

  
**CURAC 2018**  
IN LEIPZIG  
VERNETZT IN DIE ZUKUNFT  
13.-15.09.



# 17. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie e.V.

# Tagungsband

Herausgeber:  
Thomas Neumuth  
Andreas Melzer  
Claire Chalopin

CURAC 2018

# Tagungsband

17. Jahrestagung der  
Deutschen Gesellschaft  
für Computer- und  
Roboterassistierte  
Chirurgie e.V.

13.–15. September 2018, Leipzig

## **Impressum**

Herausgeber:  
Thomas Neumuth  
Andreas Melzer  
Claire Chalopin

Universität Leipzig  
Medizinische Fakultät  
Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS)  
Simmelweisstraße 14  
04103 Leipzig

Redaktion: Kathrin Scholz  
Grafik: Jürgen Auge

ISBN: 978-3-00-060786-8

# Präoperative Planung roboterassistierter Eingriffe mithilfe von augmentierter Realität und Robotik-Simulation

M. Stoljar<sup>1</sup>, O. Burgert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Reutlingen, CaMed, Reutlingen, Deutschland

Kontakt: maxim.stoljar@student.reutlingen-university.de

## Abstract

Die minimal-invasive Chirurgie (MIC) entwickelt sich durch den Einsatz von medizinischen Robotern wie dem da Vinci-System von Intuitive Surgical stetig weiter. Hierdurch kann eine bessere oder gleichwertige Operation bei deutlich geringerer körperlicher Belastung des Operateurs erreicht werden. Dabei entstehen jedoch neue Problemstellungen wie beispielsweise Kollision zwischen Roboterarmen und die benötigte Zeit zum Einrichten einer geeigneten Roboterkonfiguration. Daher ist eine effiziente Vorbereitung und Planung der Interventionen erforderlich. Diese Arbeit präsentiert einen Ansatz für eine verbesserte Planung mit Augmented Reality (AR) und einer Robotik-Simulationssoftware (RS). Die Robotik-Simulation dient zur Berechnung einer Roboterkonfiguration unter Vorgabe der Port-Positionen. Augmented Reality wird verwendet, um die berechneten Pose in der realen Umgebung zu visualisieren und somit leichter in den Operationssaal zu übertragen.

**Keywords:** Minimal-invasive Chirurgie, Augmented Reality, Robotik-Simulation

## 1 Problemstellung

Die größte Barriere für den Einsatz von roboterassistierter MIC ist neben dem enormen Anschaffungspreis, die benötigte Zeit zum Aufbau des Systems. Dabei ist der Aufbau entscheidend für den Ausgang der Operation, aber auch kostenintensiv, weil in dieser Zeit nicht operiert werden kann um Einnahmen mit dem System zu erzielen. Deshalb muss das Personal einen perfekten Spagat zwischen optimaler Operationsvorbereitung und minimalem Zeitaufwand zur Inbetriebnahme schaffen. [1]

Die Problemstellung kann dabei in zwei Aspekte untergliedert werden. Zum einen muss eine optimierte Platzierung ermittelt werden und zum anderen müssen diese Ergebnisse auf die reale Umgebung übertragen werden. Die Schwierigkeit bei der Platzierung besteht in der Auswahl der Port-Positionen, sowie der Positionierung der Roboterarme am Patienten. Wird dies suboptimal durchgeführt, können eine Reihe von Problemen auftreten. Die Zielanatomie ist aufgrund der ungeeigneten relativen Orientierung der Instrumente zum Zielbereich nicht erreichbar. Ein anderes Problem ist die Kollision von Instrumenten innerhalb des menschlichen Körpers oder Kollisionen der Roboterarme außerhalb des Patienten. Ebenso müssen Robotersingularitäten und die Roboter-gelenkanschlüsse für ein positives Operationsergebnis berücksichtigt werden. Diese Schwierigkeiten können zu einer Veränderung der Port-Positionen oder zur Neuausrichtung des Systems führen und in schweren Fällen zum Abbruch der Operation führen. [2] Um diese negativen Auswirkungen zu vermeiden, ist eine effiziente Vorbereitung der Operation erforderlich [3]. Der zweite Aspekt der Problemstellung adressiert die Übertragung der errechneten Roboterkonfiguration und Port-Position in den realen Operationssaal. Die Verwendung der präoperativen Planung ist nur dann möglich, wenn diese visualisiert oder in einer anderen Form auf das reale Setup angewendet werden kann.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Stand der Technik

Es gibt eine Reihe von Arbeiten die sich mit der automatischen Optimierung der Port-Platzierung und Roboterkonfiguration beschäftigen, wobei die Identifizierung der Port-Position als mathematisches Problem beschrieben wurde und die Visualisierung in einer virtuellen Welt dargestellt wurde [3–8]. Durch den Einsatz der virtuellen Realität war es nur schwer möglich die Ergebnisse in die realen Umgebungen zu übertragen.

Ein etwas anderer Ansatz zur Lösung des Planungsproblems ist der wissensbasierte Ansatz, wobei nur die Ergebnisse der Planung durch eine Mixed-Reality-Umgebung auf den menschlichen Körper projiziert wird [9,10]. Diese Arbeit zeigt an einfacheren Transfer der Planungsergebnisse, währenddessen nur die Port-Platzierung angezeigt wird und keine Darstellung der Roboterkonfiguration erfolgt.

Im Rahmen der Recherche wurde nur die Visualisierung der Port-Position mithilfe von Mixed Reality auf der Hautoberfläche des Patienten ermittelt. Dabei gibt es nach aktueller Recherche kein System, das die errechnete

Roboterkonfiguration visualisiert, die für die Platzierung der Roboterarme am Patienten notwendig wäre. Zudem gibt es kein System, das die Visualisierung mit Hilfe von AR durchführt. Daher wird eine Planungsumgebung vorgeschlagen, um die Roboterkonfiguration zu optimieren und für die Inbetriebnahme in AR darstellt.

## 2.2 Planungsumgebung

Die Planungsumgebung besteht aus den zwei Hauptkomponenten Robotik-Simulation (RS) und Augmented Reality (AR). Dabei wird ein extern bezogenes Robotermodell<sup>1</sup> von der RS zur Berechnung der Roboterkonfiguration und von der AR zur Visualisierung in der realen Welt verwendet. Bei dem verwendeten Robotermodell handelt es sich um den da Vinci S von Inuitiv Surgical, der mit drei Armen ausgestattet ist, weil dieses System für eine mögliche Evaluierung zur Verfügung steht. Die RS wurde mit der Robotiksoftware V-Rep umgesetzt, wobei darin die Aufbereitung des Modells und die Modellierung der kinematischen Kette vorgenommen wurde. Die AR ist die zentrale Komponente, die die benötigten Informationen für den Benutzer visualisiert und Interaktionen wie Sprachsteuerung, Gestensteuerung und Feedback ermöglicht. Dabei interagiert der Benutzer nur über die AR mit der Planungsumgebung. Dazu wurde eine Applikation in der Spieleentwicklungs-Engine Unity3D erstellt, die auf die Microsoft HoloLens portiert wird, die anhand von eingebauter Rechenleistung, Sensorik sowie Optik in der Lage ist virtuelle Objekte innerhalb der realen Welt einzublenden. Die HoloLens ist ein kabelloses Head Mounted Display (HMD), das autark betrieben wird.

Im Falle dieser Arbeit wird die RS auf einem separaten Rechner ausgeführt und über WLAN mit der AR synchronisiert. Die synchronisierten Daten bestehen aus der Port-Position und Kommandos zum Starten der Berechnungen, die von der AR an die RS übertragen werden. Im Gegenzug wird die Gelenkkonfiguration an die AR übermittelt. Abbildung 1 zeigt den beschriebenen Datenaustausch. In unseren Ansatz kommuniziert der Benutzer nur mit der AR, währenddessen die RS im Hintergrund läuft.

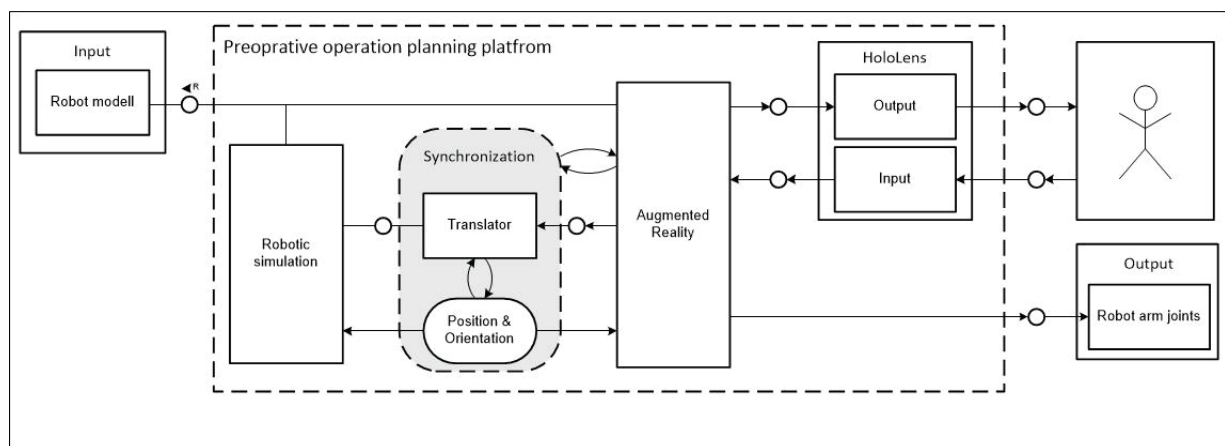


Abbildung 1: Datenaustausch zwischen AR und RS

### 2.2.1 Robotik-Simulation (RS)

Die Berechnung der Roboterkonfiguration wird anhand von Abbildung 2 verdeutlicht, wobei im ersten Teil des Bildes das Gesamtsystem, im zweiten Teil die Gelenke des mittleren Arms und im dritten Teil des Bildes die Gelenke der beiden äußeren Arme dargestellt sind. Die Ermittlung einer Konfiguration beinhaltet auf drei Einschränkungen. Als Erstes muss eine Konfiguration gefunden werden, bei der der Instrumenten-Rotationspunkt mit der Pose des entsprechenden Ports übereinstimmt. Als Zweites darf keine Kollision zwischen unterschiedlichen Roboterarmen und innerhalb eines Roboterarmes vorliegen. Als letztes müssen die Gelenke G3 der äußeren Roboterarme einen maximal großen Abstand zu dem Gelenk G2 des mittleren Roboterarms besitzen, um nun eine optimierte Konfiguration zu erhalten. Dabei ist der mittlere Arm immer in Richtung des rechten Arms ausgerichtet. Die Implementierung der Konfigurationsermittlung basiert auf der Berechnung von 15 unterschiedlichen Konfigurationen, wobei die Erreichung der Port-Position ohne jegliche Kollision berechnet wird. Anschließend wird die Roboterarmkombination gewählt, die den größten Abstand der Gelenke G2 des mittleren Arms und G3 der beiden äußeren Arme besitzt.

<sup>1</sup><https://www.turbosquid.com/3d-models/max-da-vinci-robot/788008>

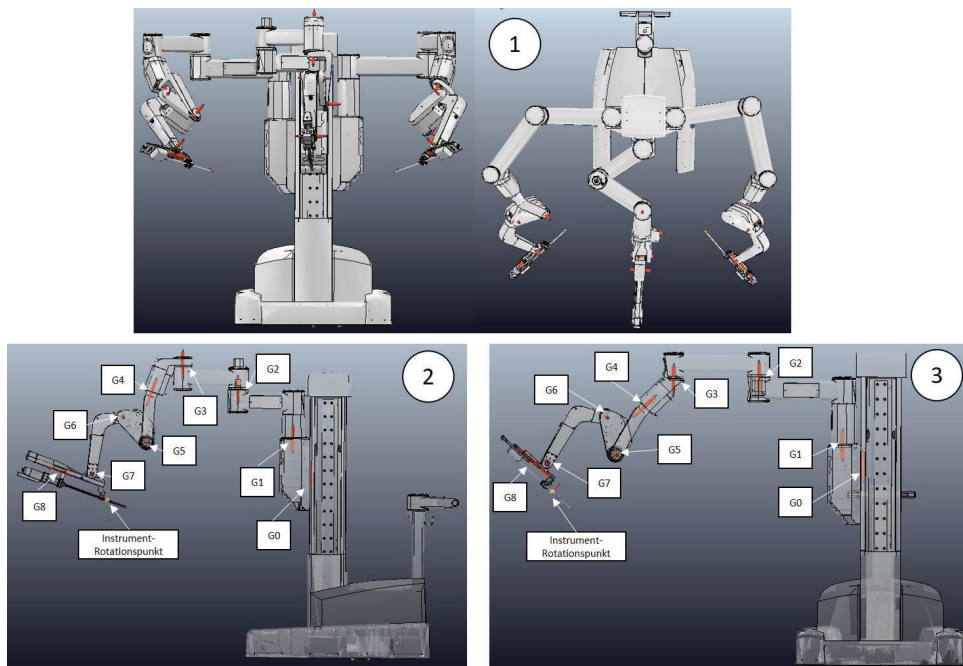


Abbildung 2: 1: Darstellung des Gesamtsystem aus Vorderansicht und Draufsicht. 2: Darstellung der Gelenkpositionen des mittleren Arms. 3: Darstellung der Gelenkpositionen der äußeren Arme

### 2.2.2 Augmented Reality (AR)

Diese Komponente ist verantwortlich für die Hologramm-Platzierung in der realen Welt und die Synchronisation. Die Hologramm-Platzierung ist ein wichtiger Aspekt, um die Ergebnisse der Konfigurationsberechnung in die reale Welt zu übertragen. Daher sollte die Hologramm-Roboterbasis identisch über der realen Roboterbasis des chirurgischen Roboters liegen. Dabei kann die Hardware keine feste Pose für den Ursprung einrichten. Nach jedem Neustart der Anwendung wird der Ursprung des relativen Koordinatensystems auf die aktuelle Position des HMD gesetzt. Um diese Einschränkung zu lösen, wurden zwei Methoden entwickelt. Die erste Methode verwendet Marker, die die absolute Pose im Raum bestimmen. Dazu wird ein Marker auf der Roboterbasis verwendet, der von den eingebauten Kameras erkannt und durch Bildverarbeitung verarbeitet wird<sup>2</sup>. Zur Realisierung der Markererkennung wurde das Toolkit von Vuforia verwendet. Dabei wird ein auditives Feedback implementiert sobald ein Marker erkannt wird. Zusätzlich wurden die Sprachbefehle „Move Robot“, „Place Robot“, „Start Calculation“ und „Pause Calculation“ eingeführt, die ebenfalls mit auditiven Feedback versehen wurden. „Move Robot“ löst die starre Kopplung des Markers mit dem virtuellen Modell, wobei sich das virtuelle Modell immer mit dem Marker bewegt. Wird der Befehl „Place Robot“ ausgelöst, wird die Kopplung entfernt und das Modell wird fest im Raum platziert. Die zweite Methode zur Platzierung des virtuellen Roboters über dem realen ist die Freihandplatzierung durch den Benutzer, die mit dem HoloToolkit von Microsoft realisiert wurde. Dabei wird die Blickrichtung sowie die Hand des Benutzers erkannt und Greifbewegungen registriert, die eine dreidimensionale Positionierung im Raum ermöglichen.

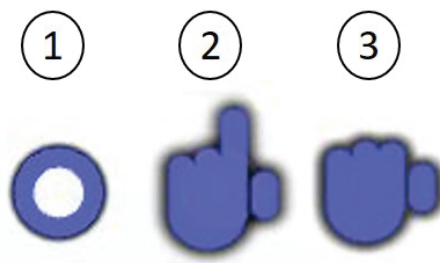


Abbildung 3: Visualisierung der Blickrichtung (1), der Handerkennung (2), der Greifbewegung (3)

Damit die Blickrichtung sowie die Handerkennung für den Benutzer erkenntlich wird wurde ein Feedback-

<sup>2</sup><https://library.vuforia.com/articles/Training/Image-Target-Guide>



System realisiert, dass in Abbildung 3 dargestellt ist. Das erste Symbol visualisiert die Blickrichtung, wobei diese zu jedem Zeitpunkt sichtbar ist oder durch eines der folgenden Symbole ersetzt wird. Mit dem zweiten Symbol wird die Handerkennung visualisiert. Dabei wird die Visualisierung der Blickrichtung durch das zweite Symbol ersetzt. Das dritte Symbol zeigt die Registrierung einer Greifbewegung, wobei das vorhergehende Symbol ersetzt wird.

Wurde ein greifbares Objekt anvisiert und eine Greifbewegung durchgeführt wird das auditiv zurückgemeldet und kann anschließend dreidimensional im Raum bewegt werden. Im Rahmen der Arbeit haben wir eine Freihandplatzierung für die Ports, allen Gelenken und der Roboterbasis ermöglicht. Damit soll eine flexible Platzierung und benutzerspezifische Konfigurationsanpassung geschaffen werden. Während einer manuellen Anpassung der Roboterkonfiguration wird die dritte Einschränkung mit der Berechnung der des größten Abstands zwischen dem Gelenk G2 des mittleren und G3 der äußeren Arme außer kraft gesetzt. Der Ablauf der Interaktion wird in Abbildung 4 und die AR-Sicht durch das HMD in Abbildung 5 dargestellt.

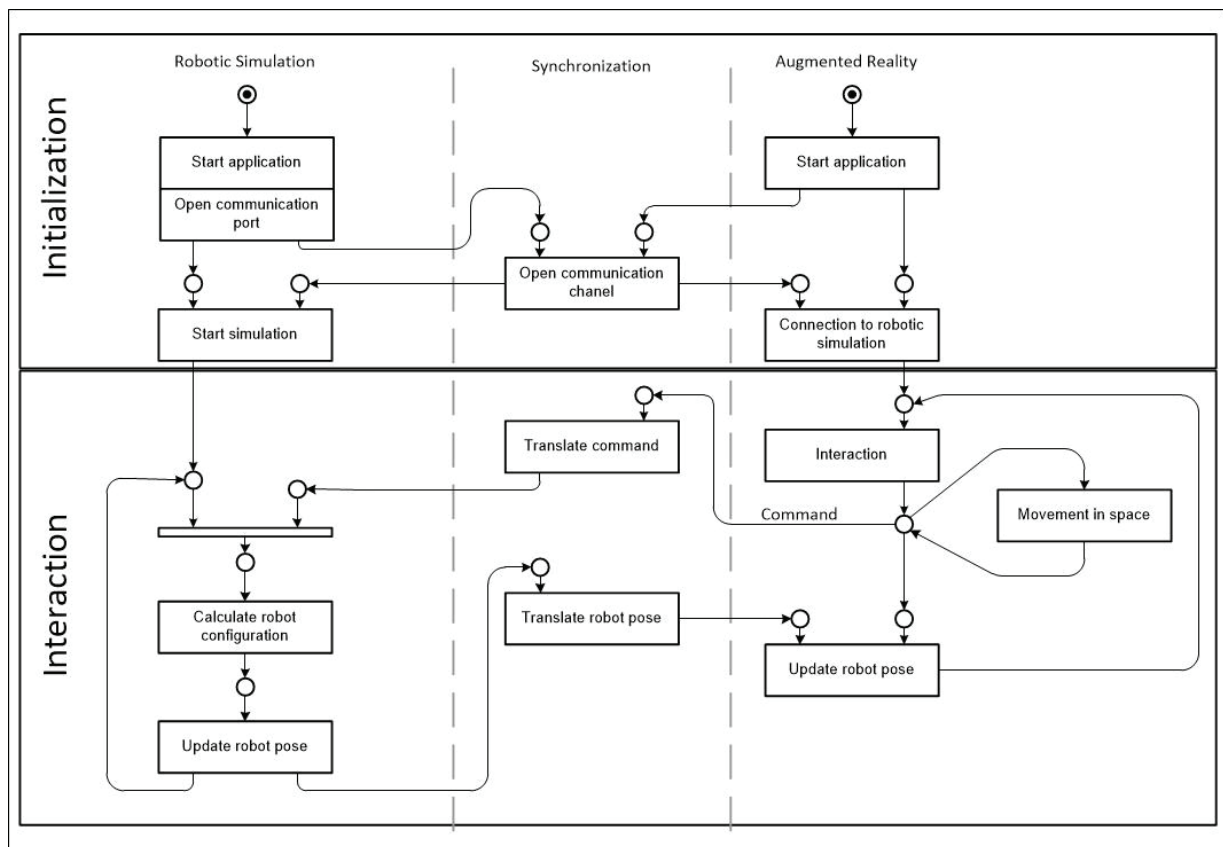


Abbildung 4: Ablaufdiagramm des Gesamtsystems

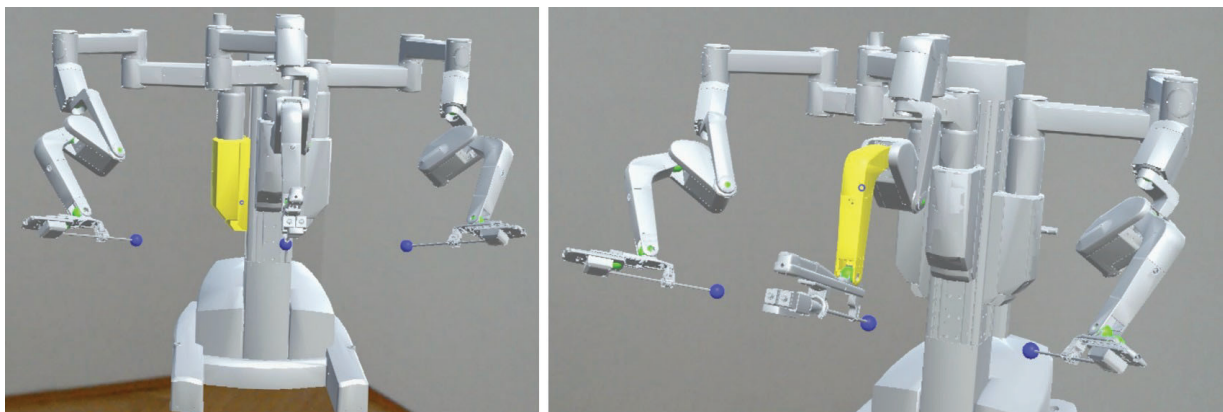


Abbildung 5: AR-Sicht durch die Microsoft HoloLens auf das virtuelle Planungsmodell

### 3 Ergebnisse

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine prototypische Planungsumgebung, in der die präoperative Positionierung der Roboterarme unter Vorgabe der Port-Position durchgeführt und trainiert werden kann. Dabei wurde eine Möglichkeit zur Ergebnisübertragung geschaffen, die AR verwendet um die errechnete Roboterkonfiguration in einer realen Umgebung immersiv zu visualisieren. Das Mapping zwischen virtuellen Objekt und realer Umgebung kann durch das integrierte Marker-Tracking einfach angewendet werden, wobei jederzeit manuelle Verbesserungen vorgenommen werden können.

Des weiteren wurde ein Ansatz zur Konfigurationsberechnung vorgestellt, der in der Praxis ähnliche Anwendung findet. Dabei wird anhand von Markierungen auf den Gelenken G3 der äußeren Arme versucht diese möglichst weit nach außen innerhalb des markierten Bereichs zu bewegen, während die Port-Position eingehalten wird. Darauf aufbauend wurde die vorgestellte Konfigurationsberechnung entwickelt, die diese manuelle Verfahren automatisieren kann, wobei manuelle Modifizierungen durch die Erfahrung des Chirurgen und somit benutzerspezifische Präferenzen einbezogen werden können.

Um die virtuelle Konfiguration zu modifizieren, wurde ein intuitives Interaktionskonzept benötigt, das durch Sprachbefehle, Gestenbefehle, visuelle und auditive Rückmeldungen realisiert wird. Wobei die Verwendung von Blick- und Handerkennung der Art und Weise ähnelt, wie wir mit alltäglichen Dingen in der realen Welt interagieren, wie etwas betrachten und danach greifen. Zusätzlich helfen die Feedback-Methoden dem Benutzer, die Aktionen auf Hologrammen mit dem zu verbinden, was man sehen und hören kann.

### 4 Diskussion

Die vorgestellte präoperative Planungsumgebung befindet sich noch in einem prototypischen Stadium, indem noch eine Evaluierung der leichteren Ergebnisübertragung von der virtuellen Planung in die reale Umgebung durchgeführt werden muss. Außerdem ist die aktuelle Konfigurationsoptimierung noch nicht auf dem Stand der Technik hinsichtlich anderer Optimierungsverfahren. Nichtsdestotrotz ist das Potential durch die Verwendung einer Visualisierung in AR deutlich erkennbar. Werden Planungsumgebungen, die ihre Ergebnisse in virtueller Realität darstellen, mit der in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisvisualisierung in AR verglichen, so liegt eine leichtere Überführung in die reale Umgebung mit unserem Ansatz nahe. Ebenso kann davon ausgegangen werden, dass die immersive Darstellung der Roboterkonfiguration einen Vorteil bei der Platzierung des Medizinroboter am Patienten bietet.

### 5 Zusammenfassung

Es wurde eine präoperative Planungsumgebung für roboterassistierte Eingriffe mithilfe von augmentierter Realität und Robotik-Simulation vorgestellt, die sich noch in einem prototypischen Stadium befindet. Dabei wurde das Potential zur Optimierung in der Ergebnisübertragung aus der Planung in die reale Umgebung aufgezeigt. Als Ausblick wird die Weiterentwicklung des Optimierungsverfahrens bei der Konfigurationsermittlung sowie eine Evaluierung der getroffenen Annahmen zum Ziel gesetzt.

### 6 Referenzen

- [1] D. B. Camarillo, T. M. Krummel, and J. K. Salisbury, JR, "Robotic technology in surgery: past, present, and future," *American journal of surgery*, vol. 188, no. 4A Suppl, pp. 2S–15S, 2004.
- [2] J. W. Cannon, J. A. Stoll, S. D. Selha, P. E. Dupont, R. D. Howe, and D. F. Torchiana, "Port placement planning in robot-assisted coronary artery bypass," *IEEE transactions on robotics and automation : a publication of the IEEE Robotics and Automation Society*, vol. 19, no. 5, pp. 912–917, 2003.
- [3] L. Adhami and E. Coste-Manirei, "Optimal planning for minimally invasive surgical robots," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 19, no. 5, pp. 854–863, 2003.
- [4] L. Adhami, È. Coste-Manière, and J.-D. Boissonnat, "Planning and simulation of robotically assisted minimal invasive surgery," in *Medical image computing and computer assisted intervention - MICCAI 2000* (S. L. Delp, ed.), vol. 1935 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 624–633, Berlin u.a.: Springer, 2000.



- [5] R. Konietschke, H. Weiss, T. Ortmaier, and G. Hirzinger, "A preoperative planning procedure for robotically assisted minimally invasive interventions," in CURAC 2004 3. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie e.V., München, 8.-9. Okt. 2004, 2004.
- [6] M. Hayashibe, N. Suzuki, M. Hashizume, Y. Kakeji, K. Konishi, S. Suzuki, and A. Hattori, "Preoperative planning system for surgical robotics setup with kinematics and haptics," The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, vol. 1, no. 2, pp. 76–85, 2005.
- [7] A. L. Trejos, R. V. Patel, I. Ross, and B. Kiaii, "Optimizing port placement for robot-assisted minimally invasive cardiac surgery," The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS, vol. 3, no. 4, pp. 355–364, 2007.
- [8] L. W. Sun, F. van Meer, J. Schmid, Y. Bailly, A. A. Thakre, and C. K. Yeung, "Advanced da vinci surgical system simulator for surgeon training and operation planning," The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS, vol. 3, no. 3, pp. 245–251, 2007.
- [9] O. Weede, J. Wunscher, H. Kenngott, B.-P. Muller-Stich, and H. Worn, "Knowledge-based planning of port positions for minimally invasive surgery," in IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS), (Piscataway, NJ), pp. 12–17, IEEE, 2013.
- [10] J. Hutzl and H. Worn, "Spatial probability distribution for port planning in minimal invasive robotic surgery (mirs)," in 2015 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA) (D. Bailey, ed.), (Piscataway, NJ), pp. 204–210, IEEE, 2015.