). *Qt for Device Creation Licensing*. <https://www.qt.io/development/qt-framework/commercial-qt#dc-licensing>
- The Qt Company. (o. J.-a). *Qt Framework*. <https://www.qt.io/>
- Retina Specialist. (2020,). *Gene Therapy OCT Image*. https://www.retina-specialist.com/CMSImagesContent/2020/07/RS/035_rs0720_GeneOCT-1.jpg
- Schweizerische Bundeskanzlei. (2023,). *Leitfaden zum geschlechtergerechten Formulieren*. <https://www.bk.admin.ch/bk/de/home/dokumentation/sprachen/hilfsmittel-textredaktion/leitfaden-zum-geschlechtergerechten-formulieren.html>
- Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2010). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction* (4th Aufl.). Pearson Addison Wesley. <https://seu1.org/files/level5/IT201/Book%20-%20Ben%20Shneiderman-Designing%20the%20User%20Interface-4th%20Edition.pdf>
- Strauss, O. (2011). The Retinal Pigment Epithelium. In *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System: Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*. University of Utah Health Sciences Center. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54392/>
- World Health Organization. (2019). *World report on vision*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/328717/9789241516570-eng.pdf>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Sicht ohne (links) und mit (rechts) AMD (NY Eye Doctors, 2026)	2
Abbildung 2	Augenscans gesundes Auge (oben) und Auge mit AMD (unten) (Retina Specialist, 2020)	2
Abbildung 3	Treatment View	3
Abbildung 4	Beispiel Pattern-Planung und Sperrflächen	4
Abbildung 5	Imaging View	4
Abbildung 6	Vertikaler Modus Treatment View und Imaging View	5
Abbildung 7	Das SPECTRALIS CENTAURUS Laser System (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023)	3
Abbildung 8	Gesamtstruktur des Studien-GUI mit HEYEX und CTS (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 49)	4
Abbildung 9	SRT-Mode des Studien-GUI (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 54)	5
Abbildung 10	Ablaufdiagramm Studien-GUI	6
Abbildung 11	Aktuelles CTS GUI der BFH	8
Abbildung 12	Oertli OS 4 UP Plattform (Oertli Instrumente AG, 2026b)	10
Abbildung 13	OD-OS Navilas Laser System (Berliner Hochschule für Technik, 2020)	11
Abbildung 14	Grid mit Sperrzone während einer Navilas-Behandlung (OD-OS GmbH, 2025, S. 6)	11
Abbildung 15	Screenshot Video: Smart Controls zur Parameteranpassung (NavilasLaserSystem, 2019, 0:45 - 0:53)	12
Abbildung 16	Carl Zeiss Atlas 500 GUI (Carl Zeiss Meditec AG, 2026b)	13
Abbildung 17	Screenshot Annex D von IEC 60601-2-22 (International Electrotechnical Commission, 2019, S. 24, 25)	16
Abbildung 18	Emergency Laser Stop Button SPECTRALIS CENTAURUS (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 37)	16
Abbildung 19	Beispiel-Scan HEYEX 1	18
Abbildung 20	Beispiel-Scan HEYEX 2	19
Abbildung 21	Use Case Diagramm	25
Abbildung 22	Visuelles Beispiel für Usability-Heuristiken in der implementierten Plan-View	53
Abbildung 23	GUI TT Device Meridian	58
Abbildung 24	Erster Entwurf des Figma Prototyps	59
Abbildung 25	Zweiter Entwurf mit Figma Make	60
Abbildung 26	Dritter Entwurf des Figma-Prototyps	61
Abbildung 27	Finaler Figma Prototyp - Setup	62
Abbildung 28	Vergleich Treatment Modes mit Parameter Einstellungen	63
Abbildung 29	Finaler Figma Prototyp - Plan	64
Abbildung 30	Finaler Figma Prototyp - Treat	64
Abbildung 31	Finaler Figma Prototyp - Report	65
Abbildung 32	Finaler Figma Prototyp - Imaging View	65
Abbildung 33	Finaler Figma Prototyp - Settings	66
Abbildung 34	C4 Context-Diagramm	78
Abbildung 35	C4 Container-Diagramm	79
Abbildung 36	C4 GUI- und Applikations Component-Diagramm, Teil 1: GUI und Widget-Host	80
Abbildung 37	C4 GUI- und Applikations Component-Diagramm, Teil 2: Applikationslogik, Services und Backend-Anbindung	81
Abbildung 38	C4 Hardwareintegration Component-Diagramm	82
Abbildung 39	Treatment View: Setup	84
Abbildung 40	Zustandsdiagramm der Treatment View	85
Abbildung 41	Aktivitätsdiagramm des Behandlungsablaufs	86
Abbildung 42	Varianten der Laserstatus-Anzeige	87
Abbildung 43	Ausgeklapptes Fixation-Target-Raster	87
Abbildung 44	Background Removal inaktiv und aktiv	88
Abbildung 45	Treatment Modes und ihre Parameter	88
Abbildung 46	Treatment View: Plan	90
Abbildung 47	Treatment View: Treat	104

Abbildung 48	Treatment View: Treat, feuern der Zustand	105
Abbildung 49	Ansicht bereits gelaserte Punkte	105
Abbildung 50	Treatment View: Report	107
Abbildung 51	Imaging View	108
Abbildung 52	User Guide	109
Abbildung 53	Settings-Menü und Passwortabfrage	110
Abbildung 54	Expert Mode	110
Abbildung 55	Service Mode	111
Abbildung 56	Erste Skizze für vertikales GUI	112
Abbildung 57	Vertikaler Modus Treatment View und Imaging View	113
Abbildung 58	CTest-Ergebnis der automatisierten Tests	116
Abbildung 59	QtTest-Ergebnis der Application-Layer-Tests	116
Abbildung 60	Debugging der Integration am Laser-Prototypen	119
Abbildung 61	Zukünftiger Touchscreen und Tisch mit unserem GUI	120
Abbildung 62	CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 49)	143
Abbildung 63	CTS UI Start Screen (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 50)	144
Abbildung 64	Vergleich Play File Button Status (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 51)	144
Abbildung 65	CTS UI Modes (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 52, 54)	145
Abbildung 66	CTS UI Standby-Mode (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 52)	145
Abbildung 67	CTS UI SRT-Mode (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 54)	146
Abbildung 68	<i>Enable Treatment Laser States</i> (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 56)	146
Abbildung 69	<i>Enable Aiming Beam States</i> (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 56)	147
Abbildung 70	System States & Messages der verschiedenen Behandlungsmodi (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 55)	148
Abbildung 71	CTS UI Vergleich Behandlungsparameter (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 58, 60)	148
Abbildung 72	CTS UI Test Pattern (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 58)	149
Abbildung 73	Pattern während der Behandlung (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 59)	149
Abbildung 74	CTS UI Treatment Pattern (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 60)	150
Abbildung 75	CTS UI Error State (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 61)	150
Abbildung 76	verschiedene Fixation Target Positionen (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 63)	151
Abbildung 77	Fixation Target Konfiguration Touch Panel (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 63)	151
Abbildung 78	Farbschema gemäss internem Meridian Styleguide (Meridian AG, 2021, S. 4)	152
Abbildung 79	Sequenzdiagramm der Planungsinteraktionen	167
Abbildung 80	Sequenzdiagramm der Behandlungsdurchführung	168
Abbildung 81	C4 GUI- und Applikations Component-Diagramm	169

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Kurzer Überblick über die drei Treatment Modes	8
Tabelle 2	Vergleich der betrachteten Lösungen anhand relevanter GUI-Funktionen	14
Tabelle 3	Use Specification des Systems	19
Tabelle 4	Use Scenario US01 – System starten und vorbereiten	20
Tabelle 5	Use Scenario US02 – Treatment Pattern vorbereiten	21
Tabelle 6	Use Scenario US03 – Laserbehandlung durchführen	22
Tabelle 7	Hazard-Related Use Scenarios	23
Tabelle 8	Akteure	24
Tabelle 9	Priorität Legende (Use Cases)	26
Tabelle 10	UC-01 - Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten	26
Tabelle 11	UC-02 - OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan)	27
Tabelle 12	UC-03 - Laserparameter konfigurieren	28
Tabelle 13	UC-04 - Workflow-Anzeige	28
Tabelle 14	UC-05 - Patientendaten anzeigen	29
Tabelle 15	UC-06 - Pattern konfigurieren	29
Tabelle 16	UC-07 - Pattern platzieren und anpassen	30
Tabelle 17	UC-08 - Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)	30
Tabelle 18	UC-09 - Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)	31
Tabelle 19	UC-10 - Not-Stop auslösen	31
Tabelle 20	UC-11 - Treatment Mode wechseln (CW / SP / SRT)	32
Tabelle 21	UC-12 - Fixation Target Position wählen	32
Tabelle 22	UC-13 - Applikation beenden	33
Tabelle 23	UC-14 - Behandlungsreport ansehen und exportieren	33
Tabelle 24	UC-15 - Einzelne Pattern-Punkte löschen	34
Tabelle 25	UC-16 - Freihand-Pattern zeichnen	35
Tabelle 26	UC-17 - Sperrflächen definieren und löschen	36
Tabelle 27	UC-18 - Pattern als Preset speichern und laden	36
Tabelle 28	UC-19 - Pattern-Punkte auf Blutgefäßen automatisch entfernen	37
Tabelle 29	UC-20 - Bildgebungsmaske	38
Tabelle 30	UC-21 - Bildschirmhelligkeit einstellen	38
Tabelle 31	UC-22 - Service Mode öffnen	39
Tabelle 32	UC-23 - Expert Mode öffnen	39
Tabelle 33	UC-24 - Fehlermeldungen anzeigen	40
Tabelle 34	Use Case Prioritäten & Planung	41
Tabelle 35	NFR-01 - Touch-optimierte Bedienung	42
Tabelle 36	NFR-02 - Berücksichtigung relevanter Normen	42
Tabelle 37	NFR-03 - Multimodale Statusanzeige	43
Tabelle 38	NFR-04 - Echtzeitdarstellung des SLO-Bildes	43
Tabelle 39	NFR-05 - Usability-Heuristiken	44
Tabelle 40	NFR-06 - Fehlerzustand bei Verbindungsabbruch	44
Tabelle 41	NFR-07 - Konsistente Systemarchitektur	45
Tabelle 42	NFR-08 - Echtzeitfähige Systemrückmeldung	45
Tabelle 43	NFR-09 - Dunkles GUI-Design	46
Tabelle 44	NFR-10 - Minimierung der kognitiven Belastung	46
Tabelle 45	Learnability Prinzipien (Dix et al., 2004, S. 261)	48
Tabelle 46	Flexibility Prinzipien (Dix et al., 2004, S. 266)	49
Tabelle 47	Robustness Prinzipien (Dix et al., 2004, S. 270)	50
Tabelle 48	Konkrete UI-Massnahmen zur Risikominimierung	51
Tabelle 49	Usability-Heuristiken Teil 1	52

Tabelle 50	Usability-Heuristiken Teil 2	53
Tabelle 51	Farbtheorie nach Shneiderman	55
Tabelle 52	Anwendung der Designgrundlagen im ersten Entwurf	60
Tabelle 53	Kriterien Technologieanalyse	72
Tabelle 54	Bewertung Technologieanalyse	74
Tabelle 55	Rangliste Technologieanalyse	74
Tabelle 56	Wichtige Projektbereiche und ihre architektonische Rolle	83
Tabelle 57	Treatment Modes	89
Tabelle 58	Abgedeckte Use Cases: Setup	90
Tabelle 59	Freehand Beispiele	91
Tabelle 60	Fill Beispiele	92
Tabelle 61	Grid Beispiele	93
Tabelle 62	Triangle Beispiele	94
Tabelle 63	Circle Beispiele	95
Tabelle 64	Line Beispiele	96
Tabelle 65	Dot Beispiele	97
Tabelle 66	Arc Beispiele	98
Tabelle 67	Weitere Beispiele	99
Tabelle 68	Exclusion Zones Beispiele	100
Tabelle 69	Exclusion Zones Beispiele 2	101
Tabelle 70	Abgedeckte Use Cases: Plan	103
Tabelle 71	Abgedeckte Use Cases: Treat	106
Tabelle 72	Abgedeckte Use Cases: Report	107
Tabelle 73	Abgedeckte Use Cases: Imaging View	108
Tabelle 74	Abgedeckte Use Cases: Settings, Expert Mode und Service Mode	111
Tabelle 75	Legende Testbewertung	116
Tabelle 76	Testprotokoll 05.06.2026 - Teil 1	117
Tabelle 77	Testprotokoll 05.06.2026 - Teil 2	118
Tabelle 78	Testprotokoll 06.06.2026 - Teil 1	118
Tabelle 79	Potenzielle Verbesserungen und Erweiterungen zu bestehenden Features	124
Tabelle 80	Statische GUI-Elemente mit notwendiger Schnittstellenanbindung	124
Tabelle 81	Potenzielle neue Features	125
Tabelle 82	Behandlungsmodi im SRT-Mode	148
Tabelle 83	Treatment Parameter im SRT-Mode	148
Tabelle 84	Testinfos Usability Test 1	157
Tabelle 85	Testinfos Usability Test 2	160
Tabelle 86	Testinfos externer Usability Test 1	162
Tabelle 87	Testinfos externer Usability Test 2	163
Tabelle 88	Testinfos externer Usability Test 3	164
Tabelle 89	Testinfos externer Usability Test 4	165
Tabelle 90	Test Case 01	170
Tabelle 91	Test Case 02	170
Tabelle 92	Test Case 03	171
Tabelle 93	Test Case 04	172
Tabelle 94	Test Case 05	173
Tabelle 95	Test Case 06	174
Tabelle 96	Test Case 07	175
Tabelle 97	Test Case 08	176
Tabelle 98	Test Case 09	177
Tabelle 99	Test Case 10	178

Tabelle 100	Test Case 11	179
Tabelle 101	Test Case 12	180
Tabelle 102	Test Case 13	181
Tabelle 103	Test Case 14	182
Tabelle 104	Test Case 15	183
Tabelle 105	Test Case 16	184
Tabelle 106	Test Case 17	185
Tabelle 107	Test Case 18	186
Tabelle 108	Test Case 19	187
Tabelle 109	Test Case 20	188
Tabelle 110	Test Case 21	189
Tabelle 111	Test Case 22	190
Tabelle 112	Test Case 23	191
Tabelle 113	Test Case 24	192
Tabelle 114	Test Case 25	193
Tabelle 115	Test Case 26	194
Tabelle 116	Testinfos Usability Test 1	195
Tabelle 117	Testinfos Usability Test 2	197
Tabelle 118	Testinfos Usability Test 3	199

Glossar

Aiming Beam	Ziel- bzw. Hilfs laser, der zur visuellen Ausrichtung des Behandlungslasers verwendet wird.
AMD	Altersbedingte Makuladegeneration; Erkrankung der Retina, die vor allem im höheren Alter auftritt.
B-Scan	OCT-Querschnittsbild der Retina entlang einer Linie.
BFH	Berner Fachhochschule
C++	Programmiersprache, in der die bestehende GUI-Anwendung und zentrale Applikationslogik umgesetzt sind.
C4 Model	Modell zur strukturierten Beschreibung von Softwarearchitektur auf verschiedenen Abstraktionsebenen.
C-Scan	OCT-Draufsicht auf eine bestimmte Schicht oder Tiefe der Retina.
CMake	Build-System zur Konfiguration und Erstellung der C++-/Qt-Anwendung.
CTS	CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE; bestehende Behandlungssoftware des SPECTRALIS CENTAURUS.
CW	Continuous Wave; Treatment Mode mit kontinuierlicher Laserabgabe über eine definierte Dauer.
DAQ	Data Acquisition; Schnittstelle zur Erfassung und Ausgabe technischer Mess- und Steuersignale.
ECTS	European Credit Transfer and Accumulation System
Exclusion Zone	Sperrfläche im SLO-Bild, in der keine Behandlungspunkte platziert werden dürfen.
Figma	Design- und Prototyping-Tool zur Erstellung interaktiver Benutzeroberflächen und zur Durchführung von Usability-Tests.
Fixation Target	Zielpunkt, auf den der Patient oder die Patientin während der Behandlung blickt, um die Position der Retina im SLO-Bild zu beeinflussen.
FR	Functional Requirement; funktionale Anforderung an das System.
GUI	Graphical User Interface; grafische Benutzeroberfläche eines Systems.
HCI	Human-Computer Interaction; Fachgebiet zur Gestaltung und Analyse der Interaktion zwischen Mensch und Computer.
HEYEX	Heidelberg Eye Explorer; Softwareplattform von Heidelberg Engineering zur Bildgebung und Patientendatenverwaltung.
HRA	Heidelberg Retina Angiograph; Bestandteil der SPECTRALIS-Bildgebungsplattform.

HuCE-optoLab	Human Centered Engineering Labor für Optik der Berner Fachhochschule.
IEC 60601-2-22	Norm mit spezifischen Anforderungen an die Sicherheit medizinischer Lasergeräte.
IEC 62366-1	Norm zum Usability-Engineering-Prozess für Medizinprodukte.
iRAMP	Rampenmodus bzw. Rampenparameter im SRT-Kontext, der im GUI als Laserparameter angezeigt wird.
ISO 14971	Norm für das Risikomanagement von Medizinprodukten.
M-Scan	OCT-Darstellung, bei der zeitliche Veränderungen an einer festen Position sichtbar gemacht werden.
MERILAS SRT Treatment Laser	Behandlungslaser des SPECTRALIS CENTAURUS für die selektive Retina-Therapie.
Mock	Vereinfachte Ersatzimplementierung, die reale Systemkomponenten für Entwicklung oder Tests simuliert.
MPA	Medizinische Praxisassistentin bzw. Medizinischer Praxisassistent.
MVP	Minimum Viable Product; erste funktionsfähige Produktversion mit den wichtigsten Kernfunktionen.
NFR	Non-Functional Requirement; nicht-funktionale Anforderung, z.B. an Usability, Sicherheit oder Performance.
OCT	Optische Kohärenztomographie (En: Optical Coherence Tomography); bildgebendes Verfahren zur Darstellung von Gewebeschichten der Retina.
OST	Ostschweizer Fachhochschule
QML	Qt Modeling Language; deklarative Sprache zur Umsetzung moderner Qt-Quick-Benutzeroberflächen.
Qt	Framework zur Entwicklung plattformübergreifender C++-Anwendungen mit grafischer Benutzeroberfläche.
Qt Quick	Qt-Technologie zur Entwicklung moderner, flexibler und touch-orientierter Benutzeroberflächen.
Qt Widgets	Qt-Technologie zur Entwicklung klassischer Desktop-Benutzeroberflächen.
Retina	Netzhaut; lichtempfindliche Gewebeschicht im hinteren Teil des Auges.
RPE	Retinales Pigmentepithel; pigmentierte Zellschicht der Retina, die bei der selektiven Retina-Therapie gezielt behandelt wird.

SLO	Scanning Laser Ophthalmoskopie; bildgebendes Verfahren zur Darstellung der Retina als Livebild.
SP	Short Pulse; Treatment Mode für kurze Laserimpulse, der im aktuellen Prototyp noch nicht vollständig behandelbar ist.
SPECTRALIS CENTAURUS	Bezeichnung des ersten Prototyps des SRT-Lasersystems.
Sperrfläche	Bereich im SLO-Bild, in dem keine Laserpunkte geplant oder behandelt werden sollen.
SRT	Selektive Netzhauttherapie (En: Selective Retina Therapy); Lasertherapie zur gezielten Behandlung des retinalen Pigmentepithels.
SWOT	Analysemodell zur Bewertung von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken.
TF	Testfall; definierter Test zur Überprüfung einer Funktion oder Anforderung.
Treatment Mode	Behandlungsmodus des Lasers, z.B. SRT, SP oder CW.
Treatment Pattern	Geplante Anordnung von Behandlungspunkten, die während der Laserbehandlung abgearbeitet werden.
True-RFD	Rückmeldungs- bzw. Detektionsfunktion im SRT-Kontext, deren Sensitivität im GUI angepasst werden kann.
TT-Device	Bestehendes Meridian-Gerät, dessen GUI als visuelle Referenz für den ersten Entwurf diene.
UC	Use Case; Beschreibung einer Benutzerinteraktion mit dem System zur Erfüllung eines bestimmten Ziels.
US	Use Scenario; Beschreibung einer realistischen Anwendungssituation im Nutzungskontext.
UI	User Interface; Benutzeroberfläche eines Systems.
USP	Unique Selling Point; zentrales Alleinstellungsmerkmal eines Produkts.
UX	User Experience; Gesamterlebnis eines Benutzers oder einer Benutzerin bei der Interaktion mit einem System.
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines; Richtlinien zur Barrierefreiheit digitaler Benutzeroberflächen.

Hilfsmittelverzeichnis

Aufgabenbereich	Tools
Literatur-Recherche und Verwaltung	Google, Google Scholar, ChatGPT
Datenanalyse und Visualisierung	ChatGPT
Architekturmodellierung	Structurizr DSL, Structurizr Playground
Ideengenerierung	ChatGPT, Figma, Figma AI
UI-Design und Prototyping	Figma, Figma AI
Coding und technische Umsetzung	ChatGPT, Codex, CMake, Qt Creator
Texterstellung, Textoptimierung, Rechtschreibe- und Grammatikprüfung	ChatGPT, DeepL
Dokumentation	Typst, Visual Studio Code
Zusammenarbeit und Projektmanagement	Jira, Teams, Outlook, GitLab
DevOps	GitLab
Versionsverwaltung	Git, GitLab

Anhang

A Aufgabenstellung	140
B Arbeitsumfeld und Vorgehen	142
B.1 Dokumentation	142
B.2 Code	142
B.3 Jira	142
B.4 Versionskontrolle	142
C Studien-GUI	143
C.1 Starting Screen	144
C.2 Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten	144
C.3 Modes	145
C.4 Behandlungsmodi	148
C.5 Behandlungs-Pattern	149
C.6 Error Handling	150
C.7 Fixation Target	151
D Meridian Styleguide	152
E Figma Usability Tests Interviewfragen	153
E.1 Vorinterview	153
E.2 Nachinterview	154
F Figma Usability Testszenarios	155
F.1 Szenario A – Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten	155
F.2 Szenario B – Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen	155
F.3 Szenario C – Eine Standardbehandlung planen	155
F.4 Szenario E – Behandlung sicher freigeben und durchführen	155
F.5 Szenario F – Behandlung dokumentieren und abschliessen	156
G Figma Usability Test- & Interviewprotokolle	157
G.1 Test 1 - Stellvertretender Chefarzt der Augenklinik	157
G.2 Test 2 - Leitende Ärztin der Augenklinik	160
H Externe Usability Testprotokolle	162
H.1 Externer Usability Test 1 - R&D Engineer	162
H.2 Externer Usability Test 2 - R&D Engineer	163
H.3 Externer Usability Test 3 - R&D Engineer	164
H.4 Externer Usability Test 4 - Optometristin	165
I Sequenz- und Architekturdiagramme	166
J Testfälle	170
J.1 Testfall 01 – Parameter konfigurieren für SRT/SP/CW	170
J.2 Testfall 02 – Parameter-Preset speichern und laden	170
J.3 Testfall 03 – Parameter-Preset nach Neustart laden	171
J.4 Testfall 04 – Pattern planen und anpassen	172
J.5 Testfall 05 – Pattern platzieren und Punkte löschen	173
J.6 Testfall 06 – Pattern mit Sperrfläche platzieren	174
J.7 Testfall 07 – Sperrfläche über Pattern setzen	175
J.8 Testfall 08 – Kreisrunde Sperrfläche glätten	176
J.9 Testfall 09 – Beliebige Sperrfläche glätten	177
J.10 Testfall 10 – Pattern-Punkte nach Glättung der Sperrfläche entfernen	178
J.11 Testfall 11 – Sperrfläche verschieben und Pattern dynamisch aktualisieren	179
J.12 Testfall 12 – Freihand-Pattern mit Punktabstand zeichnen	180
J.13 Testfall 13 – Fill-Pattern mit Punktabstand zeichnen	181
J.14 Testfall 14 – Fill-Pattern mit offener Form zeichnen	182
J.15 Testfall 15 – Fill- und Freihand-Pattern mit bestehenden Pattern kombinieren	183

J.16	Testfall 16 – Pattern teilweise ausserhalb des Bildbereichs platzieren	184
J.17	Testfall 17 – Pattern-Preset für einzelnes Pattern speichern und nach Neustart laden	185
J.18	Testfall 18 – Pattern-Kombination als Preset speichern und laden	186
J.19	Testfall 19 – Fixation Targets auswählen und Bildausschnitt prüfen	187
J.20	Testfall 20 – Wechsel in Treat-Step nur mit gelocktem Pattern erlauben	188
J.21	Testfall 21 – Behandlung und Neues Treatment starten	189
J.22	Testfall 22 – Teilbehandeltes Pattern nach Rückkehr in Plan bearbeiten	190
J.23	Testfall 23 – Sperrfläche nach Teilbehandlung hinzufügen	191
J.24	Testfall 24 – Workflow-Wechsel und automatische OCT-Scan-Modi prüfen	192
J.25	Testfall 25 – Imaging View verwenden und verlassen	193
J.26	Testfall 26 – Expert Mode und Service Mode wechseln	194
K	Protokolle der abschliessenden Usability-Tests und Akzeptanzbewertung	195
K.1	Testperson 1	195
K.2	Testperson 2	197
K.3	Testperson 3	199

A Aufgabenstellung

GUI Development for a Novel Treatment Laser Device

Beteiligte Personen

Nico Tuscano, nico.tuscano@ost.ch

Tobias Locher, tobias.locher@ost.ch

Betreuer dieser Arbeit

Prof. Dr.-Ing. Frieder Loch; frieder.loch@ost.ch

Experte

Dr. Michael Sollfrank

Problembeschreibung

Im Frühlingsemester 2026 soll ein modernes grafisches User Interface (GUI) für Meridians neues Selective-Retina-Therapy-(SRT)-Gerät entwickelt werden. Das neuartige Lasersystem dient der Behandlung der altersbedingten Makuladegeneration (AMD), einer retinalen Erkrankung, von der weltweit über 200 Millionen Menschen betroffen sind.

Ziel der Bachelorarbeit ist es, eine zeitgemässe, intuitive und normkonforme Benutzeroberfläche zu konzipieren, prototypisch umzusetzen und zu evaluieren. Im Fokus steht ein GUI, das den klinischen Workflow optimal unterstützt, die Sicherheit erhöht und sowohl Lasersteuerung als auch bildgebende Funktionen klar und verständlich abbildet.

Formulierung eines konkreten Auftrags

Die Arbeit soll die folgenden Aspekte behandeln. Nach Absprache kann im Verlauf der Arbeit vom beschriebenen Auftrag abgewichen werden:

- **Analyse der Anforderungen.** Analyse und Bewertung der bestehenden GUI des SRT-Geräts. Erhebung funktionaler, technischer und regulatorischer Anforderungen. Berücksichtigung relevanter Normen, insbesondere IEC 60601-2-22:2007 und IEC 62366-1.
- **Recherche und Abgrenzung.** Untersuchung medizinischer Benutzeroberflächen, Interaktionsprinzipien und branchenspezifischer Standards. Identifikation von Trends, Best Practices sowie Lücken und Potenzialen zur Verbesserung der aktuellen Lösung.
- **Nutzerzentrierte Analyse.** Gestaltung eines modernen, intuitiven und normkonformen GUIs nach einem nutzerzentrierten Vorgehen. Einbezug verschiedener Nutzergruppen. Berücksichtigung ergonomischer und sicherheitsrelevanter Aspekte im klinischen Umfeld.
- **Systemarchitektur und Technologieauswahl.** Definition einer geeigneten Systemarchitektur für das GUI sowie Auswahl geeigneter Technologien. Integration der Lasersteuerfunktionen und bildgebenden Features gemäss IEC 60601-2-22. Sicherstellung einer klaren, konsistenten und robusten Interaktionslogik.
- **Prototypische Umsetzung und Evaluation.** Entwicklung eines funktionsfähigen Prototyps der neuen Benutzeroberfläche. Validierung des Designs.
- **Kritische Reflexion.** Bewertung des Vorgehens, der Designentscheidungen, der technischen Umsetzung sowie der Sicherheit und Usability des GUIs. Diskussion möglicher Verbesserungen oder Erweiterungen in Hinblick auf einen späteren klinischen Einsatz.

Für das Projekt ist eine geeignete Methode des Projektmanagements zu wählen (z.B. agile Methoden, hybride Ansätze oder ein klassisches Vorgehen). Arbeitspakete, Meilensteine und eine realistische Zeitplanung sind zu dokumentieren und während des Projekts laufend zu aktualisieren.

Umfang und Form der erwarteten Resultate

Die Ergebnisse der Arbeit (Quellcode der Software inkl. Dokumentation, sowie der schriftliche Projektbericht) werden den Projektbeteiligten zur weiteren Nutzung zur Verfügung gestellt.

Bei der Erstellung des Berichts werden die üblichen Qualitätsstandards für die Erstellung wissenschaftlicher Arbeiten angewendet. So müssen z.B. alle Quellen (z.B. für Definitionen) konkret und spezifisch nachgewiesen werden. Dies gilt auch für alle Abbildungen, sofern sie nicht selbst erstellt wurden. Quellennachweise erfolgen im Literaturverzeichnis im APA-Stil.

Bei der Erstellung des Berichts werden die Empfehlungen des Bundes zur geschlechtergerechten Sprache berücksichtigt. ([Schweizerische Bundeskanzlei, 2023](#))

Anfangs- und Abgabetermin

- Start der Bearbeitung: **Montag, 16. Februar 2026**
- Abgabe: **Freitag, 12. Juni 2026 (17:00 Uhr)**

Zulässige Hilfsmittel und weitere Betreuung

Alle verwendeten Hilfsmittel müssen in der Arbeit aufgeführt werden. Die Nutzung von KI-Werkzeugen ist entsprechend der Leitlinie für den KI-Einsatz in der Lehre zulässig. Die Betreuung erfolgt durch die genannte Betreuungsperson. Es werden wöchentliche Beratungstermine vereinbart und von den Studierenden protokolliert.

B Arbeitsumfeld und Vorgehen

Für die Zusammenarbeit wurden gemeinsame Regeln für Dokumentation, Code, Aufgabenverwaltung und Versionskontrolle festgelegt. Sie dienen dazu, Änderungen nachvollziehbar zu halten und die Arbeit im Team konsistent zu organisieren.

B.1 Dokumentation

- Die Dokumentationssprache ist Deutsch.
- Die Dokumentation wird in Typst geschrieben.
- Für jedes Hauptkapitel (z.B. 2) wird ein Ordner erstellt, der eine Typst-Datei „00_<KapitelName>.typ“ enthält.
 - Innerhalb eines Ordners, wird für jedes Unterkapitel (z.B. 2.1) eine Typst-Datei mit dem Namen „XX_<UnterkapitelName>.typ“ erstellt. Die Nummer entspricht der Kapitelnummer.
- Um die Zusammenarbeit in Git zu vereinfachen, wird jeder Satz auf einer neuen Zeile geschrieben.

B.2 Code

- Der Code wird an allen erforderlichen Stellen mit Kommentaren versehen.
- Klassen und Methoden werden gemäss den Standard-Namenskonventionen benannt.

B.3 Jira

- Jira wird zur Zeiterfassung und zur Nachverfolgung des Projektfortschritts verwendet.
- Jede Aufgabe wird durch ein Ticket verfolgt.
- Tickets in der Spalte „TO DO“ enthalten eine Beschreibung der Aufgabe mit einer Definition of Done.
- Wenn ein Entwickler an einem Ticket arbeitet, wird es in die Spalte „IN PROGRESS“, verschoben und dem Entwickler zugewiesen.
- Wenn die Aufgabe abgeschlossen ist, erstellt der Entwickler einen Merge Request und verschiebt das Ticket in die Spalte „IN REVIEW“.
- Nachdem der Merge Request akzeptiert und Gemerged wurde, wird das Ticket in die Spalte „DONE“ verschoben und der Entwickler protokolliert die für die Aufgabe aufgewendete Zeit.

B.4 Versionskontrolle

- Zur Verwaltung des Codes wird ein Polyrepo in GitLab verwendet.
 - Das erste Repo ist für den gesamten Code des GUIs und allen damit verbundenen Bestandteilen vorgesehen.
 - Das zweite Repo ist für die Dokumentation.
- Branches und Commits werden einheitlich auf Englisch benannt.

Branching

- Jedes Ticket wird in einem separaten Branch bearbeitet.
- Die Branch-Namen sind wie folgt strukturiert:
 - Für das GUI-Repo: Der Branch-Name besteht aus der Ticketnummer und einer kurzen Beschreibung der Aufgabe. Die einzelnen Teile werden durch Bindestriche getrennt (z.B. „laser-12-add-new-feature“).
 - Für das Dokumentations-Repo: Der Branch-Name besteht aus der Ticketnummer, gefolgt von einer kurzen Beschreibung der Aufgabe, getrennt durch Bindestriche (z.B. „laser-22-write-documentation“).
- Änderungen am Main-Branch erfolgen ausschliesslich über Merge Requests.

Commits

- Commits werden regelmässig und strukturiert durchgeführt.
- Commit Messages bestehen aus der Ticketnummer, gefolgt von einer kurzen Beschreibung der Änderungen (z.B. „laser-12: Changed method to be more efficient“).

Merge Requests

- Für jeden Branch wird ein Merge Request erstellt.
- Der Name des Merge Requests entspricht dem Namen des Branches.
- Der Merge Request wird vom Feature-Branch zum Main-Branch erstellt.
- Der Merge Request wird von einem zweiten Entwickler geprüft und muss akzeptiert werden.
- Commits werden zusammengefasst und der Feature Branch wird nach dem Merge gelöscht.

C Studien-GUI

Dieses Unterkapitel gibt einen strukturierten Überblick über das in der Patientenstudie am Inselspital Bern eingesetzte GUI der CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE. Diese Studie ist auch während der Durchführung dieses Projekts noch nicht abgeschlossen. Basierend auf dem User Manual (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023) wird das System strukturiert beschrieben und anschliessend ein erstes Mal analysiert. Ziel ist es, die grundlegende Struktur, Hauptbereiche sowie den generellen Workflow des Systems zu erfassen.

Es setzt sich aus den in [Abbildung 62](#) dargestellten Teilen zusammen.

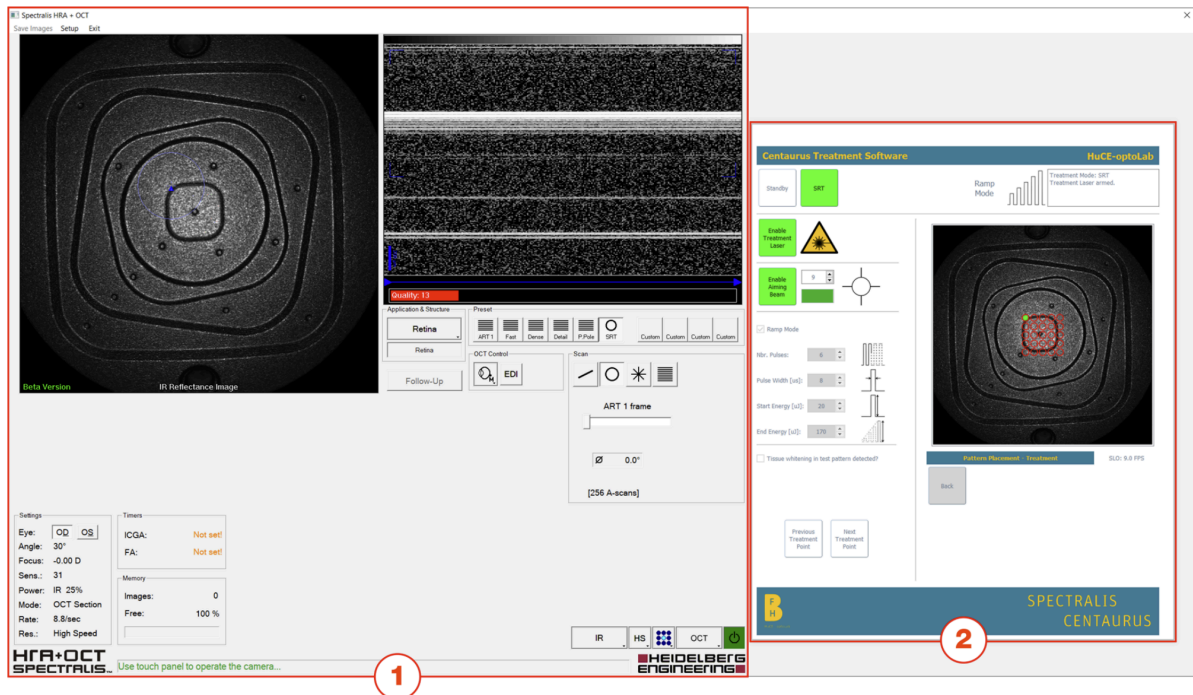


Abbildung 62: CENTAURUS TREATMENT SOFTWARE (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 49)

① HRA + OCT SPECTRALIS User Interface

Diese Komponente wird über die Plattform Heidelberg Eye Explorer (HEYEX) bereitgestellt und übernimmt die Bildakquisition sowie -analyse (SLO und OCT).

SLO (Scanning Laser Ophthalmoskopie) bezeichnet ein bildgebendes Verfahren, das ein hochkontrastreiches Live-Bild der Retina liefert, das insbesondere zur Orientierung und zur präzisen Platzierung von Behandlungs-Patterns dient. Neben verschiedenen Scan-Presets für B- und C-Scans stellt HEYEX ein spezielles SRT-Preset für M-Scans zur Verfügung, welches für die laserbasierte Dosimetrie erforderlich ist.

② CTS User Interface

Das CTS-Interface dient der Steuerung des MERILAS SRT Lasers sowie der Parametrierung der Behandlung (z.B. Pulsdauer, Pulsenergie, Anzahl Pulse, Rampenmodus). Zusätzlich ermöglicht es die Platzierung von Behandlungs-Pattern direkt auf dem SLO-Bild sowie die Kalibrierung des Lasers.

Das Ziel dieses Projekts ist die Neugestaltung des CTS User Interface. Neu soll es aber nur noch ein GUI geben, das HRA + OCT SPECTRALIS User Interface, soll nicht mehr angezeigt werden. Stattdessen sollen die nötigen Komponenten daraus, wie z.B. die verschiedenen Scans, direkt im neuen GUI konfiguriert und angezeigt werden können.

C.1 Starting Screen

Wenn das CTS gestartet wird, ist folgender Screen solange zu sehen, bis es sich mit dem Laser und HEYEX verbunden hat. Trotzdem bietet es bereits einige limitierte Funktionen, wie in [Abbildung 63](#) zu sehen ist.

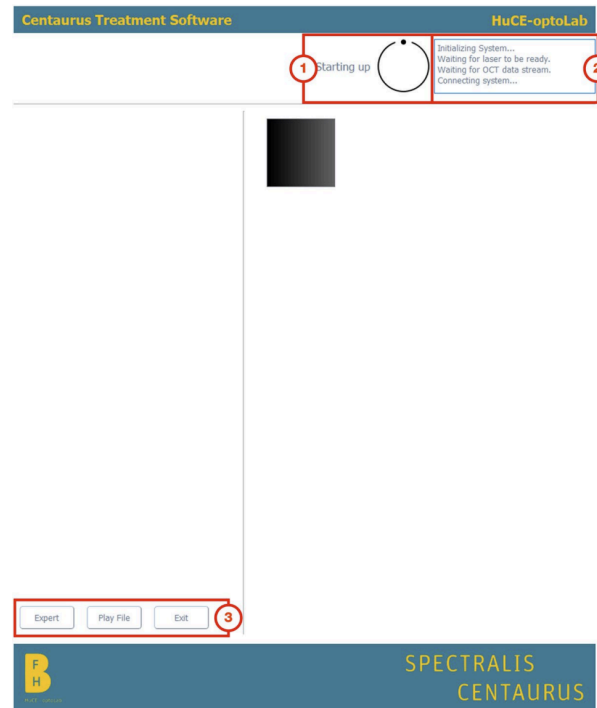


Abbildung 63: CTS UI Start Screen ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 50](#))

① System State

Hier wird der Systemstatus mit einem Icon und Text angezeigt.

② System Message

Nebst dem System State werden hier noch mehr Informationen darüber ausgegeben, was die Software gerade macht.

③ Basic Controls

Während des Systemstarts sowie im [Standby-Mode](#) stehen drei Grundfunktionen zur Verfügung:

- **Expert** öffnet einen passwortgeschützten Servicebereich für erweiterte Diagnose- und Konfigurationsfunktionen.
- **Play File** erlaubt das Laden und [Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten](#).
- **Exit** beendet die CTS-Applikation kontrolliert.

Im Behandlungsmodus werden die Buttons ausgeblendet, damit sie nicht versehentlich betätigt werden.

C.2 Abspielen zuvor aufgezeichneter Patientendaten

Über die Funktion **Play File** kann eine zuvor aufgezeichnete SRT-Datei mit HRA+OCT-Daten ausgewählt und abgespielt werden. Nach dem Klicken des Buttons lässt sich die gewünschte Datei im lokalen Dateisystem auswählen.

Während der Wiedergabe werden die Bilddaten in einer Endlosschleife angezeigt. In diesem Zustand werden die anderen Buttons inaktiv geschaltet und Play File wechselt zu **Stop** und ermöglicht das Beenden der Wiedergabe (siehe [Abbildung 64](#)).

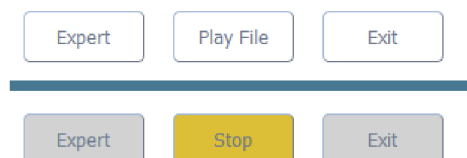


Abbildung 64: Vergleich Play File Button Status ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 51](#))

C.3 Modes

Im CTS gibt es den Standby und den SRT-Mode (siehe [Abbildung 65](#)). In diesem Kapitel werden die Modes und Workflows genauer beschrieben.

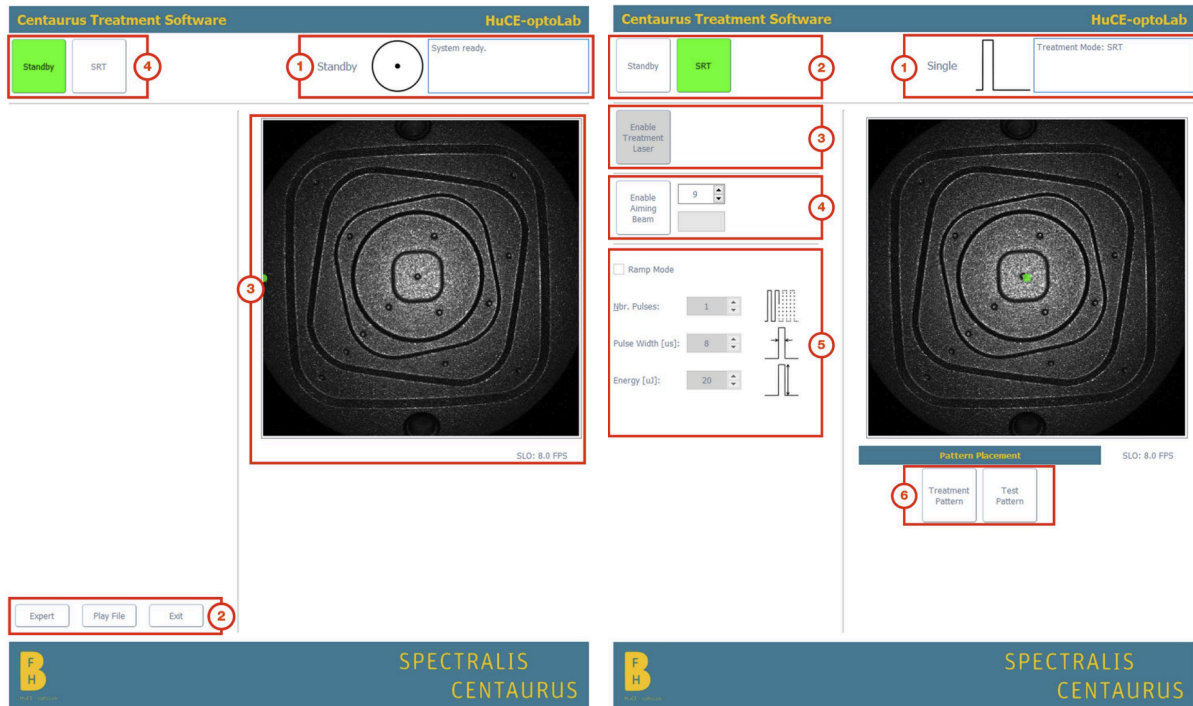


Abbildung 65: CTS UI Modes ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 52, 54](#))

Standby-Mode

Der Standby-Mode stellt den sicheren Grundzustand des Systems dar, in dem alle Komponenten verbunden und betriebsbereit sind, jedoch keine Laseremission möglich ist (siehe [Abbildung 66](#)).

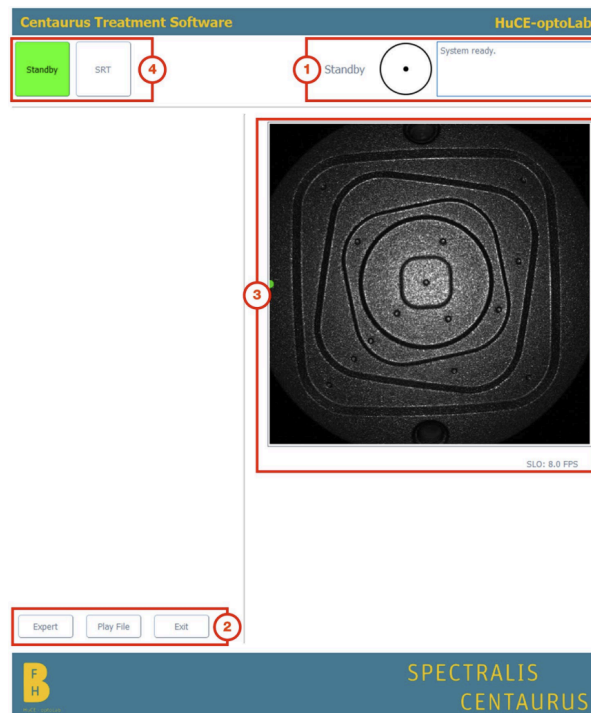


Abbildung 66: CTS UI Standby-Mode ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 52](#))

Voraussetzungen damit System in den Standby-Mode wechselt

- Laser ist verbunden und reagiert
- Bild-Stream von HEYEX hergestellt

① System State & System Message

Nach wie vor werden an der gleichen Stelle der System State und die System Message ausgegeben.

② Basic Controls

Auch hier sind wie bereits erwähnt die drei Funktionen zu sehen.

③ SLO Display

Hier wird das Live-SLO-Bild angezeigt, welches von HEYEX kommt. Im **Play File** Modus würden hier die vorher aufgezeichneten Patientendaten angezeigt werden. Unter dem Bild wird die Frame-Rate (FPS) angezeigt.

④ Behandlungsmodus Controls

Hier kann man den Modus wechseln, aktuell ist nur der SRT-Mode implementiert. Klickt man ihn an, wechselt das System nach einem Delay von 2 Sekunden in den SRT-Mode.

SRT-Mode

Der SRT-Mode stellt den eigentlichen Behandlungsmodus dar, in dem die Laserparameter konfiguriert, Behandlungs-Pattern auf dem SLO-Bild positioniert und nach expliziter Freigabe Laserimpulse über das Fusspedal ausgelöst werden können (siehe [Abbildung 67](#)).

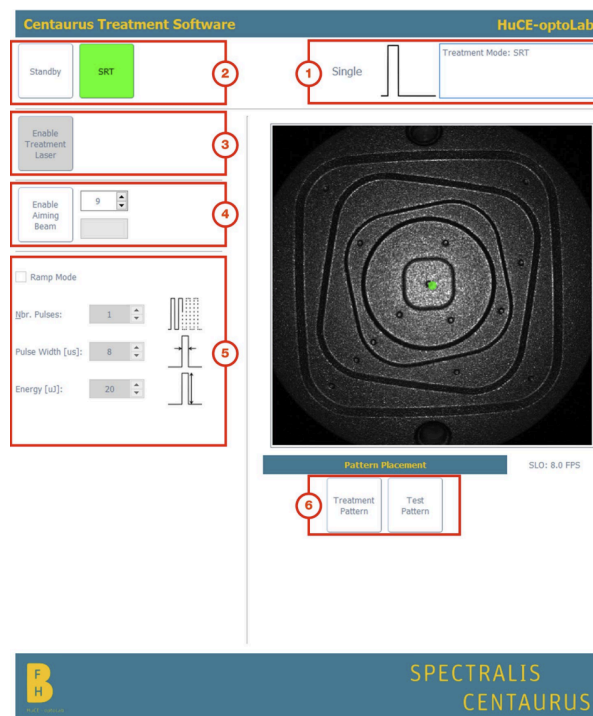


Abbildung 67: CTS UI SRT-Mode (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 54)

① System State & System Message

Neu wird hier auch der Behandlungsmodus angezeigt (in diesem Fall Single). Falls der Laser noch nicht verbunden ist, sind bei der System Message mehr Informationen zu sehen.

② Treatment Mode Controls

Es ist ersichtlich, dass nun der SRT-Mode aktiv ist.

③ Enable Treatment Laser

Der Laser wird erst durch **Enable Treatment Laser** aktiv geschaltet, der entsprechende Button wird dann grün hinterlegt. Wenn der Laser aktiv ist, können durch das Fusspedal Laserimpulse ausgelöst werden. Während der Impulse wird ein gelbes Warnsymbol angezeigt und das komplette GUI deaktiviert (siehe [Abbildung 68](#)).



Abbildung 68: Enable Treatment Laser States (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 56)

Voraussetzungen damit *Enable Treatment Laser* aktiviert werden kann

- Ein Pattern muss ausgewählt sein.
- Es müssen noch Punkte im Pattern übrig sein.
- SRT-Voreinstellung in HEYEX ist aktiviert.

④ Target Laser

Hier kann der Target Laser aktiviert werden und ein Level zwischen 0 und 9 gewählt werden, wobei 0 bedeutet, dass er inaktiv ist. Auch hier wird das aktivieren durch die Farbe und ein Icon verdeutlicht (siehe [Abbildung 69](#)).

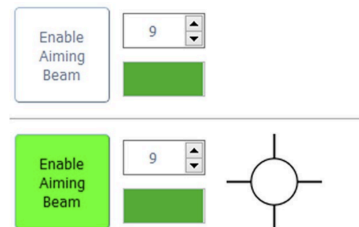


Abbildung 69: *Enable Aiming Beam States* (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 56)

⑤ Treatment Parameters

In diesem Bereich werden die für den gewählten Behandlungsmodus relevanten Laserparameter angezeigt und eingestellt.

Über die Checkbox Ramp Mode kann zwischen Single-/Burst-Betrieb und Ramp-Betrieb umgeschaltet werden. Die Modes und Parameter werden [später](#) genauer beschrieben.

⑥ Placing Treatment Patterns

Hier kann man zwischen dem Test Pattern und dem Treatment Pattern wählen, welche [später](#) genauer beschrieben werden.

C.4 Behandlungsmodi

Es gibt drei Behandlungsmodi:

Single	Ein einzelner Laserpuls wird mit der eingestellten Pulsdauer und Pulsenergie abgegeben.
Burst	Mehrere identische Laserpulse werden mit einer Wiederholrate von 100 Hz nacheinander abgegeben, wobei Anzahl, Pulsdauer und Pulsenergie für alle Pulse gleichermassen gelten.
Ramp	Mehrere Laserpulse werden mit konstanter Pulsdauer und 100 Hz abgegeben, wobei die Pulsenergie von einem definierten Startwert bis zu einem Endwert linear ansteigt.

Tabelle 82: Behandlungsmodi im SRT-Mode

Der System State und die System Message passen sich entsprechend an (siehe [Abbildung 70](#)).

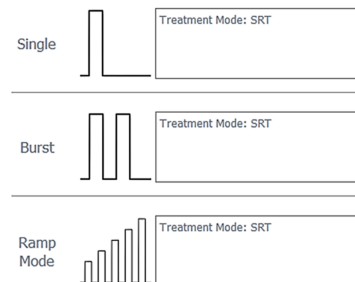


Abbildung 70: System States & Messages der verschiedenen Behandlungsmodi (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 55)

Parameter

Bei den Behandlungsparametern kann der Modus über eine Checkbox gewechselt werden. Der Single-Mode unterscheidet sich vom Burst-Mode in der Anzahl der Impulse (siehe [Abbildung 71](#)).

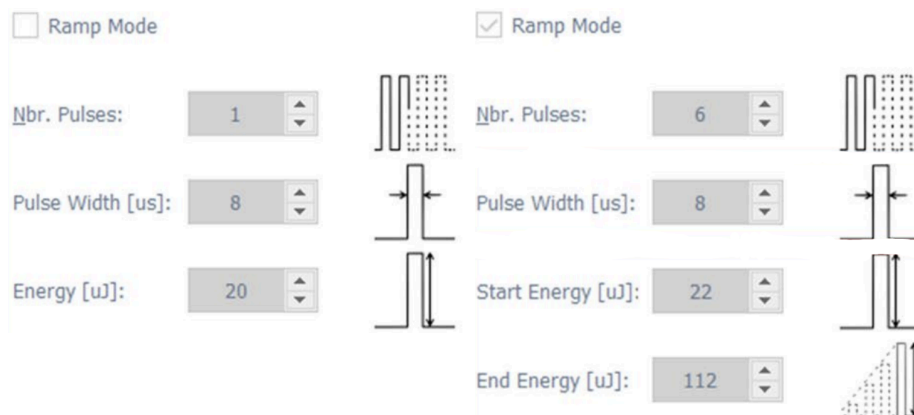


Abbildung 71: CTS UI Vergleich Behandlungsparameter (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 58, 60)

Die Behandlungsparameter unterscheiden sich je nach Mode leicht und werden in der folgenden Tabelle genauer beschrieben.

Parameter	Single / Burst	Ramp	Beschreibung
Ramp Mode (Checkbox)	–	aktiviert	Schaltet auf Ramp-Mode um.
Nbr. Pulses	1–30 1 = Single, >1 = Burst	1–30	Anzahl abgegebener Impulse pro Auslösung.
Pulse Width [μ s]	2–20 μ s	2–20 μ s	Pulsdauer eines einzelnen Laserimpulses.
Pulse Energy [μ J]	20–180 μ J (konstant)	–	Energie pro Impuls (konstant) bei Single/Burst.
Start Energy [μ J]	–	20–180 μ J	Startwert der Pulsenergie im Ramp-Mode.
End Energy [μ J]	–	20–180 μ J	Endwert der Pulsenergie, wobei die Energie zwischen Start- und Endwert linear ansteigt.

Tabelle 83: Treatment Parameter im SRT-Mode

C.5 Behandlungs-Pattern

Im SRT-Mode stehen ein Test Pattern und ein Treatment Pattern zur Verfügung. Zu Beginn setzt der Arzt oder die Ärztin ein Test Pattern meist in einem peripheren Bereich der Netzhaut ausserhalb der zentralen Sehzone, um die passende Laserenergie für den jeweiligen Patienten oder die jeweilige Patientin zu bestimmen (siehe Abbildung 72). Anhand dieser Testung wird die individuell geeignete Energie festgelegt, wobei für die eigentliche Behandlung im Treatment Pattern häufig eine leicht reduzierte Leistung, wie z.B. 80% der ermittelten Schwellenenergie, verwendet wird, um eine sichere und kontrollierte Therapie zu gewährleisten.

Test Pattern

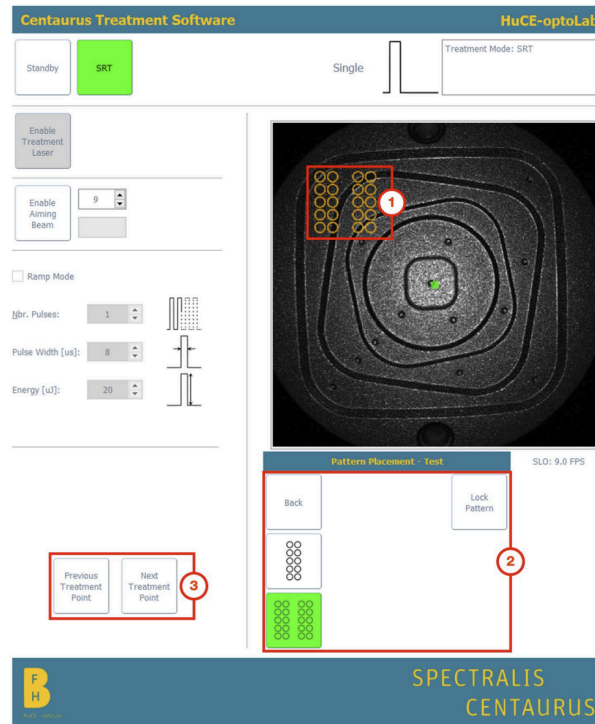


Abbildung 72: CTS UI Test Pattern (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 58)

① Pattern placement

Das Pattern kann man auf dem SLO-Bild frei platzieren und schliesslich locken. Nach dem Locken ändert sich die Farbe des Patterns von orange auf rot.

② Change and set Pattern

Man kann zwischen dem Single und Double Pattern wählen. Danach platziert man den Pattern wie oben beschrieben.

③ Navigation

Nach dem Locken, kann man mit diesen zwei Buttons zwischen den Behandlungspunkten hin und her springen. Die aktuelle Position des Lasers sieht man anhand des grünen Punktes im Pattern. Bereits behandelte oder übersprungene Positionen sind mit einem roten Punkt gefüllt (siehe Abbildung 73).

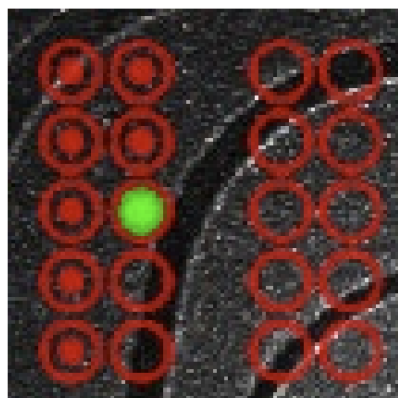


Abbildung 73: Pattern während der Behandlung (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 59)

Treatment Pattern

Das Treatment Pattern ist sehr ähnlich zum Test Pattern. Es gibt neu kein Double Pattern mehr und die Parameter sind leicht anders (siehe [Abbildung 74](#)).



Abbildung 74: CTS UI Treatment Pattern (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 60)

① Pattern placement

Das Pattern ist neu 5×5 gross und kann nach wie vor auf dem SLO-Bild platziert werden. Im neuen GUI kommen verschiedene neue Patterns hinzu.

② Tissue Whitening Threshold

Falls im Test-Mode nun der entsprechende Energieschwellenwert ermittelt wurde, kann man die Checkbox anwählen und den Threshold entsprechend setzen.

③ Start and Stop Energy

Die Start und End Energy hängen von der Checkbox aus ② ab. In diesem Fall ist die End Energy 80% des Thresholds.

C.6 Error Handling

Wenn zu einem beliebigen Zeitpunkt die Verbindung zum Laser oder HEYEX abbricht, wechselt das System sofort in einen Fehlerzustand (siehe [Abbildung 75](#)).

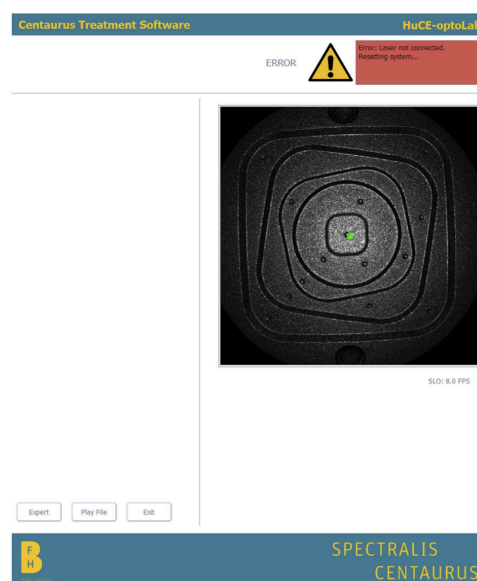


Abbildung 75: CTS UI Error State (Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 61)

Das System gibt Informationen oder Fehlercodes aus und versucht, die Verbindung erneut herzustellen.

C.7 Fixation Target

Das Fixation Target ist ein visueller Fixationspunkt, den der Patient oder die Patientin während der Bildgebung und der Behandlung betrachtet, dadurch richtet sich sein Blick entsprechend aus, sodass gezielt bestimmte Bereiche der Retina für Diagnose oder Behandlung dargestellt werden können.

Die Konfiguration erfolgt über vordefinierte Fixationspositionen, diese werden über eine 3x3-LED-Matrix von Fixationspunkten dargestellt, die dem Patienten oder der Patientin im Okular angezeigt werden. Durch die Auswahl einer bestimmten Position kann der Arzt oder die Ärztin den Patienten oder die Patientin anweisen, in eine bestimmte Richtung zu schauen. Dadurch lassen sich verschiedene Bereiche der Retina gezielt ins Zentrum des Bildes verschieben (siehe [Abbildung 76](#)).

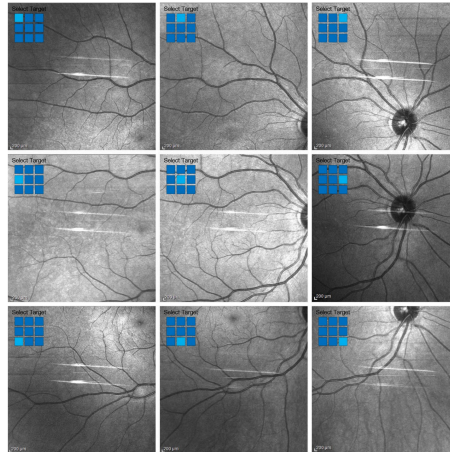


Abbildung 76: verschiedene Fixation Target Positionen ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 63](#))

Im aktuellen System wird das Fixation Target über HEYEX oder das Touch Panel (Bild unten) gesteuert. Das CTS selbst besitzt keine direkte Kontrolle darüber (siehe [Abbildung 77](#)).



Abbildung 77: Fixation Target Konfiguration Touch Panel ([Bern University of Applied Sciences, HuCE - optoLab, 2023, S. 63](#))

Da sich die Steuerung des Fixation Targets derzeit nicht im CTS integriert ist, entsteht ein weiterer Medienbruch zwischen den beiden Systemen. Für ein zukünftiges integriertes GUI wäre es sinnvoll, die Auswahl und Anzeige des Fixation Targets direkt im neuen Interface verfügbar zu machen.

D Meridian Styleguide

Der interne Styleguide von Meridian definiert unter anderem die Unternehmensfarben sowie grundlegende visuelle Prinzipien, die für ein konsistentes Erscheinungsbild der Produkte sorgen (siehe [Abbildung 78](#)). Für die Gestaltung der Farbpalette des SRT-GUI waren insbesondere folgende Farben relevant:

- Meridian Blue (**#005CA9**) als zentrale Markenfarbe
- Meridian Orange (**#F5A057**) als ergänzende Akzentfarbe
- Grautöne (**#9D9C9C**) für neutrale Inhalte

H: 207° S: 100% B: 66%	L: 37 a: -5 b: -51	R: 0 G: 92 B: 169	C: 100 M: 60 Y: 0 K: 0	RAL: # 5015 HEX: # 005ca9 HKS: # 44 PMS: # 2955
H: 0° S: 0% B: 61%	L: 65 a: -1 b: -1	R: 156 G: 156 B: 156	C: 0 M: 0 Y: 0 K: 50	RAL: # 9022 HEX: # 9d9c9c HKS: # 95 PMS: # 7539
H: 26° S: 64% B: 96%	L: 74 a: 26 b: 48	R: 245 G: 160 B: 87	C: 0 M: 45 Y: 70 K: 0	RAL: # 1034 HEX: # f5a057 HKS: # 11 PMS: # 1495

Meridian Blue

Meridian Grey

Meridian Orange

Abbildung 78: Farbschema gemäss internem Meridian Styleguide ([Meridian AG, 2021, S. 4](#))

Die im Styleguide definierten Farben sind primär für Branding und technische Darstellung vorgesehen und wurden daher für die Benutzeroberfläche funktional erweitert.

E Figma Usability Tests Interviewfragen

E.1 Vorinterview

E.1.1 Allgemeine Informationen

- Welche Rolle/Beruf üben Sie aktuell aus?
- In welchem Arbeitsumfeld sind Sie tätig?
- Wie viele Jahre Berufserfahrung haben Sie in diesem Bereich?

E.1.2 Erfahrung mit ophthalmologischen Geräten

- Mit welchen ophthalmologischen Geräten arbeiten Sie regelmässig? (z.B. Laser, OCT, Funduskamera)
- Haben Sie bereits mit Laserbehandlungen am Auge gearbeitet?
 - Falls ja: Welche Systeme oder Hersteller haben Sie verwendet?
 - Wie häufig führen Sie solche Behandlungen durch?

E.1.3 Erfahrung mit Software / GUIs

- Wie häufig arbeiten Sie mit medizinischer Software oder GUIs?
- Welche Systeme nutzen Sie dabei konkret?
- Wie schätzen Sie Ihre allgemeine Erfahrung im Umgang mit solchen Systemen ein?
- Sind sie zufrieden mit den aktuellen Systemen?

E.1.4 Erwartungen und Bedürfnisse

- Was ist Ihnen bei der Bedienung eines medizinischen Geräts besonders wichtig?
- Welche Probleme oder Schwierigkeiten treten bei bestehenden Systemen häufig auf?
- Was würde für Sie eine "gute" Benutzeroberfläche in diesem Kontext ausmachen?

E.1.5 Erfahrung mit unserem medizinischen Kontext (SRT / AMD)

- Sind Sie mit der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) vertraut?
- Haben Sie bereits Patienten oder Patientinnen mit AMD behandelt oder diagnostiziert?
- Ist Ihnen die selektive Netzhauttherapie (SRT) bekannt?
 - Falls ja: Haben Sie bereits mit SRT oder ähnlichen Lasertherapien gearbeitet?
- Haben Sie bereits mit HEYEX oder OCT-Scans gearbeitet?

E.2 Nachinterview

E.2.1 Allgemeiner Eindruck

- Wie ist Ihr Gesamteindruck vom System?
- Was hat Ihnen besonders gut gefallen?
- Was hat Sie gestört oder irritiert?

E.2.2 Verständlichkeit & Workflow

- Wie verständlich war für Sie der Aufbau und die Struktur des Systems?
- Hatten Sie jederzeit das Gefühl zu wissen, wo Sie sich im Workflow befinden?
- Entspricht der Ablauf der Schritte Ihrer Erwartung aus dem klinischen Alltag?
- Gibt es Stellen, die Sie anders strukturieren oder anordnen würden?

E.2.3 Bildgebung (SLO / OCT)

- Wie gut konnten Sie sich in der Bildgebung orientieren?
- War für Sie anhand der farblichen Hervorhebung im OCT-Bild klar erkennbar, wann die Bildqualität für eine Behandlung ausreichend ist?
- Hat Ihnen etwas gefehlt, um die Bildgebung besser beurteilen zu können?

E.2.4 Laserparameter & Vorbereitung

- Wie verständlich war für Sie die Darstellung der Laserparameter?
- Hatten Sie das Gefühl, die Parameter kontrolliert und sicher anpassen zu können?

E.2.5 Pattern & Planung

- Wie empfanden Sie die Platzierung und Anpassung von Patterns?
- Welche Art der Bearbeitung hat sich für Sie am natürlichsten oder effizientesten angefühlt?
(z.B. Verschieben, Freihand, einzelne Punkte löschen, Sperrflächen)
- Gab es Funktionen, die Sie nicht erwartet hätten oder die Ihnen gefehlt haben?

E.2.6 Behandlung & Sicherheit

- Wie sicher haben Sie sich beim Freigeben und Ausführen der Behandlung gefühlt?
- War für Sie klar, wann das System bereit für die Behandlung ist?

E.2.7 Verbesserung & Abschluss

- Was würden Sie als Erstes verbessern, wenn Sie könnten?
- Gibt es etwas, das unbedingt hinzugefügt oder entfernt werden sollte?
- Würden Sie sich vorstellen können, mit einem solchen System im Alltag zu arbeiten?
- Wie ist die Benutzeroberfläche im Vergleich zu den Benutzeroberflächen, welche Sie sich aus dem medizinischen Alltag gewohnt sind.

F Figma Usability Testszenarios

F.1 Szenario A – Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten

Guten Morgen Dr. med. Muster, es ist 10:00 Uhr und Frau Koch, geboren am 15.01.1960, sitzt bereits am Gerät. Es soll das rechte Auge mit SRT behandelt werden, welches von einer frühen Form der trockenen AMD betroffen ist.

Ihre Assistenzärztin hat die Patientin bereits am Gerät geladen. Verschaffen Sie sich einen Überblick, prüfen Sie, ob die angezeigten Patientendaten zur geplanten Behandlung passen, und bereiten Sie das System so vor, dass Sie mit der Behandlungsplanung für eine SRT-Therapie beginnen könnten.

Deckt ab:

UC04 - Workflow-Anzeige , UC05 - Patientendaten anzeigen , UC11 - Treatment Mode wechseln

F.2 Szenario B – Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

Die Patientin hat ihren Kopf bereits korrekt am Gerät platziert und schaut in Richtung Laser.

Sie sind mit dem Bereich noch nicht zufrieden und möchten gerne den Bereich der Retina im oberen linken Teil des SLO-Bildes beurteilen. Stellen Sie die Bildgebung so ein, dass dieser Bereich gut sichtbar ist und Sie die Qualität der Aufnahme zuverlässig einschätzen können. Im Moment steht die Bildgebung im Vordergrund, eine Behandlung ist noch nicht vorgesehen.

Deckt ab:

UC02 - OCT-Scan durchführen , UC12 - Fixation Target Position wählen , UC20 - Bildgebungsmaske

F.3 Szenario C – Eine Standardbehandlung planen

Sie möchten die geplante Behandlung nun vorbereiten.

Setzen bzw. prüfen Sie dafür die entsprechenden Parameter:

- Pulse Duration: 50 μ s
- Pulse Energy: 90 mW
- iRAMP: 15 Pulse
- True-RFD Sensitivity: 13

Da Sie öfters diese Parameter-Einstellung benötigen, speichern Sie sich diese für später.

Deckt ab:

UC03 - Laserparameter konfigurieren

F.3.1 Szenario D – Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

Nachdem Sie nun die Parameter entsprechend gesetzt und geprüft haben, wechseln Sie in den Planungsmodus, um dort den Pattern zu planen. Als Nächstes möchten Sie ein geeignetes Pattern für den vorgesehenen Behandlungsbereich platzieren. Platzieren Sie ein oder mehrere Pattern so, dass alle Krankheits-Flecken gut abgedeckt sind, ohne dabei die Blutgefäße zu treffen.

Eines der Pattern finden Sie sehr nützlich. Sie möchten ihn für später speichern, um ihn nochmals zu verwenden.

Deckt ab:

UC06 - Pattern konfigurieren , UC07 - Pattern platzieren und anpassen , UC08 - Laserstatus anzeigen und steuern , UC15 - Einzelne Pattern-Punkte löschen , UC16 - Freihand-Pattern zeichnen , UC17 - Sperrflächen definieren und löschen , UC18 - Pattern als Preset speichern und laden , UC19 - Pattern-Punkte auf Blutgefäßen automatisch entfernen

F.4 Szenario E – Behandlung sicher freigeben und durchführen

Sie sind mit Ihrer Planung zufrieden und möchten die Behandlung nun durchführen. Prüfen Sie vorher nochmals anhand des SLO- und OCT-Bildes (M-Scan), ob der relevante Bereich passend dargestellt ist und die aktuelle Aufnahmesituation für eine Behandlung ausreichend ist. Setzen Sie den Laser auf Ready und lösen Sie die Laser-Emissionen aus.

Deckt ab:

UC02 - OCT-Scan durchführen , UC08 - Laserstatus anzeigen und steuern , UC09 - Behandlung ausführen

F.5 Szenario F – Behandlung dokumentieren und abschliessen

Sie haben die Behandlung nun erfolgreich abgeschlossen. Zunächst möchten Sie eine Zusammenfassung der durchgeführten Behandlung ansehen. Anschliessend möchten Sie den Behandlungsreport für die Patientenakte herunterladen und den Laser herunterfahren.

Deckt ab:

UC04 - Workflow-Anzeige , UC13 - Applikation beenden , UC14 - Behandlungsreport ansehen und exportieren

G Figma Usability Test- & Interviewprotokolle

G.1 Test 1 - Stellvertretender Chefarzt der Augenklinik

Testperson	Testperson 1
Beruf/Funktion	Stellvertretender Chefarzt der Augenklinik, Stadtspital Zürich Triemli
Testdatum	04.05.2026
Testort	Stadtspital Zürich Triemli
Testgerät	Touchscreen eines 14-Zoll-Windows-Notebooks
Testleiter	Nico Tuscano
Protokollführer	Tobias Locher

Tabelle 84: Testinfos Usability Test 1

G.1.1 Vorinterview

Allgemeine Informationen

- Welche Rolle/Beruf üben Sie aktuell aus?
 - [Leitender Arzt, Leiter Ambulantes Zentrum Augenklinik](#)
- Wie viele Jahre Berufserfahrung haben Sie in diesem Bereich?
 - [11 Jahre](#)

Erfahrung mit ophthalmologischen Geräten, Software und GUIs

- Welche medizinischer Software oder GUIs nutzen Sie?
 - [z.B. Navilas](#)
- Sind sie zufrieden mit den aktuellen Systemen bzw. GUIs?
 - [Geräte haben Vor- und Nachteile.](#)
 - [Planungs-Screen ist oft zu klein -> Präzision geht verloren bei Touch, deshalb schliesst er beim Navilas eine Maus an.](#)
 - [Norlase: hat einen neuen sehr kleinen Laser, kann man überall mithinnehmen.](#)
 - [Teilweise sind die Geräte zu wenig intuitiv bzw. bieten zu viele Möglichkeiten im GUI. Navilas ist da ein Beispiel.](#)
 - [Alles kann man i.d.R. nicht im Touch-GUI abbilden, es braucht immer noch ein paar Knöpfe.](#)

Erwartungen und Bedürfnisse

- Was ist Ihnen bei der Bedienung eines medizinischen Geräts/GUIs besonders wichtig?
 - [Präzision](#)
 - [intuitive Bedienung](#)
 - [Übersichtlichkeit](#)
 - [nicht zu viele ablenkende Farben, Dunkel ist gut, Farben machen nur Unruhe](#)
 - [so wenige Buttons wie möglich](#)
 - [weniger ist mehr](#)
 - [Alles soll auf einen Blick ersichtlich sein.](#)
- Welche Probleme oder Schwierigkeiten treten bei bestehenden Systemen häufig auf?
 - [teilweise kleine Screens -> Präzision geht verloren](#)

G.1.2 Nachinterview

Allgemeiner Eindruck

- Wie ist Ihr Gesamteindruck vom System?
 - [gut](#)
- Was hat Ihnen besonders gut gefallen?
 - [Flow von links nach rechts ist gut.](#)
- Was hat Sie gestört oder irritiert?
 - [UI könnte noch besser geordnet sein: Parameter Presets sollten bei Parametern sein.](#)
 - [Imaging: Im OCT-Scan sieht man die Drusen -> man sollte im SLO-Bild auch sehen wo dies im OCT ist.](#)

- Er hinterfragt, ob das Fixation Target nötig/nützlich ist, da er in der Praxis oft erlebt, dass Personen mit (fortgeschrittenem) AMD den Punkt gar nicht mehr sehen können.

Verständlichkeit & Workflow

- Wie verständlich war für Sie der Aufbau und die Struktur des Systems?
 - Workflow ist gut.
- Hatten Sie jederzeit das Gefühl zu wissen, wo Sie sich im Workflow befinden?
 - Ja
- Entspricht der Ablauf der Schritte Ihrer Erwartung aus dem klinischen Alltag?
 - Ja
- Gibt es Stellen, die Sie anders strukturieren oder anordnen würden?
 - Parameter-Presets anders platzieren

Bildgebung (SLO / OCT)

- War für Sie anhand der farblichen Hervorhebung im OCT-Bild klar erkennbar, wann die Bildqualität für eine Behandlung ausreichend ist?
 - Ja
- Hat Ihnen etwas gefehlt, um die Bildgebung besser beurteilen zu können?
 - Imaging: Im OCT-Scan sieht man die Drusen -> man sollte im SLO-Bild auch sehen wo dies im OCT ist.

Laserparameter & Vorbereitung

- Wie verständlich war für Sie die Darstellung der Laserparameter?
 - Gut, einige Parameter nicht 100% klar, was sie machen, das liegt aber daran, dass es ein neues Gerät ist, welches er noch nicht kennt.
- Hatten Sie das Gefühl, die Parameter kontrolliert und sicher anpassen zu können?
 - Ja, aber die + und - Buttons dürften noch grösser sein.

Pattern & Planung

- Wie empfanden Sie die Platzierung und Anpassung von Patterns?
 - 1. und - Buttons zum Hinzufügen von Spalten/Reihen gut
 - Rotieren und verschieben auch gut
- Welche Art der Bearbeitung hat sich für Sie am natürlichsten oder effizientesten angefühlt? (z.B. Verschieben, Freihand, einzelne Punkte löschen, Sperrflächen)
 - Freihand ist super und nützlich für einzelne Punkte.
 - Fill ist auch Smart.
 - Einzelne Punkte zu löschen kann auch nützlich sein
 - Unnötige Formen: ARC, Linie, Triangle.
 - Er würde gerne gelockte nochmals bearbeiten können bzw. er empfindet das Locken generell als unnötigen Zusatzschritt. Alternativ könnte man auch beim Auswählen des nächsten Patterns, den gerade bearbeiteten automatisch locken.
 - Er hinterfragt auch, ob es Pattern-Presets braucht, da jedes Auge individuell ist.
- Gab es Funktionen, die Sie nicht erwartet hätten oder die Ihnen gefehlt haben?
 - Undo-Button, um letzten Pattern zu löschen bzw. Änderung rückgängig zu machen, wäre nützlich.

Behandlung & Sicherheit

- Wie sicher haben Sie sich beim Freigeben und Ausführen der Behandlung gefühlt?
 - Sicher
- War für Sie klar, wann das System bereit für die Behandlung ist?
 - Ja

Verbesserung & Abschluss

- Was würden Sie als verbessern, wenn Sie könnten?
 - Grösserer Screen, damit das SLO-Bild in der Mitte grösser dargestellt werden kann.
- Würden Sie sich vorstellen können, mit einem solchen System im Alltag zu arbeiten?
 - Ja mit ein paar Verbesserungen, aber GUI sieht gut aus.
- Wie ist die Benutzeroberfläche im Vergleich zu den Benutzeroberflächen, welche Sie sich aus dem medizinischen Alltag gewohnt sind.

- Es gibt ganz verschiedene GUIs, bei uns sind folgende Punkte gut im Vergleich:
 - Farbwahl ist gut, wenige Farben und dunkel.
 - wenige Buttons
 - Intuitiver Workflow
 - Übersichtlichkeit ist gut bei uns, es hat auch nicht zu viele Buttons.

G.1.3 Testprotokoll

Szenario A – Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten

- Sieht Patientendaten im GUI und vergleicht sie

Szenario B – Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

- Wechselt zwischen OCT-Scan-Modis
- Will direkt ins Bild klicken und zoomen, findet Fixation Target nicht

Szenario C – Eine Standardbehandlung planen

- Setzt die Parameter korrekt
- Hat Preset speichern nicht gefunden
- Hätte Preset eher bei den Parametern direkt erwartet, z.B. darunter

Szenario D – Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

- Drehen und Grösser/Kleiner machen des Pattern als gut empfunden
- Erase Points genutzt und als gut empfunden
- Lock Pattern nicht direkt gefunden
- Freehand auch getestet, empfindet es praktisch für einzelne Punkte

Szenario E – Behandlung sicher freigeben und durchführen

- Pattern in Presets gesichert
- Behandlung im GUI durchgeführt

Szenario F – Behandlung dokumentieren und abschliessen

- Geklappt

G.2 Test 2 - Leitende Ärztin der Augenklinik

Testperson	Testperson 2
Beruf/Funktion	Leitende Ärztin, Augenklinik, Stadtspital Zürich Triemli
Testdatum	04.05.2026
Testort	Stadtspital Zürich Triemli
Testgerät	Touchscreen eines 14-Zoll-Windows-Notebooks
Testleiter	Nico Tuscano
Protokollführer	Tobias Locher

Tabelle 85: Testinfos Usability Test 2

G.2.1 Vorinterview

Allgemeine Informationen

- Welche Rolle/Beruf üben Sie aktuell aus?
 - [Leitende Ärztin, Augenklinik, Stadtspital Zürich Triemli](#)
- Wie viele Jahre Berufserfahrung haben Sie in diesem Bereich?
 - [5 Jahre](#)

G.2.2 Nachinterview

Allgemeiner Eindruck

- Wie ist Ihr Gesamteindruck vom System?
 - [Style gefällt ihr](#)
 - [simpel gehalten -> gut](#)
- Was hat Sie gestört oder irritiert?
 - [Farbe der Preset-Buttons -> wirken wie disabled. Man merkt nicht, dass man sie anklicken kann/soll.](#)

Verständlichkeit & Workflow

- Entspricht der Ablauf der Schritte Ihrer Erwartung aus dem klinischen Alltag?
 - [Grundsätzlich ja](#)
 - [Sie hinterfragt „Lock“. Dies könnte man weglassen oder automatisch machen.](#)

Pattern & Planung

- Wie empfanden Sie die Platzierung und Anpassung von Patterns?
 - [gut](#)
 - [Freehand sollte wie bei Navilas sein, siehe Protokoll Szenario D](#)
- Welche Art der Bearbeitung hat sich für Sie am natürlichsten oder effizientesten angefühlt? (z.B. Verschieben, Freihand, einzelne Punkte löschen, Sperrflächen)
 - [Freehand](#)

G.2.3 Testprotokoll

Szenario A – Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten

- Checkt Patientendaten und findet sie im GUI.

Szenario B – Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

- Findet Fixation Target nicht direkt, bzw. hat das Szenario nicht ganz verstanden.

Szenario C – Eine Standardbehandlung planen

- Parameter korrekt kontrolliert und eingestellt.
- Will in den Einstellungen oben rechts etwas machen, beim Suchen der Presets.
- Findet Preset-Buttons nicht, da sie ihrer Meinung nach etwas nach disabled aussehen, sie würde die Buttons z.B. weiss machen.

Szenario D – Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

- „Continue“ gefunden, um zu „Plan“ zu kommen.
- Kann vergrössern und drehen.
- Findet verschieben-Funktion etwas spät, da es keinen Button hat, sondern man halten und schieben muss.
- Locken irritiert sie etwas, wenn man es nicht weiss. Hat intuitiv nicht gelockt.
- Stört, dass man das gelockte nicht mehr editieren kann.
- Vergleicht mit Navilas.
- Freehand soll wie Navilas sein, wenn man mehrfach über die gleiche Stellen geht, dann soll es keine Überschneidungen machen, sondern die Punkte im korrekten Abstand zueinander anordnen und keine neuen mehr machen, wenn es dort schon Punkte hat. (Dies ist aber auch eine Limitation des Figma-Prototypen, dieser soll und kann solche Funktionen nicht perfekt nachstellen.)
- Preset sollte alles speichern, was gelocked ist und nicht nur das aktive Pattern, welches man gerade am editieren ist.
- Lock (und Unlocken) kann man ihrer Meinung nach ganz streichen.

Szenario E – Behandlung sicher freigeben und durchführen

- Will zuerst auf Statusanzeige „Standby“ oben klicken anstelle von „Arm Laser“.
- Klickt danach aber auf „Arm Laser“.

Szenario F – Behandlung dokumentieren und abschliessen

- Fragt sich, wo man das Vorher-Nachher-Bild machen/sehen kann. Kommt es im Report oder muss man es manuell machen?
- Sie macht auch jeweils nach einem einzelnen Laser-Punkt ein erstes Vorher-Nachher-Bild als kleine Kontrolle.

H Externe Usability Testprotokolle

H.1 Externer Usability Test 1 - R&D Engineer

Testperson	Externe Testperson 1
Beruf/Funktion	R&D Engineer, Meridian Medical, Thun

Tabelle 86: Testinfos externer Usability Test 1

Sieht schon nicht schlecht aus! Mir sind einmal die folgenden Punkte aufgefallen:

- SRT:
 - Statt iRAMP, müsste hier Max. Number of Pulses stehen
 - Falls das feature iRAMP ein- und ausschaltbar sein soll, dann einen entsprechenden Toggle/Switch hinzufügen
 - „Sensitivity“ sollte eher gleich nach True-RFD stehen
 - Pulse Energy ist in mW statt uJ
- SP/CW:
 - Pulse Power ist in ms statt mW
 - Step sizes: Pulse Duration: 10 ms, Pulse Power: 20 mW
 - Pulse-Interval kann weggelassen werden, macht bei keinem Behandlungsmodus Sinn, es wird ja das gezeichnete Pattern einfach abgefahren
- Treatment Planning:
 - Alles noch etwas umständlich/laggy
 - Pattern presets funktionieren sehr gut (ggf. Könnte kleine Vorschau des gesp. Pattern auf den Button gezeichnet werden)
 - Beim TT haben wir den Button für den Arc als Toggle zwischen 1x und 3x Arc, brauchen wir das hier?
 - Punktabstand nicht konsistent, grosse Unterschiede zwischen versch. Patterns und zB. Arc verändert Abstand und Radius
 - „Fill“ funktioniert nicht
 - Gelöschte Punkte bleiben auch beim Ändern der Patternform gelöscht. Falls das so sein soll, würde es wohl mehr Sinn machen, die Position relativ zum Fundus (zB. über Blutgefässen) zu speichern und Punkte darüber auch bei anderen Patterns zu löschen.
 - > Es könnte zB eine Erase-Zone gezeichnet werden, wo keine Behandlung appliziert werden soll
 - (Falsch) gelöschte Punkte können nicht wieder hergestellt werden
 - Es ist nicht wirklich definiert in welchem Modus die Behandlungspunkte appliziert werden, so kann ganz am Ende zwischen CW und SRT umgeschaltet werden, was gefährlich wäre.
 - > Es könnte Sinn machen, als erster Schritt bei der Behandlungsplanung den Behandlungsmodus auswählen zu müssen. Dann könnten man ggf. auch CW-Spezifische Patterns für SRT ausblenden.

H.2 Externer Usability Test 2 - R&D Engineer

Testperson	Externe Testperson 2
Beruf/Funktion	R&D Engineer, Meridian Medical, Thun

Tabelle 87: Testinfos externer Usability Test 2

ich habe die Funktionalität primär mit meinen Meeting-Notizen von damals abgeglichen.

Was mir fehlt, aber fairerweise auch nicht durch die Szenarien gefordert wurde:

- Eye-Tracking mit einem An-/Aus-Toggle und Farbindikator (wie beim OCT) ob es korrekt funktioniert
- OCT/Fundus-Bild-Toggle: Ich finde die Lösung mit der Imaging-View, in der beide gross sind, jedoch sehr gut.
- Während der Behandlung nur M-Scan möglich. B-Scan Toggle könnte dann entfernt werden.
- Anzeige der B-Scan-Linie im Fundusbild.
- Kalibrierpattern (für Ramp).

Workflow-mässig ist es momentan im GUI so, dass gefühlt die gesamte Planung gemacht wird, dann alles gelasert wird und anschliessend die Behandlung abgeschlossen ist.

Entspricht dies der Wirklichkeit? Mir scheint, dass eine Behandlung etappenweise gelasert wird, d. h.:

- Grobe Planung
- Pattern setzen
- Lasern
- Weitere Pattern setzen
- Lasern
- Weitere Pattern setzen
- Lasern
- usw.

Dies wäre mit diesem GUI jedoch etwas umständlich. Ein mehrmaliger Wechsel zwischen Treat und Plan sollte eventuell möglich sein.

H.3 Externer Usability Test 3 - R&D Engineer

Testperson	Externe Testperson 3
Beruf/Funktion	R&D Engineer, Meridian Medical, Thun

Tabelle 88: Testinfos externer Usability Test 3

Hallo, ich habe folgende Situation gefunden:

- Pulsdauer, Pulspower: Schritte in 1 ms bzw. 5 mW. Grössere Schritte wären effizienter, diese Genauigkeit wird nicht gebraucht.
- Patterns: Fill funktioniert nicht, Freehand kann man nur umständlich
- Generell ändert sich der Punktabstand abhängig der Rotation. Z.B. bei der Linie sind die Punkte in der Horizontale weiter auseinander als in der Vertikale. War nicht im Fullscreen Mode, könnte vielleicht ein Problem sein. Dann ist der Kreis auch eine Ellipse.
- Pattern Presets sind bei mir nicht sichtbar, auch nicht im Vollbildmodus. Muss mit Zoom arbeiten, verzieht dann Pattern wieder.
- Wenn der Laser während des Treatment ausgeschaltet wird und dann nochmals gestartet, werde nochmals alle Punkte gelasert. Auch diese, die schon behandelt wurden. Das Behandlungspattern ist dann wie festgefroren.

H.4 Externer Usability Test 4 - Optometristin

Testperson	Externe Testperson 4
Beruf/Funktion	B.Sc. EurOptom, Optometristin FH, OSO, Augenarztpraxis Aare, Thun

Tabelle 89: Testinfos externer Usability Test 4

H.4.1 Szenario B – Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

- OCT B-Scan verändert sich nicht

H.4.2 Szenario D – Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

- Pattern lassen sich nicht kombinieren
- Aufnahmequalität zu schlecht um Verlauf der Blutgefässe zu erkennen, würde gerne im OCT B Scan sehen wo ich den Laserpunkt setze

H.4.3 Szenario F – Behandlung dokumentieren und abschliessen

- Kann keinen Report downloaden

I Sequenz- und Architekturdiagramme

Die folgenden Diagramme ergänzen die Beschreibung der Implementationslogik. Sie zeigen die technischen Abläufe der Planungs- und Behandlungsinteraktionen sowie das vollständige GUI- und Applikationskomponentendiagramm aus dem Softwarearchitekturkapitel.

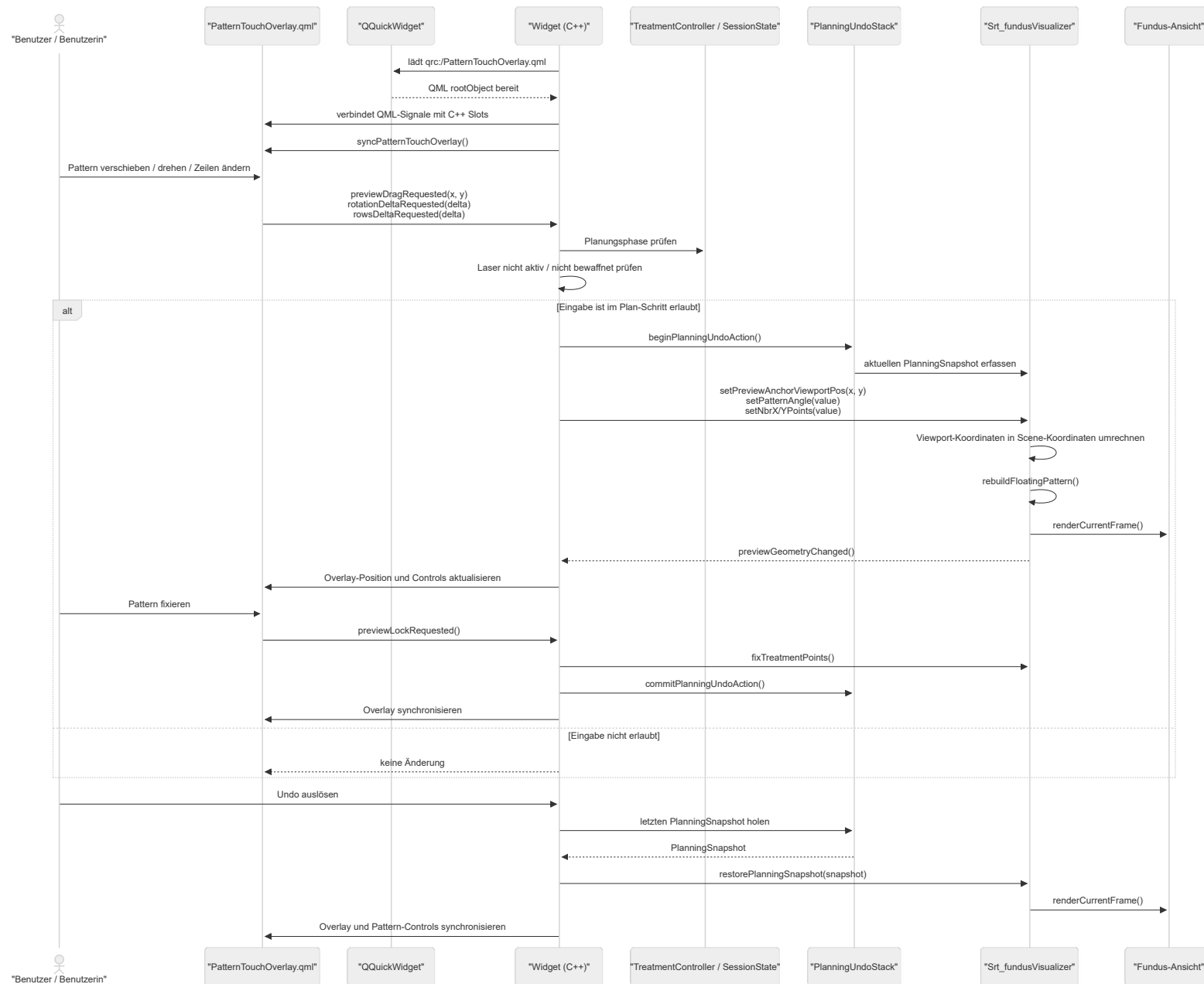


Abbildung 79: Sequenzdiagramm der Planungsinteraktionen
167

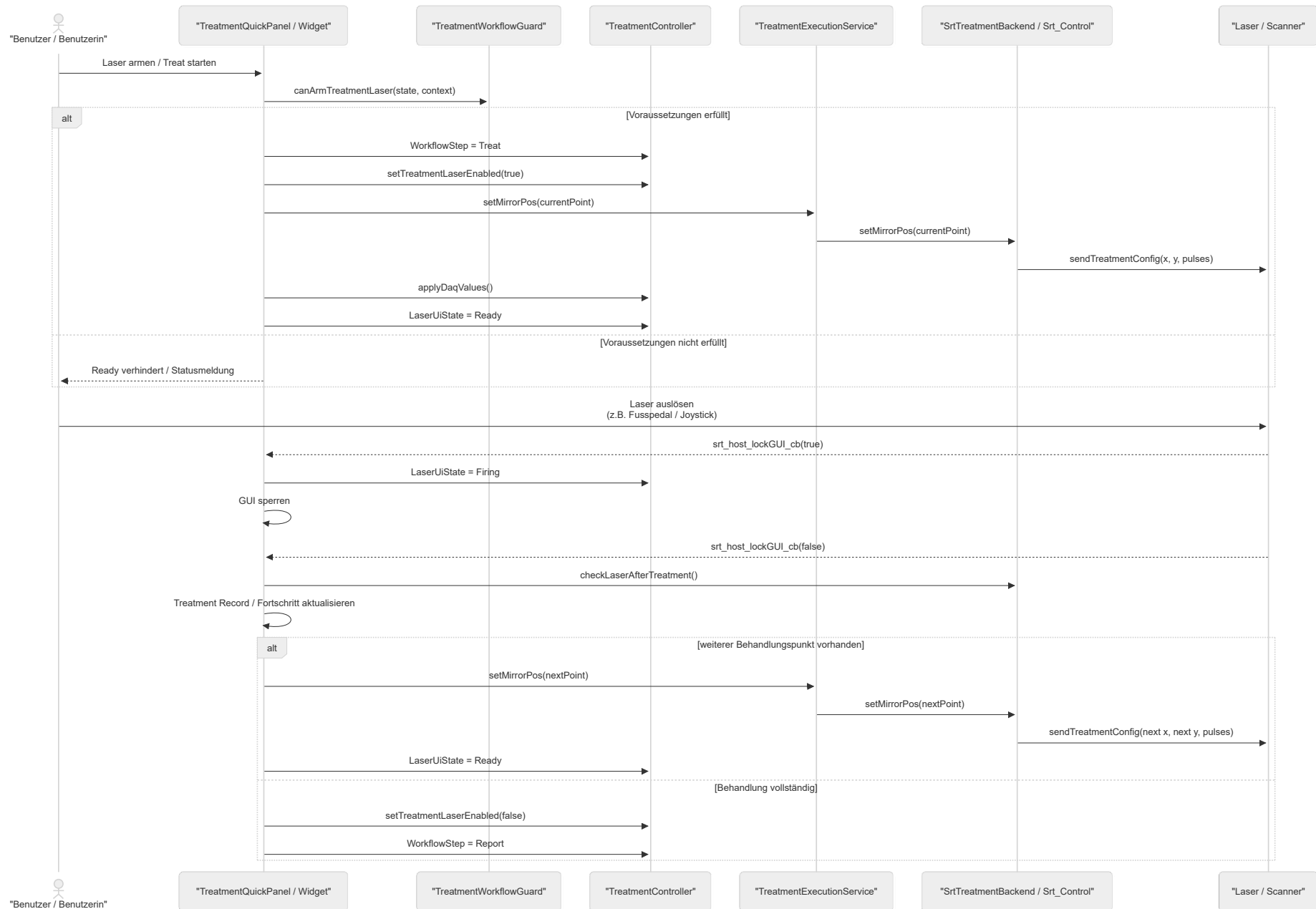


Abbildung 80: Sequenzdiagramm der Behandlungsdurchführung
168

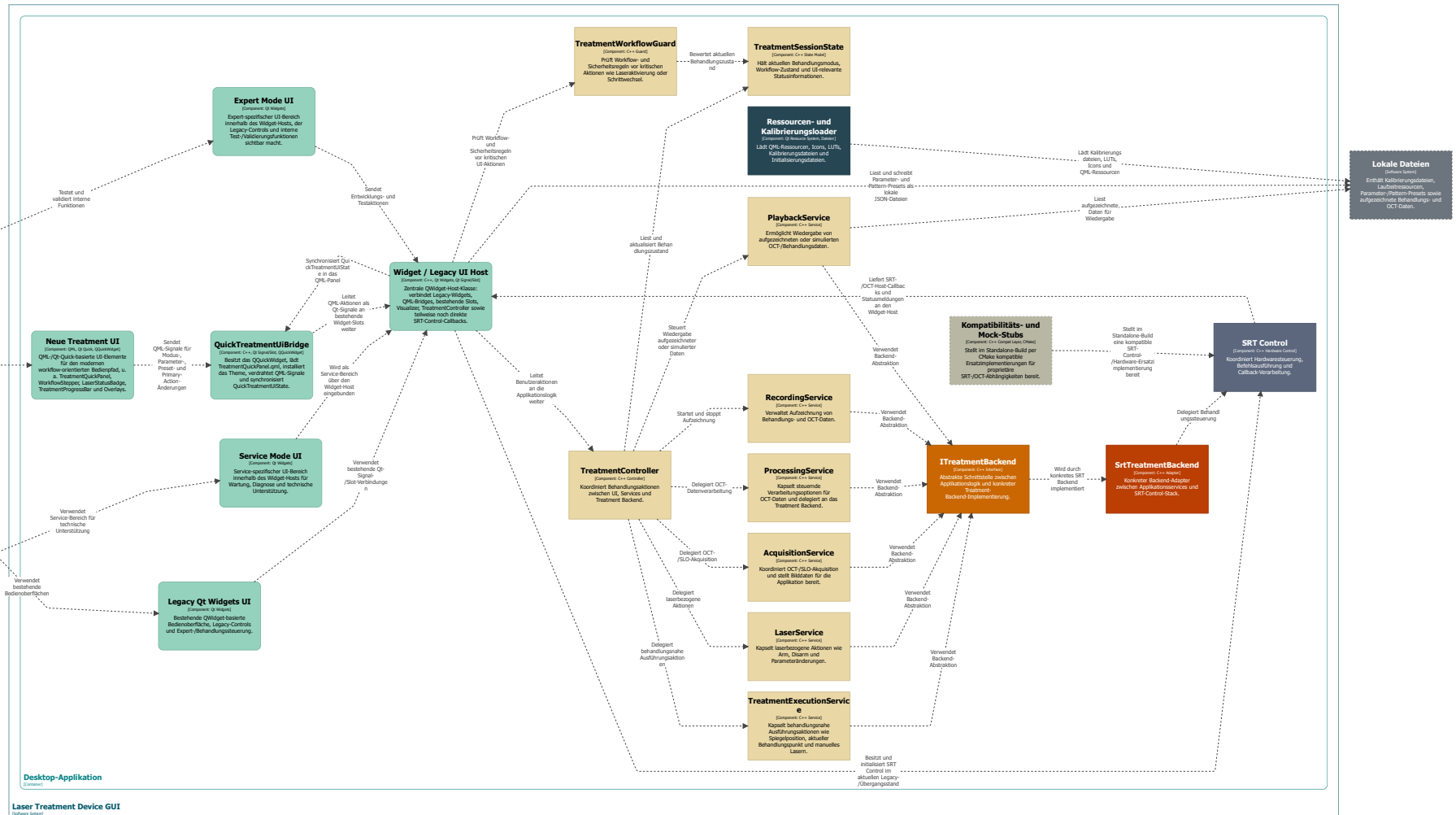


Abbildung 81: C4 GUI- und Applikations Component-Diagramm

J Testfälle

Folgende Testfälle dienen als Basis für die Akzeptanztests.

J.1 Testfall 01 – Parameter konfigurieren für SRT/SP/CW

TF-01	
FR	<u>UC-03 Laserparameter konfigurieren</u> , <u>UC-11 Treatment Mode wechseln</u>
Funktion	Parameter konfigurieren für SRT/SP/CW
Beschreibung	Die Testperson wählt einen Treatment Mode aus und konfiguriert die dazugehörigen Laserparameter. Dieser Test Case wird dreimal ausgeführt: einmal für SRT, einmal für SP und einmal für CW.
Vorbedingungen	Das System ist gestartet und befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Treatment Mode aus (SRT, SP oder CW). 2. System zeigt den aktiven Treatment Mode sichtbar an. 3. Testperson prüft, ob die zum Treatment Mode passenden Parameterfelder angezeigt werden. 4. Testperson prüft, ob unveränderbare Parameter sichtbar, aber nicht editierbar sind. 5. Testperson prüft, ob die Parameter die korrekten Default-Werte haben. 6. Testperson ändert die verfügbaren Laserparameter innerhalb der zulässigen Wertebereiche. 7. Testperson versucht, bei allen Parametern einen Wert unterhalb und oberhalb des zulässigen Bereichs einzugeben. 8. Testperson prüft, ob die geänderten Werte im UI übernommen werden.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Treatment Mode wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Die angezeigten Parameter entsprechen dem gewählten Treatment Mode. • Unveränderbare Parameter sind sichtbar, aber nicht editierbar. • Gültige Parameterwerte werden übernommen und im UI angezeigt. • Ungültige Werte ausserhalb des zulässigen Bereichs werden verhindert.

Tabelle 90: Test Case 01

J.2 Testfall 02 – Parameter-Preset speichern und laden

TF-02	
FR	<u>UC-03 Laserparameter konfigurieren</u> , <u>UC-11 Treatment Mode wechseln</u> , <u>UC-18 Pattern als Preset speichern und laden</u>
Funktion	Parameter-Preset speichern und laden
Beschreibung	Die Testperson wählt einen Treatment Mode aus, konfiguriert die dazugehörigen Laserparameter, speichert diese als Preset, verändert die Parameter anschliessend und lädt das gespeicherte Preset erneut. Dieser Test Case wird dreimal ausgeführt: einmal für SRT, einmal für SP und einmal für CW.
Vorbedingungen	Das System ist gestartet und befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Treatment Mode aus (SRT, SP oder CW). 2. Testperson prüft, ob die zum Treatment Mode passenden Parameterfelder angezeigt werden. 3. Testperson ändert die verfügbaren Laserparameter innerhalb der zulässigen Wertebereiche. 4. Testperson speichert die aktuelle Parameterkonfiguration als Preset. 5. Testperson verändert die zuvor gesetzten Parameter auf andere gültige Werte. 6. Testperson lädt das gespeicherte Preset erneut. 7. Testperson prüft, ob die Parameterwerte aus dem Preset im UI übernommen werden. 8. Testperson löscht das Preset wieder.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Treatment Mode wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Die angezeigten Parameter entsprechen dem gewählten Treatment Mode. • Die Parameterkonfiguration wird als Preset gespeichert. • Nach dem Verändern der Parameter werden die neuen Werte im UI angezeigt. • Beim Laden des Presets werden die gespeicherten Parameterwerte wiederhergestellt. • Am Schluss ist das Preset wieder gelöscht.

Tabelle 91: Test Case 02

J.3 Testfall 03 – Parameter-Preset nach Neustart laden

TF-03	
FR	<u>UC-03 Laserparameter konfigurieren</u> , <u>UC-11 Treatment Mode wechseln</u> , <u>UC-13 Applikation beenden</u> , <u>UC-18 Pattern als Preset speichern und laden</u>
Funktion	Parameter-Preset nach Neustart laden
Beschreibung	Die Testperson speichert eine Parameterkonfiguration als Preset, beendet die Applikation, startet sie erneut und prüft, ob das gespeicherte Preset weiterhin verfügbar ist. Dieser Test Case wird dreimal ausgeführt: einmal für SRT, einmal für SP und einmal für CW.
Vorbedingungen	Das System ist gestartet und befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Treatment Mode aus (SRT, SP oder CW). 2. Testperson ändert die verfügbaren Laserparameter innerhalb der zulässigen Wertebereiche. 3. Testperson speichert die aktuelle Parameterkonfiguration als Preset. 4. Testperson beendet die Applikation kontrolliert. 5. Testperson startet die Applikation erneut. 6. Testperson wählt denselben Treatment Mode wie vor dem Neustart aus. 7. Testperson lädt das zuvor gespeicherte Preset. 8. Testperson prüft, ob die gespeicherten Parameterwerte im UI übernommen werden.
Erwartetes Ergebnis	• Die Parameterkonfiguration wird als Preset gespeichert. • Die Applikation wird kontrolliert beendet. • Die Applikation startet erneut ohne Fehler. • Das gespeicherte Preset ist nach dem Neustart weiterhin verfügbar. • Beim Laden des Presets werden die gespeicherten Parameterwerte wiederhergestellt.

Tabelle 92: Test Case 03

J.4 Testfall 04 – Pattern planen und anpassen

TF-04	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u>
Funktion	Pattern planen und anpassen
Beschreibung	Die Testperson wählt einen Pattern-Typ aus, konfiguriert dessen Eigenschaften, platziert das Pattern auf dem SLO-Bild und passt es anschliessend weiter an. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 2. Testperson prüft, ob das Pattern mit den Default-Konfigurationen auf dem SLO-Bild angezeigt wird. 3. Testperson erhöht und reduziert die Anzahl Rows, sofern der Pattern-Typ Rows unterstützt. 4. Testperson testet den minimalen und maximalen gültigen Wert für Rows. 5. Testperson erhöht und reduziert die Anzahl Lines/Columns, sofern der Pattern-Typ Lines/Columns unterstützt. 6. Testperson testet den minimalen und maximalen gültigen Wert für Lines/Columns. 7. Testperson ändert den Punktabstand, sofern der Pattern-Typ dies unterstützt. 8. Testperson rotiert das Pattern. 9. Testperson bewegt das Pattern an eine andere Stelle im SLO-Bild. 10. Testperson prüft, ob die Pattern-Vorschau nach jeder Änderung aktualisiert wird.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Pattern-Typ wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Die zum Pattern-Typ passenden Einstellmöglichkeiten sind verfügbar. • Nicht unterstützte Einstellmöglichkeiten sind deaktiviert oder nicht sichtbar. • Änderungen an Rows, Lines/Columns, Punktabstand und Rotation werden korrekt im Pattern dargestellt. • Minimale und maximale gültige Werte für Rows und Columns werden korrekt akzeptiert. • Werte ausserhalb der zulässigen Bereiche werden verhindert. • Das Pattern kann auf dem SLO-Bild verschoben werden. • Die Pattern-Vorschau bleibt während der Bearbeitung konsistent.

Tabelle 93: Test Case 04

J.5 Testfall 05 – Pattern platzieren und Punkte löschen

TF-05	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-15 Einzelne Pattern-Punkte löschen</u>
Funktion	Pattern platzieren und Punkte löschen
Beschreibung	Die Testperson plant und platziert ein Pattern, fixiert es, löst die Fixierung wieder, entfernt einzelne Pattern-Punkte mit der Erase-Funktion und fixiert das angepasste Pattern erneut. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 2. Testperson konfiguriert das Pattern mit gültigen Einstellungen. 3. Testperson platziert das Pattern auf dem SLO-Bild. 4. Testperson fixiert das Pattern mit „Lock Pattern“. 5. Testperson prüft, ob das Pattern als fixiert dargestellt wird. 6. Testperson löst die Fixierung des Patterns wieder. 7. Testperson aktiviert die Erase-Funktion. 8. Testperson entfernt einzelne Pattern-Punkte. 9. Testperson deaktiviert die Erase-Funktion. 10. Testperson fixiert das angepasste Pattern erneut.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Pattern-Typ wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Das Pattern wird auf dem SLO-Bild platziert. • Das Pattern kann fixiert werden. • Der fixierte Zustand wird visuell angezeigt. • Die Fixierung kann wieder gelöst werden. • Einzelne Pattern-Punkte können mit der Erase-Funktion entfernt werden. • Entfernte Punkte verschwinden aus der visuellen Darstellung und aus der Behandlungslogik. • Das angepasste Pattern kann erneut fixiert werden. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert.

Tabelle 94: Test Case 05

J.6 Testfall 06 – Pattern mit Sperrfläche platzieren

TF-06	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Pattern mit Sperrfläche platzieren
Beschreibung	Die Testperson definiert eine Sperrfläche auf dem SLO-Bild und platziert verschiedene Pattern so, dass sie die Sperrfläche überlappen. Das Pattern soll weiterhin fixierbar sein, wobei Punkte innerhalb der Sperrfläche bereits in der Vorschau und nach dem Fixieren entfernt sind. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson aktiviert die Funktion zum Definieren einer Sperrfläche. 2. Testperson zeichnet eine Sperrfläche auf dem SLO-Bild. 3. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 4. Testperson platziert das Pattern so, dass es die Sperrfläche überlappt. 5. Testperson prüft, ob Pattern-Punkte innerhalb der Sperrfläche bereits in der Vorschau entfernt sind. 6. Testperson bewegt das Pattern teilweise und vollständig über die Sperrfläche. 7. Testperson prüft, ob die Vorschau nach jeder Bewegung aktualisiert wird. 8. Testperson fixiert das Pattern mit „Lock Pattern“. 9. Testperson prüft, ob auch im fixierten Pattern keine Punkte innerhalb der Sperrfläche vorhanden sind. 10. Testperson löscht die Sperrfläche wieder.
Erwartetes Ergebnis	• Die Sperrfläche wird korrekt auf dem SLO-Bild angezeigt. • Der ausgewählte Pattern-Typ wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Pattern-Punkte innerhalb der Sperrfläche werden bereits in der Vorschau entfernt. • Beim Bewegen des Patterns werden Punkte innerhalb der Sperrfläche laufend neu entfernt. • Das Pattern kann trotz überlappender Sperrfläche fixiert werden. • Im fixierten Pattern befinden sich keine Punkte innerhalb der Sperrfläche. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert. • Die Sperrfläche kann wieder gelöscht werden. • Nach dem Löschen der Sperrfläche werden zuvor entfernte Pattern-Punkte nicht automatisch wiederhergestellt.

Tabelle 95: Test Case 06

J.7 Testfall 07 – Sperrfläche über Pattern setzen

TF-07	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Sperrfläche über Pattern setzen
Beschreibung	Die Testperson platziert ein Pattern auf dem SLO-Bild und definiert anschliessend eine Sperrfläche, welche das Pattern schneidet. Punkte, die unter der Sperrfläche liegen, sollen nach dem Platzieren der Sperrfläche entfernt sein. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 2. Testperson konfiguriert das Pattern mit gültigen Einstellungen. 3. Testperson platziert das Pattern auf dem SLO-Bild. 4. Testperson aktiviert die Funktion zum Definieren einer Sperrfläche. 5. Testperson zeichnet eine Sperrfläche so, dass sie das platzierte Pattern schneidet. 6. Testperson prüft, ob im platzierten Pattern keine Punkte innerhalb der Sperrfläche vorhanden sind. 7. Testperson löscht die Sperrfläche wieder.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Pattern-Typ wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Die Sperrfläche wird korrekt auf dem SLO-Bild angezeigt. • Das Pattern kann trotz schneidender Sperrfläche fixiert werden. • Im fixierten Pattern befinden sich keine Punkte innerhalb der Sperrfläche. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Platzieren der Sperrfläche korrekt aktualisiert. • Die Sperrfläche kann wieder gelöscht werden. • Nach dem Löschen der Sperrfläche werden zuvor entfernte Pattern-Punkte nicht automatisch wiederhergestellt.

Tabelle 96: Test Case 07

J.8 Testfall 08 – Kreisrunde Sperrfläche glätten

TF-08	
FR	<u>UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Kreisrunde Sperrfläche glätten
Beschreibung	Die Testperson zeichnet eine ungefähr kreisrunde Sperrfläche auf dem SLO-Bild und verwendet anschliessend den Smooth-Button. Dabei wird geprüft, ob die Form zu einem perfekten Kreis geglättet wird und ob weitere Klicks auf den Smooth-Button keine Veränderung mehr auslösen.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson aktiviert die Funktion zum Definieren einer Sperrfläche. 2. Testperson zeichnet eine ungefähr kreisrunde Sperrfläche auf dem SLO-Bild. 3. Testperson prüft, ob die gezeichnete Sperrfläche korrekt angezeigt wird. 4. Testperson klickt auf den Smooth-Button. 5. Testperson prüft, ob die Sperrfläche zu einem perfekten Kreis geglättet wird. 6. Testperson klickt erneut auf den Smooth-Button. 7. Testperson prüft, ob sich die Sperrfläche nicht weiter verändert.
Erwartetes Ergebnis	• Die ungefähr kreisrunde Sperrfläche wird korrekt erkannt. • Nach dem Klick auf den Smooth-Button wird daraus ein perfekter Kreis. • Die geglättete Sperrfläche bleibt an der ursprünglichen Position. • Weitere Klicks auf den Smooth-Button sind nicht möglich oder verändern die Sperrfläche nicht mehr. • Die Sperrfläche bleibt nach dem Glätten gültig und kann für das Entfernen von Pattern-Punkten verwendet werden.

Tabelle 97: Test Case 08

J.9 Testfall 09 – Beliebige Sperrfläche glätten

TF-09	
FR	<u>UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Beliebige Sperrfläche glätten
Beschreibung	Die Testperson zeichnet eine beliebige Sperrfläche mit sichtbaren Ecken und Kanten. Nach dem Klick auf den Smooth-Button sollen die Kanten abgerundet werden. Besonders der Übergang zwischen Start- und Endpunkt der gezeichneten Form soll geglättet werden.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson aktiviert die Funktion zum Definieren einer Sperrfläche. 2. Testperson zeichnet eine beliebige Sperrfläche mit mehreren Ecken und sichtbaren Kanten. 3. Testperson beendet die Eingabe, sodass Start- und Endpunkt verbunden werden. 4. Testperson prüft, ob die ursprüngliche Form korrekt angezeigt wird. 5. Testperson klickt auf den Smooth-Button. 6. Testperson prüft, ob die Kanten der Sperrfläche sichtbar abgerundet werden. 7. Testperson prüft insbesondere, ob der Übergang zwischen Start- und Endpunkt geglättet ist. 8. Testperson klickt erneut auf den Smooth-Button. 9. Testperson prüft, ob sich die Sperrfläche nicht weiter verändert.
Erwartetes Ergebnis	• Die beliebige Sperrfläche wird korrekt auf dem SLO-Bild angezeigt. • Nach dem Klick auf den Smooth-Button werden sichtbare Ecken und Kanten geglättet. • Der Übergang zwischen Start- und Endpunkt wird sauber abgerundet. • Die geglättete Sperrfläche bleibt in ihrer grundsätzlichen Form erhalten. • Weitere Klicks auf den Smooth-Button sind nicht möglich oder verändern die Sperrfläche nicht mehr. • Die Sperrfläche bleibt nach dem Glätten gültig und kann für das Entfernen von Pattern-Punkten verwendet werden.

Tabelle 98: Test Case 09

J.10 Testfall 10 – Pattern-Punkte nach Glättung der Sperrfläche entfernen

TF-10	
FR	<u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen , UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Pattern-Punkte nach Glättung der Sperrfläche entfernen
Beschreibung	Die Testperson platziert ein Pattern nahe an einer unregelmässigen Sperrfläche. Anschliessend wird die Sperrfläche geglättet. Dabei wird geprüft, ob zusätzliche Pattern-Punkte entfernt werden, welche durch die geglättete Form neu innerhalb der Sperrfläche liegen.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson platziert ein Pattern auf dem SLO-Bild. 2. Testperson aktiviert die Funktion zum Definieren einer Sperrfläche. 3. Testperson zeichnet eine unregelmässige Sperrfläche nahe an mehreren Pattern-Punkten. 4. Testperson prüft, welche Pattern-Punkte initial innerhalb der Sperrfläche entfernt werden. 5. Testperson klickt auf den Smooth-Button. 6. Testperson prüft, ob die Sperrfläche geglättet wird. 7. Testperson prüft, ob zusätzliche Pattern-Punkte entfernt werden, welche durch die geglättete Form neu innerhalb der Sperrfläche liegen. 8. Testperson fixiert das Pattern mit „Lock Pattern“. 9. Testperson prüft, ob die entfernten Punkte auch im fixierten Pattern fehlen.
Erwartetes Ergebnis	• Die Sperrfläche wird korrekt geglättet. • Pattern-Punkte innerhalb der ursprünglichen Sperrfläche werden entfernt. • Zusätzliche Pattern-Punkte, welche durch die geglättete Form neu innerhalb der Sperrfläche liegen, werden ebenfalls entfernt. • Bereits entfernte Punkte bleiben entfernt. • Im fixierten Pattern befinden sich keine Punkte innerhalb der geglätteten Sperrfläche. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird entsprechend der verbleibenden gültigen Punkte korrekt aktualisiert.

Tabelle 99: Test Case 10

J.11 Testfall 11 – Sperrfläche verschieben und Pattern dynamisch aktualisieren

TF-11	
FR	<u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen , UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Sperrfläche verschieben und Pattern dynamisch aktualisieren
Beschreibung	Die Testperson erstellt eine Sperrfläche und verschiebt diese anschliessend über ein bereits fixiertes Pattern. Dabei wird geprüft, ob Pattern-Punkte innerhalb der verschobenen Sperrfläche dynamisch entfernt werden. Zusätzlich wird geprüft, dass Sperrflächen während dem Platzieren oder Zeichnen eines noch ungelockten Patterns nicht verschoben werden können.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson erstellt und fixiert ein Pattern auf dem SLO-Bild. 2. Testperson erstellt eine Sperrfläche ausserhalb des Patterns. 3. Testperson verschiebt die Sperrfläche per Drag-Bewegung über das fixierte Pattern. 4. Testperson prüft während dem Verschieben, ob Pattern-Punkte innerhalb der Sperrfläche entfernt werden. 5. Testperson prüft nach dem Verschieben, ob die Behandlungsfortschrittsanzeige aktualisiert wurde. 6. Testperson erstellt ein neues ungelocktes beziehungsweise Floating Pattern. 7. Testperson versucht während dem Platzieren oder Zeichnen des ungelockten Patterns die Sperrfläche zu verschieben. 8. Testperson prüft, ob die Sperrfläche währenddessen nicht bewegt werden kann. 9. Testperson fixiert das neue Pattern.
Erwartetes Ergebnis	• Sperrflächen können durch Ziehen verschoben werden. • Während dem Verschieben werden betroffene Pattern-Punkte dynamisch entfernt. • Punkte ausserhalb der Sperrfläche bleiben erhalten. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige wird entsprechend der verbleibenden gültigen Punkte aktualisiert. • Während ein ungelocktes beziehungsweise Floating Pattern platziert oder gezeichnet wird, können Sperrflächen nicht verschoben werden. • Nach dem Fixieren des Patterns können Sperrflächen wieder normal verschoben werden. • Im fixierten Pattern befinden sich keine Punkte innerhalb der aktuellen Sperrfläche.

Tabelle 100: Test Case 11

J.12 Testfall 12 – Freihand-Pattern mit Punktabstand zeichnen

TF-12	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-16 Freihand-Pattern zeichnen</u>
Funktion	Freihand-Pattern mit Punktabstand zeichnen
Beschreibung	Die Testperson definiert vor dem Zeichnen eines Freihand-Patterns den Punktabstand und zeichnet anschliessend ein Freihand-Pattern auf dem SLO-Bild. Dabei wird auch geprüft, dass mehrfaches Zeichnen über dieselbe Stelle keine überschneidenden Punkte erzeugt und der definierte Punktabstand eingehalten wird.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson stellt einen gültigen Punktabstand ein. 2. Testperson aktiviert den Freihand-Modus. 3. Testperson zeichnet ein Freihand-Pattern auf dem SLO-Bild. 4. Testperson prüft, ob die erzeugten Punkte den eingestellten Punktabstand einhalten. 5. Testperson zeichnet im Freihand-Modus mehrmals über dieselbe Stelle. 6. Testperson prüft, ob keine überschneidenden oder doppelt erzeugten Punkte entstehen. 7. Testperson fixiert das Freihand-Pattern mit „Lock Pattern“.
Erwartetes Ergebnis	• Der eingestellte Punktabstand wird beim Freihand-Pattern korrekt angewendet. • Die erzeugten Punkte liegen mit dem definierten Mindestabstand zueinander auf dem SLO-Bild. • Mehrfaches Zeichnen über dieselbe Stelle erzeugt keine überschneidenden oder doppelten Pattern-Punkte. • Das Freihand-Pattern kann fixiert werden. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert.

Tabelle 101: Test Case 12

J.13 Testfall 13 – Fill-Pattern mit Punktabstand zeichnen

TF-13	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-16 Freihand-Pattern zeichnen</u>
Funktion	Fill-Pattern mit Punktabstand zeichnen
Beschreibung	Die Testperson zeichnet eine geschlossene Form im Fill-Modus. Das System füllt die Fläche automatisch mit Pattern-Punkten in einer optimalen Verteilung. Dabei wird der eingestellte Punktabstand berücksichtigt. Anschliessend passt die Testperson den Punktabstand nachträglich an und prüft, ob die Punktverteilung entsprechend aktualisiert wird.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson stellt einen gültigen Punktabstand ein. 2. Testperson aktiviert den Fill-Modus. 3. Testperson zeichnet eine geschlossene Form auf dem SLO-Bild. 4. Testperson prüft, ob die Fläche automatisch mit Pattern-Punkten gefüllt wird. 5. Testperson prüft, ob die erzeugten Punkte den eingestellten Punktabstand einhalten. 6. Testperson ändert den Punktabstand auf einen anderen gültigen Wert. 7. Testperson prüft, ob die Punktverteilung innerhalb der gezeichneten Form aktualisiert wird. 8. Testperson verschiebt das platzierte Fill-Pattern auf dem SLO-Bild. 9. Testperson rotiert das platzierte Fill-Pattern. 10. Testperson prüft, ob die Punktverteilung bei Verschiebung und Rotation korrekt erhalten bleibt. 11. Testperson fixiert das Fill-Pattern mit „Lock Pattern“.
Erwartetes Ergebnis	• Die geschlossene Form wird korrekt erkannt. • Die Fläche wird automatisch mit Pattern-Punkten gefüllt. • Die Punkte werden innerhalb der gezeichneten Form optimal verteilt. • Der eingestellte Punktabstand wird bei der Punktverteilung eingehalten. • Nach Änderung des Punktabstands wird die Punktverteilung innerhalb der Form aktualisiert. • Das platzierte Fill-Pattern kann verschoben werden. • Das platzierte Fill-Pattern kann rotiert werden. • Die Punktverteilung bleibt bei Verschiebung und Rotation korrekt erhalten. • Das Fill-Pattern kann fixiert werden. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert.

Tabelle 102: Test Case 13

J.14 Testfall 14 – Fill-Pattern mit offener Form zeichnen

TF-14	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-16 Freihand-Pattern zeichnen</u>
Funktion	Fill-Pattern mit offener Form zeichnen
Beschreibung	Die Testperson zeichnet im Fill-Modus eine offene Form. Nach dem Loslassen wird die Form automatisch geschlossen, indem das System den Start- und Endpunkt verbindet. Anschliessend wird die Fläche automatisch mit Pattern-Punkten gefüllt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson aktiviert den Fill-Modus. 2. Testperson zeichnet eine offene Form auf dem SLO-Bild. 3. Testperson beendet die Eingabe, ohne den Endpunkt mit dem Startpunkt zu verbinden. 4. Testperson prüft, ob das System die Form automatisch schliesst. 5. Testperson prüft, ob die geschlossene Fläche automatisch mit Pattern-Punkten gefüllt wird. 6. Testperson fixiert das Fill-Pattern mit „Lock Pattern“.
Erwartetes Ergebnis	• Die offene Form wird nach dem Loslassen automatisch geschlossen. • Start- und Endpunkt werden korrekt verbunden. • Die erzeugte geschlossene Fläche wird korrekt erkannt. • Die Fläche wird automatisch mit Pattern-Punkten gefüllt. • Das Fill-Pattern kann fixiert werden. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert.

Tabelle 103: Test Case 14

J.15 Testfall 15 – Fill- und Freihand-Pattern mit bestehenden Pattern kombinieren

TF-15	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-16 Freihand-Pattern zeichnen</u>
Funktion	Fill- und Freihand-Pattern mit bestehenden Pattern kombinieren
Beschreibung	Die Testperson platziert zuerst ein bestehendes Pattern auf dem SLO-Bild. Anschliessend zeichnet sie ein Fill-Pattern sowie ein Freihand-Pattern so, dass diese das bestehende Pattern schneiden oder in dessen Bereich hineinragen. Dabei wird geprüft, dass keine neuen Punkte auf bereits vorhandenen Pattern-Punkten erzeugt werden. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ als bestehendes Pattern ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 2. Testperson platziert das Pattern auf dem SLO-Bild. 3. Testperson aktiviert den Fill-Modus. 4. Testperson zeichnet ein Fill-Pattern um das bestehende Pattern herum oder schneidend über das bestehende Pattern. 5. Testperson prüft, ob das Fill-Pattern nur freie Bereiche mit neuen Punkten füllt. 6. Testperson prüft, ob keine Punkte des Fill-Patterns auf bestehenden Pattern-Punkten erzeugt werden. 7. Testperson fixiert das Pattern mit „Lock Pattern“. 8. Testperson aktiviert den Freihand-Modus. 9. Testperson zeichnet ein Freihand-Pattern in das bestehende Pattern hinein oder schneidend über das bestehende Pattern. 10. Testperson prüft, ob das Freihand-Pattern nur freie Bereiche mit neuen Punkten ergänzt. 11. Testperson prüft, ob keine Punkte des Freihand-Patterns auf bestehenden Pattern-Punkten erzeugt werden. 12. Testperson fixiert das Pattern mit „Lock Pattern“.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Pattern-Typ wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Das bestehende Pattern wird korrekt auf dem SLO-Bild platziert. • Das Fill-Pattern kann um ein bestehendes Pattern herum oder schneidend darüber gezeichnet werden. • Das Fill-Pattern erzeugt nur Punkte in freien Bereichen. • Das Freihand-Pattern kann in ein bestehendes Pattern hinein oder schneidend darüber gezeichnet werden. • Das Freihand-Pattern erzeugt nur Punkte in freien Bereichen. • Es entstehen keine überschneidenden oder doppelten Pattern-Punkte. • Bereits vorhandene Pattern-Punkte bleiben erhalten. • Die Patterns können fixiert werden. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert.

Tabelle 104: Test Case 15

J.16 Testfall 16 – Pattern teilweise ausserhalb des Bildbereichs platzieren

TF-16	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u>
Funktion	Pattern teilweise ausserhalb des Bildbereichs platzieren
Beschreibung	Die Testperson platziert ein Pattern so, dass es teilweise ausserhalb des sichtbaren SLO-Bildbereichs liegt. Anschliessend wird das Pattern rotiert und erneut an den Rand des Bildbereichs bewegt. Dabei wird geprüft, ob Punkte ausserhalb des Bildbereichs korrekt abgeschnitten werden und ob nur gültige Punkte innerhalb des sichtbaren Bildbereichs für die Behandlung übernommen werden. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 2. Testperson konfiguriert das Pattern mit gültigen Einstellungen. 3. Testperson bewegt das Pattern teilweise über den Rand des SLO-Bildbereichs hinaus und fixiert diesen. 4. Testperson prüft, ob Punkte ausserhalb des Bildbereichs entfernt werden. 5. Testperson rotiert das Pattern nahe am Rand des Bildbereichs und fixiert es. 6. Testperson prüft erneut, ob Punkte ausserhalb des Bildbereichs entfernt werden. 7. Testperson vergrössert das Pattern, z.B. durch Columns, sodass es über den Rand hinausragt und fixiert es. 8. Testperson prüft erneut, ob Punkte ausserhalb des Bildbereichs entfernt werden.
Erwartetes Ergebnis	• Punkte ausserhalb des Bildbereichs werden aus der Vorschau und dem fixierten Pattern entfernt. • Bei Rotation am Bildrand entstehen keine gültigen Behandlungspunkte ausserhalb des Bildbereichs. • Das Pattern kann trotz teilweise abgeschnittener Punkte fixiert werden. • Im fixierten Pattern befinden sich nur Punkte innerhalb des gültigen Bildbereichs. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten berücksichtigt nur die gültigen Punkte innerhalb des Bildbereichs.

Tabelle 105: Test Case 16

J.17 Testfall 17 – Pattern-Preset für einzelnes Pattern speichern und nach Neustart laden

TF-17	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-13 Applikation beenden</u> , <u>UC-18 Pattern als Preset speichern und laden</u>
Funktion	Pattern-Preset für einzelnes Pattern speichern und nach Neustart laden
Beschreibung	Die Testperson konfiguriert ein einzelnes Pattern und speichert es als Preset. Anschliessend wird die Applikation neu gestartet. Danach lädt die Testperson das gespeicherte Preset und prüft, ob das Pattern inklusive Controls korrekt wiederhergestellt wird. Dieser Test Case wird für jeden verfügbaren Pattern-Typ ausgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson wählt den zu testenden Pattern-Typ aus. 2. Testperson konfiguriert das Pattern mit gültigen Einstellungen. 3. Testperson prüft, welche Controls für den Pattern-Typ sichtbar sind. 4. Testperson speichert das Pattern als Preset. 5. Testperson beendet die Applikation kontrolliert. 6. Testperson startet die Applikation erneut. 7. Testperson lädt das zuvor gespeicherte Pattern-Preset. 8. Testperson prüft, ob das Pattern korrekt wiederhergestellt wird. 9. Testperson prüft, ob die Controls (Rotation, Editieren und Löschen) wieder angezeigt werden. 10. Testperson löscht das Preset wieder.
Erwartetes Ergebnis	• Der ausgewählte Pattern-Typ wird korrekt aktiviert und angezeigt. • Das Pattern wird mit den gespeicherten Einstellungen als Preset gespeichert. • Das gespeicherte Pattern-Preset ist nach dem Neustart weiterhin verfügbar. • Beim Laden wird das Pattern inklusive gespeicherter Einstellungen korrekt wiederhergestellt. • Controls wie Rotation, Editieren oder Löschen werden nach dem Laden wieder korrekt angezeigt. • Nicht unterstützte Controls bleiben deaktiviert oder nicht sichtbar. • Am Schluss ist das Preset wieder gelöscht.

Tabelle 106: Test Case 17

J.18 Testfall 18 – Pattern-Kombination als Preset speichern und laden

TF-18	
FR	<u>UC-06 Pattern konfigurieren</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-18 Pattern als Preset speichern und laden</u>
Funktion	Pattern-Kombination als Preset speichern und laden
Beschreibung	Die Testperson erstellt eine Kombination aus mehreren Pattern, wobei sowohl fixierte als auch nicht fixierte Pattern enthalten sind. Diese Kombination wird als Preset gespeichert und anschliessend erneut geladen. Nach dem Laden soll die Kombination als ein gemeinsames Pattern behandelt werden, das weiterhin bearbeitet, verschoben und rotiert werden kann.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Workflow-Step „Setup“ wurde bereits durchgeführt.
Schritte	1. Testperson erstellt mehrere Pattern auf dem SLO-Bild. 2. Testperson fixiert mindestens ein Pattern mit „Lock Pattern“. 3. Testperson lässt ein weiteres Pattern ungelockt. 4. Testperson speichert die gesamte Pattern-Kombination als Preset. 5. Testperson entfernt die aktuelle Pattern-Kombination oder lädt eine andere Konfiguration. 6. Testperson lädt das gespeicherte Pattern-Kombinations-Preset. 7. Testperson prüft, ob alle gespeicherten Pattern-Punkte korrekt wiederhergestellt werden. 8. Testperson prüft, ob die geladene Kombination als ein gemeinsames Pattern dargestellt wird. 9. Testperson verschiebt die geladene Pattern-Kombination auf dem SLO-Bild. 10. Testperson rotiert die geladene Pattern-Kombination. 11. Testperson fixiert die geladene Pattern-Kombination mit „Lock Pattern“. 12. Testperson löscht das Preset wieder.
Erwartetes Ergebnis	• Mehrere Pattern können gemeinsam als Preset gespeichert werden. • Fixierte und nicht fixierte Pattern werden korrekt in das Preset übernommen. • Beim Laden werden alle gespeicherten Pattern-Punkte korrekt wiederhergestellt. • Die geladene Kombination wird als ein gemeinsames Pattern behandelt. • Die geladene Pattern-Kombination kann verschoben werden. • Die geladene Pattern-Kombination kann rotiert werden. • Die relative Anordnung der Pattern-Punkte bleibt beim Verschieben und Rotieren erhalten. • Die Pattern-Kombination kann fixiert werden. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige unten wird nach dem Fixieren des Patterns korrekt aktualisiert. • Am Schluss ist das Preset wieder gelöscht.

Tabelle 107: Test Case 18

J.19 Testfall 19 – Fixation Targets auswählen und Bildausschnitt prüfen

TF-19	
FR	<u>UC-12 Fixation Target Position wählen</u>
Funktion	Fixation Targets auswählen und Bildausschnitt prüfen
Beschreibung	Die Testperson wählt nacheinander alle verfügbaren Fixation Targets aus. Dabei wird geprüft, ob das jeweils ausgewählte Fixation Target korrekt angezeigt wird und ob der dazugehörige Bildausschnitt des Fundusbildes korrekt positioniert und dargestellt wird. Dieser Test Case wird für alle 9 verfügbaren Fixation Targets durchgeführt.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Setup“. Das Gerät ist gestartet und bereit.
Schritte	1. Testperson öffnet die Fixation-Target-Auswahl. 2. Testperson wählt das erste Fixation Target aus. 3. Testperson prüft, ob das ausgewählte Fixation Target im UI sichtbar als aktiv angezeigt wird. 4. Testperson prüft, ob der erwartete Bildausschnitt des Fundusbildes angezeigt wird. 5. Testperson prüft, ob die Position des dargestellten Bildausschnitts zur Position des gewählten Fixation Targets passt. 6. Testperson wiederholt die Prüfung für alle weiteren verfügbaren Fixation Targets. 7. Testperson wechselt in den Workflow-Step „Plan“. 8. Testperson prüft, ob das zuletzt gewählte Fixation Target weiterhin aktiv bleibt.
Erwartetes Ergebnis	• Die Fixation-Target-Auswahl ist verfügbar. • Alle 9 Fixation Targets können ausgewählt werden. • Das jeweils ausgewählte Fixation Target wird korrekt als aktiv angezeigt. • Der dargestellte Bildausschnitt wird nach jeder Auswahl korrekt aktualisiert. • Der angezeigte Bildausschnitt entspricht der erwarteten Position des gewählten Fixation Targets. • Es wird jeweils nur ein Fixation Target gleichzeitig als aktiv dargestellt. • Das zuletzt gewählte Fixation Target bleibt auch nach dem Wechsel in den Workflow-Step „Plan“ aktiv.

Tabelle 108: Test Case 19

J.20 Testfall 20 – Wechsel in Treat-Step nur mit gelocktem Pattern erlauben

TF-20	
FR	<u>UC-04 Workflow-Anzeige</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-08 Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)</u>
Funktion	Wechsel in Treat-Step nur mit gelocktem Pattern erlauben
Beschreibung	Die Testperson prüft, ob der Wechsel in den Treat-Step beziehungsweise das Aktivieren von „Arm Laser“ nur möglich ist, wenn mindestens ein Pattern vorhanden und alle platzierten Pattern gelockt sind. Ohne Pattern oder mit einem noch ungelockten beziehungsweise Floating Pattern darf „Arm Laser“ nicht möglich sein.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Laserstatus ist „Standby“.
Schritte	1. Testperson versucht ohne platziertes Pattern „Arm Laser“ zu aktivieren. 2. Testperson prüft, ob der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ verhindert wird. 3. Testperson platziert ein Pattern auf dem SLO-Bild, lässt es aber ungelockt. 4. Testperson versucht erneut „Arm Laser“ zu aktivieren. 5. Testperson prüft, ob der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ weiterhin verhindert wird. 6. Testperson fixiert das Pattern mit „Lock Pattern“. 7. Testperson platziert noch ein Pattern auf dem SLO-Bild, lässt es aber ungelockt. 8. Testperson prüft, ob der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ weiterhin verhindert wird. 9. Testperson fixiert auch dieses Pattern mit „Lock Pattern“. 10. Testperson aktiviert „Arm Laser“ erneut. 11. Testperson prüft, ob der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ nun möglich ist. 12. Testperson prüft, ob der Laserstatus korrekt auf „Ready“ wechselt.
Erwartetes Ergebnis	• Ohne platziertes Pattern wird der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ verhindert. • Mit einem ungelockten beziehungsweise Floating Pattern kann „Arm Laser“ nicht aktiviert werden. • Mit einem ungelockten beziehungsweise Floating Pattern wird der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ verhindert. • Nach dem Fixieren aller Patterns ist der Wechsel in den Workflow-Step „Treat“ möglich. • Der Laserstatus wechselt nach erfolgreichem Aktivieren korrekt auf „Ready“.

Tabelle 109: Test Case 20

J.21 Testfall 21 – Behandlung und Neues Treatment starten

TF-21	
FR	<u>UC-04 Workflow-Anzeige</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-08 Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)</u> , <u>UC-09 Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)</u>
Funktion	Behandlung und Neues Treatment starten
Beschreibung	Die Testperson führt eine Behandlung durch und lasert mehrere Punkte. Anschliessend startet die Testperson ein neues Treatment und prüft, ob alle bestehenden Pattern sowie alle bereits behandelten Punkte vollständig entfernt werden.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Laserstatus ist „Ready“. Mindestens ein gelocktes Pattern ist vorhanden.
Schritte	1. Testperson startet die Behandlung durch „Arm Laser“. 2. Testperson lasert die Punkte der platzierten Pattern durch drücken der Leertaste (da Standalone). 3. Testperson prüft, ob behandelte Punkte im UI entsprechend dargestellt werden. 4. Testperson prüft, ob sich die Behandlungsfortschrittsanzeige laufend aktualisiert. 5. Testperson prüft, ob das System in den Workflow-Step „Report“ wechselt. 6. Testperson startet ein neues Treatment. 7. Testperson prüft, ob alle bestehenden Pattern entfernt wurden. 8. Testperson prüft, ob alle bereits behandelten Punkte entfernt wurden. 9. Testperson prüft, ob die Behandlungsfortschrittsanzeige zurückgesetzt wurde. 10. Testperson prüft, ob neue Pattern ohne Überreste des vorherigen Treatments erstellt werden können.
Erwartetes Ergebnis	• Mehrere Pattern können behandelt werden. • Bereits behandelte Punkte werden im UI korrekt dargestellt. • Nach dem Start eines neuen Treatments werden alle bestehenden Pattern entfernt. • Bereits behandelte Punkte werden vollständig entfernt. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige wird zurückgesetzt. • Das SLO-Bild enthält keine visuellen Überreste des vorherigen Treatments. • Neue Pattern können nach dem Zurücksetzen normal erstellt werden.

Tabelle 110: Test Case 21

J.22 Testfall 22 – Teilbehandeltes Pattern nach Rückkehr in Plan bearbeiten

TF-22	
FR	<u>UC-04 Workflow-Anzeige</u> , <u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-08 Laserstatus anzeigen und steuern (Standby / Ready / Firing)</u> , <u>UC-09 Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)</u> , <u>UC-15 Einzelne Pattern-Punkte löschen</u>
Funktion	Teilbehandeltes Pattern nach Rückkehr in Plan bearbeiten
Beschreibung	Die Testperson platziert und fixiert ein Pattern, wechselt in den Treat-Step und lasert mehrere Punkte. Anschliessend wechselt sie zurück in den Plan-Step. Dabei wird geprüft, ob bereits behandelte Punkte fixiert dargestellt bleiben und nicht mehr verändert werden können. Die noch unbehandelten Pattern-Punkte sollen jedoch weiterhin als editierbarer Rest des Patterns bearbeitet, verschoben und teilweise gelöscht werden können.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Der Laserstatus ist „Standby“.
Schritte	1. Testperson wählt einen Pattern-Typ mit mehreren Punkten aus. 2. Testperson platziert das Pattern auf dem SLO-Bild und fixiert es. 3. Testperson aktiviert „Arm Laser“ und wechselt dadurch in den Workflow-Step „Treat“. 4. Testperson lasert genau 5 Punkte des Patterns. 5. Testperson prüft, ob die 5 gelaserten Punkte im UI als behandelt dargestellt werden. 6. Testperson wechselt zurück in den Workflow-Step „Plan“. 7. Testperson prüft, ob die 5 gelaserten Punkte weiterhin fixiert und unverändert dargestellt werden. 8. Testperson löst die Fixierung des noch unbehandelten Rest-Patterns. 9. Testperson aktiviert die Erase-Funktion. 10. Testperson versucht, einen bereits gelaserten Punkt zu löschen. 11. Testperson löscht mehrere noch unbehandelte Pattern-Punkte. 12. Testperson deaktiviert die Erase-Funktion. 13. Testperson verschiebt das verbleibende Rest-Pattern an eine andere Position. 14. Testperson rotiert das verbleibende Rest-Pattern. 15. Testperson prüft, ob die gelaserten Punkte trotz Verschieben und Rotieren an ihrer ursprünglichen Position fixiert bleiben. 16. Testperson fixiert das angepasste Rest-Pattern erneut mit „Lock Pattern“. 17. Testperson wechselt wieder in den Workflow-Step „Treat“. 18. Testperson prüft, ob nur noch unbehandelte und nicht gelöschte Punkte für die weitere Behandlung verfügbar sind. 19. Testperson lasert die restlichen Punkte.
Erwartetes Ergebnis	• Das Pattern kann platziert, fixiert und teilweise behandelt werden. • Genau 5 gelaserte Punkte werden im UI als behandelt dargestellt. • Nach der Rückkehr in den Workflow-Step „Plan“ bleiben die gelaserten Punkte sichtbar. • Bereits gelaserte Punkte bleiben an ihrer ursprünglichen Position fixiert. • Bereits gelaserte Punkte können nicht gelöscht, verschoben oder rotiert werden. • Die Fixierung des unbehandelten Rest-Patterns kann gelöst werden. • Noch unbehandelte Pattern-Punkte können gelöscht werden. • Das verbleibende Rest-Pattern kann verschoben werden. • Das verbleibende Rest-Pattern kann rotiert werden. • Beim Verschieben oder Rotieren des Rest-Patterns verändern sich die bereits gelaserten Punkte nicht. • Nach dem erneuten Fixieren enthält die Behandlungslogik nur noch unbehandelte und nicht gelöschte Punkte. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige wird entsprechend dem verbleibenden Rest-Pattern korrekt aktualisiert. • Es werden anschliessend korrekt nur die restlichen Punkte gelasert.

Tabelle 111: Test Case 22

J.23 Testfall 23 – Sperrfläche nach Teilbehandlung hinzufügen

TF-23	
FR	<u>UC-07 Pattern platzieren und anpassen</u> , <u>UC-09 Behandlung ausführen (Laseremission auslösen)</u> , <u>UC-17 Sperrflächen definieren und löschen</u>
Funktion	Sperrfläche nach Teilbehandlung hinzufügen
Beschreibung	Die Testperson bearbeitet ein bereits teilweise behandeltes Pattern. Anschliessend wird eine neue Sperrfläche über bereits behandelte sowie noch unbehandelte Bereiche des Patterns gelegt. Dabei wird geprüft, ob bereits gelaserte Punkte weiterhin sichtbar bleiben und nur noch unbehandelte Punkte innerhalb der neuen Sperrfläche entfernt werden.
Vorbedingungen	Das System befindet sich im Workflow-Step „Plan“. Ein teilweise behandeltes Pattern mit bereits gelaserten Punkten ist vorhanden.
Schritte	1. Testperson prüft, ob bereits behandelte Punkte korrekt dargestellt werden. 2. Testperson aktiviert die Funktion zum Definieren einer Sperrfläche. 3. Testperson zeichnet eine Sperrfläche über einen Bereich mit bereits behandelten und noch unbehandelten Punkten. 4. Testperson prüft, ob unbehandelte Punkte innerhalb der Sperrfläche entfernt werden. 5. Testperson prüft, ob bereits behandelte Punkte weiterhin sichtbar bleiben. 6. Testperson fixiert das angepasste Rest-Pattern erneut mit „Lock Pattern“. 7. Testperson wechselt zurück in den Workflow-Step „Treat“. 8. Testperson prüft, ob nur noch gültige unbehandelte Punkte ausserhalb der Sperrfläche behandelt werden können.
Erwartetes Ergebnis	• Bereits behandelte Punkte werden korrekt dargestellt. • Bereits behandelte Punkte bleiben trotz neuer Sperrfläche sichtbar. • Bereits behandelte Punkte werden durch die Sperrfläche nicht entfernt. • Noch unbehandelte Punkte innerhalb der Sperrfläche werden entfernt. • Noch unbehandelte Punkte ausserhalb der Sperrfläche bleiben erhalten. • Das angepasste Rest-Pattern kann erneut fixiert werden. • Nach dem Wechsel zurück in den Workflow-Step „Treat“ sind nur noch gültige unbehandelte Punkte für die Behandlung verfügbar. • Die Behandlungsfortschrittsanzeige wird entsprechend korrekt aktualisiert.

Tabelle 112: Test Case 23

J.24 Testfall 24 – Workflow-Wechsel und automatische OCT-Scan-Modi prüfen

TF-24	
FR	<u>UC-02 OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan) , UC-04 Workflow-Anzeige</u>
Funktion	Workflow-Wechsel und automatische OCT-Scan-Modi prüfen
Beschreibung	Die Testperson wechselt mehrfach zwischen den Workflow-Steps „Setup“, „Plan“, „Treat“ und „Report“. Dabei werden sowohl die Navigation über den Navigationsbutton unten links als auch die direkte Navigation über die Workflow-Anzeige geprüft. Zusätzlich wird geprüft, ob beim Wechsel jeweils der vorgesehene OCT-Scan-Modus korrekt aktiviert wird und die Darstellung konsistent bleibt.
Vorbedingungen	Das System ist gestartet. Der Workflow-Step „Setup“ ist aktiv.
Schritte	1. Testperson prüft, ob der aktuelle Workflow-Step korrekt angezeigt wird. 2. Testperson wechselt mehrfach zwischen den Workflow-Steps „Setup“, „Plan“, „Treat“ und „Report“. 3. Testperson verwendet dafür sowohl den Navigationsbutton unten links als auch die Workflow-Anzeige. 4. Testperson prüft nach jedem Wechsel, ob der korrekte Workflow-Step aktiv dargestellt wird. 5. Testperson prüft nach jedem Wechsel, ob der vorgesehene OCT-Scan-Modus korrekt aktiviert wird. 6. Testperson prüft, ob manuelle Änderungen des OCT-Scan-Modus weiterhin möglich sind.
Erwartetes Ergebnis	• Der aktive Workflow-Step wird jederzeit korrekt dargestellt. • Alle Workflow-Steps können über den Navigationsbutton unten links erreicht werden. • Alle Workflow-Steps können direkt über die Workflow-Anzeige erreicht werden. • Beim Wechsel zwischen den Workflow-Steps wird jeweils der vorgesehene OCT-Scan-Modus korrekt aktiviert. • Manuelle Änderungen des OCT-Scan-Modus bleiben weiterhin möglich. • Die Navigation zwischen den Workflow-Steps funktioniert stabil und ohne Darstellungsfehler.

Tabelle 113: Test Case 24

J.25 Testfall 25 – Imaging View verwenden und verlassen

TF-25	
FR	<u>UC-02 OCT-Scan durchführen (B-Scan / C-Scan / M-Scan)</u> , <u>UC-20 Bildgebungsmaske</u>
Funktion	Imaging View verwenden und verlassen
Beschreibung	Die Testperson wechselt in die Imaging View und zurück in die normale Ansicht. Dabei wird geprüft, ob die reduzierte Bildgebungsansicht korrekt dargestellt wird, ob die bildgebungsrelevanten Funktionen weiterhin verfügbar sind und ob OCT-Scan-Modi innerhalb der Imaging View korrekt gewechselt werden können.
Vorbedingungen	Das System ist gestartet. Das System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Schritte	1. Testperson aktiviert die Imaging View. 2. Testperson prüft, ob die normale GUI ausgeblendet und die reduzierte Bildgebungsansicht angezeigt wird. 3. Testperson prüft, ob SLO- und OCT-Livebild prominent dargestellt werden. 4. Testperson prüft, ob bildgebungsrelevante Bedienelemente weiterhin sichtbar sind. 5. Testperson wechselt innerhalb der Imaging View zwischen B-Scan, C-Scan und M-Scan. 6. Testperson prüft nach jedem Wechsel, ob der gewählte OCT-Scan-Modus korrekt angezeigt und aktualisiert wird. 7. Testperson verlässt die Imaging View. 8. Testperson prüft, ob die normale GUI korrekt wiederhergestellt wird. 9. Testperson prüft, ob der zuletzt gewählte OCT-Scan-Modus weiterhin aktiv bleibt.
Erwartetes Ergebnis	• Die Imaging View kann aktiviert werden. • Die reduzierte Bildgebungsansicht wird korrekt dargestellt. • Nicht bildgebungsrelevante UI-Elemente werden ausgeblendet. • SLO- und OCT-Livebild werden prominent dargestellt. • B-Scan, C-Scan und M-Scan können innerhalb der Imaging View gewechselt werden. • Der aktive OCT-Scan-Modus wird korrekt angezeigt und aktualisiert. • Die Imaging View kann wieder verlassen werden. • Nach dem Verlassen wird die normale GUI korrekt wiederhergestellt. • Der zuletzt gewählte OCT-Scan-Modus bleibt erhalten.

Tabelle 114: Test Case 25

J.26 Testfall 26 – Expert Mode und Service Mode wechseln

TF-26	
FR	<u>UC-21 Expert Mode verwenden</u> , <u>UC-22 Service Mode verwenden</u>
Funktion	Expert Mode und Service Mode wechseln
Beschreibung	Die Testperson prüft, ob in den Expert Mode beziehungsweise Service Mode gewechselt und wieder zur normalen Ansicht zurückgekehrt werden kann. Zusätzlich wird geprüft, ob bei falscher Passworteingabe eine entsprechende Fehlermeldung angezeigt wird. Dieser Test Case wird zweimal ausgeführt: einmal für den Expert Mode und einmal für den Service Mode.
Vorbedingungen	Das System ist gestartet. Das System befindet sich nicht im Zustand „Firing“.
Schritte	1. Testperson öffnet die Funktion zum Wechsel in den zu testenden Modus. 2. Testperson gibt absichtlich ein falsches Passwort ein. 3. Testperson bestätigt die Eingabe. 4. Testperson prüft, ob eine Fehlermeldung für das falsche Passwort angezeigt wird. 5. Testperson gibt das korrekte Passwort ein. 6. Testperson bestätigt die Eingabe. 7. Testperson prüft, ob der gewünschte Modus korrekt geöffnet wird. 8. Testperson verlässt den aktiven Modus wieder. 9. Testperson prüft, ob die normale Ansicht korrekt wiederhergestellt wird.
Erwartetes Ergebnis	• Der Wechsel in den Expert Mode beziehungsweise Service Mode ist verfügbar. • Bei falscher Passworteingabe wird eine entsprechende Fehlermeldung angezeigt. • Mit korrektem Passwort wird der gewünschte Modus geöffnet. • Der aktive Modus wird korrekt dargestellt. • Der Modus kann wieder verlassen werden. • Nach dem Verlassen wird die normale Ansicht korrekt wiederhergestellt.

Tabelle 115: Test Case 26

K Protokolle der abschliessenden Usability-Tests und Akzeptanzbewertung

K.1 Testperson 1

Testperson	Testperson 1
Tätigkeit	Studierender Informatik
Testdatum	04.06.2026
Testort	OST Rapperswil
Testgerät	Touchscreen eines 14-Zoll-Windows-Notebooks
Testleiter	Tobias Locher
Protokollführer	Nico Tuscano

Tabelle 116: Testinfos Usability Test 1

K.1.1 Szenario A - Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten

- Die Patientendaten wurden gefunden.

K.1.2 Szenario B - Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

- Fixation Target musste erklärt werden (da nicht vom Fach), danach war es aber klar.

K.1.3 Szenario C - Eine Standardbehandlung planen

- Parameterwerte konnten nicht durch Gedrückthalten schneller erhöht oder reduziert werden.
- Beim Löschen eines Pattern Presets kann es passieren, dass das x verfehlt wird.

K.1.4 Szenario D - Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

- Einzelne Dots liessen sich etwas schwierig verschieben.
- Der Lock Pattern-Button direkt beim Pattern funktionierte nicht mehr zuverlässig, man musste etwas länger drücken, dass es gelockt wird.

K.1.5 Szenario E - Behandlung sicher freigeben und durchführen

- Behandlung wurde korrekt gestartet, indem der Laser scharf gestellt wurde.
- Behandlung konnte durchgeführt werden und es war klar, welcher Punkt gerade gelasert wird.

K.1.6 Szenario F - Behandlung dokumentieren und abschliessen

- Dokumentationsfunktion noch nicht vorhanden, deshalb nicht gefunden.
- Dabei ist aufgefallen: User Guide konnte nicht gescrollt werden.

K.1.7 Nachinterview

Allgemeiner Eindruck

- Wie ist Ihr Gesamteindruck vom System?
Grundsätzlich positiv. Das GUI wirkt übersichtlich und der Ablauf ist nach einer kurzen Orientierung gut nachvollziehbar.
- Was hat Ihnen besonders gut gefallen?
Die Patientendaten waren gut auffindbar und während der Behandlung war klar ersichtlich, welcher Punkt gerade gelasert wird.
- Was hat Sie gestört oder irritiert?
Einige Buttons könnten noch etwas grösser sein. (Testscreen war aber etwas kleiner als zukünftiger Screen)

Verständlichkeit & Workflow

- Wie verständlich war für Sie der Aufbau und die Struktur des Systems?
Der grundsätzliche Aufbau war verständlich. Beim Fixation Target war eine kurze Erklärung nötig, danach war die Funktion nachvollziehbar.
- Hatten Sie jederzeit das Gefühl zu wissen, wo Sie sich im Workflow befinden?
Meistens ja. Die einzelnen Schritte waren erkennbar, bei einzelnen Spezialfunktionen war jedoch zusätzliche Erklärung hilfreich.
- Gibt es Stellen, die Sie anders strukturieren oder anordnen würden?
Nein.

Laserparameter & Vorbereitung

- Wie verständlich war für Sie die Darstellung der Laserparameter?
Die Darstellung war grundsätzlich verständlich, auch wenn die medizinische Bedeutung der Parameter ohne Fachwissen nicht vollständig beurteilt werden konnte.
- Hatten Sie das Gefühl, die Parameter kontrolliert und sicher anpassen zu können?
Ja, die Anpassung war nachvollziehbar. Es wäre jedoch angenehmer, wenn Werte durch Gedrückthalten schneller erhöht oder reduziert werden könnten, sofern man grosse Sprünge machen muss.

Pattern & Planung

- Wie empfanden Sie die Platzierung und Anpassung von Patterns?
Die Platzierung war grundsätzlich möglich, das Verschieben einzelner Punkte fühlte sich jedoch teilweise etwas ungenau an mit dem Finger, vielleicht könnte eine Maus nützlich sein.
- Welche Art der Bearbeitung hat sich für Sie am natürlichsten oder effizientesten angefühlt?
(z.B. Verschieben, Freihand, einzelne Punkte löschen, Sperrflächen)
Da ich kein Arzt bin, weiss ich nicht, ob man wirklich alle Patterns braucht. Aber Freehand und Fill wirken praktisch.
- Gab es Funktionen, die Sie nicht erwartet hätten oder die Ihnen gefehlt haben?
Bei den Presets wäre ein klarerer oder grösserer Löschbereich hilfreich, damit man das x nicht so leicht verfehlt.

Behandlung & Sicherheit

- Wie sicher haben Sie sich beim Freigeben und Ausführen der Behandlung gefühlt?
Relativ sicher, da es klar war, wann man den Laser scharf schaltet.
- War für Sie klar, wann das System bereit für die Behandlung ist?
Ja wegen dem LASER READY. Man sieht auch den aktuellen Laserpunkt.

Verbesserung & Abschluss

- Gibt es etwas, das unbedingt hinzugefügt oder entfernt werden sollte?
Der User Guide sollte zuverlässig scrollbar sein. Ausserdem wäre eine bessere Bedienung für schnelle Parameteränderungen hilfreich.

K.2 Testperson 2

Testperson	Testperson 2
Tätigkeit	Studierender Informatik
Testdatum	04.06.2026
Testort	OST Rapperswil
Testgerät	Touchscreen eines 14-Zoll-Windows-Notebooks
Testleiter	Tobias Locher
Protokollführer	Nico Tuscano

Tabelle 117: Testinfos Usability Test 2

K.2.1 Szenario A - Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten

- Die Patientendaten wurden kontrolliert.

K.2.2 Szenario B - Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

- Der Bildausschnitt wurde mithilfe des Fixation Targets eingestellt.

K.2.3 Szenario C - Eine Standardbehandlung planen

- Die Parameter wurden eingestellt.
- Ein Preset wurde gesetzt.

K.2.4 Szenario D - Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

- Der Wechsel in den Workflow-Step Plan wurde korrekt durchgeführt.

K.2.5 Szenario E - Behandlung sicher freigeben und durchführen

- Ein Pattern wurde gesetzt.
- Freihandformen wurden korrekt gezeichnet.
- Es wurde korrekt zu M-Scan gewechselt.
- Arm Laser wurde aktiviert.
- Die Behandlung wurde ausgelöst.

K.2.6 Szenario F - Behandlung dokumentieren und abschliessen

- Einstellungen (oben rechts) könnten automatisch geschlossen werden, wenn an eine andere Stelle im GUI geklickt wird.

K.2.7 Nachinterview

Allgemeiner Eindruck

- Wie ist Ihr Gesamteindruck vom System?
[Sieht gut aus.](#)
- Was hat Ihnen besonders gut gefallen?
[Klarer Workflow](#)
- Was hat Sie gestört oder irritiert?
 - [Das Drehen von Patterns könnte noch flüssiger sein.](#)
 - [Eventuell sollte das Fixation Target blockiert werden, sobald bereits Punkte gesetzt wurden.](#)

Verständlichkeit & Workflow

- Wie verständlich war für Sie der Aufbau und die Struktur des Systems?
[Ohne medizinisches Fachwissen war nicht alles sofort klar. Durch den Workflow war jedoch verständlich, was als Nächstes zu tun ist.](#)

- Hatten Sie jederzeit das Gefühl zu wissen, wo Sie sich im Workflow befinden?
Ja.

Laserparameter & Vorbereitung

- Wie verständlich war für Sie die Darstellung der Laserparameter?
Gut.
- Hatten Sie das Gefühl, die Parameter kontrolliert und sicher anpassen zu können?
Ja.

Pattern & Planung

- Wie empfanden Sie die Platzierung und Anpassung von Patterns?
Das Drehen wirkte etwas laggy. Wenn man eine schöne Kreisbewegung macht, dann dreht es schön flüssig. Wenn man etwas zu schnell und zu stark Richtung Pattern zieht, dann dreht es sich eher sprungartig.
- Welche Art der Bearbeitung hat sich für Sie am natürlichsten oder effizientesten angefühlt?
(z.B. Verschieben, Freihand, einzelne Punkte löschen, Sperrflächen)
Freihand und Fill wirkt intuitiv.

Behandlung & Sicherheit

- Wie sicher haben Sie sich beim Freigeben und Ausführen der Behandlung gefühlt?
Sicher sofern das einschätzbar ist.
- War für Sie klar, wann das System bereit für die Behandlung ist?
Der Wechsel zu Treat ist klar ersichtlich. Ebenfalls sieht man schnell LASER READY.

Verbesserung & Abschluss

- Was würden Sie als Erstes verbessern, wenn Sie könnten?
Das Drehen von Patterns etwas flüssiger machen.

K.3 Testperson 3

Testperson	Testperson 3
Tätigkeit	Studierender Digital Design
Testdatum	05.06.2026
Testort	OST Rapperswil
Testgerät	Touchscreen eines 14-Zoll-Windows-Notebooks
Testleiter	Tobias Locher
Protokollführer	Nico Tuscano

Tabelle 118: Testinfos Usability Test 3

K.3.1 Szenario A - Im Fall orientieren und die Behandlung vorbereiten

- Die Patientendaten wurden korrekt überprüft.

K.3.2 Szenario B - Bildausschnitt finden und Bildgebung beurteilen

- Die Zoom-Funktion wurde intuitiv verwendet.
- Das Fixation Target konnte mit Hilfe und kurzer Erklärung bedient werden.

K.3.3 Szenario C - Eine Standardbehandlung planen

- Die Parameter konnten konfiguriert werden.
- Ein Preset wurde gespeichert.

K.3.4 Szenario D - Pattern für die geplante Behandlung vorbereiten

- Der Continue-Button wurde intuitiv gefunden.
- Das Fill Pattern wurde korrekt verwendet.
- Ein Preset wurde gespeichert.
- Das Fill Pattern wurde gelockt.
- Fehlende Bereiche wurden mit weiteren Patterns ergänzt.

K.3.5 Szenario E - Behandlung sicher freigeben und durchführen

- Arm Laser wurde korrekt aktiviert.
- Alle Punkte wurden gelasert.

K.3.6 Szenario F - Behandlung dokumentieren und abschliessen

- Keine vollständige Beobachtung dokumentiert.

K.3.7 Nachinterview

Allgemeiner Eindruck

- Wie ist Ihr Gesamteindruck vom System?
Gut.
- Was hat Ihnen besonders gut gefallen?
Die Farben ergeben Sinn, Aktionen sind blau gekennzeichnet. Undo ist sehr hilfreich und eines der meistgesuchten Features in Software.
- Was hat Sie gestört oder irritiert?
Back to Planning war irritierend, da im Stepper Plan verwendet wird.

Verständlichkeit & Workflow

- Wie verständlich war für Sie der Aufbau und die Struktur des Systems?
Gut, der Workflow ergibt Sinn.

- Hatten Sie jederzeit das Gefühl zu wissen, wo Sie sich im Workflow befinden?
Ja.
- Gibt es Stellen, die Sie anders strukturieren oder anordnen würden?
Das angesprochene Wording bei Plan und Planning.

Laserparameter & Vorbereitung

- Wie verständlich war für Sie die Darstellung der Laserparameter?
Es war klar, welche Parameter gemeint sind.
- Hatten Sie das Gefühl, die Parameter kontrolliert und sicher anpassen zu können?
Die +- und --Buttons waren klar verständlich.

Pattern & Planung

- Wie empfanden Sie die Platzierung und Anpassung von Patterns?
Das ging gut. Mit dem Fill Pattern konnte ein Bereich gezeichnet und mit Freehand konnten anschliessend einzelne Lücken geschlossen werden.
- Welche Art der Bearbeitung hat sich für Sie am natürlichsten oder effizientesten angefühlt?
(z.B. Verschieben, Freihand, einzelne Punkte löschen, Sperrflächen)
Freehand und Fill.

Behandlung & Sicherheit

- Wie sicher haben Sie sich beim Freigeben und Ausführen der Behandlung gefühlt?
Arm Laser war farblich klar gekennzeichnet, wodurch ersichtlich war, dass hier besondere Aufmerksamkeit nötig ist.
- War für Sie klar, wann das System bereit für die Behandlung ist?
Ja.

Verbesserung & Abschluss

- Gibt es etwas, das unbedingt hinzugefügt oder entfernt werden sollte?
Der Exit Button könnte eventuell entfernt werden, damit man nicht versehentlich auf die Idee kommt, ihn während des Workflows zu verwenden. Das ist jedoch schwierig abschliessend zu beurteilen.