KI-basierte Erfassung von Arbeitsprozessen im Operationssaal zur automatisierten Erstellung des OP-Berichts (KIARA)
Teilvorhaben des Partners Charité – Universitätsmedizin Berlin
Förderkennzeichen: 16SV9034

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I: Kurzbericht

Der Operationsbericht (OP-Bericht) dokumentiert Art, Verlauf und Ergebnis operativer Eingriffe und dient der Informationsübermittlung an weiterbehandelndes Personal, der Therapiesicherheit sowie dem Abrechnungsnachweis.
Das Ziel des Verbundprojekts KIARA war die Erforschung, prototypische Entwicklung, Integration und Evaluation eines KI-gestützten Assistenzsystems für den gesamten OP-Berichtsprozess. Über in OP-Lampen integrierte und im Raum verteilte Sensoren wurden dafür berichtsrelevante Informationen erfasst, mittels KI *on premise*, also innerhalb der Firewall einer Institution, ausgewertet und zu einem Berichtsentwurf zusammengestellt, der von den Operateurinnen und Operateuren nur noch kontrolliert und abgenommen wird. Dafür wurde im *LivingLab* beim Partner Fraunhofer HHI eine OP-Umgebung für Simulationen geschaffen und am Campus Virchow Klinikum der Charité – Universitätsmedizin Berlin ein Operationsaal mit Kamerasystemen und einem High Performance Computer ausgestattet.

Im von der Charité verantworteten Teilprojekt stand die Entwicklung eines chirurgischen Anwendungsszenarios zur semantischen Erfassung prozeduraler Teilschritte komplexer Eingriffe, dessen technische Umsetzung in einem Demonstrator sowie die Evaluierung seiner klinischen Nutzbarkeit im Fokus. Als exemplarischer Eingriff wurde die Nierentransplantation ausgewählt, da sie zeitkritische Phasen wie die warme Ischämiezeit, gut erkennbare charakteristische Teilschritte, e.g. das Einbringen des Transplantats oder das Entfernen der Gefäßklemmen, sowie günstige Erfassungsmöglichkeiten durch Sensorik in der OP-Beleuchtung bot. Gemeinsam mit Chirurginnen und Chirurgen der Chirurgischen Klinik wurden dokumentationsrelevante Schritte und typische Instrumenten- und Materialeinsätze identifiziert, die als Grundlage für die Objekterkennung dienten.
Die benötigten Trainingsdatensätze wurden zunächst im *LivingLab* mit einem Trainingsphantom für offene viszeralchirurgische Eingriffe erzeugt und später im Rahmen realer Eingriffe am Campus Virchow-Klinikum ergänzt. Das *LivingLab* ermöglichte dabei eine erste qualitative Evaluation mit Experten, die technische Optimierung des Aufbaus sowie das Anlernen der KI hinsichtlich bestimmter Tätigkeiten, wobei besonderes Augenmerk auf einer ablenkungsarmen Interaktion während der OP lag. Bei der Untersuchung der Mensch-KI-Interaktion wurden drei Phasen betrachtet: die Prä-OP-Interaktion zur Vorbereitung der Dokumentation am PC, die Intra-OP-Interaktion zur Auswahl und Ergänzung von Inhalten während des Eingriffs sowie die Post-OP-Interaktion zur abschließenden Prüfung, Korrektur und Freigabe des KI-generierten Berichts, bei der Aspekte der Gebrauchstauglichkeit und

ein sicherer Umgang der Nutzerinnen und Nutzer mit Unsicherheiten der KI im Vordergrund standen.
Auf technischer Seite umfasste die Arbeit am Sensorsystem die Auswahl geeigneter Hardware unter Berücksichtigung von Ergonomie, Sterilität und Arbeitsabläufen sowie deren prototypische Integration in Lampen- und Trägersysteme, wobei bauliche Aspekte und eine latenzarme Datenkommunikation zur KI-Hardware im Fokus standen. Für die KI-basierte Detektion und das Tracking wurden zunächst besonders geeignete, zeit- und ergebniskritische Teilschritte festgelegt und anschließend die physikalischen Gegebenheiten im OP (Objektklassen, Belichtungsverhältnisse und Sensoreigenschaften) analysiert, um eine präzise Erfassung relevanter Entitäten zu ermöglichen. Die Charité wirkte an der Weiterentwicklung der KI-Methoden zur Objekterfassung mit. Dabei wurden unter Berücksichtigung geltender Leitlinien und internationaler Dokumentationsstandards die für die Nierentransplantation relevanten Situationen systematisch erfasst und im Hinblick auf die Struktur des OP-Berichts abgebildet; die Beziehungen zwischen den zuvor definierten Objekten, Materialien und Akteuren wurden formalisiert und unter Berücksichtigung zeitlicher Abläufe und Objekttrajektorien in ein KI-Framework zur Erkennung von OP-Situationen überführt, mit dem Ziel, deren Überführung in verschriftlichte OP-Berichte zu ermöglichen.
Die Evaluation begann mit initialen Nutzungsstudien im *LivingLab*, in denen das Eingriffsszenario mit dem Trainingsphantom simuliert wurde, um unter patientenfreien, standardisierten Bedingungen grundlegende Nutzungsanforderungen für die intraoperative Interaktion formativ zu erheben, den technischen Aufbau iterativ zu optimieren und die KI weiter anzulernen. Ergänzend wurden die Benutzungsschnittstellen von KIARA vor und nach einem Eingriff evaluiert, mit besonderem Interesse an der finalen Protokollbearbeitung und der dabei entscheidenden Gebrauchstauglichkeit. Für Akzeptanz und Erfolg des Projekts wurden Effizienz, Genauigkeit und Nutzungszufriedenheit in der prä- und postoperativen Phase als wesentlich erachtet; eine möglichst wenig disruptive Integration des Systems in OP-Ausstattung und Arbeitsabläufe stand dabei im Vordergrund. Nach erfolgreicher Evaluation im *LivingLab* folgten klinische Feldstudien in der Transplantationschirurgie, in denen das Gesamtsystem KIARA in einem entsprechend ausgestatteten Operationssaal am Campus Virchow-Klinikum eingesetzt und hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit und Beanspruchung umfassend bewertet wurde. Da das System Tätigkeiten von Chirurginnen und Chirurgen verfolgt und analysiert, war die Einbindung und Zustimmung des Personalrats der Charité erforderlich, wobei insbesondere Mitbestimmungstatbestände wie Veränderungen von Arbeitsplätzen und -abläufen, Arbeitszeiterfassung, Missbrauchspotenzial sowie Leistungs- und Verhaltenskontrolle adressiert werden mussten. Der Personalrat stimmte dem Vorhaben zu, da es sich um einen zeitlich begrenzten, rein wissenschaftlichen Testbetrieb handelte, der ausschließlich von wissenschaftlich tätigem Personal bei ausgewählten Eingriffen bedient wurde, keine personenbezogenen Beschäftigtendaten verarbeitete und keine dauerhaften Änderungen an Arbeitsplätzen oder -abläufen der regulären Beschäftigten bewirkte; das System lief parallel zum normalen Ablauf der OP-Berichtserstellung, wobei die Datenverarbeitung anonymisiert und lokal im Operationssaal erfolgte.

KI-basierte Erfassung von Arbeitsprozessen im Operationssaal zur automatisierten Erstellung des OP-Berichts (KIARA)
Teilvorhaben des Partners Charité – Universitätsmedizin Berlin
Förderkennzeichen: 16SV9034

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil II: Eingehende Darstellung

Im Zentrum des von der Charité verantworteten Teilprojekts standen die Entwicklung eines chirurgischen Anwendungsszenarios für die semantische Erfassung von prozeduralen Teilschritten im Rahmen komplexer chirurgischer Eingriffe, die praktische Umsetzung und technische Erprobung des entwickelten Konzepts im Rahmen eines Demonstrators sowie die Evaluierung der Nutzbarkeit des Systems (**Abb. 1**) für den Einsatz im klinischen Kontext.

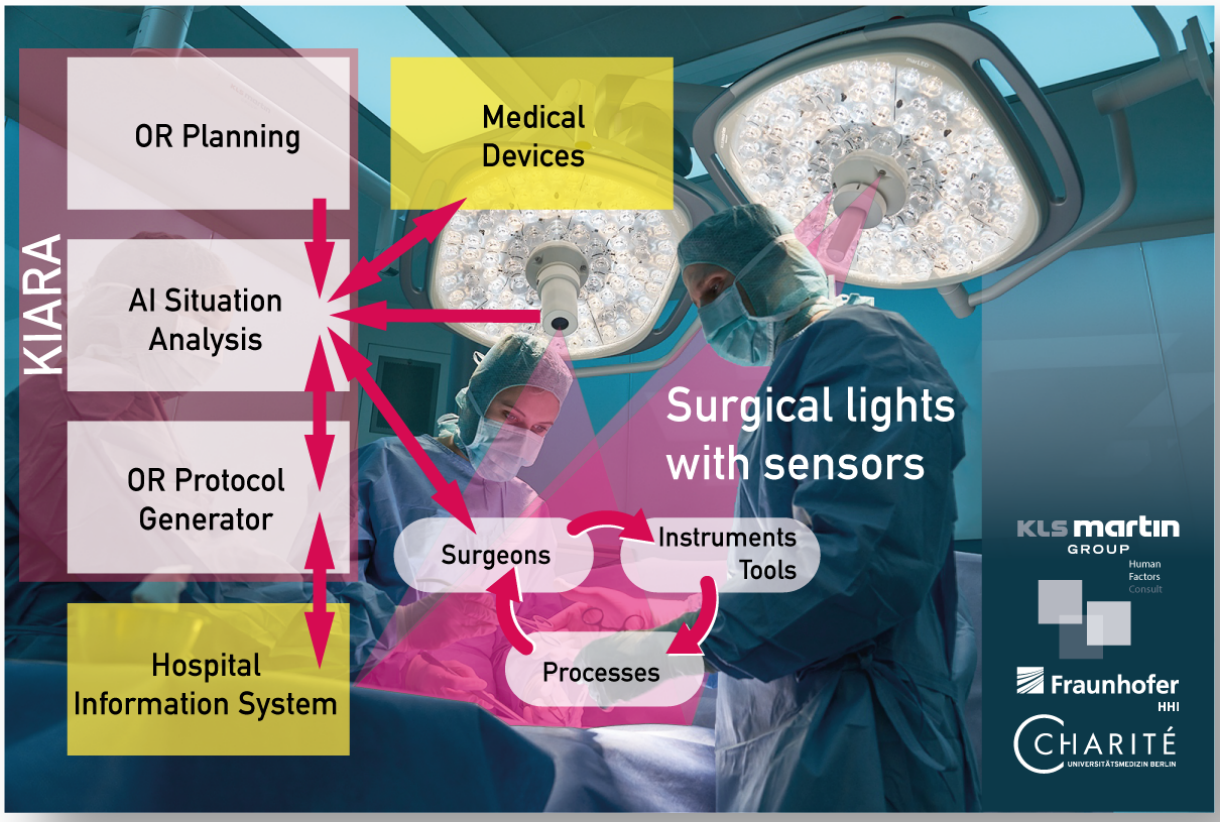

Abbildung 1: Darstellung der Komponenten von KIARA

Zunächst erfolgte die Identifikation geeigneter Teilschritte für die semantische Erfassung. Der viszeralchirurgische Eingriff der Nierentransplantation war durch

prozedurale und anwendungsspezifische Aspekte exemplarisch für das Vorhaben am besten geeignet. Wesentlich für diese Entscheidung waren dabei zeit- und ergebniskritische Aspekte (z. B. die warme Ischämiezeit – also die Zeit, in welcher sich das Transplantat nicht mehr in der kalten Konservierungslösung, sondern im körperwarmen Operationssitus befindet, ohne mit sauerstoffreichem Blut perfundiert zu werden), charakteristische Teilschritte (z. B. das Einbringen des Transplantats in den OP-Situs oder das Entfernen großer Gefäßklemmen aus dem Operationssitus) sowie gute Erfassungsmöglichkeiten durch über dem Operationssitus (z. B. in der OP-Beleuchtung) angebrachte Sensorik. Bei der Implantation einer Niere sind bestimmte, entsprechend zu dokumentierende Parameter relevant. So ist beispielsweise die für die Herstellung der Anastomosen (Verbindungen durch fortlaufende Nähte) der Gefäße (Arterie und Vene) benötigte Zeitspanne eine für die Beurteilung der postoperativen Funktionsaufnahme wichtige Information. Der Beginn und das Ende dieser Phase sind durch charakteristische, durch die KI gut zu identifizierende chirurgische Maßnahmen erkennbar (z.B. das Ausklemmen der Gefäße, das Einbringen des Transplantats in den Operationssitus sowie das Entfernen der Gefäßklemmen nach vollständiger Anastomosierung der Gefäße).

Zusammen mit Chirurginnen und Chirurgen der Chirurgischen Klinik und deren Expertenwissen erfolgte die Identifikation dokumentationsrelevanter Schritte, charakteristischer Handlungsabläufe und situationstypischer Einsätze von Instrumenten und Materialien, welche dann die Grundlage für die Objekterkennung und -verfolgung im OP-Kontext darstellten.

Die für die KI-Methoden erforderlichen Trainingsdatensätze wurden anschließend im bereits etablierten *LivingLab* sowie im Rahmen chirurgischer Eingriffe am Campus Virchow Klinikum erzeugt. Expertenwissen über räumliche Zusammenhänge oder über den Möglichkeitsraum der aus dem Kontext der Operation zu erwartenden Situationen konnte insbesondere im *LivingLab* als *inductive bias* in die Trainingsmodelle integriert werden. Im *LivingLab* wurde ein chirurgisches Eingriffsszenario mit einem bereits etablierten Trainingsphantom für offene viszeralchirurgische Eingriffe simuliert. Diese standardisierten Bedingungen ohne Anwesenheit von Patienten dienten der ersten qualitativen Evaluation der Systemkomponenten mit Experten, der Optimierung des technischen Aufbaus und dem Anlernen der KI hinsichtlich bestimmter Tätigkeiten (z. B. Anreichen und Nutzung bestimmter Instrumente im Situs). Hier stand insbesondere die ablenkungsarme Interaktion während einer OP im Fokus (Intra-OP-Interaktion). Im

Rahmen der klinischen Feldstudien erfolgte die KI-basierte Erstellung eines OP-Berichts in Ergänzung zu dem weiterhin händisch durch das Operationssystem erstellten Bericht. Als objektives Maß der Effizienz wurden die Zeit für die Vorbereitung (Prä-OP-Interaktion) und die Überprüfung sowie ggf. notwendige Änderung und Ergänzung des durch die KI erzeugten OP-Berichts erfasst (Post-OP-Interaktion).
Bei der prozessbegleitenden Interaktion zwischen Nutzerinnen und Nutzern mit der KI-Assistenz musste geprüft werden, wie intensiv die Interaktion während der OP notwendig und möglich war und mittels welcher Modalitäten diese effizient und zufriedenstellend erfolgen konnte. Hierfür wurden drei Phasen der prozessbegleitenden Mensch-KI-Interaktion betrachtet: die Prä-OP-Interaktion, die Intra-OP-Interaktion und die Post-OP-Interaktion. Erstere diente der Vorbereitung der Dokumentation mit konventioneller PC-Hardware. Die Intra-OP-Interaktion erfolgte während der OP und diente der Auswahl und Ergänzung von Dokumentationsinhalten in situ. Hierbei wurden Forschungsfragen zur ablenkungs- und belastungsarmen Interaktionsgestaltung bearbeitet. Die Post-OP-Interaktion diente der finalen Bearbeitung des Protokolls nach der OP, bei der Aspekte wie die Gebrauchstauglichkeit und Nützlichkeit im Vordergrund standen, die auch für die Vorbereitungsphase relevant waren. Bei der nutzerzentrierten Gestaltung der Prüfung und Korrektur der teilautomatisierten Analysen bzw. des Berichts sollten Parameter der Benutzungsschnittstellen (UI) erforscht werden, die zu einem sicheren Umgang der Nutzerinnen und Nutzer mit Unsicherheiten der KI führten.
Im Rahmen der Evaluation des entwickelten KIARA-Prototyps wurde der zeitliche Aufwand für die Nutzerinnen und Nutzer (dokumentierendes Pflegepersonal sowie die verantwortlichen Chirurginnen und Chirurgen) gemessen (Dauer der Interaktionen während des Eingriffs sowie im Rahmen der Überprüfung/Freigabe des Operationsberichts, Anzahl möglicher Fehler) und mit dem bisherigen Standard der Dokumentation verglichen. Die Gebrauchstauglichkeit und die individuelle Einschätzung der Nützlichkeit der technischen Lösung wurden mittels Fragebogen und strukturierten Interviews vergleichend evaluiert. Schließlich erfolgte die Evaluation der Prozesse durch nicht teilnehmende Beobachtung, welche besondere Vorkommnisse, etwaige Unterbrechungen von Arbeitsabläufen oder technische Ausfälle dokumentierte.

Zur Sicherstellung der Interoperabilität wurden standardisierte Schnittstellen zur Anbindung der Hardware sowie softwareseitiger Datenkommunikation und -verarbeitung verwendet.

Im Bereich des Sensorsystems für die OP-Erfassung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Partner KLM zunächst die Auswahl und Evaluation geeigneter Kameramodule sowie deren Positionierung, wobei sowohl die erforderlichen Blickwinkel als auch eine angemessene Usability im klinischen Alltag berücksichtigt wurden; ergänzend wurden im OP-Saal auch mögliche Mikrofone und Spracherkennungsmodelle erprobt. Parallel dazu wurde gemeinsam mit der Medizintechnikabteilung der Charité sowie Servicetechnikern von KLM intensiv geprüft, wie sich die Sensorik baulich in die OP-Leuchten und ein Tragesystem integrieren lässt. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Kabelführung sowie auf möglichen Kollisionen mit weiteren deckenmontierten Geräten im Saal. Darüber hinaus wurde gemeinsam mit dem Partner KLM und in engem Austausch mit der Medizintechnikabteilung der Charité, der OP-Koordination sowie weiteren medizinischen Stakeholdern ein praxistauglichen Montageablauf für das Leuchtensystem erarbeitet, der die Auswirkungen auf den laufenden klinischen Betrieb sowie die internen Richtlinien der Charité berücksichtigte. Bei der Umsetzung des Umbauvorhabens im Operationssaal kam es ungeplanten Verzögerungen. Aufgrund der Verzögerungen bei der Implementierung der Kamerasysteme im Operationssaal wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Projekts bewilligt. Alle Aktivitäten fanden im Projektzeitraum statt.

Gemeinsam mit dem Partner HFC wurde eine Usability-Studie zum UI-Prototyp erfolgreich durchgeführt, der die postoperative Interaktion mit dem generierten Berichtsvorschlag abbildet; die Charité übernahm dabei die Rekrutierung und Bereitstellung der ärztlichen Probandinnen und Probanden sowie die räumlichen und technischen Rahmenbedingungen vor Ort. Da keine geeignete Referenzliteratur zum Status quo der OP-Dokumentation vorlag, wurde zudem gemeinsam mit den Partnern HFC und HHI eine entsprechende Feldstudie im Anwendungsfall der Viszeralchirurgie initiiert. Neben der Mitarbeit an Studiendesign und -planung übernahm die Charité auch hier die Probandenrekrutierung sowie die Begleitung des Studienpersonals bei den Beobachtungen im OP-Saal.

Im Bereich Anforderungsanalyse und Systemdesign wurde zunächst der Anwendungsfall detailliert beschrieben und die grundlegenden Rahmenbedingungen skizziert. Ethische, rechtliche und soziale Fragestellungen wurden erhoben und dienten als Grundlage, gemeinsam mit den Projektpartnern die technischen und funktionalen Anforderungen sowie das Systemdesign abzuleiten. Besonderer Wert wurde dabei auf die qualitative Erhebung der Anforderungen der Chirurginnen und Chirurgen. Eine explorative Untersuchung zu Belastungsfaktoren für Chirurginnen und Chirurgen durch OP-Berichts-relevante Dokumentationsaufgaben untersuchte, welche psychischen Belastungen Chirurginnen und Chirurgen durch OP-berichtsrelevante Dokumentationsaufgaben erfahren. Dazu wurden acht Chirurginnen und Chirurgen (vier Oberärztinnen/Oberärzte, zwei Fachärztinnen/Fachärzte, zwei Assistenz-ärztinnen/Assistenzärzte) der Chirurgischen Klinik der Charité durch eine Studentin des Instituts für Psychologie der Humboldt-Universität beobachtend begleitet. Die Untersuchung zeigte, dass Chirurginnen und Chirurgen sowie das Pflegepersonal durch die Fülle wiederkehrender, wenig flexibler Dokumentationsaufgaben, häufige Unterbrechungen sowie ungünstige Umgebungsfaktoren belastet werden. Trotz der meist kurzer Einzeldauer der Aufgaben summiert sich ein erheblicher zeitlicher und organisatorischer Aufwand. Die Arbeit lieferte eine explorative IST-Analyse als Grundlage für künftige, hypothesenprüfende Forschung und für mögliche Entlastungsansätze.

Im Rahmen einer weiteren Bachelorarbeit wurde untersucht, wie stark Chirurginnen und Chirurgen durch die Dokumentation von OP-Berichten psychisch belastet werden. Auf Basis des Job Demands-Resources-Modells wurde untersucht, ob eine hohe Arbeitsintensität (Zeitdruck, Arbeitsmenge) negativ auf Leistung und Frustration wirkt, und ob ein großer Handlungsspielraum (Autonomie) diese Belastung abfedern kann.

Befragt wurden 62 Chirurginnen und Chirurgen deutscher Kliniken per Online-Fragebogen, ausgewertet mit dem NASA-RTLX und Korrelations-/Regressions-analysen. Von vier Hypothesen bestätigte sich nur eine: Höhere Arbeitsintensität geht signifikant mit mehr Frustration einher. Kein Zusammenhang zeigte sich zwischen Arbeitsintensität und Leistung sowie zwischen Handlungsspielraum und Anstrengung bzw. Leistung. Der erwartete puffernde Effekt von Autonomie blieb aus, vermutlich weil OP-Berichte stark standardisiert verfasst werden müssen. Explorativ zeigte sich zudem, dass jüngere Ärztinnen in Ausbildung stärker unter dem Zusammenhang Arbeitsintensität/Frustration leiden als erfahrene Fachärztinnen, und dass die

Arbeitsintensität auch die Gesamtbeanspruchung sowie geistige Anforderungen signifikant vorhersagt. Nicht fehlende Autonomie, sondern die schiere Arbeitsintensität ist der zentrale Belastungsfaktor bei der OP-Dokumentation.

Im Rahmen des Sensorsystems für die OP-Erfassung galt es, unter Berücksichtigung von Ergonomie, Sterilität und Arbeitsabläufen bei der Auswahl geeigneter Sensorhardware sowie deren prototypischer Integration in Lampen- und Trägersysteme unterstützen. Für den klinischen Demonstrator mussten dabei insbesondere bauliche Aspekte und Verkabelungsmöglichkeiten berücksichtigt und die Voraussetzungen für eine latenzarme Datenkommunikation zur KI-Hardware geschaffen werden.
Für die KI-basierte Detektion und das Tracking im OP war zunächst die Identifikation und Festlegung besonders geeigneter Teilschritte notwendig, wobei vor allem zeit- und ergebniskritische Aspekte sowie charakteristische Teilprozeduren eines Eingriffs im Fokus standen. Anschließend erfolgte die Betrachtung der physikalischen Gegebenheiten im Operationssaal (e.g. Objektklassen, Belichtungsverhältnisse, Objektgrößen und Sensoreigenschaften), um eine möglichst präzise Erfassung relevanter Entitäten durch über dem Situs angebrachte Sensorik zu ermöglichen. Zur Erzeugung von Trainingsdaten wurden im *LivingLab* Sensordaten zur Objektdetektion und -verfolgung unter im Labor simulierten Realbedingungen aufgenommen. Der Partner Charité wirkte zudem bei der Weiterentwicklung und Anpassung der KI-Methoden zur Objekterfassung und -verfolgung für die jeweiligen Anwendungsfälle mit und unterstützte dabei, diese Methoden auf Basis identifizierter KI-Frameworks unter Realbedingungen weiterzuentwickeln.
Beim KI-basierten Situationsverständnis stand die semantische Erfassung prozeduraler Teilschritte komplexer chirurgischer Eingriffe im Zentrum. Hierfür identifizierten wir unter Berücksichtigung geltender Leitlinien und internationaler Dokumentationsstandards die für den Anwendungsfall der Nierentransplantation relevanten Situationen und Kontexte, erfassten diese systematisch und bildeten sie im Hinblick auf die typische Struktur und den erforderlichen Inhalt des zugehörigen OP-Berichts ab. Für die Situationserkennung wurden die Beziehungen der zuvor definierten Objekte, Materialien und Akteure formalisiert und in ein KI-Framework zur Erkennung von OP-Situationen überführt, wobei insbesondere der zeitliche Ablauf der Eingriffe sowie die Trajektorien der detektierten Objekte und Akteure berücksichtigt

wurden. Ziel war es, dass die entwickelten KI-Methoden relevante Situationen im Operationssaal und im Situs erfassen und verstehen sowie deren Überführung in verschriftlichte Operationsberichte ermöglichen sollten.

Im Rahmen der Evaluation wurden zunächst im *LivingLab* initiale Nutzungsstudien zur Interaktion zwischen Nutzerinnen und Nutzern und der KI-basierten Software durchgeführt, wofür das chirurgische Eingriffsszenario mit einem etablierten Trainingsphantom im Labor simuliert wurde. Diese standardisierten, patientenfreien Bedingungen dienten der qualitativ-formativen Evaluation grundlegender Nutzungsanforderungen für die intraoperative Interaktion mit Chirurginnen und Chirurgen, der Optimierung des technischen Aufbaus in iterativen Schleifen sowie des Anlernens der KI hinsichtlich bestimmter Tätigkeiten. Ergänzend erfolgte die qualitativ-formative Evaluation der Benutzungsschnittstellen von KIARA vor und nach einem Eingriff, mit besonderem Interesse an der finalen Protokollbearbeitung nach dem Eingriff und der dabei im Vordergrund stehenden Gebrauchstauglichkeit bei der Prüfung und Korrektur der teilautomatisierten Analysen. Von zentraler Bedeutung war eine möglichst wenig disruptive Integration des Systems in die OP-Ausstattung sowie die chirurgisch-technischen und übergeordneten Abläufe im Operationssaal, mit dem Ziel einer möglichst ablenkungsarmen Interaktion, die den Arbeitsablauf der verantwortlichen Chirurginnen und Chirurgen möglichst wenig unterbrechen sollte.
Für Akzeptanz und Erfolg des Projekts wurden Effizienz, Genauigkeit und Nutzungszufriedenheit in der prä- und postoperativen Phase als wesentlich erachtet. Nach erfolgreicher Evaluation im LivingLab erfolgten klinische Feldstudien in der Viszeral- und Transplantationschirurgie, bei denen das Gesamtsystem KIARA in einem entsprechend ausgestatteten Operationssaal der Chirurgischen Klinik am Campus Virchow-Klinikum der Charité eingesetzt (**Abb. 2**) und nach Kriterien der Gebrauchstauglichkeit und Beanspruchung umfassend bewertet wurde. Wesentlich war die Zustimmung des Personalrats der Charité, da das System Tätigkeiten von Chirurginnen und Chirurgen verfolgt und analysiert. Insbesondere Mitbestimmungs-tatbestände wie etwaige Veränderungen von Arbeitsplätzen/-abläufen, Arbeitszeiterfassung, Missbrauchs-potenzial, Leistungs- oder Verhaltenskontrolle, und die automatisierte Verarbeitung von Beschäftigtendaten mussten adressiert werden. Der Personalrat stimmte dem Vorhaben zu, da es sich um einen zeitlich begrenzten, rein wissenschaftlichen Testbetrieb handelt, der ausschließlich von wissenschaftlich

tätigem Personal bei ausgewählten Eingriffen bedient wird, keine personenbezogenen Beschäftigtendaten verarbeitet und keine dauerhaften Änderungen an Arbeitsplätzen oder -abläufen der regulären Beschäftigten bewirkt. Das Sytem wurden parallel zum normalen Ablauf der Erstellung der OP-Berichte betrieben. Die Datenverarbeitung erfolgte anonymisiert auf einem High Performance Rechner im Operationssaal.

Abbildung 2: Darstellung der technischen Umsetzung in einem der Operationssäle der Charité (rechts: Nutzerschnittstelle während des Betriebs)

Als zentrale Erkenntnisse aus der praktischen Erprobung lässt sich festhalten, dass sich Dokumentationsprozesse im klinischen Alltag als sehr heterogen erweisen. Dies gilt selbst innerhalb ein und derselben Klinik sowie Fachdisziplin, was die Entwicklung eines generischen, breit einsetzbaren Systems zusätzlich erschwert. Vor diesem Hintergrund bestätigte sich die Nierentransplantation als geeigneter initialer Anwendungsfall, da sie durch einen weitgehend gleichbleibenden, standardisierten Ablauf gekennzeichnet ist und sich damit besonders gut für die Entwicklung und Validierung der KI-Methoden eignete. Bei der technischen Umsetzung des Sensorsystems zeigte sich zudem, dass Kameraperspektiven, die an den OP-Leuchten sowie am Fußende des OP-Tisches positioniert werden, einen guten

Überblick über die relevanten OP-Vorgänge ermöglichen und sich damit als vorteilhafte Anbringungspunkte für die Sensorik erwiesen. In Diesem Zusammenhang stellte sich heraus, dass mobile Aufnahmesysteme mit mehreren Kameras die Datenerhebung erheblich erschweren, da sie zeitlich und räumlich sorgfältig in den bestehenden medizinischen OP-Aufbau integriert werden müssen, um den klinischen Betrieb nicht zu stören und gleichzeitig eine belastbare Datengrundlage sicherzustellen. Diese Erkenntnisse verdeutlichen, dass neben der reinen KI-Methodik insbesondere die praxisnahe, an die realen Gegebenheiten des Operationssaals angepasste Sensorintegration einen entscheidenden Erfolgsfaktor für den klinischen Einsatz solcher Systeme darstellt.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Komponenten schaffen über den konkreten Anwendungsfall der Nierentransplantation hinaus einen deutlichen Mehrwert für die chirurgische Dokumentation und KI-gestützte OP-Assistenz im Allgemeinen. Mit der entwickelten automatischen OP-Protokoll-Pipeline steht ein Verfahren zur Verfügung, das die semantische Erfassung prozeduraler Teilschritte durchgängig von der Sensordatenerhebung bis zur automatisierten Berichtsgenerierung abbildet und damit das Potenzial besitzt, den bislang hohen manuellen Dokumentationsaufwand im klinischen Alltag spürbar zu reduzieren. Die zugrundeliegende KI-Vision-Verarbeitungspipeline im OP ist dabei so konzipiert, dass sie visuelle Informationen aus dem Operationssaal in Echtzeit erfasst, verarbeitet und interpretiert, wodurch sie grundsätzlich auch auf andere chirurgische Eingriffe und Fachdisziplinen übertragbar ist. Einen zentralen Beitrag zur Weiterentwicklung und Absicherung dieser KI-Methoden leistet der im Projekt etablierte *LivingLab*-Simulator: Durch den Einsatz von Trainingsdaten-Simulatoren, e.g. auf Basis von VR-Umgebungen und robotischen Systemen, können realitätsnahe, patientenfreie Trainings- und Testszenarien erzeugt werden, was nicht nur die Datengrundlage für das KI-Training erheblich verbreitert, sondern auch eine risikofreie Erprobung und Weiterentwicklung neuer Funktionen ermöglicht, ohne auf reale Eingriffe angewiesen zu sein. Ein weiterer wesentlicher Nutzen liegt in der erzielten Fähigkeit zur Erkennung allgemeiner, eingriffs-übergreifender OP-Arbeitsschritte wie Schnitt-Naht-Sequenzen oder Instrumenten-übergaben: Da diese Arbeitsschritte nicht auf die Nierentransplantation beschränkt, sondern in nahezu allen chirurgischen Eingriffen wiederkehrend sind, bildet die entwickelte Methodik eine generische Grundlage, die sich mit vergleichsweise

geringem Anpassungsaufwand auf weitere viszeralchirurgische und potenziell auch andere operative Fachbereiche übertragen lässt. In der Summe liefert das Teilprojekt damit nicht nur einen funktionsfähigen Demonstrator für einen spezifischen Anwendungsfall, sondern eine übertragbare technologische und methodische Basis, die zukünftige Entwicklungen im Bereich der KI-gestützten OP-Dokumentation nachhaltig unterstützen kann.