

# OP-Roboter Da Vinci: Evidenz zu Outcomes sowie Methodenbeschreibung zur Bedarfsabschätzung

## Wissenschaftlicher Bericht

Auszüge aus einem Projektbericht im Auftrag des Kärntner Gesundheitsfonds







Gesundheit Österreich  
Forschungs- und Planungs GmbH

# OP-Roboter Da Vinci: Evidenz zu Outcomes sowie Methodenbeschreibung zur Bedarfsabschätzung

## Wissenschaftlicher Bericht

Autorin und Autoren:

Stephanie Lackner  
Martin Zuba  
Florian Bachner

Unter Mitarbeit von:

Richard Pentz

Projektassistenz:

Ingrid Freiburger

Dieser Bericht enthält Auszüge aus einem Projektbericht, der im Auftrag des Kärntner Gesundheitsfonds erstellt wurde. Kärnten-spezifische Ergebnisse wurden entfernt.

Die Inhalte dieser Publikation geben den Standpunkt der Autorin und der Autoren und nicht unbedingt jenen des Auftraggebers wieder.

Wien, im Oktober 2024

Im Auftrag des Kärntner Gesundheitsfonds

Zitiervorschlag: Lackner, Stephanie; Zuba, Martin; Bachner, Florian (2024): OP-Roboter Da Vinci: Evidenz zu Outcomes sowie Methodenbeschreibung zur Bedarfsabschätzung. Gesundheit Österreich, Wien

Zl. P1/32/5592

Eigentümerin, Herausgeberin und Verlegerin: Gesundheit Österreich GmbH,  
Stubenring 6, 1010 Wien, Tel. +43 1 515 61, Website: [www.goeg.at](http://www.goeg.at)

Dieser Bericht trägt zur Umsetzung der Agenda 2030 bei, insbesondere zum Nachhaltigkeitsziel (SDG) 3 „Gesundheit und Wohlergehen“, aber auch zu den SDGs 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“ und 12 „Nachhaltige/r Konsum und Produktion“.

# Kurzfassung

## Hintergrund

Die OP-Robotik und vor allem der OP-Roboter Da Vinci nehmen weltweit in der Verbreitung zu. Die Kosten für das Robotersystem sind jedoch erheblich. Dieser Bericht untersucht die Evidenz zu den Auswirkungen der OP-Robotik, die Verbreitung und Anwendungsgebiete sowie den zukünftigen Bedarf an Da-Vinci-OP-Robotern. Ziel ist, die Vorteile und Herausforderungen der roboterassistierten Chirurgie zu bewerten und eine Methode zur Berechnung von Bedarfsprognosen zu beschreiben.

## Methoden

Es wurde ein umfassender Scoping Review durchgeführt, ergänzt durch Experteninterviews, um den Stand der Wissenschaft zu beschreiben. Für die quantitative Analyse wurden Daten aus der Diagnosen- und Leistungsdokumentation der österreichischen Krankenanstalten gesammelt, einschließlich roboterassistierter und vergleichbarer nicht roboterassistierter Eingriffe. Die Daten wurden deskriptiv beschrieben und die Auslastung der OP-Roboter sowie die Einsatzbereiche detailliert analysiert. Als Kausalitätsanalyse wurde eine Difference-in-Difference-Methode verwendet, um die Auswirkungen der Verfügbarkeit von OP-Robotern auf die Liegedauer und den Anteil minimalinvasiver Eingriffe zu ermitteln.

## Ergebnisse

Die Da-Vinci-Gerätedichte liegt 2023 in Österreich bei 3,3 Systemen je 1 Million Menschen, wobei der europäische Durchschnitt bei 2,2 Geräten liegt. Roboterassistierte Eingriffe können zu besseren Patientenergebnissen führen, vor allem wenn sie offene Eingriffe ersetzen. Die Evidenz im Vergleich zur konventionellen Laparoskopie ist weniger eindeutig. Die Regressionsanalyse zeigt, dass die Verfügbarkeit von OP-Robotern in Österreich zu einer Reduktion der Liegedauer bei bestimmten Eingriffen führt, insbesondere bei der radikalen Prostatektomie, bei der die Liegedauer um etwa einen Tag reduziert wird. Der Anteil minimalinvasiver Eingriffe steigt ebenfalls mit der Verfügbarkeit von OP-Robotern.

## Diskussion

Die Roboterchirurgie befindet sich noch in ihren Anfängen und bringt sowohl Vorteile als auch Herausforderungen mit sich. Es wird erwartet, dass die Robotik zunehmend die offene Chirurgie und Laparoskopie ersetzen wird. Eine Steigerung der Anzahl an Mitbewerbern fördert zukünftige Innovationen und eine breitere Anwendung, welche die Qualität weiter verbessern und die Kosten senken können.

## Schlüsselwörter

roboterassistierte Chirurgie, Da Vinci, OP-Roboter, Bedarfsprognose

# Inhalt

Kurzfassung .....	III
Abbildungen .....	V
Tabellen.....	VI
Abkürzungen .....	VII
1 Einleitung .....	1
2 Methoden .....	2
2.1 Scoping Review.....	2
2.2 Experteninterviews.....	2
2.3 Datensammlung und -verarbeitung.....	3
2.4 Datenanalyse.....	4
3 Anwendungsgebiete und Effektivität.....	7
3.1 Verbreitung und Einsatzgebiete.....	7
3.2 Effektivität .....	7
3.2.1 Technische Vorteile.....	8
3.2.2 Ergonomische Vorteile .....	9
3.2.3 Patientenoutcomes.....	9
3.2.4 Operationszeit .....	10
3.2.5 Strategische Vorteile .....	11
3.3 Vergleich mit der Laparoskopie .....	11
3.4 Trend in Fachgebieten .....	14
4 Nutzungsparameter.....	18
4.1 Kosten und Wirtschaftlichkeit .....	18
4.2 Mitbewerber und Konkurrenzprodukte .....	19
4.3 Training und Prozessentwicklung.....	22
4.4 OP-Robotik in der Ausbildung von Chirurginnen und Chirurgen.....	24
5 Da-Vinci-Roboter in Österreich.....	26
5.1 Bestand an OP-Robotern .....	26
5.2 Gerätedichte.....	28
5.3 Auslastung 2022/23 .....	31
5.4 Einsatzbereiche 2022/23 .....	34
6 Auswirkungen der OP-Robotik in Österreich .....	40
6.1 Belagstage.....	40
6.2 Anteil der Laparoskopie.....	45
6.3 Mortalität.....	46
6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	48
7 Zukunftsperspektiven.....	49
7.1 Basisszenario der Bedarfsprognose .....	50
7.2 Szenarien zu zukünftigen Einsatzgebieten - Methodenbeschreibung .....	50
8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	52
Referenzen .....	54

# Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung der Anteile von offenen, konventionell laparoskopischen und roboterassistierten Eingriffen im US-Staat Michigan von 2012 bis 2018 .....	12
Abbildung 2: Entwicklung der Anteile von offenen, laparoskopischen und roboterassistierten radikalen Nephrektomien in den USA von 2003 bis 2015 .....	13
Abbildung 3: Hysterektomie-Eingriffe nach Art der Hysterektomie in US-Krankenhäusern, welche roboterassistierte Hysterektomien durchführen (2007–2010) .....	14
Abbildung 4: Weltweite Anzahl der Da-Vinci-Einsätze nach Fachgebiet von 2008 bis 2018 .....	15
Abbildung 5: Weltweite Anzahl der Da-Vinci-Einsätze nach Fachgebiet von 2018 bis 2023 .....	15
Abbildung 6: Entwicklung der roboterassistierten Eingriffe in der US-Zivilbevölkerung nach Fachgebiet von 2018 bis 2020 .....	16
Abbildung 7: Entwicklung des Anteils von roboterassistierten Eingriffen für häufige Eingriffe in der Allgemeinchirurgie im US-Staat Michigan von 2012 bis 2018 .....	16
Abbildung 8: Anzahl der Da-Vinci-Eingriffe auf dem chinesischen Festland im Jahr 2021 .....	17
Abbildung 9: Zusammenfassung der Vorteile und Herausforderungen der roboterassistierten Chirurgie aus einer Multistakeholderperspektive .....	23
Abbildung 10: Da-Vinci-Dichte je 1 Million Menschen im Bundesländervergleich für 2023 .....	28
Abbildung 11: Anzahl der Da-Vinci-Systeme je 1 Million Menschen im internationalen Vergleich von 2015 bis 2023 .....	30
Abbildung 12: Anzahl der Aufenthalte nach Indikationsgruppe .....	36
Abbildung 13: Anteil der Aufenthalte mit Robotereinsatz nach Indikationsgruppe .....	37
Abbildung 14: Zeittrend in Belagsdauern (ohne Roboter) .....	41

# Tabellen

Tabelle 1: Ausgewählte Leistungen für die Difference-in-Difference-Analyse.....	5
Tabelle 2: Anzahl der Da-Vinci-Systeme in Österreich nach Bundesland von 2015 bis 2024.....	26
Tabelle 3: Anzahl und Wachstumsrate (WTR) der Da-Vinci-Systeme im internationalen Vergleich jeweils zum Jahresende von 2015 bis 2023.....	27
Tabelle 4: Anzahl der Da-Vinci-Systeme je 1 Million Menschen in Österreich nach Bundesland von 2015 bis 2023.....	29
Tabelle 5: Gerätedichte und Wachstumsrate (WTR) der Da-Vinci-Systeme je 1 Million Menschen im internationalen Vergleich jeweils zum Jahresende von 2015 bis 2023.....	29
Tabelle 6: Roboterassistierte Eingriffe mit Da-Vinci-Systemen je 1 Million Menschen in Österreich nach Bundesland 2022 und 2023.....	30
Tabelle 7: Roboterassistierte Eingriffe mit Da-Vinci-Systemen je 1 Million Menschen im internationalen Vergleich von 2015 bis 2023.....	31
Tabelle 8: Roboterassistierte Eingriffe pro Da-Vinci-Roboter in Österreich nach Bundesland 2022 und 2023 (ungenauere Berechnungsmethode, die internationalen Vergleich ermöglicht).....	32
Tabelle 9: Roboterassistierte Eingriffe mit Da-Vinci-Systemen pro Da-Vinci-Roboter im internationalen Vergleich von 2015 bis 2023.....	32
Tabelle 10: Roboterassistierte Eingriffe pro Da-Vinci-Roboter in Österreich nach Bundesland 2022 und 2023 (genauere Berechnungsmethode auf Monatsbasis).....	33
Tabelle 11: Die häufigsten Einzelleistungen, die in Österreich mit einem Da Vinci durchgeführt wurden.....	35
Tabelle 12: Daten zu Aufenthalten je 100.000 EW und Robotereinsätze (RE) nach Indikationsgruppen im Österreich-Durchschnitt.....	39
Tabelle 13: Regressionsanalyse Belagstage, Modell B1.....	42
Tabelle 14: Regressionsanalyse Belagstage, Modell B2.....	43
Tabelle 15: Regressionsanalyse Belagstage, Modell B3.....	44
Tabelle 16: Regressionsanalyse Anteil Laparoskopie, Modell AL1.....	45
Tabelle 17: Regressionsanalyse Mortalität, Modell M2.....	47
Tabelle 18: Basisszenario des Bedarfsanstiegs an Robotereingriffen ausschließlich aufgrund von demografischen Entwicklungen.....	50

# Abkürzungen

AIC	Das Akaike-Informationskriterium (Akaike Information Criterion) ist ein statistisches Maß zur Modellbewertung.
AT	Austria/Österreich
BIC	Das Bayessches Informationskriterium (Bayesian Information Criterion) ist ein statistisches Maß zur Modellbewertung.
DLD	Diagnosen- und Leistungsdokumentation
EW	Einwohner:innen
FDA	Food and Drug Administration
FKA	landesfondsfinanzierte Krankenanstalt (Fondsrankenanstalt)
HTA	Health Technology Assessment
Inf	Unendlich (Infinite); auch mit dem Symbol $\infty$ dargestellt
N	Anzahl der Beobachtungen
OP	Operation
OR	Odds Ratio
R <sup>2</sup>	Das Bestimmtheitsmaß gibt an, wie gut die beobachteten Daten durch ein Regressionsmodell erklärt werden.
RAS	roboterassistierte Chirurgie (robot-assisted surgery)
RE	Robotereinsatz
RMSE	Die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (Root Mean Squared Error) ist ein Maß zur Bewertung der Genauigkeit eines Modells.
SP	Single Port



# 1 Einleitung

Die roboterassistierte Chirurgie ist eine Art der minimalinvasiven Chirurgie, wobei Chirurginnen und Chirurgen die Instrumente durch einen sogenannten Telemanipulator indirekt steuern. Das Ziel dieser Systeme ist, die Chirurginnen und Chirurgen technologisch zu unterstützen, und nicht, sie zu ersetzen. Die operierende Person steuert dabei die Roboterarme sowie die Kamera von einer separaten Konsole aus. Die erste dokumentierte roboterassistierte Operation wurde bereits 1985 durchgeführt, der kommerzielle Durchbruch folgte im Jahr 2000, als die US-amerikanische Firma Intuitive Surgical (Intuitive) die Zulassung der US Food and Drug Administration (FDA) für ihr Da-Vinci-Robotersystem erhielt (Høyland et al. 2023). Die intensive Vermarktung des Da-Vinci-Systems und seine Rolle bei der Verbesserung der minimalinvasiven Chirurgie haben zu einem erheblichen Wachstum seiner Nutzung in Krankenhäusern und chirurgischen Zentren geführt (Perez/Schwaitzberg 2019). Intuitive konnte den OP-Roboter Da Vinci mittlerweile weltweit als Marktführer etablieren (Perez/Schwaitzberg 2019). Nach dem Auslaufen diverser Patente in den letzten Jahren haben Mitbewerber seit wenigen Jahren mehrere neue Systeme auf den Markt gebracht und es ist zukünftig mit mehr Wettbewerb zu rechnen.

Die Nachfrage nach roboterassistierter Chirurgie wächst kontinuierlich trotz ihrer Kostenintensität. Die Studienlage zu den Vor- und Nachteilen dieser Technologie ist jedoch nicht eindeutig. Einerseits zeigen einige Autorinnen und Autoren Vorteile, wie verbesserte Präzision und kürzere Erholungszeiten, andererseits haben Studien bisher nicht bewiesen, dass die roboterassistierte Chirurgie der konventionellen Laparoskopie überlegen ist (Perez/Schwaitzberg 2019).

Angesichts der hohen Kosten und der bisher nicht nachgewiesenen Überlegenheit ist von Bedeutung, langfristige Ergebnisse und die Gesamtkosten zu analysieren, um valide Aussagen zu Kosten und Nutzen der roboterassistierten Chirurgie tätigen zu können (Perez/Schwaitzberg 2019). Zukünftige Innovationen und neue Mitbewerber könnten dazu beitragen, die Qualität zu verbessern und die Kosten zu senken, wodurch der gesellschaftliche Wert dieser Technologie gesteigert werden könnte (Perez/Schwaitzberg 2019).

Ziel dieser Studie ist die Anwendungsbereiche und Evidenz der OP-Robotik zusammenfassend darzustellen und die potenziellen Vorteile und Herausforderungen der roboterassistierten Chirurgie zu beschreiben.

Dieser Bericht ist nach dem folgenden Aufbau gegliedert. In Abschnitt 2 werden die angewendeten Methoden inklusive Datenquellen beschrieben. Die relevanten Ergebnisse des Scoping Review werden primär in den Abschnitten 3 und 4 präsentiert, wobei die Themenbereiche „Anwendungsgebiete und Effektivität“ und „Nutzungsparameter“ separat dargestellt werden. Abschnitt 5 beinhaltet die deskriptive Beschreibung der Daten zur Da-Vinci-Nutzung in Österreich inklusive internationaler Vergleichsdaten. Eine begrenzte kausale Analyse zu den Auswirkungen der OP-Robotik in Österreich ist in Abschnitt 6 zu finden. Im letzten inhaltlichen Abschnitt 7 werden allgemeine Zukunftsperspektiven der OP-Robotik und mögliche Zukunftsszenarien präsentiert. Abschließend werden die Ergebnisse in Abschnitt 8 zusammengefasst und diskutiert.

## 2 Methoden

### 2.1 Scoping Review

Es wurde eine umfassender Scoping Review auf der Basis einer systematischen Literatursuche mit Fokus auf Metastudien (Reviews) in deutsch- und englischsprachiger Fachliteratur zu OP-Robotern des Typs Da Vinci durchgeführt. Es wurde eine Literatursuche in den bibliografischen Datenbanken Medline, EMBASE und EconLit durchgeführt.

Zusätzlich wurden Handsuchen in Google Scholar, auf den Webseiten von einschlägigen Institutionen und bei weiteren Quellen durchgeführt, um graue Literatur und relevante Datensätze zu identifizieren.

Im Rahmen des Scoping Review wurden über 450 wissenschaftliche Publikationen gesichtet, um einen zusammenfassenden Überblick über die in der Fachliteratur veröffentlichten Einschätzungen zu geben, nicht jedoch, um den Stand der Wissenschaft zu diesem Thema gänzlich und abschließend zu erfassen.

Die Ergebnisse des Scoping Reviews fließen in die Einleitung sowie die Abschnitte Anwendungsgebiete und Effektivität, Nutzungsparameter, Da-Vinci-Roboter in Österreich und Zukunftsperspektiven ein.

### 2.2 Experteninterviews

Es wurden vier Interviews zwischen dem 8. und 21. August 2024 mit insgesamt sechs österreichischen Experten in dem Gebiet der OP-Robotik durchgeführt. Bei allen befragten Experten handelt es sich um Ärzte in den Fachgebieten Urologie, Allgemeinchirurgie oder Gynäkologie.

Bei den Interviewpartnern handelte es sich hauptsächlich um Primärärzte. Mit der Ausnahme von einem Experten, der mit dem Da Vinci nur ein Schulungsprogramm im Labor und mit Präparaten durchlaufen hat, verfügen alle über eine jahrelange Erfahrung mit roboterassistierter Chirurgie und dem Da-Vinci-System an Patientinnen und Patienten, wobei es sich um sehr unterschiedliche Erfahrungszeiträume von 1,5 bis 20 Jahren handelt. Zwei der Experten sind auch als Proktoren für die Firma Intuitive tätig.

Die Interviews wurden mit der Zustimmung der Interviewpartner aufgezeichnet, transkribiert und thematisch analysiert. Die Inhalte der Interviews fließen gemeinsam mit der Literaturanalyse sowohl in die Einleitung als auch in die Abschnitte 3 bis 5 und 7 ein.

Um Expertinnen und Experten für Interviews zu finden, wurde mit den Vorsitzenden der Österreichischen Fachgesellschaften für Urologie und Andrologie, Chirurgie, Gynäkologie und Geburtshilfe Kontakt aufgenommen. Die Auswahl der Fachgesellschaften basiert auf den drei Fachgebieten, für welche die roboterassistierte Chirurgie besonders hohe Relevanz hat. Von allen drei Fachgesellschaften wurden Interviewpartner gefunden bzw. empfohlen, wobei es sich ausschließlich um männliche Interviewpartner handelte. Außerdem wurden die Österreichische Gesellschaft für Roboterchirurgie und die Deutsche Gesellschaft für Computer- und Roboter-

assistierte Chirurgie angeschrieben, von denen jedoch keine Antworten erhalten wurden. Einer der sechs interviewten Experten wurde vom Auftraggeber als Experte empfohlen.

Des Weiteren wurde ein kurzes Gespräch mit einem Vertreter der Da-Vinci-Firma Intuitive geführt, um Informationen zu Verbreitung und Einsatzgebieten von Da-Vinci-Robotern in Österreich und internationale Vergleichsdaten zu erhalten.

## 2.3 Datensammlung und -verarbeitung

Als Grundlage für die quantitativen Analysen wurden die folgenden Daten gesammelt und erhoben.

Aus der Diagnosen- und Leistungsdokumentation (DLD) wurden Daten zu **roboterassistierten Eingriffen** in Österreich, vergleichbaren Eingriffen ohne Robotereinsatz und Informationen zu Belagstagen, Mortalität und Wiederaufnahmen der jeweiligen Patientinnen und Patienten ermittelt. Besonders relevant für die Datensammlung war hier die Leistungscodierung **ZN410 – Anwendung eines OP-Roboters (LE=je Sitzung)** aus der Diagnosen- und Leistungsdokumentation der österreichischen Krankenanstalten. Bei dieser Leistung handelt es sich gemäß dem Leistungskatalog BMSGPK 2024<sup>1</sup> um die „Anwendung eines komplexen OP-Roboters oder eines roboterarm-gestützten chirurgischen Assistenzsystems“. Die Codierung erfolgt „als Zählleistung zusätzlich zur jeweiligen Operation“. Die Codierung ZN410 ist erst seit dem 1. Januar 2022 verfügbar, weswegen Daten zur OP-Robotik in Österreich vor 2022 größtenteils nicht vorhanden sind oder nur schwer qualitätsgesichert werden können. Die Anzahl der Eingriffe wird anhand der Anzahl der Leistungserbringungen ermittelt.<sup>2</sup>

Eine Liste aller Krankenanstalten mit **Da-Vinci-OP-Robotern in Österreich** wurde erstellt, mit den Krankenanstalten, die im Jahr 2022 oder 2023 die Leistung *ZN410 – Anwendung eines OP-Roboters* codiert haben, als Grundlage. Um die erste Inbetriebnahme eines OP-Roboters datieren zu können sowie Anzahl und Typ festzustellen, wurden Informationen aus einer Onlinerecherche nach relevanten Artikeln, vor allem in Regionalzeitungen, und durch direkte Kontaktaufnahmen mit den entsprechenden Krankenanstalten gesammelt.

Auf Basis der recherchierten Liste an Da-Vinci-OP-Robotern und anderen Robotersystemen in Österreich (siehe Abschnitt 5.1 Bestand an OP-Robotern) wurden die Daten zu roboterassistierten Eingriffen aus der DLD so **gefiltert**, dass möglichst alle roboterassistierten Eingriffe, die mit Nicht-Da-Vinci-Systemen aus dem Datensatz entfernt wurden. Es ist jedoch möglich, dass weitere Eingriffe mit Nicht-Da-Vinci-Systemen, für die keine Methode gefunden wurde, sie zu identifizieren und herauszufiltern, in dem Datensatz noch vorhanden sind. Konkret wurden alle Eingriffe des UKH Steiermark-Kalwang und alle orthopädischen Eingriffe des Kepler Universitätsklinikums Linz entfernt, da es sich dabei um Eingriffe mit Mako-Systemen handeln dürfte. Außerdem wurden alle Eingriffe der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des LKH Salzburg herausgefiltert, da es sich dabei um Eingriffe mit einem Symani-System handeln dürfte.

---

<sup>1</sup> <https://www.sozialministerium.at/Themen/Gesundheit/Gesundheitssystem/Krankenanstalten/LKF-Modell-2024/Kataloge-2024.html> (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>2</sup> In manchen wenigen Fällen ist die Anzahl der Leistungen größer als die Anzahl der Leistungserbringungen. Es dürfte sich dabei aber höchstwahrscheinlich um Fehlkodierungen handeln.

**Internationale Vergleichswerte** zu Verbreitung und Einsatz wurden mithilfe der Literatursuche ermittelt. Dafür wurden vor allem Daten aus den Jahresberichten der Firma Intuitive sowie aus anderen von Intuitive zur Verfügung gestellten Publikationen entnommen.

**Kosteninformationen** basieren auf Informationen aus der Literatursuche und den Experteninterviews.

Des Weiteren wurden Daten zur **österreichischen Bevölkerung** auf Bundesländerebene von der Statistik Austria und internationale Bevölkerungsdaten von Our World in Data verwendet, um Gerätedichten und Auslastungszahlen relativ zur Bevölkerung zu berechnen.

## 2.4 Datenanalyse

Die gemäß 2.3 erstellten Datensätze werden in Abschnitt 5 deskriptiv beschrieben. Dazu werden (i) die recherchierten Bestände an OP-Robotern nach Regionen ausgewiesen, (ii) die Gerätedichte und die Anzahl der Da-Vinci-Eingriffe relativ zur Bevölkerung berechnet, (iii) die Auslastungen der Systeme anhand von Eingriffen pro Da-Vinci-Roboter ermittelt und (iv) die österreichischen Einsatzbereiche anhand von Einzelleistungen und Aufenthalten nach Indikationsgruppen detailliert beschrieben.

Auf Basis der vorliegenden Daten wird in Abschnitt 6 analysiert, ob es ab dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit von OP-Robotern eine Änderung der Patientenoutcomes bei ausgewählten Eingriffen festgestellt werden kann. Dabei wird die Methode der Difference-in-Difference-Analyse herangezogen, bei der es sich um eine Form der Regressionsanalyse handelt. Die Difference-in-Difference Analyse ist eine Methode, um den Effekt einer bestimmten Maßnahme oder Veränderung zu messen. Sie schätzt den kausalen Effekt einer Intervention, indem sie die Veränderung in einer Behandlungsgruppe vor und nach einer Maßnahme mit der Veränderung in einer nicht betroffenen Kontrollgruppe vergleicht. Die Methode basiert auf der Annahme, dass die Kontrollgruppe den hypothetischen Trend der Behandlungsgruppe widerspiegelt, falls die Intervention nicht stattgefunden hätte (Parallel-Trend-Annahme). Der Effekt wird durch die Differenz der Veränderungen in beiden Gruppen berechnet und eliminiert so zeitliche Einflüsse, die auf beide Gruppen gleichermaßen wirken. Diese Methode ist besonders nützlich bei Quasi-Experimenten, wenn randomisierte Kontrollgruppen nicht verfügbar sind. Dieser Ansatz kann auch angewendet werden, wenn in einzelnen Regionen ab jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten eine neue Behandlungsmöglichkeit zur Verfügung steht. Die schrittweise Einführung von OP-Robotern in den österreichischen Bundesländern erlaubt bei der Anwendung der Difference-in-Difference Methode, einen etwaigen Zeittrend in den Outcome Variablen, der unabhängig von der Verfügbarkeit von OP-Robotern zu beobachten ist, von einem durch die Einführung der OP-Robotern erzielten Effekt zu isolieren. Beispielsweise nehmen Liegedauern bei operativen Eingriffen im Zeitverlauf generell ab.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass diese Methode bei der Analyse der Patientenoutcomes nicht unterscheidet, ob Patientinnen und Patienten roboterassistiert operiert wurden oder nicht. Das liegt daran, dass manche Patientinnen und Patienten für minimalinvasive Operationen nicht infrage kommen und gleichzeitig aufgrund ihres Gesundheitszustands schlechtere Outcomes zu erwarten sind. Das ist beispielsweise bei adipösen Patientinnen und Patienten öfter der Fall. Bessere Outcomes nach roboterassistierten Operationen könnten somit, statt auf den

tatsächlichen Effekt des Roboters, auf diese Selektion in der Patientenauswahl zurückzuführen sein. Die *Verfügbarkeit* von OP-Robotern in einem Bundesland hängt hingegen nicht vom Gesundheitszustand von Patientinnen und Patienten ab. Wenn OP-Roboter einen positiven Effekt auf Patientenoutcomes verursachen, ist davon auszugehen, dass sich die durchschnittlichen Patientenoutcomes nach Operationen *insgesamt* verbessern, weil bei *manchen* Patientinnen und Patienten der Roboter effektiv eingesetzt werden kann.

Für eine Reihe an besonders häufig roboterassistiert durchgeführten Eingriffen (siehe Tabelle 1) wird daher überprüft, ob sich ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme eines bzw. mehrerer Roboter Änderungen hinsichtlich (i) der Liegedauer und (ii) des Anteils der minimalinvasiv (roboterassistiert oder konventionell laparoskopisch) durchgeführten Eingriffe feststellen lassen. Die Ergebnisparameter Sterblichkeit und ungeplante Wiederaufnahme in eine Akutkrankenanstalt konnten nur teilweise untersucht werden, weil für die ausgewählten Eingriffe Sterbefälle und ungeplante Wiederaufnahmen innerhalb von 30 Tagen für diese Analyse zu selten vorkommen, was aus Patientensicht erfreulich ist.<sup>3</sup> Als Zeitraum für die Analyse werden die Jahre 2013–2023 herangezogen. Auch wenn ein längerer Zeitraum theoretisch möglich wäre, ist aufgrund der noch jungen OP-Robotik und der daher relativ schnellen Veränderungen in diesem Bereich nicht repräsentativ, weiter in der Vergangenheit liegende Jahre zu inkludieren.

Als regionale Analyseebene wurde die Ebene der Bundesländer festgelegt. Das heißt, dass Patientenströme innerhalb eines Bundeslands angenommen werden. Beispielsweise suchen Patientinnen und Patienten, die für minimalinvasive Operationen in Frage kommen, möglicherweise gezielt Krankenhäusern mit OP-Robotern auf, was zur Folge hätte, dass in Krankenhäusern ohne OP-Robotern der Anteil minimalinvasiver Eingriffe steigt und sich Patientenoutcomes wie durchschnittliche Liegedauern verändern. Aufgrund dieses Selektionseffekts wäre eine Analyse der Auswirkung von OP-Robotern auf Patientenoutcomes einzelner Krankenhäuser irreführend. Sofern es aber zu keinen relevanten Änderungen der Patientenströmen zwischen den Bundesländern aufgrund der Verfügbarkeit von OP-Robotern kommt, verhindert die Festlegung der regionalen Analyseebene der Bundesländer eine Verzerrung von Ergebnissen aufgrund dieses Selektionseffekts.

Tabelle 1: Ausgewählte Leistungen für die Difference-in-Difference-Analyse

Kategorie	Leistungscode	Leistungen 2013–2023
Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie	LM080 und LM090	215.696
Cholezystektomie	HM100 und HM110	208.880
Hysterektomie	JK100, JK101, JK102, JK110 und JK120	91.344
Teilnephrektomie	JA070 und JA080	6.737
Radikale Prostatektomie	JG050 und JG060	14.557

Quelle und Darstellung: GÖG

Bei dieser Analyse werden nur Daten zu Eingriffen und Aufenthalten in Fondskrankenhäusern berücksichtigt. Die Anzahl der Leistungen wird anhand der Anzahl der Leistungserbringungen

<sup>3</sup> Von insgesamt 537.214 Leistungserbringungen, gab es nur 800 Wiederaufnahmen.

ermittelt. Leistungserbringungen mit einer Leistungsanzahl größer als eins finden keine zusätzliche Berücksichtigung.

Neben der Verfügbarkeit von OP-Robotern und einem Zeittrend, der mittels Spline-Regression aus den Daten isoliert wird, berücksichtigt das Modell das Alter und Geschlecht der Patientinnen und Patienten sowie fixe Effekte für jenes Bundesland, in dem die Behandlung erfolgt. Die fixen Bundeslandeffekte werden mit Kärnten als Referenzkategorie bestimmt, sodass sie im Vergleich zu Kärnten zu interpretieren sind. Für jeden Roboter wird eine 45-tägige Einführungszeit ab dem ersten Tag des Inbetriebnahmemonats angenommen, sodass der Roboter erst danach als verfügbar gilt. Die Berechnung der Regressionsanalyse erfolgt mit dem R-Paket `mgcv` (Wood 2017).

Bei der Anwendung der Difference-in-Difference Regressionsanalyse auf die Belagsdauer als Outcomevariable werden lineare Modelle eingesetzt. Für den Anteil der nicht-offen durchgeführten Eingriffe sowie die Mortalität werden Logit Modelle verwendet.

Zuletzt werden in Abschnitt 7 Berechnungsmethoden für Zukunftsszenarien beschrieben., wobei sowohl die demografischen Entwicklungen als auch die Ausweitung der OP-Robotik-Anwendung und die Anpassung an den österreichischen Durchschnitt berücksichtigt werden.

## 3 Anwendungsgebiete und Effektivität

### 3.1 Verbreitung und Einsatzgebiete

Trotz der heutigen Popularität stieß die Roboterchirurgie anfangs auf erheblichen Widerstand (McCartney 2023). Viele Chirurgen und Chirurgen empfanden die Technologie als zu disruptiv und befürchteten einen Verlust der direkten Kontrolle über die Operation. Frühe Anwendungen, insbesondere in der Herzchirurgie, wurden häufig aufgrund der Komplexität und der technischen Herausforderungen, wie der Vereinbarkeit mit Herz-Lungen-Maschinen und der Arbeit am schlagenden Herzen, abgebrochen (McCartney 2023).

Ein bedeutender Durchbruch erfolgte mit der Einführung der roboterassistierten radikalen Prostatektomie. Dieses Verfahren fand breite Akzeptanz, da Forschungen zeigten, dass es im Vergleich zu offenen chirurgischen Verfahren den Krankenhausaufenthalt und den Blutverlust bei Patientinnen und Patienten verringerte (McCartney 2023).

Aktuelle Daten aus den Jahresberichten der Firma Intuitive zeigen, dass sich die Anzahl der weltweiten Da-Vinci-Systeme seit 2016 mehr als verdoppelt hat. Im selben Zeitraum hat sich die Anzahl der Systeme in Österreich fast vervierfacht. Auch alle interviewten Experten sind sich einig, dass die Verbreitung und der Einsatz von Da-Vinci-Robotern in den letzten Jahren in Österreich stark zugenommen haben. Mit Ende des Jahres 2023 gab es weltweit 8.606 Da-Vinci-Systeme, davon 1.617 in Europa und von diesen wiederum 30 in Österreich. Viele Krankenanstalten, auch in durchaus ruralen Regionen, haben Roboter angeschafft – aus der Perspektive von manchen befragten Experten oft aus politischen oder marketingtechnischen Gründen. Der Da-Vinci-Roboter hat, auch durch geschicktes Marketing, eine Monopolstellung erreicht. Experten und Literatur berichten, dass Krankenhäuser ohne Roboter oft als weniger innovativ wahrgenommen werden (Crew 2020; Perez/Schwaitzberg 2019).

Dass nicht nur die Anzahl der Roboter, sondern auch der Anteil der roboterassistierten Eingriffe steigt, illustrieren Daten aus dem Register der Michigan Surgical Quality Collaborative. Zwischen 2012 und 2018 stieg der Anteil roboterassistierter Operationen im US-Staat Michigan von 1,8 Prozent auf 15,1 Prozent, während die Anwendung sowohl der konventionell laparoskopischen als auch der offenen Eingriffe abnahm (Sheetz et al. 2020). Weltweit hat sich die Anzahl der Da-Vinci-Eingriffe von 2016 bis 2023 mehr als verdreifacht und gemäß den Daten aus den Intuitive-Jahresberichten nimmt sie jährlich um ca. 20 Prozent zu.

Die häufigsten Einsatzgebiete von Da-Vinci-Robotern sind üblicherweise die Urologie, gefolgt von der Allgemeinchirurgie und der Gynäkologie. Es wird erwartet, dass die Einsatzgebiete in Zukunft weiter zunehmen und sich auf andere Fachbereiche wie zum Beispiel die Thoraxchirurgie ausweiten. Das lässt sich sowohl aus den Meinungen der befragten Experten als auch aus den Daten der Intuitive-Jahresberichte schließen.

### 3.2 Effektivität

Die chirurgische Robotik stellt eine bedeutende Erweiterung der minimalinvasiven Chirurgie dar. Sie ermöglicht komplexe Eingriffe, die durch die technische Präzision und Flexibilität des Systems

besser und einfacher durchgeführt werden können. Eine der wichtigsten Erkenntnisse ist jedoch, dass der Erfolg solcher Eingriffe maßgeblich von den Fähigkeiten der operierenden Chirurgeninnen und Chirurgen abhängt – unabhängig davon, ob diese mit oder ohne Roboterassistenz operieren (Crew 2020). Diese Einschätzung wird sowohl in der Literatur als auch von den befragten Experten betont.

Der Einsatz von OP-Robotersystemen bietet einige technische Vorteile, die sowohl die Patientenoutcomes als auch die Ergonomie der Chirurgeninnen und Chirurgen verbessern sollen. Die wahrgenommenen positiven Effekte können zudem die Attraktivität von Krankenanstalten bzw. Abteilungen mit OP-Robotern sowohl für Patientinnen und Patienten als auch für medizinisches Personal steigern. Gleichzeitig führt die Implementierung solcher Systeme auch zu institutionellen, administrativen und prozeduralen Veränderungen, die sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich bringen.

Die Anschaffung eines OP-Roboters kann daher sehr unterschiedlich motiviert sein. Die Effektivität hängt davon ab, welche Ziele tatsächlich verfolgt werden. Es gibt nach wie vor wenig eindeutige Evidenz zu der Effektivität von Da-Vinci-Robotern, teilweise auch deswegen, weil die roboterassistierte Chirurgie nach wie vor ein junges wachsendes Feld ist und sich die Einsatzparameter und -gebiete ständig weiterentwickeln.

### 3.2.1 Technische Vorteile

Die maßgeblichen technischen Vorteile des Da-Vinci-Systems sind sowohl in der Fachliteratur als auch unter den befragten Experten unumstritten. Zu den überzeugendsten Innovationen zählen die 3D-Vergrößerung, die das Sichtfeld der Chirurgeninnen und Chirurgen deutlich verbessert, sowie die erweiterten Freiheitsgrade der Roboterarme, die mehr Beweglichkeit bieten als das menschliche Handgelenk (Hirsch 2022). Dies ermöglicht eine extrem hohe Präzision bei operativen Eingriffen, die insbesondere bei komplexen Operationen wie Prostatektomien oder Hysterektomien von großem Vorteil ist. Die interviewten Experten sowie Literatur vermitteln auch den Eindruck, dass Operationen mit einem Da-Vinci-System von Chirurgeninnen und Chirurgen im Allgemeinen als aufregender und interessanter wahrgenommen werden. Ein Experte vergleicht es mit dem Erlebnis eines 3D-Kinos.

Des Weiteren gibt es die Möglichkeit eines Live-Telemonitorings, wodurch standortunabhängig Expertinnen und Experten eingebunden werden können. Das System bietet auch die Option einer Doppelkonsole, wodurch erfahrenere Chirurgeninnen und Chirurgen den Eingriff gemeinsam mit weniger erfahrenen Kolleginnen und Kollegen durchführen können. Dies verbessert nicht nur die Sicherheit des Eingriffs, sondern schafft auch optimale Lernbedingungen.

Obwohl die Technologie in vielen Bereichen überzeugend ist, gibt es auch Kritikpunkte. Ein beworbener Vorteil soll zum Beispiel der Tremorfilter sein, der das Zittern der menschlichen Hand ausgleicht. Zumindest ein interviewter Experte schätzt diese Funktion aber als kaum relevant ein, da Chirurgeninnen und Chirurgen üblicherweise keine zitternden Hände haben.

Darüber hinaus wird in der Literatur auch auf tatsächliche Schwächen des Systems hingewiesen, insbesondere in Bezug auf das fehlende haptische Feedback, die Einrichtung und das Docking des Systems sowie die Qualität der Staplers (Klammergeräte) (Høyland et al. 2023). Das fehlende

haptische Feedback wurde von einem Experten allerdings als wenig problematisch beschrieben, da die bessere visuelle Sicht einem erlaubt, das „haptische Feedback mit den Augen zu lernen“.

### 3.2.2 Ergonomische Vorteile

Studien belegen, dass das System in vielen Fällen die Arbeitsbedingungen der operierenden Chirurgeninnen und Chirurgen verbessern kann. Im Zusammenhang mit den technischen Vorteilen steht auch eine optimierte Körperhaltung während der Operation – die im Sitzen erfolgt –, was zu einer Reduktion von Muskel- und Gelenkbelastungen führen kann. Zusätzlich wird die Strahlenbelastung bei Eingriffen mit intraoperativer Bildgebung verringert, was einen weiteren Vorteil darstellt (Hirsch 2022). Die ergonomischen Vorteile sind allerdings stark von der Art der durchgeführten Eingriffe abhängig.

Obwohl es derzeit keine umfassenden Studien gibt, die die langfristigen ergonomischen Effekte der Roboterchirurgie eindeutig belegen, deutet die Erfahrung vieler Chirurgeninnen und Chirurgen darauf hin, dass das System die kurz- und langfristige Arbeitsfähigkeit verbessern könnte, indem es typische Gelenkprobleme vermindert (McCartney 2023). Jedoch berichten einige Chirurgeninnen und Chirurgen auch von neuen Herausforderungen, etwa von anderen Arten von Rücken- und Nackenschmerzen sowie Augenbelastung, die durch die längeren Sitzzeiten und den intensiven Fokus auf den Bildschirm verursacht werden können.

### 3.2.3 Patientenoutcomes

Es gibt zahlreiche Studien, welche positive Effekte der roboterassistierten Chirurgie auf Patientenoutcomes beschreiben. Zu den Vorteilen zählen eine schnellere Erholungszeit nach erfolgter OP, weniger Blutverlust, weniger Komplikationen und geringere Schmerzen, was zu kürzeren Krankenhausverweildauern und einer schnelleren Rückkehr zum Alltag und zur Arbeit führen kann (Perez/Schwaitzberg 2019). Evidenz für diese Vorteile gibt es zurzeit allerdings vor allem im Vergleich zu konventionellen offenen Operationen (Perez/Schwaitzberg 2019).

Es gibt hingegen kaum wissenschaftliche Studien, die einen Vorteil im Vergleich zu konventionellen laparoskopischen Eingriffen nachweisen konnten (Perez/Schwaitzberg 2019). Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass es in der Literatur eher einen Bias zugunsten der OP-Robotik gibt. Eine Studie zeigt, dass deklarierte finanzielle Interessenkonflikte der Autorinnen und Autoren mit einer höheren Wahrscheinlichkeit verbunden sind, Ergebnisse zugunsten der roboterassistierten Chirurgie zu finden (Criss et al. 2019).

Eine ausführliche Übersicht zur wissenschaftlichen Evidenz der Wirksamkeit und Sicherheit roboterassistierter Chirurgie bei Indikationen im Thorax- und Bauchraum kann in einem kürzlich aktualisierten HTA-Bericht gefunden werden (Riegelneegg et al. 2023). Wie auch die Literatur zu anderen Indikationen, weist der HTA-Bericht auf viele inkonsistente, nicht statistisch signifikante oder stark eingeschränkte Ergebnisse in der Literatur zur Wirksamkeit der OP-Robotik hin. Wenn positive Effekte nachgewiesen werden können, war dies bisher zumeist nur für sehr stark eingeschränkte Indikationen, Eingriffe, Kontextparameter und Outcomes möglich.

Die Einschätzungen der Experten sowie die Evidenz aus der wissenschaftlichen Literatur legen jedoch nahe, dass der Einsatz eines OP-Roboters die Patientenoutcomes eindeutig verbessern kann, wenn dadurch ein offener Eingriff vermieden wird. In Fällen, in denen eine konventionelle

laparoskopische Operation nicht möglich oder sinnvoll ist, bietet die roboterassistierte Chirurgie manchmal eine wertvolle Alternative. Sie ermöglicht minimalinvasive Eingriffe, die sonst nur offen durchgeführt werden könnten. Dies trägt dazu bei, die negativen Folgen eines offenen Eingriffs, wie erhöhten Blutverlust, längere Heilungszeiten und stärkere postoperative Schmerzen, zu minimieren. Beispiele dafür sind Operationen an stark übergewichtigen Patientinnen und Patienten (Hirsch 2022) und manche besonders komplexe Eingriffe bei schwieriger Anatomie, bei denen die Grenzen der menschlichen Geschicklichkeit erreicht werden (Dobbs et al. 2017). Als konkrete Beispiele wurden von einem Experten komplexe Resektionen, Speiseröhrenchirurgie, Pankreaschirurgie, tiefe Rektumoperationen und komplexe Bauchwandrekonstruktionen genannt.

Es gibt jedoch auch Indikationen, die gegen den Einsatz eines OP-Roboters sprechen – oft aus denselben Gründen, die auch den Einsatz einer konventionell laparoskopischen Operationsmethode nicht sinnvoll machen. Personen, welche stark voroperiert oder kardiopulmonal schwer erkrankt sind, sind oft besser für offene Eingriffe geeignet, um die Operationszeit zu minimieren und damit das Risiko von Komplikationen zu verringern (Hirsch 2022).

Selbst bei Operationen, für die bessere postoperative Outcomes bei roboterassistierten Eingriffen im Vergleich zu offen operierten Patientinnen und Patienten nachgewiesen werden konnten, wie bei Prostatakrebspatienten, konnten bisher keine Unterschiede in den langfristigen Ergebnissen der beiden Gruppen nachgewiesen werden (Crew 2020), auch wenn im Allgemeinen von einer Verbesserung der Potenserhaltung ausgegangen wird (Hirsch 2022).

Manche positiven Auswirkungen der roboterassistierten Chirurgie, vor allem im Vergleich zur konventionellen laparoskopischen Chirurgie, konnten bisher nur für Chirurginnen und Chirurgen mit hohem Operationsvolumen in diesem Bereich nachgewiesen werden (Baracy et al. 2022). Es ist daher möglich, dass manche Vorteile der OP-Robotik nur zum Tragen kommen, wenn eine ausreichend hohe Anzahl der jeweiligen Operationen von den Chirurginnen und Chirurgen regelmäßig als roboterassistierte Eingriffe durchgeführt werden. Diese Einschätzung wurde auch von manchen interviewten Experten geteilt.

### 3.2.4 Operationszeit

Die Einführung des Da-Vinci-Robotersystems hat zu einer Vielzahl von Veränderungen in der Organisation der Arbeit im Operationssaal und bei Operationsdauern geführt. Im Allgemeinen dauern roboterassistierte Eingriffe länger als offene Eingriffe und konventionell laparoskopische Eingriffe (Lee et al. 2023). Bei roboterunterstützten koloproktologischen Eingriffen, wie beispielsweise Operationen am Dickdarm, verlängert sich die Operationszeit zum Beispiel im Durchschnitt um 57 Minuten (Krajinovic 2018). Diese Verlängerung ist teilweise auf die komplexe Handhabung und die notwendige Einarbeitung in das System zurückzuführen. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass sich die Operationszeiten mit zunehmender Erfahrung im Umgang mit roboterassistierten Systemen zumindest teilweise wieder verkürzen (Turchetti et al. 2012).

Auch einer der befragten Experten sieht den Zeitaufwand mit dem Da-Vinci-Roboter als stark von der Erfahrung und Routine des medizinischen Personals abhängig. Demnach kann die Andockphase zu Beginn länger dauern – etwa 20 Minuten –, aber mit routinemäßigem Einsatz kann sie auf ca. 5 Minuten reduziert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Einführung des Da-Vinci-Robotersystems zwar initial zu längeren Operationszeiten führt, sich diese jedoch mit zunehmender Erfahrung und Routine der Chirurginnen und Chirurgen verringern; zumindest im Vergleich zur konventionellen laparoskopischen Chirurgie.

### 3.2.5 Strategische Vorteile

Die Anschaffung eines OP-Roboters kann auch auf verschiedene strategische Vorteile für Krankenanstalten oder Regionen abzielen. Zu diesen strategischen Vorteilen zählen einerseits Effizienz- und andererseits Attraktivitätssteigerungen des Standorts.

Zu den wichtigsten Effizienzsteigerungspotenzialen gehören die Verkürzung der Aufenthaltsdauer der Patientinnen und Patienten und damit die Freisetzung von Bettenkapazitäten (Perez/Schwaitzberg 2019). Es kann aber, zumindest langfristig, auch eine mögliche Reduktion des Personalbedarfs anvisiert werden, da ein roboterassistierter Eingriff grundsätzlich weniger medizinische Assistenz benötigt. Dieser Vorteil kommt zurzeit aber so gut wie gar nicht zum Tragen, da OP-Roboter-Einsätze üblicherweise für Schulungszwecke genutzt werden und der Personalbedarf daher nicht geringer ist.

Die wesentlichsten strategischen Vorteile hängen zurzeit mit der Attraktivitätssteigerung der Krankenanstalt oder sogar der Region zusammen. Krankenhäuser, die roboterassistierte Chirurgie anbieten, können sich so von anderen Einrichtungen abheben und versuchen Patientinnen und Patienten anzuziehen, die nach den neuesten und besten Behandlungsmöglichkeiten suchen. Auch Mediziner:innen werden von Krankenhäusern angezogen, die modernste Technologien anbieten. Ein Da-Vinci-System kann daher die Reputation des Krankenhauses verbessern und dazu beitragen, talentierte Fachkräfte zu gewinnen und zu halten. Teilweise kann die Anschaffung von OP-Robotern auch politisch motiviert sein und soll die allgemeine Bevölkerung bzw. sollen verschiedenste Stakeholder:innen von der Hochwertigkeit der gesundheitlichen Versorgung in der Region überzeugen. Die Effektivität solcher strategischer Vorteile ist stark situationsabhängig.

## 3.3 Vergleich mit der Laparoskopie

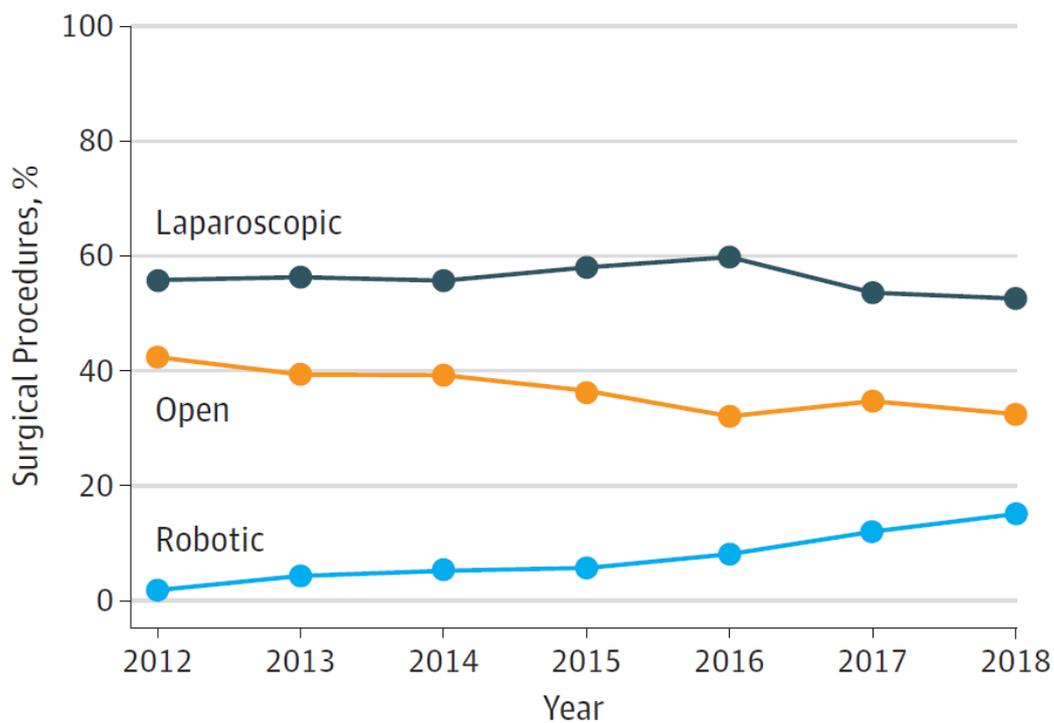
Die roboterassistierte Chirurgie wurde von allen Experten mit der konventionellen Laparoskopie verglichen und es wird oft erwähnt, dass sie eine Weiterentwicklung der Laparoskopie ist. Einige befragte Experten sowie Autorinnen und Autoren in der Literatur haben auch darüber spekuliert, dass die roboterassistierte Chirurgie irgendwann die konventionelle Laparoskopie komplett ablösen könnte. Um die potenziellen Vorteile der roboterassistierten Chirurgie zu verstehen, ist ein Vergleich zur konventionellen Laparoskopie wesentlich.

Die Einführung der laparoskopischen Chirurgie in den 1980er-Jahren ermöglichte komplexe Eingriffe mit weniger Schmerzen, Narbenbildung und kürzerer Krankenhausaufenthaltsdauer im Vergleich zur offenen Chirurgie (Perez/Schwaitzberg 2019). Heutzutage ist die minimalinvasive Chirurgie mittels Laparoskopie oft der Goldstandard für viele gängige chirurgische Eingriffe. Trotz vieler Fortschritte hat die Laparoskopie aber einige Einschränkungen wie etwa eine steile Lernkurve, 2D-Bildgebung und eine eingeschränkte Manövrierfähigkeit der Instrumente

(Perez/Schwaitzberg 2019). Auch um diese Schwächen zu überwinden, entwickelte sich die roboterassistierte Chirurgie.

Obwohl die Datenlage uneinheitlich ist, hat sich die roboterassistierte Chirurgie in einigen Bereichen, insbesondere bei der Behandlung von Prostatakrebs, als vorteilhaft erwiesen und durchgesetzt. Studien zeigen, dass sie zu kürzeren Krankenhausaufenthalten und weniger Komplikationen im Vergleich zur offenen Chirurgie führt, jedoch ein erhöhtes Risiko für bestimmte Komplikationen birgt (Perez/Schwaitzberg 2019). Insgesamt gibt es jedoch keine klaren Beweise, dass die roboterassistierte Chirurgie auch der Laparoskopie gegenüber überlegen ist (Chee et al. 2024; McCartney 2023; Perez/Schwaitzberg 2019).

Abbildung 1: Entwicklung der Anteile von offenen, konventionell laparoskopischen und roboterassistierten Eingriffen im US-Staat Michigan von 2012 bis 2018



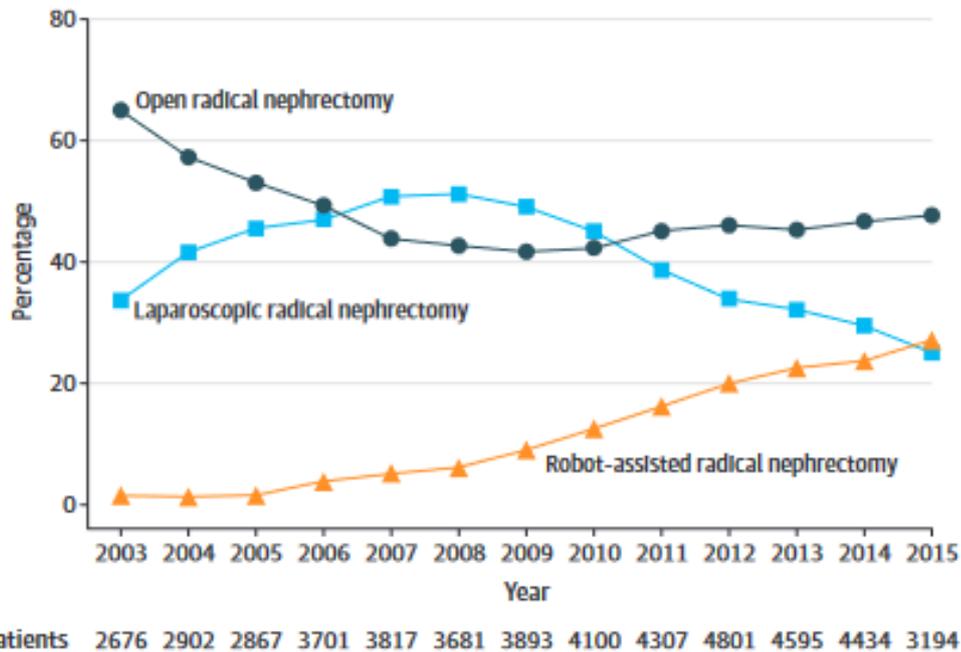
Anmerkung: konventionell offen: „Open“ in Orange; konventionell laparoskopisch: „Laparoscopic“ in Dunkelblau; roboterassistiert: „Robotic“ in Hellblau

Quelle: (Sheetz et al. 2020)

Einige Studien haben jedoch gezeigt, dass die roboterassistierte Chirurgie leichter zu erlernen ist als die Laparoskopie und erfolgreich in Fällen eingesetzt wurde, die sonst eine Laparotomie erfordert hätten (Perez/Schwaitzberg 2019). Wie schon im Abschnitt zu den Patientenoutcomes beschrieben, liegt der medizinische Vorteil der OP-Robotik vermutlich hauptsächlich darin, dass ein offener Eingriff durch den Einsatz eines OP-Roboters verhindert werden kann. Eine wesentliche Frage ist daher, ob der Einsatz von OP-Robotern offene oder laparoskopische Eingriffe ersetzt.

In US-Staat Michigan zeigte sich vor der Einführung der roboterassistierten Chirurgie ein jährlicher Anstieg der Nutzung laparoskopischer Chirurgie um 1,3 Prozent (Sheetz et al. 2020). Nach Beginn der roboterassistierten Chirurgie ging der Anteil der laparoskopischen Eingriffe jedoch zurück (Sheetz et al. 2020). Der Anteil der offenen Operationen sank allerdings auch, von 42,4 Prozent im Jahr 2012 auf 32,4 Prozent im Jahr 2018 (siehe Abbildung 1) (Sheetz et al. 2020).

Abbildung 2: Entwicklung der Anteile von offenen, laparoskopischen und roboterassistierten radikalen Nephrektomien in den USA von 2003 bis 2015

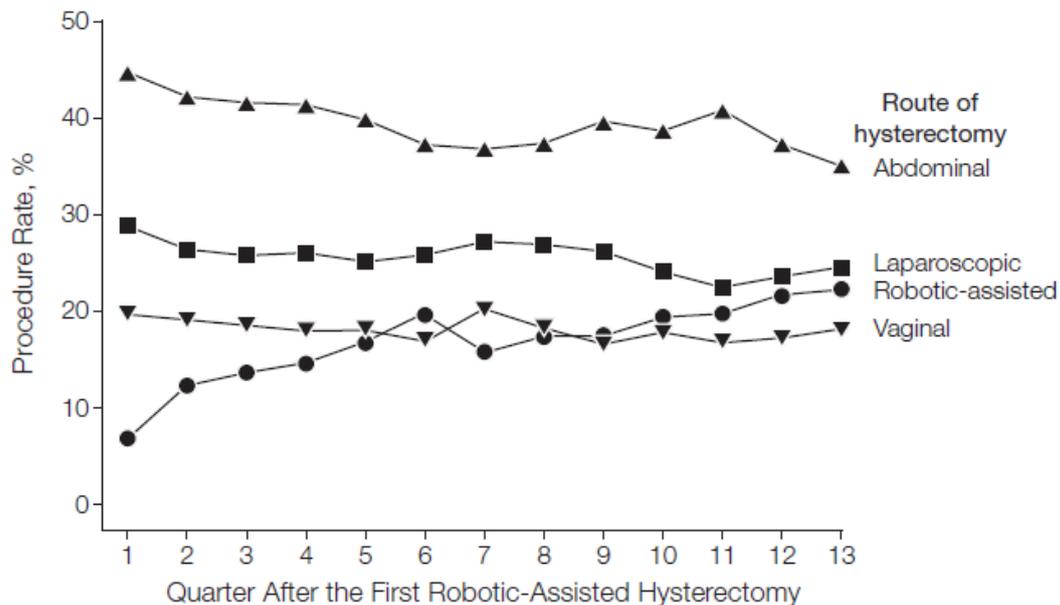


Anmerkung: konventionell offen: „Open“ in Dunkelblau; konventionell laparoskopisch: „Laparoscopic“ in Hellblau; roboterassistiert: „Robot-assisted“ in Orange

Quelle: (Jeong et al. 2017)

Bezüglich der radikalen Nephrektomie (siehe Abbildung 2) zeigen die Daten der gesamten USA einen klaren Rückgang der konventionellen laparoskopischen Eingriffe, aber keine wesentliche Veränderung des Anteils der offenen Eingriffe mit Zunahme von roboterassistierten Eingriffen im Verlauf der Zeit von 2003 bis 2015 (Jeong et al. 2017). Bei Hysterektomien wurde in einer Studie ein deutlicher Rückgang des Anteils der abdominalen Hysterektomien mit der Einführung von roboterassistierten Hysterektomien beobachtet; der Anteil der nicht roboterassistierten laparoskopischen Hysterektomien reduzierte sich ebenfalls, aber nicht so deutlich (Wright et al. 2013).

Abbildung 3: Hysterektomie-Eingriffe nach Art der Hysterektomie in US-Krankenhäusern, welche roboterassistierte Hysterektomien durchführen (2007–2010)



Quelle: (Wright et al. 2013)

Auch wenn keine der erwähnten Studien eine kausale Analyse durchgeführt hat, gibt es demnach Daten, die suggerieren, dass roboterassistierte Eingriffe mit hoher Sicherheit konventionell laparoskopische Eingriffe ersetzen, was einen kaum nachgewiesenen Vorteil hat. Zumindest teilweise lassen die Daten aber darauf schließen, dass roboterassistierte Eingriffe tatsächlich offene Eingriffe ersetzen, wofür es klar nachgewiesene Vorteile in den Patientenoutcomes gibt.

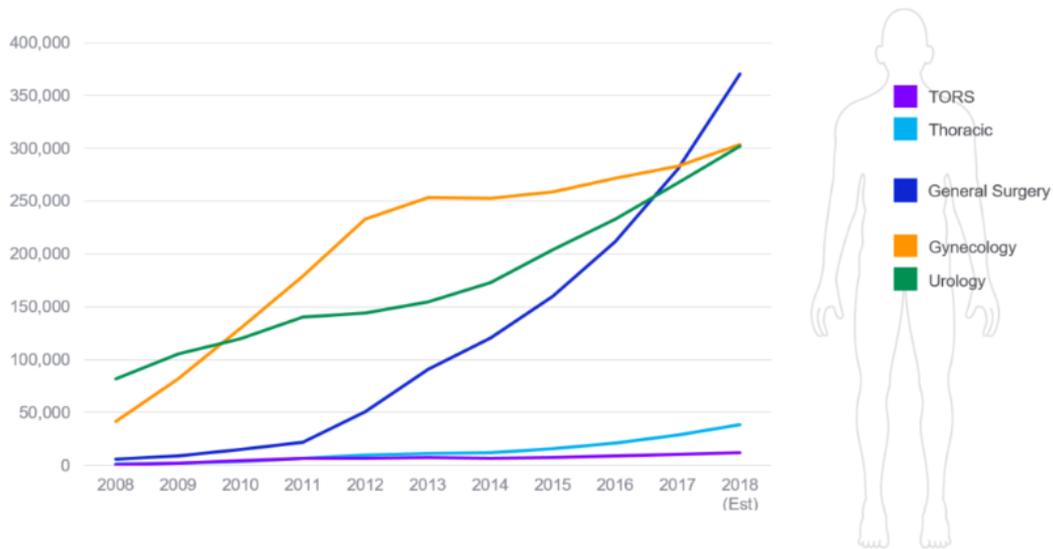
### 3.4 Trend in Fachgebieten

Über die Jahre hat sich der Einsatz des Da-Vinci-Roboters von anfänglich hauptsächlich **urologischen und gynäkologischen Eingriffen** auf eine breitere Palette von chirurgischen Disziplinen ausgeweitet. Daten aus den Jahresberichten 2018 und 2023 von Intuitive zeigen den Anstieg der Einsätze in den verschiedenen Fachgebieten von 2008 bis 2018 (siehe Abbildung 4) bzw. 2018 bis 2023 (siehe Abbildung 5). Im Jahr 2008 wurden Da-Vinci-Roboter fast ausschließlich in der Urologie und Gynäkologie verwendet, wobei sie ca. doppelt so häufig in der Urologie als in der Gynäkologie Anwendung fanden. In beiden Bereichen sind die Einsätze bis 2018 weiter stark angestiegen. Dieses Wachstum hat sich seither aber deutlich reduziert und man kann weltweit von einer gewissen Sättigung in diesen Bereichen ausgehen. In der Urologie gilt die OP-Robotik inzwischen weltweit als die Norm und wird für viele Eingriffe als „standard of care“ betrachtet. Ohne OP-Roboter ist es oft kaum noch möglich, Urologiepatienten zu bekommen. Diese Sichtweise wird auch von den befragten Experten geteilt und zumindest in der Urologie gehen viele der Experten auch von einer Sättigung in Österreich aus. Es wird also erwartet, dass es in der Urologie in Österreich kein weiteres starkes Wachstum der OP-Roboter-Einsätze geben wird.

Abbildung 4: Weltweite Anzahl der Da-Vinci-Einsätze nach Fachgebiet von 2008 bis 2018

### Growth in procedure categories

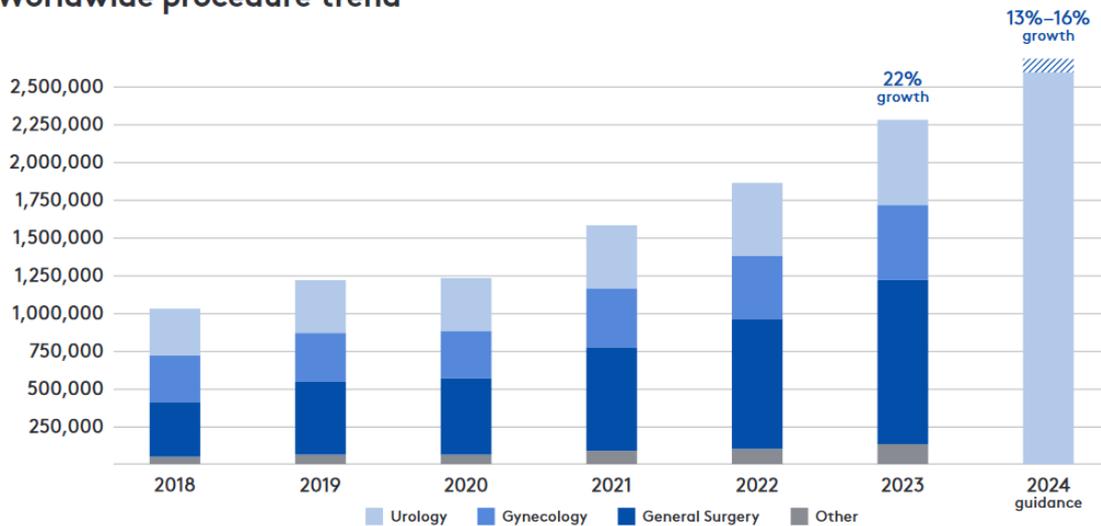
Global over past 10 years



Quelle: Intuitive Surgical Annual Report 2018<sup>4</sup>

Abbildung 5: Weltweite Anzahl der Da-Vinci-Einsätze nach Fachgebiet von 2018 bis 2023

### Worldwide procedure trend



Source: Intuitive 2023 earnings

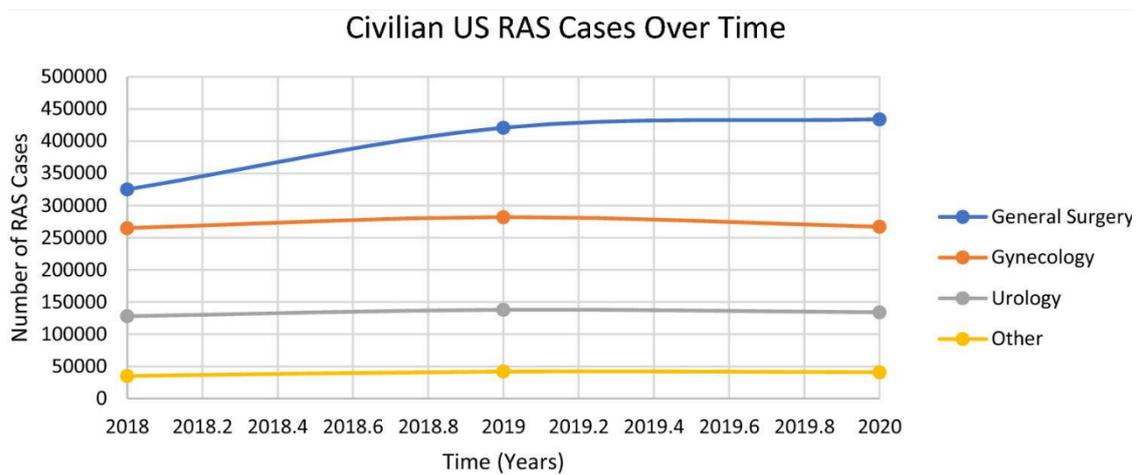
Quelle: Intuitive Surgical Annual Report 2023<sup>5</sup>

<sup>4</sup> [https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/i/NASDAQ\\_ISR\\_2018.pdf](https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/i/NASDAQ_ISR_2018.pdf) (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>5</sup> <https://isrg.intuitive.com/static-files/e9ed7c14-f042-4923-b7cc-a1458e11e67b> (Zugriff am 21.10.2024)

Das stärkste Wachstum der Da-Vinci-Einsätze von 2008 bis 2018, aber auch seit 2018 gab es weltweit in der **Allgemeinchirurgie**. Im Jahr 2023 mündete die Entwicklung sogar in ca. doppelt so vielen Einsätzen von Da-Vinci-Robotern in der Allgemein Chirurgie wie in der Urologie. Gemäß Investorenpräsentationen geht die Firma Intuitive Surgical auch davon aus, dass die Allgemein Chirurgie weiterhin ein wichtiger Wachstums- und Entwicklungsbereich für OP-Roboter bleibt.

Abbildung 6: Entwicklung der roboterassistierten Eingriffe in der US-Zivilbevölkerung nach Fachgebiet von 2018 bis 2020



Quelle: (Rizzo et al. 2023)

Abbildung 7: Entwicklung des Anteils von roboterassistierten Eingriffen für häufige Eingriffe in der Allgemein Chirurgie im US-Staat Michigan von 2012 bis 2018

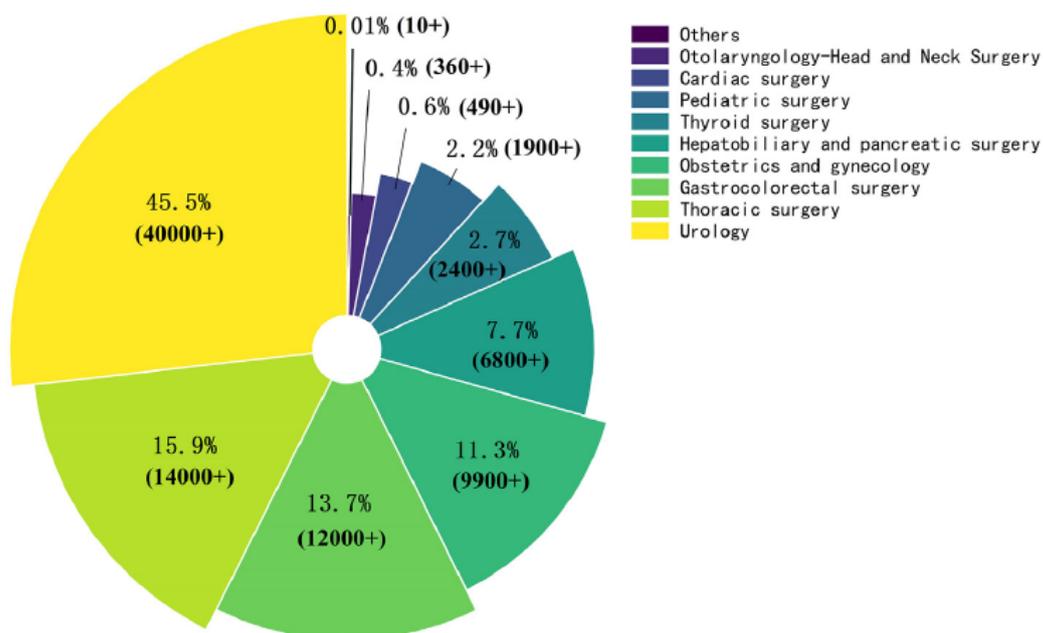
Procedure	Proportional Use, %			Annual Slope (95% CI), %
	Year 2012	Year 2018	Fold Difference	
All	1.8	15.1	8.4	2.1 (1.9-2.3)
Inguinal hernia repair	0.7	28.8	41.1	5.4 (5.1-5.7)
Ventral hernia repair	0.5	22.4	44.8	3.7 (3.5-3.9)
Colectomy	2.5	16.3	6.5	2.1 (1.8-2.4)
Reflux surgery	5.4	26.0	4.8	2.8 (2.3-3.2)
Proctectomy	3.1	26.7	8.6	4.0 (3.2-4.9)
Cholecystectomy	2.5	7.5	3.0	0.4 (0.3-0.5)
Complex cancer resections	2.1	3.9	1.9	0.4 (0.1-0.7)

Quelle: (Sheetz et al. 2020)

Ein Stagnieren der Anwendungszahlen in der Urologie und Gynäkologie, während die Anwendung in der Allgemein Chirurgie weiter steigt, wurde auch für roboterassistierte Eingriffe (RAS) in der US-Zivilbevölkerung zwischen 2018 und 2020 dokumentiert (Rizzo et al. 2023) (siehe dazu Abbildung 6). Innerhalb der Allgemein Chirurgie erweitert sich das Anwendungsfeld stetig. So hat sich zum Beispiel der Anteil von roboterassistierten Hernienoperationen im US-Staat Michigan von 2012 auf 2018 mehr als vervierzigfacht (siehe Abbildung 7).

Neben der Urologie, Gynäkologie und Allgemein Chirurgie werden Da-Vinci-OP-Roboter auch immer öfter in anderen Fachrichtungen eingesetzt, seit 2017 zum Beispiel auch für Augenoperationen (Soltani Sharif Abadi et al. 2023). Die absoluten Zahlen sind jedoch noch relativ gering. Hervorzuheben ist die Thoraxchirurgie, der oft ein besonderes Wachstumspotenzial zugeschrieben wird. Die weltweiten Zahlen werden von den USA dominiert. Im Vergleich dazu fand 2021 in China der Großteil der Da-Vinci-Einsätze in der Urologie (45,5 %) statt, gefolgt von der Thoraxchirurgie (15,9 %) (Xue/Liu 2022). In Abbildung 8 wird der Anteil der Da-Vinci-Einsätze in den verschiedenen Fachgebieten auf dem chinesischen Festland im Jahr 2021 dargestellt, wobei in diesem Referenzjahr in China in 40 Krankenhäusern Da-Vinci-Einsätze in der Urologie, in 26 Krankenhäusern in der Thoraxchirurgie und in 18 Krankenhäusern in der Gynäkologie durchgeführt wurden (Xue/Liu 2022).

Abbildung 8: Anzahl der Da-Vinci-Eingriffe auf dem chinesischen Festland im Jahr 2021



Quelle: (Xue/Liu 2022)

Nach den Einschätzungen der befragten Experten werden Da-Vinci-Roboter in Österreich zurzeit zu ca. 75 Prozent in der Urologie eingesetzt, gefolgt von der Allgemein Chirurgie und in deutlich geringerem Ausmaß in der Gynäkologie, HNO und Kinderchirurgie. Wenn man von einer Annäherung an die internationalen Einsatzbereiche ausgeht, ist demnach zu erwarten, dass die OP-Robotik in Österreich in der Allgemein Chirurgie weiter zunehmen wird.

Die konkreten Einsatzgebiete und Volumen in Österreich hängen stark vom Engagement der einzelnen Abteilungen ab. Grundsätzlich werden Da-Vinci-Roboter in Österreich üblicherweise einer Abteilung zugewiesen oder von mehreren Abteilungen mittels einer klaren Systematik geteilt. Zum Beispiel ist der Roboter in Kärnten mittwochs in der Allgemein Chirurgie und an den anderen vier Arbeitstagen in der Urologie in Verwendung. In anderen Krankenanstalten in Österreich gibt es oft ähnliche Aufteilungen nach Wochentagen oder auch nach einem zweiwöchigen Rhythmus.

## 4 Nutzungsparameter

### 4.1 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Das Da-Vinci-Robotersystem ist mit erheblichen Investitionskosten verbunden, die je nach Modell und geografischem Standort zwischen 0,5 und 2,5 Millionen US-Dollar liegen können (Perez/Schwaitzberg 2019; Shah et al. 2021). In Europa belaufen sich die Anschaffungskosten im Durchschnitt auf etwa 1,5 bis 2 Millionen Euro, basierend auf Informationen aus Experteninterviews und der Literatur (Fischer/Kisser 2015). Neben den Anschaffungskosten fallen zusätzlich laufende Kosten für Service, Wartungen, Instrumente etc. an, die die Gesamtkosten weiter erhöhen.

Basierend auf internationalen Informationen kosten Wartungsverträge zwischen 80.000 und 170.000 US-Dollar pro Jahr, während die Kosten für Instrumente und Zubehör pro Eingriff zwischen 700 und 3.500 US-Dollar liegen (Perez/Schwaitzberg 2019; Shah et al. 2021). Gemäß den Angaben eines interviewten österreichischen Experten belaufen sich die jährlichen Kosten auf 200.000 bis 300.000 Euro, wobei Informationen aus dem Jahr 2015 von 150.000 Euro Wartungskosten pro Jahr und 1.600 Euro Instrumentenkosten pro operativem Eingriff ausgehen (Fischer/Kisser 2015). Basierend auf Informationen aus Experteninterviews wird von ca. 2.000 Euro Kosten pro Eingriff ausgegangen. Die Gesamtkosten hängen von der Auslastung des OP-Roboters ab. Wenn von 200 bis 400 Eingriffen pro Jahr ausgegangen wird, kann von jährlichen laufenden Kosten für Wartung und Instrumente zwischen 565.000 und 965.000 Euro ausgegangen werden. Die laufenden Kosten sind daher als erheblich zu berücksichtigen.

Alle befragten Experten sind sich einig, dass die Anschaffungskosten sehr hoch sind, aber es gibt unterschiedliche Ansichten über die laufenden Kosten und die langfristige Wirtschaftlichkeit. Trotz der hohen Kosten sehen die Experten langfristig eine mögliche Kostenreduktion, ähnlich wie bei der Laparoskopie, wenn die Technologie weiterverbreitet ist und die Preise für die Geräte und Verbrauchsmaterialien sinken.

Obwohl die hohen Anschaffungskosten eines Da-Vinci-Systems oft besonders erwähnt und diskutiert werden, ist der Verkauf der Roboter selbst tatsächlich nicht die Haupteinnahmequelle für die Produktionsfirma Intuitive, vermutlich sogar ein Verlustgeschäft (Shah et al. 2021). Die Strategie des Unternehmens ist die Steigerung der Eingriffe und nicht notwendigerweise der Anzahl der Systeme (Perez/Schwaitzberg 2019; Shah et al. 2021). Der Profit wird in erster Linie durch den Verkauf von Verbrauchsgütern (Instrumente sind nur beschränkt wiederverwendbar) generiert (Shah et al. 2021). In diesem Zusammenhang hat Intuitive auch ein Leasingprogramm gestartet, um den Eintritt in die Da-Vinci-OP-Robotik auch für ressourcenschwächere Krankenhäuser zu ermöglichen und so mehr laufende Einnahmen mit höherer Profitspanne zu generieren (Perez/Schwaitzberg 2019).

Verglichen mit konventionellen chirurgischen Verfahren, insbesondere der Laparoskopie, sind die Kosten für roboterassistierte Operationen signifikant höher (Crew 2020). Studien zeigen, dass roboterassistierte Verfahren in vielen Fällen keine besseren klinischen Ergebnisse als laparoskopische Eingriffe bieten, jedoch mit höheren Kosten verbunden sind (Lee/Hong 2023; Perez/Schwaitzberg 2019). Eine Studie in den USA aus dem Jahr 2019 findet Kostensteigerungen zwischen 6 Prozent und 25 Prozent (Khorgami et al. 2019), wobei die Kostensteigerung für eine

roboterassistierte Cholezystektomie bei 14 Prozent, für eine ventrale Hernienreparatur bei 25 Prozent, für eine rechte Kolektomie bei 20 Prozent, für eine linke Kolektomie bei 24 Prozent, für eine Sigmoidektomie bei 23 Prozent, für eine abdominoperineale Resektion bei 11 Prozent und für eine totale abdominale Hysterektomie bei 6 Prozent liegt (Khorgami et al. 2019). Die Daten dieser Studie legen nahe, dass die Mehrkosten von bestimmten Eingriffen durch das Fallvolumen von Chirurginnen und Chirurgen und die Lernkurve der roboterassistierten Chirurgie beeinflusst werden (Khorgami et al. 2019).

Höhere Operationsvolumina, Prozessoptimierung und mehr Erfahrung der Chirurginnen und Chirurgen könnten zu Kostensenkungen beitragen (Crew 2020; Høyland et al. 2023; Khorgami et al. 2019). Außerdem sind laut Experteninterviews und Literatur (Hirsch 2022) grundsätzlich Kosteneinsparungen durch eine geringere Pflegelast aufgrund von kürzeren Belagsdauern und langfristig potenziell auch durch eine Reduktion des OP-Teams möglich. In der aktuellen Lage bleibt jedoch festzuhalten, dass die Einführung roboterassistierter Systeme eine signifikante finanzielle Belastung darstellt, die sich in vielen Fällen nicht amortisiert.

Neben den Kosten selbst tritt die Herausforderung der langfristigen Amortisation auf. In vielen Fällen ist es für Krankenhäuser schwierig, das initiale Investment in das Da-Vinci-System durch Kosteneinsparungen zu amortisieren, insbesondere wenn das Gerät nicht kontinuierlich und intensiv genutzt wird (Fischer/Kisser 2015; Perez/Schwaitzberg 2019). Laut Schätzungen der Hersteller sollte der Roboter an mindestens 180 Arbeitstagen pro Jahr eingesetzt werden, um wirtschaftlich tragbar zu sein (Høyland et al. 2023). Kleinere Krankenhäuser oder solche mit geringem Operationsaufkommen haben daher oft Schwierigkeiten, das System kosteneffizient zu betreiben.

Zusätzlich zu den direkten Kosten öffnet der Einsatz von Robotern eine Schere zwischen Krankenhäusern, die sich die Technologie leisten können, und solchen, die dies nicht können. Dies führt zu einer Ungleichheit im Gesundheitssektor, insbesondere in wettbewerbsorientierten Gesundheitssystemen (Crew 2020).

## 4.2 Mitbewerber und Konkurrenzprodukte

Da die OP-Robotik im Allgemeinen aller Wahrscheinlichkeit nach weiter an Bedeutung zunehmen wird, stellt sich vermutlich nicht primär die Frage, ob ein OP-Roboter angeschafft werden soll, sondern wann und welcher und für welche Fachgebiete bzw. Eingriffe OP-Robotik-Systeme eingesetzt werden sollen. Wie bei jeder neuen Technologie gibt es auch in der OP-Robotik Vor- und Nachteile beim Timing des Einstiegs zu berücksichtigen. Sogenannte „Early Adopters“ nehmen neue Technologien sehr früh an und werden dadurch oft als besonders innovativ wahrgenommen. Andererseits können „Late Adopters“ durch einen späteren Einstieg üblicherweise von besser erprobten Technologien und Erfahrungen sowie oft günstigeren Preisen profitieren. Es kann sich durchaus auszahlen, mit der Anschaffung eines Systems zu warten, bis sich neue Anbieter etabliert und sich die Kosten so durch Konkurrenzdruck reduziert haben (Fischer/Kisser 2015).

Die Da-Vinci-Firma Intuitive hat sehr früh, im Jahr 2003, ihren Hauptkonkurrenten Computer Motion erworben, dadurch die Bündelung von Patentrechten erreicht, und mit dem Da Vinci eine Monopolstellung am Markt für roboterassistierte Chirurgie begründet (Edwards 2020). Viele der

ursprünglichen Patente sind aber inzwischen ausgelaufen und andere werden in naher Zukunft auslaufen (Edwards 2020). Diese Patentrechte haben dem Da-Vinci-System einen großen Startvorteil verschafft, aber neue Konkurrenzprodukte treten in den letzten Jahren immer häufiger in den Markt ein.

Um ihre Marktposition nicht zu verlieren, hat Intuitive Surgical im Lauf der Zeit, ausgehend vom ursprünglichen Da-Vinci-Standard aus dem Jahr 1999, das System immer weiterentwickelt. Das derzeit aktuelle **Da-Vinci-Xi**-System ist seit 2014 auf dem Markt und stellt die vierte Generation des Da Vinci dar. Im Jahr 2017 von der FDA in den USA zugelassen, gibt es seit ein paar Jahren auch das **Da-Vinci-X**-System, welches eine kostengünstigere Version des Da Vinci Xi mit weniger Flexibilität darstellt. Es eignet sich vor allem für Eingriffe in einem einzelnen Operationsfeld. Das X-System ist modular und kann bei Bedarf aufgerüstet werden, während das Xi-System von vornherein alle fortschrittlichen Funktionen bietet. Vor 2014 angeschaffte ältere Systeme sind inzwischen großteils gegen ein Xi- oder X-Modell ausgetauscht worden. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Österreich so gut wie keine älteren Modelle mehr in Betrieb sind. Auf der Website von Intuitive Surgical wird bereits der demnächst verfügbare Da Vinci 5 angekündigt. Seit 2024 ist in Europa auch das neue **Da-Vinci-Single-Port (SP)**-System für den Einsatz bei endoskopischen abdominopelvinen, thorakoskopischen, transanal HNO-, transanal kolorektalen und brustchirurgischen Prozeduren zugelassen<sup>6</sup>. Das SP-System hat nur einen Arm und es werden bis zu drei Instrumente und die Kamera durch einen einzigen Trokar eingeführt. Dieses System dürfte in Österreich zurzeit noch nicht in Betrieb sein, es gibt aber zumindest vom AKH Wien Pläne, ein solches anzuschaffen. Das Da-Vinci-SP-System wurde von den befragten Experten als ein mögliches Alternativprodukt zu einem Da Vinci X oder Xi beschrieben. Ein wesentlicher Vorteil des Systems sind die kürzeren Andockzeiten (Choi et al. 2023).

Der Markt der OP-Robotik hat in den letzten Jahren stark an Dynamik zugenommen. Ein HTA-Bericht zur roboterassistierten Chirurgie aus dem Jahr 2015 berichtet von zehn verschiedenen Produzenten, während in einem vergleichbaren Bericht aus dem Jahr 2023 schon 19 verschiedene Hersteller beschrieben werden (Fischer/Kisser 2015; Riegelneegg et al. 2023). Im Rahmen der Recherchen für den vorliegenden Bericht wurden ca. 30 verschiedene OP-Robotik-Systeme identifiziert. Es gibt jedoch nicht nur neue Eintritte in die OP-Robotik, sondern auch schon wieder Ausstiege: Das OP-Robotersystem der deutschen Firma avatera wurde bereits an Patientinnen und Patienten eingesetzt, als die Firma Insolvenz anmeldete und die Rechte an der Technologie verkaufte<sup>7</sup>. Solche Entwicklungen unterstreichen die aktive Dynamik im Markt der OP-Robotik. Es wird erwartet, dass der zunehmende Wettbewerb die Preise senkt und Innovation fördert (Crew 2020; McCartney 2023; Perez/Schwartzberg 2019; Probst 2023).

Die in der Literatur erwähnten Anschaffungspreise eines Da Vinci bewegen sich zwischen 1,5 (Probst 2023) und 2 Millionen US-Dollar (Crew 2020). Die Zeitpunkte der Publikation dieser Preise legen nahe, dass sich eine solche Preisreduktion bereits abzuzeichnen beginnt. Auch in den Experteninterviews wurde von Rückgängen bei den Preisen für die Instrumente berichtet.

---

<sup>6</sup> [https://www.ots.at/presseaussendung/OTS\\_20240124\\_OTS0053/intuitives-da-vinci-single-port-operationssystem-erhaelt-ce-kennzeichnung](https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20240124_OTS0053/intuitives-da-vinci-single-port-operationssystem-erhaelt-ce-kennzeichnung) (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>7</sup> <https://www.automation-next.com/kollegeroboter/anwendungen/op-roboter-Da-Vinci-bekommt-konkurrenz-aus-deutschland-579.html> (Zugriff am 21.10.2024)

Eine vollumfängliche Aufstellung der Da-Vinci-Konkurrenzprodukte ist nicht Ziel dieser Studie, aber es wird im Folgenden ein grober Überblick über die Mitbewerber des Da Vinci von Intuitive präsentiert. Aufgrund der schnelllebigen Entwicklungen in diesem Bereich werden (tatsächliche oder geplante) Produkte oder Firmen in verschiedenen Quellen teilweise unter unterschiedlichen Namen geführt, mögliche Verwechslungen können daher nicht komplett ausgeschlossen werden.

Ebenso qualitativ hochwertige OP-Roboter wie der Da Vinci sollen zwei in Asien verbreitete OP-Robotersysteme aus China bzw. Südkorea sein. Gemäß den befragten Experten sind diese Systeme im Wesentlichen Da-Vinci-Kopien, aber aufgrund von Patentrechten zurzeit in Europa noch nicht zugelassen.

Von den befragten Experten wurde vor allem das **Hugo-System** von Medtronic als Konkurrenzprodukt des Da Vinci erwähnt, welches im Allgemeinen als sehr positiv wahrgenommen wird. Dieses System hat im Gegensatz zum Da Vinci eine offene Konsole (Mayor et al. 2022). Im Oktober 2023 gab es aktuell 48 Hugo-Roboter in Europa, davon fünf in Deutschland<sup>8</sup>. Für radikale Prostataktomien soll das Hugo-System zum Beispiel eine 11-prozentige Kostenersparnis bringen (Sighinolfi et al. 2024).

Auch der OP-Roboter von Johnson & Johnson wurde mehrfach von den befragten Experten erwähnt. Die **Plattform Ottava** (teilweise auch als **Verb Surgical System** bezeichnet) ist eine Kooperation von Johnson & Johnson und Alphabet (dem Google-Mutterkonzern) (Crew 2020; Mayor et al. 2022). Das System setzt vor allem auf künstliche Intelligenz und soll demnächst in klinischen Versuchen an Menschen eingesetzt werden<sup>9</sup>.

Ein weiterer Hauptmitbewerber ist Cambridge Medical Robotics (CMR Surgical) mit ihrem **Versius-Roboter**, der auch eine offene Konsole bietet (Mayor et al. 2022). Das modulare System hat eine verbesserte Ergonomie, ist leichter und mobiler als der Da Vinci und kann damit OP-Prozesse vereinfachen (Brunner et al. 2023; Lombardo et al. 2024; Mayor et al. 2022). Seit 2021 wird das Versius-System unter anderem auch in Deutschland eingesetzt (Mayor et al. 2022).

In der Literatur wird auch das **Senhance Surgical Robotic System** von Asensus (ehemals Trans Enterix) besonders erwähnt. Dieses System bietet haptisches Feedback und hat einen offenen Plattformansatz, wodurch Standardinstrumente verwendet werden können (Brunner et al. 2023; Lombardo et al. 2024). Vor allem die unlimitierte Wiederverwendbarkeit von Instrumenten sowie die Möglichkeit, existierende Bildgebungssysteme zu nutzen, gelten als Vorteile des Senhance-Systems, da laufende Kosten stark reduziert werden können (Perez/Schwaitzberg 2019).

Seit 2020 hat das **Dexter-System** der Schweizer Firma Distalmotion eine CE-Zulassung (Brunner et al. 2023). Dieses System erlaubt einen fließenden Übergang zwischen laparoskopischen und roboterassistierten Eingriffen, wobei Instrumente aus der Laparoskopie verwendet werden können und der Einsatz daher auch kostengünstiger sein soll (Brunner et al. 2023).

Als weitere direkte Konkurrenzsysteme werden in der Literatur auch **Raven** von Applied Dexterity, **AVRA** Medical Robotics, Titan Medicals „Single Port Orifice Robotic Technology“

---

<sup>8</sup> <https://www.uniklinikum-dresden.de/de/presse/aktuelle-medien-informationen/op-roboter-hugo-kommt-erstmal-in-deutschland-in-der-urologie-zum-einsatz> (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>9</sup> <https://www.mddionline.com/robotics/j-j-finally-moves-forward-with-ottava-surgical-robotics-platform> (Zugriff am 21.10.2024)

(SPORT) Surgical System, Revo-i von meerecompany, **SOFIE-Roboter** von Medical Robotic Technologies, **MicroSurge** von DLR Robotics, **Surgenius** von Surgica Robotica und **MIRA** von Virtual Incision erwähnt (Lombardo et al. 2024).

Die Konkurrenzsysteme befinden sich in den verschiedensten Entwicklungs- und Zulassungsstadien und fokussieren im Allgemeinen auf Ergonomie, Single-Port (SP)-Technologie, haptisches Feedback oder Kosteneffizienz, um in Anbetracht der Limitationen des Da-Vinci-Systems attraktive Alternativen zu bieten (Lombardo et al. 2024).

Es gibt aber noch viele andere OP-Robotik-Systeme, die jedoch oft spezialisiertere Einsatzgebiete haben. Beispiele dafür sind die sich in Österreich in Verwendung befindlichen orthopädischen Roboter **VELYS** von Johnson & Johnson, **ROSA** von Zimmer Biomet und **Mako** von Stryker oder das **Symani**-System für mikrochirurgische Eingriffe von Medical Microinstruments. Es gibt auch das per Fußpedal gesteuerte Videosystem **Vista** von FreeHand. Auch für chirurgische Eingriffe am Auge gibt es mehrere spezialisierte OP-Robotik-Systeme (Soltani Sharif Abadi et al. 2023).

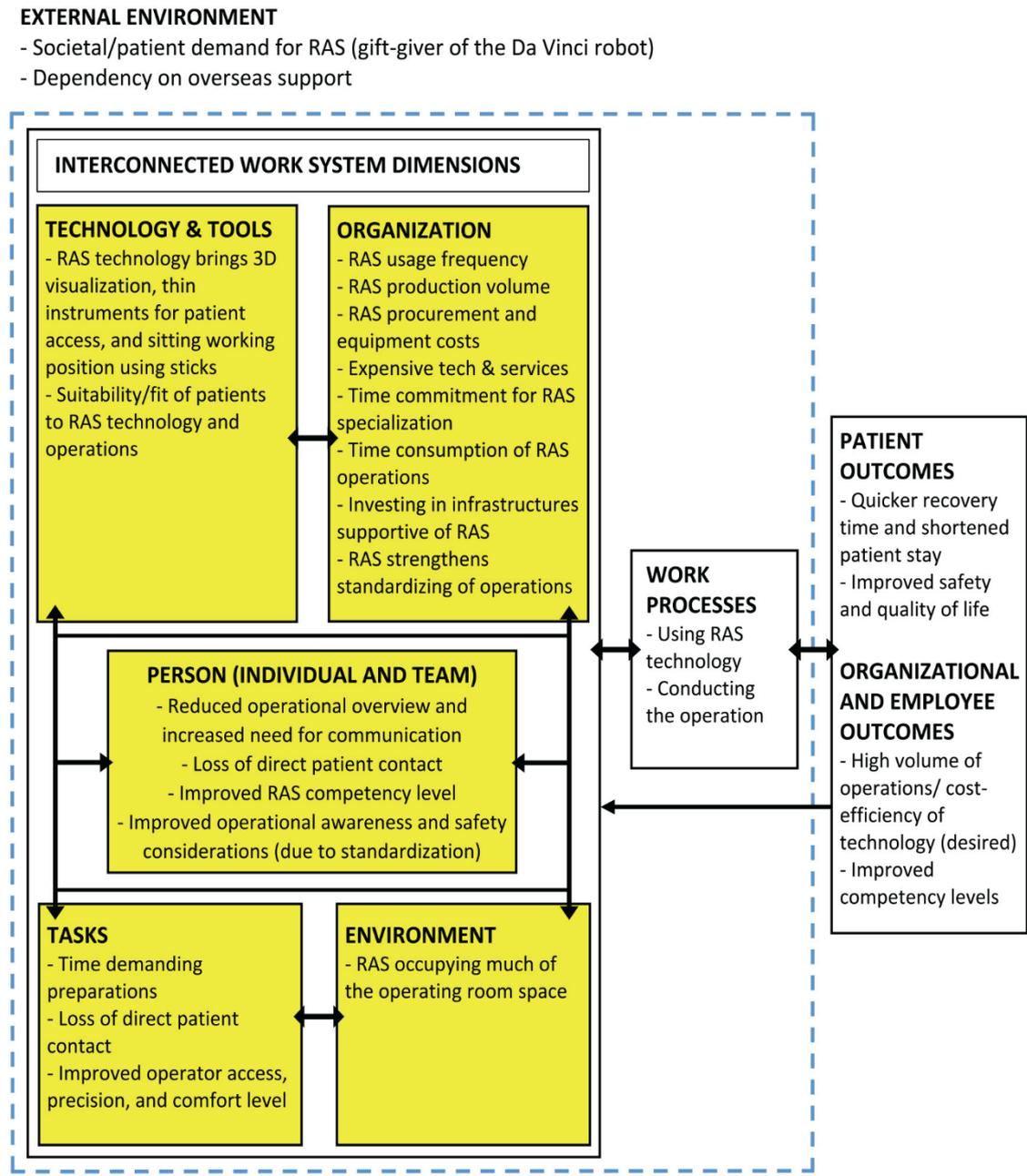
### 4.3 Training und Prozessentwicklung

Die Einführung der roboterassistierten Chirurgie bringt wesentliche Veränderungen in den Prozessen der chirurgischen Praxis mit sich. Dadurch ergeben sie auch erhebliche Herausforderungen an Schulung und Prozessentwicklung (Høyland et al. 2023).

Erfolgreiche Ergebnisse bei der roboterassistierten Chirurgie hängen stark von den Fähigkeiten und der Vertrautheit der Operateurinnen und Operateure mit dem System ab (Høyland et al. 2023). Chirurginnen und Chirurgen müssen die Kontrolle über die Roboterarme erlernen, die Eignung der Patientinnen bzw. Patienten für bestimmte Eingriffe beurteilen und mögliche Nebenwirkungen managen, während gleichzeitig oft längere Operationszeiten im Vergleich zu herkömmlichen Methoden in Kauf genommen werden müssen (Høyland et al. 2023).

Die befragten Experten betonen die Notwendigkeit umfassender Schulungsprogramme für Chirurginnen und Chirurgen, um die Bedienung der komplexen Technologie zu beherrschen. Diese Schulungen umfassen Simulationen, praktische Übungen an Präparaten und Tieren sowie Proctoringsysteme, bei denen in der OP-Robotik erfahrene Chirurginnen und Chirurgen in Echtzeit anleiten und begleiten. Solche Programme sind entscheidend, um die steile Lernkurve zu bewältigen, die mit der robotischen Chirurgie verbunden ist, und die Patientensicherheit zu gewährleisten (Høyland et al. 2023). Im Vergleich zur uneinheitlichen Einführung der Laparoskopie, bei der anscheinend auch viele Fehler passiert sind, wird von den Experten beschrieben, dass Intuitive nichts dem Zufall überlassen will und sorgfältige und umfassende Schulungsprozesse anbietet. Diese Schulungsprozesse werden von den Experten einheitlich als sehr hochwertig und umfassend, teilweise aber auch als einschränkend wahrgenommen.

Abbildung 9: Zusammenfassung der Vorteile und Herausforderungen der roboterassistierten Chirurgie aus einer Multistakeholderperspektive



Quelle: (Høyland et al. 2023)

Die steile Lernkurve bei der roboterassistierten Chirurgie betrifft nicht nur die Leistung der Chirurginnen und Chirurgen, sondern beeinflusst auch die Zusammenarbeit im gesamten chirurgischen Team. Neben der technischen Schulung erfordert die roboterassistierte Chirurgie auch Anpassungen in der organisatorischen Struktur von Krankenhäusern. Die Einführung von OP-Robotern gilt als komplexe Intervention, die nicht nur technologische, sondern auch soziale, individuelle und organisatorische Komponenten umfasst (Høyland et al. 2023). Diese Auswirkungen werden besonders in der veränderten Organisation von Gesundheitsdiensten sichtbar, da

Krankenhäuser ihre Arbeitsabläufe und Teamdynamiken an die Anforderungen der Robotertechnologie anpassen müssen (Høyland et al. 2023). Der Einsatz von Robotersystemen führt zu einer Umverteilung der Arbeitslast und zu erheblichen Unterbrechungen des etablierten Arbeitsablaufs. Studien haben gezeigt, dass die roboterassistierte Chirurgie die Kommunikation und Koordination im Team beeinflusst und oft zu Herausforderungen bei der Verwaltung von Geräten und der Zusammenarbeit zwischen Chirurginnen bzw. Chirurgen, Pflegekräften und Technikerinnen bzw. Technikern führt (Høyland et al. 2023).

Auch wenn die OP-Robotik in der Lage ist, Erholungszeiten zu verkürzen, erfordert sie längere Vorbereitungs- und Operationszeiten, was Krankenhäuser vor Herausforderungen bezüglich Kosteneffizienz und Operationsfrequenz stellt (Høyland et al. 2023).

Eine Zusammenfassung der Vorteile und Herausforderungen der OP-Robotik als komplexe Intervention mit vielseitigen technischen, operativen und sozialen Interaktionen wird in Abbildung 9 präsentiert. Diese Darstellung stammt aus einer „System Perspective“-Studie an einem großen niederländischen Regionalkrankenhaus, basierend auf dem „System Engineering Initiative for Patient Safety (SEIPS)“-System, wobei multiple Systemelemente in sich gegenseitig beeinflussenden Beziehungen stehen (Høyland et al. 2023).

Für eine erfolgreiche Einführung der OP-Robotik müssen sich Krankenanstalten mit allen Aspekten und Interaktionen der Veränderungen in Technologie, Arbeitsbedingungen, und Prozessen auseinandersetzen. Zahlreiche Studien beschäftigen sich zurzeit mit der Prozess- und Teamoptimierung in der OP-Robotik; viele neue Erkenntnisse werden in den nächsten Jahren erwartet.

## 4.4 OP-Robotik in der Ausbildung von Chirurginnen und Chirurgen

Es wird von den Experten und der Literatur im Allgemeinen erwartet, dass die roboterassistierte Chirurgie in Zukunft einen festen Bestandteil der chirurgischen Ausbildung darstellen wird und junge Chirurginnen und Chirurgen zunehmend mit dieser Technologie vertraut gemacht werden (McCartney 2023). Die Experten sehen in der roboterassistierten Chirurgie neue und verbesserte didaktische Möglichkeiten, die sowohl in der Praxis als auch in der Literatur als sehr positiv bewertet werden (Hirsch 2022). Es ist einerseits möglich, Aufnahmen durch das Da-Vinci-System als Lernmaterialien zu nutzen und Anwendungen im Simulator kennenzulernen, und andererseits ermöglicht die Doppelkonsole des Systems Chirurginnen und Chirurgen in Ausbildung sowie lehrenden Chirurginnen und Chirurgen, gemeinsam mit dem exakt gleichen Blick auf das Operationsfeld zu operieren, wobei die Steuerung jederzeit übernommen werden kann. Die Doppelkonsole bietet damit neue didaktische Möglichkeiten, die sich positiv auf die Lernkurve und Patientensicherheit auswirken (Hirsch 2022).

Es zeigt sich, dass jüngere Chirurginnen und Chirurgen bei roboterassistierten Eingriffen oft kompetenter sind und diese schneller erlernen als konventionelle laparoskopische Verfahren (McCartney 2023). Sowohl die Experten als auch die Literatur beschreibt, dass sich die jungen auszubildenden Ärztinnen und Ärzte der sogenannte „Joystick-Generation“ mit dem Erlernen der OP-Robotik oft deutlich leichter tun als erfahrenere Chirurginnen und Chirurgen (Høyland et al. 2023).

Das Training in der OP-Robotik dürfte nach wie vor in erster Linie durch von Intuitive angebotene Schulungsprozesse erfolgen. In den USA hat die FDA sogar festgelegt, dass eine Beziehung zwischen dem Gerätehersteller und den Endnutzerinnen und Endnutzern, den Chirurginnen und Chirurgen, bestehen muss, um eine ordnungsgemäße Schulung am Gerät zu gewährleisten (Talamini 2019). Langfristig stellen solche Vorgaben Interessenkonflikte dar und können problematische Dynamiken auslösen. Die kontinuierliche Entwicklung, vergleichende Bewertung und langfristige Überwachung von Ausbildungsmethoden sind entscheidend, um die Qualität und Sicherheit der chirurgischen Versorgung zu gewährleisten (Marcus et al. 2024).

Es gibt zurzeit keine einheitlichen internationalen Ausbildungsprotokolle zum Erlernen der OP-Robotik. Aber verschiedenste Fachgesellschaften in mehreren Ländern haben Protokolle und Ausbildungsprogramme entwickelt. Die Deutsche Gesellschaft für Roboter-assistierte Urologie bietet zum Beispiel das „Deutsche Roboter Urologie Curriculum“ an<sup>10</sup>. In Großbritannien hat das Royal College of Surgeons of England den Leitfaden „Robotic-assisted Surgery: A pathway to the future“ veröffentlicht, der gute Praktiken in der roboterassistierten Chirurgie beschreibt (Beard et al. 2023). Die British Orthopaedic Association hat ebenfalls einen Best-Practice-Leitfaden für roboterassistierte muskuloskelettale chirurgische Dienste innerhalb des NHS entwickelt. Ein Protokoll zur Entwicklung eines Konsenses in der robotischen Ausbildung für Assistenzärztinnen und Assistenzärzte in der gastrointestinalen Chirurgie wurde ebenfalls erstellt (Fadel et al. 2024).

Von den Experten wird teilweise spekuliert, dass die roboterassistierte Chirurgie die konventionelle Laparoskopie komplett ablösen könnte. Andererseits wird ein „Ausbildungskonflikt“ diesbezüglich wahrgenommen, ob junge Chirurginnen und Chirurgen die konventionelle Laparoskopie, roboterassistierte Chirurgie oder beides und in welcher Reihenfolge lernen sollen. Manche Experten sehen es als essenziell, zuerst die konventionelle Laparoskopie zu erlernen, und andere sehen es nicht als sinnvoll, beides zu erlernen, sondern empfehlen die Fokussierung auf eine Methode. In anderen Ländern werden junge Chirurginnen und Chirurgen oft auch nicht mehr in offenen Methoden ausgebildet (Crew 2020). Sowohl bei der Art der Eingriffe (offen, konventionell laparoskopisch oder roboterassistiert) als auch bei konkreten Eingriffen (z. B. Prostataktomie) entsteht der Eindruck, dass es einen Trend zur stärkeren Spezialisierung von Chirurginnen und Chirurgen geben könnte. Es wird von den Experten und in der Literatur erwähnt, dass in Zukunft offene Eingriffe möglicherweise nur noch von Spezialteams und komplexere Eingriffe nicht mehr in kleineren Regionalkrankenhäusern durchgeführt werden, da oft das entsprechende Volumen an Eingriffen fehlt, um die Patientensicherheit zu gewährleisten (Hirsch 2022).

---

<sup>10</sup> [https://dgru.de/inhalt/uploads/2023/12/deutsches-Roboter-Urologie-Curriculum-2024\\_Flyer-1.pdf](https://dgru.de/inhalt/uploads/2023/12/deutsches-Roboter-Urologie-Curriculum-2024_Flyer-1.pdf) (Zugriff am 28.10.2024)

## 5 Da-Vinci-Roboter in Österreich

### 5.1 Bestand an OP-Robotern

Die OP-Robotik in Österreich, sowie weltweit, wird von Da-Vinci-Systemen dominiert. In Österreich scheinen zurzeit nur Da-Vinci-X- und -Xi-Systeme in Betrieb zu sein, welche auch aufgrund der Modularität des X-Systems in diesem Bericht für die Datenlage in Österreich nicht unterschieden werden. Die Anzahl der Da-Vinci-Systeme in Österreich im Zeitverlauf ab 2015, jeweils mit Jahresende, wird in Tabelle 2 dargestellt. In den letzten Jahren ist ein starker Anstieg der Anzahl an Da-Vinci-Robotern in Österreich zu beobachten. Die Darstellung beruht auf eigenen Recherchen (siehe auch Abschnitt 2.3 Datensammlung). Die Daten für 2022 und 2023 gelten hier als besonders qualitätsgesichert, und zwar aufgrund der Leistungscodierung ZN410, welche seit dem 1. Januar 2022 angewendet wird. Für 2024 stehen die Daten noch nicht zur Verfügung.

Tabelle 2: Anzahl der Da-Vinci-Systeme in Österreich nach Bundesland von 2015 bis 2024

Jahr	Bgld.	Ktn.	NÖ	OÖ	Sbg.	Stmk.	T	Vbg.	W	Österreich
2015	–	–	1	3	–	–	–	–	2	6
2016	–	–	1	3	–	–	–	–	3	7
2017	–	–	1	3	1	–	–	–	3	8
2018	–	–	1	3	2	–	–	–	3	9
2019	–	–	1	3	3	–	–	–	3	10
2020	–	–	1	3	3	–	1	1	3	12
2021	1	–	1	4	3	2	1	1	3	16
2022	1	–	1	6	4	2	1	1	4	20
2023	1	1	2	7	4	2	1	2	10	30
2024	1	1	2	8	4	4	3	2	11	36

Anmerkung: recherchierte Anzahl siehe Methoden

Quelle: GÖG-Erhebung

Im Zeitverlauf der Vergangenheit von 2015 bis 2021 kann es vereinzelt zu Abweichungen von der tatsächlichen Anzahl der Da-Vinci-Systeme kommen, unter anderem weil Systeme teilweise auch wieder abgeschafft wurden. Zum Beispiel war das erste Da-Vinci-System in Österreich von ca. 2001 bis 2013 im Innsbrucker LKH vorhanden. Es wurde dann aber als „zu teuer und nicht notwendig“<sup>11</sup> eingestuft. Das LKH Innsbruck hatte dann über 10 Jahre keinen OP-Roboter, bis vor Kurzem, im Juli 2024, wieder ein neues Da-Vinci-System in Betrieb genommen wurde. In einem HTA-Bericht aus dem Jahr 2015 wurde von sieben Da-Vinci-Systemen in Österreich (eines in Niederösterreich, zwei in Oberösterreich, eines in Tirol und drei in Wien) berichtet, wohingegen die Recherche für diesen Bericht nur sechs (eines in Niederösterreich, drei in Oberösterreich, keines in Tirol und zwei in Wien) ergeben hat (Fischer/Kisser 2015). Die Unterschiede in den Zahlen können vermutlich auf den konkreten Erhebungszeitpunkt bzw. auf unterschiedlich verfügbare Informationen zurückgeführt werden. Diese Diskrepanz unterstreicht auch, dass die

<sup>11</sup> <https://listefritz.at/klinik-innsbruck-will-kein-geld-fuer-modernen-operationsroboter-da-vinci-locker-machen-10/> (Zugriff am 21.10.2024)

Daten vor 2022 leicht von den tatsächlichen Zahlen abweichen können und als Schätzwerte zu verstehen sind.

Für 2024 sind im Zug der Recherche sechs neue Systeme (eines in Oberösterreich, zwei in der Steiermark, zwei in Tirol und eines in Wien) identifiziert worden. Es ist allerdings möglich, dass es schon mehr gibt. Darüber hinaus kann es bereits bestehende Bemühungen für weitere Anschaffungen von Da-Vinci-Systemen geben, die in der Tabelle 2 nicht erfasst sind. Zum Beispiel plant das AKH Wien, ein drittes System anzuschaffen, wobei es sich um ein Single-Port-System handeln dürfte und der Zeithorizont dafür noch unklar ist.

Nur einer der Da-Vinci-Roboter steht in einer Nichtfondskrankenanstalt. Es handelt sich dabei um ein System in Wien, welches seit Januar 2023 in Betrieb ist.

Tabelle 3: Anzahl und Wachstumsrate (WTR) der Da-Vinci-Systeme im internationalen Vergleich jeweils zum Jahresende von 2015 bis 2023

Jahr	Österreich		DACH-Region		Europa		USA		Weltweit	
	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR
2015	6				423		2.399		3.597	
2016	7	17%			665	57%	2.563	7%	3.919	9%
2017	8	14%			742	12%	2.862	12%	4.409	13%
2018	9	13%			872	18%	3.196	12%	4.986	13%
2019	10	11%			977	12%	3.531	10%	5.582	12%
2020	12	20%			1.059	8%	3.720	5%	5.989	7%
2021	16	33%			1.199	13%	4.139	11%	6.730	12%
2022	20	25%	310		1.388	16%	4.563	10%	7.544	12%
2023	30	50%	380	23%	1.617	16%	5.111	12%	8.606	14%

Anmerkung: recherchierte Anzahl siehe Methoden; Vollständigkeit je nach Verfügbarkeit der Daten

Quelle: GÖG-Erhebung und -Berechnung

Im Vergleich zu den österreichischen Da-Vinci-Zahlen werden in Tabelle 3 auch internationale Daten zu Anzahl und Wachstumsraten von Da-Vinci-Systemen in Vergleichsregionen dargestellt, sofern diese auffindbar waren.

Neben Da-Vinci-Systemen werden aktuell in Österreich auch einzelne, in den letzten drei Jahren immer mehr werdende, andere Systeme in der OP-Robotik eingesetzt. Zum Beispiel gibt es für orthopädische Eingriffe ein *Mako-System* jeweils in Oberösterreich<sup>12</sup> und der Steiermark<sup>13</sup>, ein *ROSA-System* in Salzburg<sup>14</sup> sowie zwei *VELYS-Systeme* in Wien<sup>15</sup> und eines in Oberösterreich<sup>16</sup>,

<sup>12</sup> <https://www.kepleruniklinikum.at/presse/presseportal/roboterchirurgie-offensive-im-kepler-universitaetsklinikum/> (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>13</sup> <https://www.klinikguide.at/graz-kalwang-roboter-unterstuetzt-operateureoperateurinnen/> (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>14</sup> <https://www.blaettern.at/ausweger/salzburger-aerzefuehrer-2024/26-27/> (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>15</sup> <https://www.oss.at/presse-news/velys-orthopaedieroboter> und <https://www.kh-herzjesu.at/patienten-besucher/news/modernste-roboter-technik-haelt-einzug-ins-herz-jesu-krankenhaus> (Zugriff am 21.10.2024)

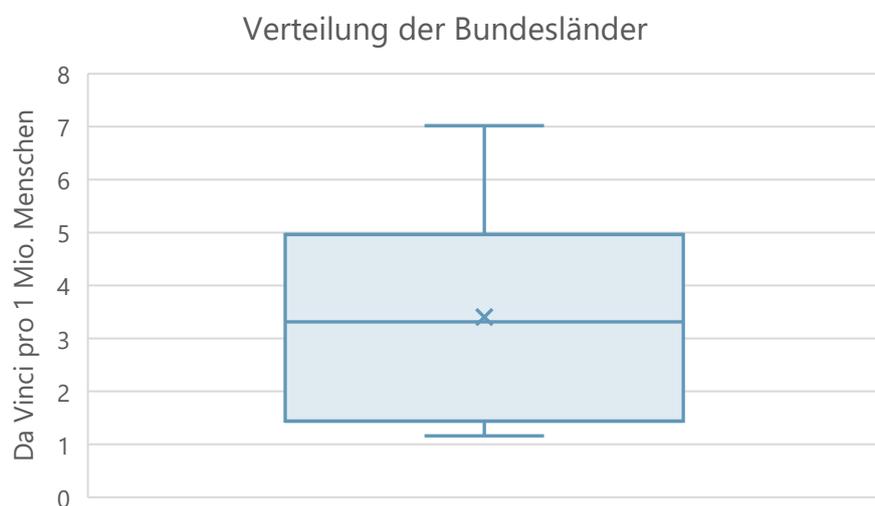
<sup>16</sup> <https://www.nachrichten.at/meine-welt/gesundheit/oesterreich-premiere-knie-op-mit-neuem-roboter;art114,3923802> (Zugriff am 21.10.2024)

für die Behandlung von gutartigen Prostatavergrößerungen ein *AquaBeam-System* in Salzburg<sup>17</sup> und zwei in Oberösterreich<sup>18</sup> und für mikrochirurgische Eingriffe ein *Symani-System* in Salzburg. In Kärnten ist auch ein *Dexter-System* angeschafft worden, welches im Januar 2025 in Betrieb gehen soll. Die Auflistung ist keine vollständige Liste und es ist davon auszugehen, dass weitere OP-Roboter in Österreich teilweise schon in Betrieb genommen wurden oder zumindest weitere konkrete Anschaffungspläne bestehen.

## 5.2 Gerätedichte

Die Da-Vinci-Gerätedichte je 1 Million Menschen in Österreich nach Bundesland von 2015 bis 2023 wird in Tabelle 4 dargestellt und im Bundesländervergleich für 2023 visualisiert.

Abbildung 10: Da-Vinci-Dichte je 1 Million Menschen im Bundesländervergleich für 2023



Anmerkung: Der Boxplot visualisiert die Verteilung der Bundesländer, wobei der Median durch die Linie in der Mitte und der Mittelwert durch das X dargestellt werden.

Quelle und Darstellung: GÖG

Die Da-Vinci-Dichte liegt im Jahr 2023 österreichweit bei 3,3 Systemen je 1 Million Menschen. Im internationalen Vergleich (siehe Tabelle 5 und Abbildung 11) liegt Österreich klar über dem europäischen Durchschnitt von 2,2 Geräten und deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von 1,1 Geräten. Die USA kann im Vergleich als „Maximalszenario“ mit einer besonders hohen Gerätedichte herangezogen werden und liegt bei 14,9 Geräten je 1 Million Menschen.

<sup>17</sup> <https://www.barmherzige-brueder.at/portal/salzburg/medizinpflege/urologie/unserereleistungen/aquabeam> (Zugriff am 21.10.2024)

<sup>18</sup> <https://www.klinikum-wegr.at/schwerpunkt/aquabeam> und <https://www.ordensklinikum.at/de/aktuelles/aqua-beam-neue-prostata-op-methode-erstmals-in-oesterreich-angewandt-1135/> (Zugriff am 21.10.2024)

Tabelle 4: Anzahl der Da-Vinci-Systeme je 1 Million Menschen in Österreich nach Bundesland von 2015 bis 2023

Jahr	Bgl.	Ktn.	NÖ	OÖ	Sbg.	Stmk.	T	Vbg.	W	Österreich
2015	–	–	0,6	2,1	–	–	–	–	1,1	0,7
2016	–	–	0,6	2,1	–	–	–	–	1,6	0,8
2017	–	–	0,6	2,0	1,8	–	–	–	1,6	0,9
2018	–	–	0,6	2,0	3,6	–	–	–	1,6	1,0
2019	–	–	0,6	2,0	5,4	–	–	–	1,6	1,1
2020	–	–	0,6	2,0	5,4	–	1,3	2,5	1,6	1,3
2021	3,4	–	0,6	2,7	5,3	1,6	1,3	2,5	1,6	1,8
2022	3,3	–	0,6	4,0	7,1	1,6	1,3	2,5	2,0	2,2
2023	3,3	1,8	1,2	4,6	7,0	1,6	1,3	4,9	5,0	3,3

Anmerkung: recherchierte Anzahl siehe Methoden

Quelle: GÖG-Berechnung

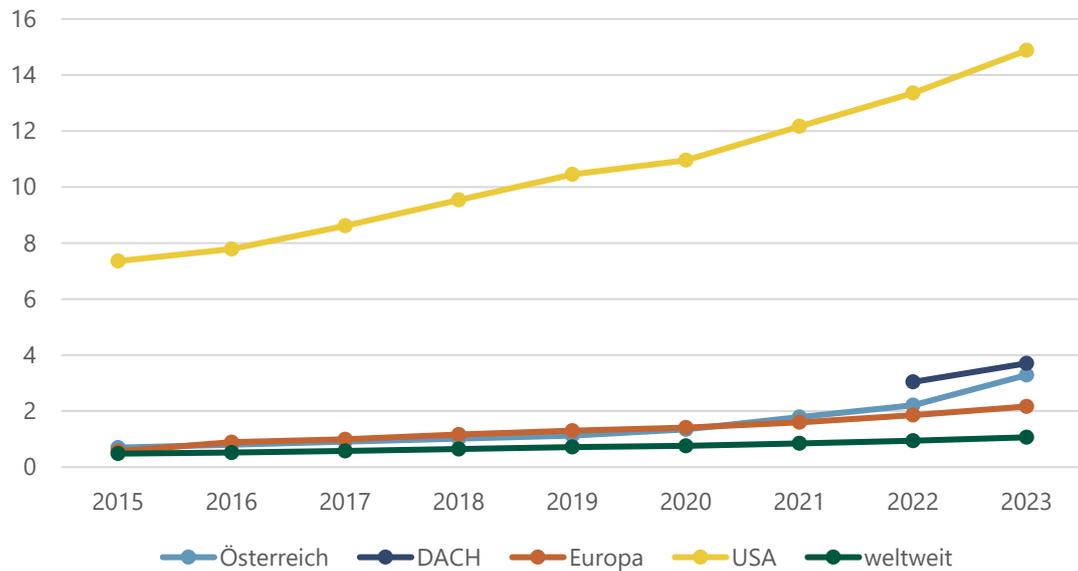
Tabelle 5: Gerätedichte und Wachstumsrate (WTR) der Da-Vinci-Systeme je 1 Million Menschen im internationalen Vergleich jeweils zum Jahresende von 2015 bis 2023

Jahr	Österreich		DACH-Region		Europa		USA		Weltweit	
	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR	Anzahl	WTR
2015	0,7				0,6		7,4		0,5	
2016	0,8	15%			0,9	57%	7,8	6%	0,5	8%
2017	0,9	14%			1,0	11%	8,6	11%	0,6	11%
2018	1,0	12%			1,2	17%	9,5	11%	0,6	12%
2019	1,1	11%			1,3	12%	10,5	10%	0,7	11%
2020	1,3	19%			1,4	8%	11,0	5%	0,8	6%
2021	1,8	33%			1,6	13%	12,2	11%	0,8	11%
2022	2,2	24%	3,0		1,9	16%	13,4	10%	0,9	11%
2023	3,3	49%	3,7	22%	2,2	17%	14,9	11%	1,1	13%

Anmerkung: recherchierte Anzahl siehe Methoden: Vollständigkeit je nach Verfügbarkeit der Daten

Quelle: GÖG-Berechnung

Abbildung 11: Anzahl der Da-Vinci-Systeme je 1 Million Menschen im internationalen Vergleich von 2015 bis 2023



Quelle und Darstellung: GÖG

Ein weiterer wesentlicher Parameter zur Verbreitung von Da-Vinci-Systemen ist die Anzahl der Eingriffe relativ zur Bevölkerung. Dieser Parameter setzt sich sowohl aus der Anzahl der OP-Roboter in einer Region als auch aus der Auslastung dieser Systeme (siehe auch Abschnitt 5.3 Auslastung 2022/23) zusammen. Für die Jahre 2022 und 2023 wird die Anzahl der Eingriffe je 1 Million Menschen nach Bundesland in Tabelle 6 dargestellt. Die rezentesten Zahlen zeigen hier durchschnittlich 810 Da-Vinci-Einsätze je 1 Million Menschen in Österreich, wobei die Varianz zwischen den Bundesländern sehr hoch ist. Der Österreich-Durchschnitt ist dabei fast doppelt so hoch wie die europäische Vergleichszahl.

Tabelle 6: Roboterassistierte Eingriffe mit Da-Vinci-Systemen je 1 Million Menschen in Österreich nach Bundesland 2022 und 2023

Jahr	Bgld.	Ktn.	NÖ	OÖ	Sbg.	Stmk.	T	Vbg.	W	Österreich
2022	713	–	260	786	1.889	476	354	549	447	540
2023	1.368	315	305	1.083	1.790	609	424	804	1.095	810

Quelle: GÖG-Berechnung

Tabelle 7: Roboterassistierte Eingriffe mit Da-Vinci-Systemen je 1 Million Menschen im internationalen Vergleich von 2015 bis 2023

Jahr	Österreich	Deutschland	Europa	USA	Weltweit
2015					84
2016		173			100
2017		225			115
2018		266			134
2019		346			157
2020		397			158
2021		498		1.893	200
2022	540	606	347		234
2023	810	814	442		283

Anmerkung: recherchierte Daten siehe Methoden; Vollständigkeit je nach Verfügbarkeit der Daten

Quelle: GÖG-Berechnung

### 5.3 Auslastung 2022/23

Die Anzahl der Eingriffe je Bevölkerung kann sowohl durch die Anschaffung neuer Systeme als auch durch die Steigerung der Auslastung bestehender Systeme erreicht werden. Unter Auslastung wird hier die Anzahl der Eingriffe pro OP-Roboter bezeichnet. Der Vergleich dieser Größe hat gewisse Limitationen, da unterschiedliche Arten von Einsätzen auch unterschiedlich lange Operationszeiten mit sich bringen. Je nach den tatsächlichen Einsatzgebieten der einzelnen Systeme unterscheiden sich daher die maximal bzw. sinnvoll erreichbaren Einsatzzahlen. Unter Berücksichtigung dieser Limitation kann die Anzahl der Eingriffe pro Roboter aber für einen groben Vergleich der Auslastungen herangezogen werden. Für einen vollumfänglichen Vergleich müssten aber auch die konkreten Einsatzgebiete gemeinsam mit den Einsatzzahlen im Detail analysiert werden, was nicht Teil dieser Studie ist.

Für einen Vergleich der Auslastungen sind Referenzwerte von besonderem Interesse. Im Jahr 2021 führten die 60 *Critical-Access*<sup>19</sup>-Krankenhäuser in den USA, die über roboterassistierte Chirurgiesysteme verfügen, durchschnittlich etwa 106 roboterassistierte Eingriffe pro Krankenhaus durch (McCartney 2023). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass eine Auslastung von 106 oder weniger Eingriffen im Jahr pro Roboter keiner Vollauslastung entspricht und nicht kosteneffektiv ist.

Als Referenzwert für eine besonders hohe Auslastung können Zahlen aus China herangezogen werden. Im Jahr 2021 gab es 260 Da-Vinci-Systeme in China mit insgesamt 89.000 Eingriffen (Xue/Liu 2022). Durchschnittlich wurden im Jahr 2021 pro Roboter 342 Eingriffe durchgeführt, wobei es 56 Roboter mit mehr als 600 Eingriffen und sogar 11 mit mehr als 1.000 Eingriffen gab (Xue/Liu 2022). Eine Auslastung von 600 oder mehr Eingriffen pro Roboter im Jahr ist also

<sup>19</sup> Critical-Access-Krankenhäuser (CAHs) in den USA sind kleine Krankenhäuser in ländlichen Gebieten, die eine spezielle Designation durch die Centers for Medicare & Medicaid Services (CMS) erhalten haben. Diese Designation wurde geschaffen, um die finanzielle Stabilität dieser Krankenhäuser zu verbessern und den Zugang zu medizinischer Versorgung in ländlichen Gemeinden zu sichern. Siehe: <https://www.ruralhealthinfo.org/topics/critical-access-hospitals> (Zugriff am 21.10.2024)

technisch möglich, aber in Europa mit deutlich strengeren Regulierungen und Arbeitnehmerschutzbedingungen eher unwahrscheinlich.

Tabelle 8: Roboterassistierte Eingriffe pro Da-Vinci-Roboter in Österreich nach Bundesland 2022 und 2023 (ungenauere Berechnungsmethode, die internationalen Vergleich ermöglicht)

Jahr	Bgl.	Ktn.	NÖ	OÖ	Sbg.	Stmk.	T	Vbg.	W	Österreich
2022	214		445	199	267	300	272	222	219	245
2023	413	179	263	236	255	386	328	164	218	247

Anmerkung: In dieser hier verwendeten ungenaueren Berechnungsmethode wird die Anzahl der Eingriffe pro Jahr durch die Anzahl der Da-Vinci-Systeme in dem jeweiligen Jahr dividiert. Diese Berechnung ist konsistent mit den internationalen Daten in der Tabelle 9.

Quelle: GÖG-Berechnung

Tabelle 9: Roboterassistierte Eingriffe mit Da-Vinci-Systemen pro Da-Vinci-Roboter im internationalen Vergleich von 2015 bis 2023

Jahr	Österreich	Deutschland	Europa	USA	Weltweit
2015					174
2016					192
2017					199
2018					208
2019					220
2020					208
2021				156	237
2022	245	243	187		249
2023	247	222	204		266

Anmerkung: Vollständigkeit je nach Verfügbarkeit der Daten. Zur Berechnung wurde die Anzahl der berichteten Eingriffe pro Jahr durch die Anzahl der Da-Vinci-Systeme in dem jeweiligen Jahr dividiert. Wenn Roboter unterjährig in Betrieb genommen wurden, können diese Systeme, die sich nur für Teile des Jahres in Betrieb befinden, den Durchschnitt senken. Es kommt daher zu einer Unterschätzung im Vergleich zur tatsächlichen Auslastung. Diese Berechnung ist konsistent mit den Österreich-Daten der „ungenaueren Berechnungsmethode“ in Tabelle 8.

Quelle: GÖG-Berechnung

In Tabelle 8 werden die Auslastungszahlen in Österreich nach Bundesland für 2022 und 2023 dargestellt. Für die Berechnung dieser Zahlen wurde die Anzahl der Da-Vinci-Eingriffe pro Bundesland<sup>20</sup> durch die am Ende des Jahres im Bundesland vorhandene Anzahl an Da-Vinci-Systemen dividiert. Dieser Ansatz führt zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Eingriffe pro Jahr, wenn in dem Jahr neue Systeme angeschafft und nach Januar in Betrieb genommen wurden. Dieser Bias ist umso größer, je später im Jahr der Roboter in Betrieb genommen wurde. Ein genauerer Ansatz auf Monatsbasis wird weiter unten in Tabelle 10 präsentiert. Die ungenauere Methode erlaubt aber eine Vergleichbarkeit mit den internationalen Zahlen in Tabelle 9, welche

<sup>20</sup> Wie im Abschnitt Datensammlung und -verarbeitung beschrieben, kann es hier zu einer leichten Verzerrung der Daten kommen, da nicht sichergestellt werden kann, dass alle roboterassistierten Eingriffe mit Nicht-Da-Vinci-OP-Robotik-Systemen herausgefiltert worden sind.

nur mit dieser Methode berechnet werden konnten. Alle österreichischen Bundesländer weisen eine höhere Auslastung als der USA-Durchschnitt aus dem Jahr 2021 auf. Die Auslastung von Da-Vinci-Systemen in Österreich liegt sehr nahe am weltweiten Durchschnitt und klar über dem europäischen Durchschnitt.

Tabelle 10: Roboterassistierte Eingriffe pro Da-Vinci-Roboter in Österreich nach Bundesland 2022 und 2023 (genauere Berechnungsmethode auf Monatsbasis)

Jahr	Bgld.	Ktn.	NÖ	OÖ	Sbg.	Stmk.	T	Vbg.	W	Österreich
<b>2022</b>	<b>214</b>	–	<b>445</b>	<b>265</b>	<b>273</b>	<b>300</b>	<b>272</b>	<b>222</b>	<b>219</b>	<b>266</b>
Jan.	0	–	50	26	22	19	23	11	*17	*21
Feb.	12	–	57	24	*24	25	31	16	13	*23
März	13	–	45	26	25	27	33	15	14	23
April	19	–	31	20	24	21	19	26	13	20
Mai	19	–	28	24	23	23	19	23	16	21
Juni	20	–	28	24	22	24	17	13	15	21
Juli	19	–	38	24	25	26	15	18	15	22
Aug.	20	–	34	22	17	25	20	20	18	21
Sep.	19	–	39	26	24	26	23	21	20	24
Okt.	24	–	37	*16	20	31	23	18	26	*22
Nov.	23	–	29	20	26	30	27	24	30	26
Dez.	26	–	29	19	22	26	22	17	24	22
<b>2023</b>	<b>413</b>	<b>215</b>	<b>316</b>	<b>264</b>	<b>255</b>	<b>386</b>	<b>328</b>	<b>281</b>	<b>267</b>	<b>284</b>
Jan.	36	–	34	19	17	30	28	27	*25	*23
Feb.	28	–	35	20	18	26	25	26	26	23
März	39	*9	40	26	21	34	29	35	*26	*27
April	34	11	32	20	19	26	27	24	*20	*22
Mai	36	19	*21	22	23	32	21	25	26	*25
Juni	29	22	25	24	24	31	39	28	25	26
Juli	34	20	28	23	26	31	28	28	*20	*24
Aug.	47	24	26	23	20	37	23	21	19	23
Sep.	36	19	26	22	21	37	26	25	*21	*23
Okt.	29	19	24	*21	23	35	26	32	23	*24
Nov.	35	21	22	26	23	36	29	14	24	25
Dez.	30	15	22	20	22	33	27	15	17	20

Anmerkung: Monate, in denen zumindest ein neuer Roboter in Betrieb genommen wurde, sind mit einem \* markiert. Zur Berechnung wurde die Anzahl der Eingriffe pro Monat durch die Anzahl der Da-Vinci-Systeme in dem jeweiligen Monat dividiert. Für die Jahresauslastungen wurde die Summe der Eingriffe durch die durchschnittliche Anzahl an Robotern in dem Jahr dividiert. Mit dieser Berechnungsmethode kommt es zu deutlich geringeren Unterschätzungen, da nur der Inbetriebnahmemonat bei einer Inbetriebnahme gegen Monatsende anstatt Monatsbeginn zu einer Verzerrung führt. Diese Berechnung ist nicht konsistent mit den internationalen Daten in der Tabelle 9.

Quelle: GÖG-Berechnung

Die Berechnung auf Monatsbasis in Tabelle 10 bietet nicht nur eine genauere Darstellung der jährlichen Auslastungszahlen auf Bundeslandebene, sondern zeigt auch die Entwicklung der

Auslastungen im Zeitverlauf der letzten beiden Kalenderjahre. Es spielen hier mehrere Dynamiken eine Rolle, die auch – zumindest teilweise – in den Daten erkennbar sind. Erstens steigen die Auslastungszahlen im Allgemeinen über die Zeit. Die durchschnittliche Auslastung ist in Österreich von 2022 auf 2023 um 18 Eingriffe pro Roboter gestiegen. Die Anzahl der Eingriffe in den ersten Monaten nach der Inbetriebnahme eines OP-Roboters steigen teilweise stark an. Diese Lernkurve ist kurz nach der Inbetriebnahme eines OP-Roboters besonders steil; vor allem im ersten Monat führen neue Da-Vinci-Systeme (markiert mit einem \* in der Tabelle) oft zu einer Senkung der durchschnittlichen Auslastung in dem jeweiligen Bundesland. Es ist außerdem eine Saisonalität in den Da-Vinci-Einsatzzahlen zu erkennen. Zum Beispiel dürften im Dezember im Allgemeinen weniger Einsätze stattfinden als in anderen Monaten. Die beobachtete Zeitreihe seit der Einführung der Leistungscodierung *ZN410 – Anwendung eines OP-Roboters* am 1. Januar 2022 ist allerdings noch nicht lang genug, um diesen Effekt mit großer Sicherheit zu bestätigen bzw. zu quantifizieren.

Auch für mögliche Planungen von Da-Vinci-Neuanschaffungen können die Zahlen in Tabelle 10 Richtwerte zur realistischen Einschätzung der Einsatzzahlen bieten. Eine Auslastung von deutlich mehr als 250 Eingriffen im ersten Jahr nach der Neuanschaffung ist demnach vermutlich unrealistisch.

## 5.4 Einsatzbereiche 2022/23

Um die Einsatzbereiche der OP-Robotik in Österreich zu analysieren, wird die Codierung der Leistung *ZN410 – Anwendung eines OP-Roboters* herangezogen. Diese Codierung wird zusätzlich zu anderen Codierungen verwendet, ist aber mit keiner anderen Leistung direkt verknüpft, worüber feststellbar wäre, wofür der OP-Roboter eingesetzt wurde. Wie im Abschnitt 2 Methoden beschrieben, werden die Leistungen *ZN410* so gefiltert, dass sie möglichst nur Da-Vinci-Eingriffe repräsentieren. In diesem Abschnitt werden nur Daten zu Eingriffen und Aufenthalten in Fonds-krankenanstalten berücksichtigt.

Für die vorliegende Analyse wurden zwei verschiedene Ansätze verwendet, um konkrete Einsatzbereiche zuzuordnen: einmal die Ebene der Einzelleistungen, welche gemeinsam (selber Tag, selber Aufenthalt und selber leistungserbringender Funktionscode) mit der Leistung *ZN410* codiert wurden, und einmal die Ebene der Aufenthalte, für welche die Leistung *ZN410* codiert wurde, wobei die Aufenthalte nach Indikationsgruppen gemäß den in der Versorgungsmatrix verwendeten homogenen Obergruppen der medizinischen Hauptgruppen (MEL- bzw. HD-Gruppe gemäß LKF-Modell) gruppiert werden (Eglau et al. 2019). Beide Ansätze können aufgrund der fehlenden direkten Verknüpfung der Leistung *ZN410* mit anderen Leistungen kein komplett fehlerfreies Bild der Einsatzbereiche geben, es werden aber in beiden Fällen nur geringe Abweichungen erwartet.

Insgesamt wurden mehr als 300 verschiedene Einzelleistungen gemeinsam mit der Leistung *ZN410* codiert. In Tabelle 11 werden die häufigsten Einzelleistungen, welche mit der Leistung *ZN410 – Anwendung eines OP-Roboters* codiert wurden, für 2022 und 2023 zusammengefasst. Durch den Vergleich von Leistungserbringungen und Aufenthalten kann bestätigt werden, dass pro Aufenthalt grundsätzlich nur ein Robotereinsatz codiert wird und die Anzahl an Aufenthalten daher als guter Schätzwert für die Anzahl der Da-Vinci-Eingriffe herangezogen werden kann.

Tabelle 11: Die häufigsten Einzelleistungen, die in Österreich mit einem Da Vinci durchgeführt wurden

Leistung	Leistungserbringungen		Aufenthalte	
	2023	2022	2023	2022
(ZN410) Anwendung eines OP-Roboters	7.338	4.898	7.319	4.883
(JG060) Radikale Prostatektomie – laparoskopisch	1.437	1.082	1.437	1.082
(LM090) Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie – laparoskopisch	1.193	523	920	407
(JG080) Radikale Prostatektomie mit pelviner Lymphadenektomie – laparoskopisch	1.008	942	1.008	942
(JK102) Totale laparoskopische Hysterektomie (TLH)	373	265	373	265
(HM110) Cholezystektomie – laparoskopisch	335	195	335	195
(JZ530) Zystoskopie	287	209	286	208
(JA080) Teilnephrektomie – laparoskopisch	273	225	273	225
(JA130) Erweiterte Teilnephrektomie – laparoskopisch	272	135	272	135
(JJ040) Entfernung der Adnexen – laparoskopisch	218	167	218	167
(JJ020) Teilentfernung der Adnexen – laparoskopisch	195	164	195	163
(HH140) Resektion des linken Hemikolons mit primärer Anastomose – laparoskopisch	179	131	179	131
(JB040) Nierenbeckenplastik – laparoskopisch	155	94	155	94
(HJ090) Resektion des Rektums mit totaler mesorektaler Exzision – laparoskopisch	144	67	144	67
(FA030) Tonsillektomie	144	75	144	75
(JA110) Nephrektomie – laparoskopisch	144	88	144	88
(JD070) Zystektomie, Zystoprostatektomie – laparoskopisch	134	94	134	94
(HH090) Resektion des rechten Hemikolons – laparoskopisch	122	75	122	75
(LM101) Verschluss einer Nabelhernie / epigastrischen Hernie – offen	114	64	114	64
(LM112) Verschluss einer Narbenhernie – laparoskopisch	111	57	111	57
(LM111) Verschluss einer Nabelhernie / epigastrischen Hernie - laparoskopisch	110	35	109	35
(JA150) Erweiterte Nephrektomie – laparoskopisch	109	70	109	70
(LM040) Fundoplikatio/Hiatusplastik – laparoskopisch	109	37	109	37
(GF130) Lobektomie oder Bilobektomie – thorakoskopisch	100	28	100	28

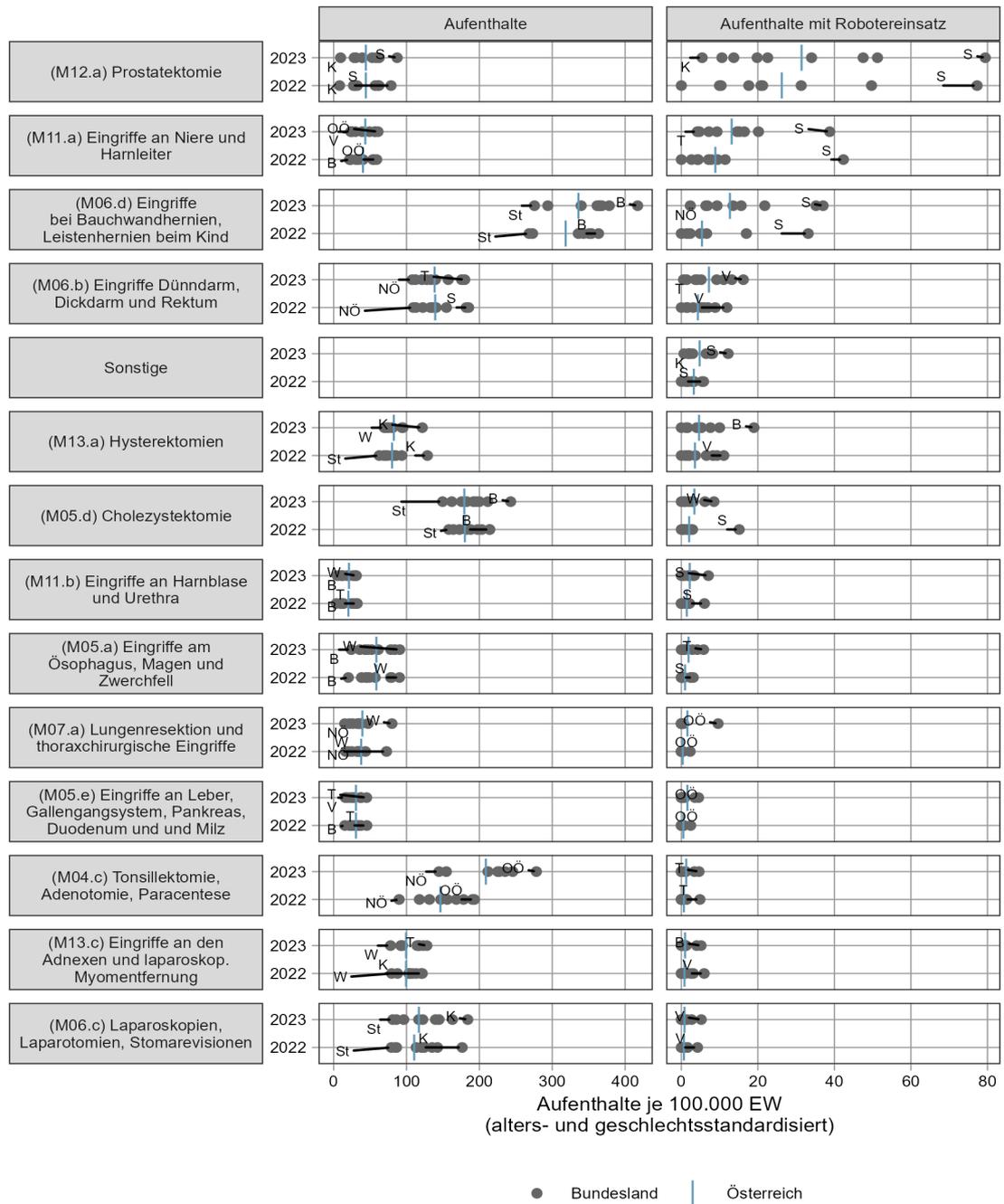
Anmerkung: Alle Einzelleistungen, die im Jahr 2023 zumindest 100-mal mit ZN410 gemeinsam codiert wurden, sind inkludiert.

Quelle: GÖG-Berechnung

Die Daten der Aufenthalte relativ zur Bevölkerung nach Indikationsgruppen werden in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt. Für den Österreich-Durchschnitt werden die Zahlen auch in Tabelle 12 zusammengefasst. Jede Indikationsgruppe, die zumindest 1 Prozent aller Aufenthalte mit Robotereinsatz ausmacht, wird explizit angeführt. Alle anderen Indikationen werden unter „Sonstige“ zusammengefasst. In beiden Abbildungen werden die Daten für die einzelnen Bundesländer sowie die beiden Jahre 2022 und 2023 im Vergleich zum Österreich-Durchschnitt gezeigt. Das Bundesland mit dem höchsten bzw. niedrigsten Wert wird jeweils ausgewiesen. Die

Reihenfolge der Indikationsgruppen in den beiden Abbildungen ergibt sich aus dem Anteil der Gruppe an allen Robotereinsätzen im Österreich-Durchschnitt 2023.

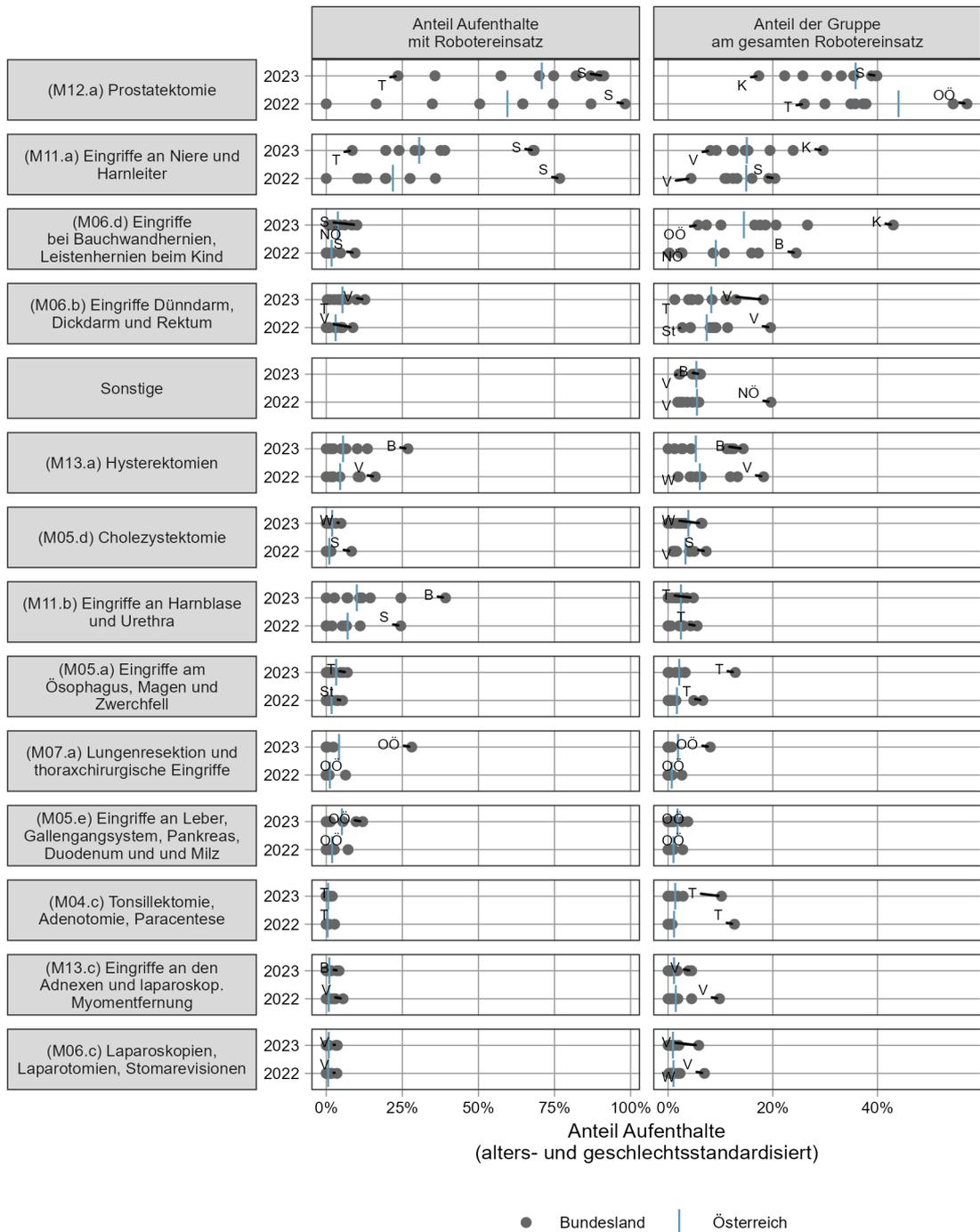
Abbildung 12: Anzahl der Aufenthalte nach Indikationsgruppe



Anmerkung: Daten sind alters- und geschlechtsstandardisiert mit der Kärntner Bevölkerung 2023 als Referenzpopulation.

Quelle und Darstellung: GÖG

Abbildung 13: Anteil der Aufenthalte mit Robotereinsatz nach Indikationsgruppe



Anmerkung: Daten sind alters- und geschlechtsstandardisiert mit der Kärntner Bevölkerung 2023 als Referenzpopulation.

Quelle und Darstellung: GÖG

Die Prostatektomie ist in Österreich die Indikationsgruppe mit den eindeutig meisten Aufenthalten mit Robotereinsatz (ca. 31 je 100.000 EW im Jahr 2023) und auch mit dem klar höchsten Anteil (70,8 % im Jahr 2023) an Aufenthalten mit Robotereinsatz. Die häufigste Fachrichtung von Robotereinsätzen ist die Urologie, welche auch mit den Indikationsgruppen M11.a und M11.b hohe Robotereinsatzzahlen aufweist.

Im Bereich der Allgemein Chirurgie ist der Kärntner Da-Vinci-Einsatz stark auf „Eingriffe bei Bauchwandhernien, Leistenhernien beim Kind“ (M06.d) konzentriert. Nur bei dieser Indikationsgruppe ist der Anteil der roboterassistierten Eingriffe mit dem Österreich-Durchschnitt vergleichbar. Basierend auf Informationen aus den Experteninterviews, kann dieses konzentrierte Einsatzgebiet eventuell durch von Intuitive vorgegebene Schulungsprozesse erklärt werden, wodurch das Spektrum an durchgeführten Eingriffen erst mit mehr Erfahrung in der roboterassistierten Chirurgie erweitert wird. In anderen Bundesländern werden Da-Vinci-Roboter in der Allgemein Chirurgie für ein breites Spektrum an Eingriffen eingesetzt. Sechs der 13 häufigsten Indikationsgruppen (M05.a, M05.d, M05.e, M06.b, M06.c und M06.d) gehören zu diesem Fachgebiet.

Die dritthäufigste Fachrichtung mit Da-Vinci-Einsätzen in Österreich ist die **Gynäkologie**, wobei nicht in allen Bundesländern OP-Roboter für gynäkologische Eingriffe zur Verfügung stehen. Hysterektomien sind mit Abstand die häufigsten roboterassistierten gynäkologischen Eingriffe.

Die Thoraxchirurgie ist in Österreich ein kleineres, aber auch relevantes Anwendungsgebiet für Da-Vinci-Roboter; es wird ebenfalls eine nennenswerte Menge an Tonsillektomien durchgeführt.

In Österreich können etwa 53 Prozent der Da-Vinci-Eingriffe der Urologie zugewiesen werden, 32 Prozent der Allgemein Chirurgie, 6,5 Prozent der Gynäkologie, 2 Prozent der Thoraxchirurgie und der Rest den sonstigen Eingriffen. Die Abweichung zu den Experteneinschätzungen von ca. 75 Prozent Urologie kann vermutlich durch systematische Unterschiede in der Operationsdauer der verschiedenen Eingriffe erklärt werden.

Tabelle 12: Daten zu Aufenthalten je 100.000 EW und Robotereinsätze (RE) nach Indikationsgruppen im Österreich-Durchschnitt

Indikationsgruppe	Aufenthalte gesamt	Aufenthalte mit RE	Anteil der Aufenthalte mit RE	Anteil der Gruppe an allen RE
<b>Jahr 2023</b>				
(M04.c) Tonsillektomie, Adenotomie, Paracentese	208,58	1,22	0,6%	1,4%
(M05.a) Eingriffe am Ösophagus, Magen und Zwerchfell	58,55	1,90	3,2%	2,2%
(M05.d) Cholezystektomie	179,52	3,43	1,9%	3,9%
(M05.e) Eingriffe an Leber, Gallengangsystem, Pankreas, Duodenum und Milz	30,95	1,57	5,1%	1,8%
(M06.b) Eingriffe an Dünndarm, Dickdarm und Rektum	138,39	7,29	5,3%	8,3%
(M06.c) Laparoskopien, Laparotomien, Stomarevisionen	117,04	0,86	0,7%	1,0%
(M06.d) Eingriffe bei Bauchwandhernien, Leistenhernien beim Kind	335,74	12,77	3,8%	14,5%
(M07.a) Lungenresektion und thoraxchirurgische Eingriffe	39,34	1,66	4,2%	1,9%
(M11.a) Eingriffe an Niere und Harnleiter	43,20	13,23	30,6%	15,0%
(M11.b) Eingriffe an Harnblase und Urethra	21,22	2,14	10,1%	2,4%
(M12.a) Prostatektomie	44,43	31,47	70,8%	35,8%
(M13.a) Hysterektomien	82,70	4,64	5,6%	5,3%
(M13.c) Eingriffe an den Adnexen und laparoskop. Myomentfernung	99,73	0,99	1,0%	1,1%
Sonstige	21.555,75	4,80	0,0%	5,5%
<b>Jahr 2022</b>				
(M04.c) Tonsillektomie, Adenotomie, Paracentese	146,82	0,66	0,4%	1,1%
(M05.a) Eingriffe am Ösophagus, Magen und Zwerchfell	58,45	0,98	1,7%	1,6%
(M05.d) Cholezystektomie	180,23	1,97	1,1%	3,3%
(M05.e) Eingriffe an Leber, Gallengangsystem, Pankreas, Duodenum und Milz	30,47	0,60	2,0%	1,0%
(M06.b) Eingriffe an Dünndarm, Dickdarm u. Rektum	139,74	4,40	3,1%	7,4%
(M06.c) Laparoskopien, Laparotomien, Stomarevisionen	110,95	0,63	0,6%	1,1%
(M06.d) Eingriffe bei Bauchwandhernien, Leistenhernien beim Kind	318,45	5,42	1,7%	9,1%
(M07.a) Lungenresektion und thoraxchirurgische Eingriffe	37,95	0,44	1,1%	0,7%
(M11.a) Eingriffe an Niere und Harnleiter	40,60	8,91	21,9%	15,0%
(M11.b) Eingriffe an Harnblase und Urethra	20,30	1,43	7,1%	2,4%
(M12.a) Prostatektomie	44,05	26,21	59,5%	44,1%
(M13.a) Hysterektomien	79,98	3,63	4,5%	6,1%
(M13.c) Eingriffe an den Adnexen und laparoskop. Myomentfernung	99,42	0,90	0,9%	1,5%
Sonstige	21.535,00	3,28	0,0%	5,5%

Anmerkung: Daten sind alters- und geschlechtsstandardisiert mit der Kärntner Bevölkerung 2023 als Referenzpopulation.

Quelle: GÖG-Berechnung

## 6 Auswirkungen der OP-Robotik in Österreich

In zahlreichen Statements der befragten Experten wird angegeben, dass der Einsatz von OP-Robotern zu niedrigeren Komplikationsraten und damit kürzeren Aufenthalten führt und die Einsatzmöglichkeiten minimalinvasiver Operationsmöglichkeiten erweitert. Dem stehen Vermutungen gegenüber, dass die Vorteile der Robotik begrenzt sind.

Auf Basis der vorliegenden Daten kann überprüft werden, ob ab dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit von OP-Robotern eine Änderung der Patientenoutcomes nach ausgewählten Eingriffen festgestellt werden kann.

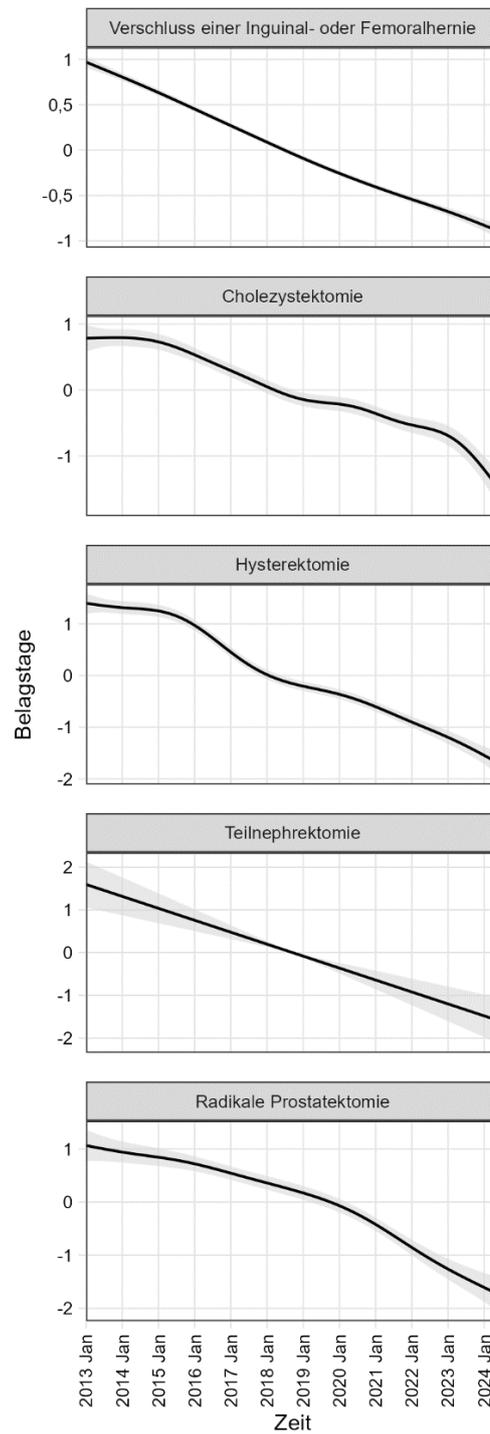
### 6.1 Belagstage

Als erste Outcomevariable wird die Veränderung der Anzahl an Belagstagen durch die Verfügbarkeit von Da Vinci Robotern analysiert. Die Ergebnisse der Difference-in-Difference-Regressionsanalyse sind in Tabelle 13 dargestellt. Der allgemeine Zeittrend unabhängig vom Einsatz der OP-Robotik, welcher mittels Spline-Regression aus den Daten isoliert wurde, wird ebenfalls in Abbildung 14 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass alle fünf analysierten Leistungen grundsätzlich eine Reduktion der Belagstage über die Zeit aufweisen. Die Ergebnisse in Tabelle 13 zeigen, dass die Verfügbarkeit zumindest eines OP-Roboters im Bundesland bei allen untersuchten Eingriffen mit einer zusätzlichen Reduktion der Liegedauer einhergeht. Für drei der fünf analysierten Leistungen ist dieser Effekt auch statistisch signifikant. Die Effektgröße ist jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Koeffizienten in der Zeile „Roboter verfügbar“ beschreiben die Veränderung der Belagsdauer in Tagen, die durch die Verfügbarkeit eines Roboters entsteht. Bei der radikalen Prostatektomie bewirkt die Verfügbarkeit eines OP-Roboters eine signifikante Reduktion der Liegedauer um etwa einen Tag. Bei der Hysterektomie und dem Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie ist dieser Effekt zwar auch statistisch signifikant, aber deutlich geringer (ca. 0,2 bzw. 0,1 Tage). Für die Cholezystektomie und die Teilnephrektomie ist der Robotereffekt nicht statistisch signifikant.

Dabei ist anzumerken, dass die Verfügbarkeit mindestens eines OP-Roboters im Bundesland nicht bedeutet, dass der Roboter auch für die angeführte Operation verwendet wird. Insofern ist die Regression zur radikalen Prostatektomie am aussagekräftigsten, weil in allen Bundesländern die erstverfügbaren OP-Roboter des Typs Da Vinci in der Urologie eingesetzt wurden. Die Cholezystektomie ist andererseits ein Eingriff der Allgemein Chirurgie, ein Fachgebiet, das oft keinen oder nur einen stark limitierten Zugang zu einem Da Vinci hat, wenn nur wenige OP-Roboter im Bundesland verfügbar sind.

Daher wurde in einem zweiten Schritt untersucht, wie sich die Verfügbarkeit zusätzlicher OP-Roboter nach dem ersten auf die Liegedauern auswirkt. Tabelle 14 und Tabelle 15 fassen diese Ergebnisse zusammen. In Tabelle 14 werden die Effekte des zweiten, dritten, vierten und fünften OP-Roboters je Bundesland angeführt. Hier zeigt sich, dass für manche Eingriffe der erste Roboter noch keine signifikante Änderung der Liegedauer bewirkt, eine signifikante Reduktion aber mit dem zweiten, dritten oder vierten Roboter zu verzeichnen ist (z. B. bei der Kategorie Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie, und teilweise bei der Teilnephrektomie).

Abbildung 14: Zeittrend in Belagsdauern (ohne Roboter)



Anmerkung: Die Berechnung basiert auf einer Spline-Regression.

Quelle und Darstellung: GÖG

Tabelle 13: Regressionsanalyse Belagstage, Modell B1

Abhängige Variable: Belagsdauer

Datensatz: Alle Eingriffe in Fondskrankenanstalten, 2013–2023

Modell: Lineare Regression

Term	Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie	Cholezystektomie	Hysterektomie	Teilnephrektomie	Radikale Prostatektomie
(Konstante)	2,672 ***	9,872 ***	6,030 ***	9,094 ***	8,312 ***
Bgld.	-0,099 *	-1,273 ***	-0,703 ***	0,258	1,486 ***
Ktn.	Referenzkategorie				
NÖ	-0,003	-0,623 ***	-0,148	0,924	1,346 ***
OÖ	0,467 ***	0,520 ***	-0,499 ***	0,090	1,118 ***
Sbg.	0,515 ***	-0,245 *	-0,104	-1,304	-0,276
Stmk.	0,608 ***	1,072 ***	-1,215 ***	-0,856	2,219 ***
T	1,113 ***	1,173 ***	0,143	-0,044	1,035 ***
Vbg.	-0,270 ***	-0,376 **	-0,418 ***	0,807	-0,072
W	0,339 ***	-0,046	-0,165 +	0,090	0,363 +
Roboter verfügbar	-0,097 ***	-0,095	-0,151 *	-0,396	-0,973 ***
Weiblich	0,674 ***	-1,346 ***	1,854 ***	0,347 +	0,000
Alter	***	***	***	***	***
Zeittrend	***	***	***	***	***
N	215.696	208.880	91.344	6.737	14.557
R <sup>2</sup>	0,105	0,086	0,075	0,037	0,110
AIC	1.153.287,6	1.528.731,2	558.160,1	45.206,0	77.818,4
BIC	1.153.504,6	1.529.019,4	558.379,1	45.328,1	77.956,3
RMSE	3,51	9,40	5,13	6,91	3,50

Anmerkung: Standardfehler sind robust (HC1); p-Wert: 0,1 &gt; + &gt; 0,05 &gt; \* &gt; 0,01 &gt; \*\* &gt; 0,001 &gt; \*\*\*

Quelle: GÖG-Berechnung

Tabelle 15 misst die Anzahl der Roboter nicht in Stückzahl, sondern in Relation zur bei gegebener Bevölkerungsstruktur erwarteten Anzahl an Robotereingriffen, wenn die österreichweite Nutzung im Jahr 2023 unterstellt wird. Diese Berechnungsmethodik trägt dem Umstand Rechnung, dass in kleineren Bundesländern mit einer geringeren Anzahl an OP-Robotern ein größeres Spektrum an Eingriffen möglich ist. Aus dieser Berechnung geht ebenfalls hervor, dass bei der radikalen Prostatektomie der Effekt auf niedrigere Belagsdauern schon bei geringen Roboterdichten eintritt (die Koeffizienten für höhere Roboterdichten sind ähnlich wie jene für niedrige Roboterdichten), bei anderen Eingriffen hingegen bedeuten mehr Roboter je erwarteter Nutzung auch stärkere Effekte auf die Liegedauern. Insignifikante Ergebnisse oder positive Koeffizienten in einigen Kategorien deuten nicht notwendigerweise darauf hin, dass OP-Roboter keinen Effekt haben oder zu längeren Aufenthalten führen, sondern können auch dadurch zustande kommen, dass es keine Bundesländer gibt, die eine derartige Roboter Ausstattung haben und diese Eingriffe mit OP-Robotern durchführen.

Tabelle 14: Regressionsanalyse Belagstage, Modell B2

Abhängige Variable: Belagsdauer

Datensatz: Alle Eingriffe in Fondskrankenanstalten, 2013–2023

Modell: Lineare Regression

Term	Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie	Cholezystektomie	Hysterektomie	Teilnephrektomie	Radikale Prostatektomie
(Konstante)	2,654 ***	9,895 ***	6,035 ***	8,995 ***	8,255 ***
Bgl.	-0,102 *	-1,265 ***	-0,737 ***	0,381	1,502 ***
Ktn.	Referenzkategorie				
NÖ	-0,002	-0,560 ***	-0,261 **	0,998	1,226 ***
OÖ	0,496 ***	0,687 ***	-0,892 ***	0,541	0,974 ***
Sbg.	0,548 ***	-0,134	-0,336 **	-1,051	-0,355
Stmk.	0,631 ***	1,113 ***	-1,261 ***	-0,708	2,271 ***
T	1,110 ***	1,192 ***	0,090	0,020	1,019 ***
Vbg.	-0,268 ***	-0,351 **	-0,472 ***	0,856	-0,068
W	0,367 ***	0,110	-0,534 ***	0,549	0,234
1 Roboter verfügbar	-0,082 *	-0,170 +	-0,014	-0,331	-0,749 ***
2 Roboter verfügbar	-0,114 **	-0,141	0,020	-0,314	-0,148
3 Roboter verfügbar	0,165 ***	0,238 **	0,227 **	-0,130	0,063
4 Roboter verfügbar	-0,235 ***	-0,537 ***	0,222 *	0,302	0,254 +
5+ Roboter verfügbar	0,077	-0,005	0,075	-0,699	0,063
Weiblich	0,674 ***	-1,345 ***	1,838 ***	0,351 *	0,000
Alter	***	***	***	***	***
Zeittrend	***	***	***	***	***
N	215.696	208.880	91.344	6.737	14.557
R <sup>2</sup>	0,105	0,087	0,075	0,037	0,110
AIC	1.153.250,1	1.528.711,0	558.143,6	45.211,4	77.820,0
BIC	1.153.548,3	1.529.046,8	558.414,3	45.360,9	77.996,3
RMSE	3,51	9,40	5,13	6,91	3,50

Anmerkung: Standardfehler sind robust (HC1); p-Wert: 0,1 > + > 0,05 > \* > 0,01 > \*\* > 0,001 > \*\*\*

Quelle: GÖG-Berechnung

Tabelle 15: Regressionsanalyse Belagstage, Modell B3

Abhängige Variable: Belagsdauer

Datensatz: Alle Eingriffe in Fondskrankenanstalten, 2013–2023

Modell: Lineare Regression

Term	Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie	Cholezystektomie	Hysterektomie	Teilnephrektomie	Radikale Prostatektomie
(Konstante)	2,684 ***	9,863 ***	6,051 ***	9,017 ***	8,235 ***
Bgld.	-0,129 *	-1,285 ***	-0,787 ***	0,476	1,433 ***
Ktn.	Referenzkategorie				
NÖ	-0,027	-0,443 ***	-0,228 *	1,057	1,359 ***
OÖ	0,427 ***	0,432 **	-0,755 ***	0,475	1,192 ***
Sbg.	0,565 ***	-0,161	-0,309 **	-0,912	-0,729 **
Stmk.	0,606 ***	1,067 ***	-1,232 ***	-0,760	2,338 ***
T	1,117 ***	1,138 ***	0,137	0,047	1,225 ***
Vbg.	-0,288 ***	-0,396 **	-0,582 ***	1,027	0,101
W	0,350 ***	-0,130	-0,231 *	0,295	0,359
Roboter je Normnutzung (0; 0,001]	-0,063	-0,355 **	-0,056	-0,472	-0,914 ***
Roboter je Normnutzung (0,001; 0,002]	-0,110 ***	0,026	-0,176 *	-0,449	-1,008 ***
Roboter je Normnutzung (0,002; 0,003]	-0,031	0,018	0,200 *	-0,737	-1,115 ***
Roboter je Normnutzung (0,003; 0,004]	0,003	0,001	0,100	-1,232 +	-0,550 **
Roboter je Normnutzung (0,004; Inf]	-0,203 ***	-0,243	0,193	-0,820	-0,102
Weiblich	0,674 ***	-1,346 ***	1,835 ***	0,350 *	0,000
Alter	***	***	***	***	***
Zeittrend	***	***	***	***	***
N	215.696	208.880	91.344	6.737	14.557
R <sup>2</sup>	0,105	0,087	0,075	0,037	0,113
AIC	1.153.271,7	1.528.724,7	558.135,5	45.211,7	77.774,3
BIC	1.153.529,4	1.529.047,5	558.389,1	45.361,6	77.948,0
RMSE	3,51	9,40	5,13	6,91	3,49

Anmerkung: Standardfehler sind robust (HC1); p-Wert: 0,1 > + > 0,05 > \* > 0,01 > \*\* > 0,001 > \*\*\*

Quelle: GÖG-Berechnung

## 6.2 Anteil der Laparoskopie

Da wesentliche Vorteile der OP-Robotik nur dann zum Tragen kommen, wenn sie dazu führt, dass minimalinvasiv statt offen durchgeführt werden, ist auch der Anteil der als laparoskopisch codierten Eingriffe (mit oder ohne Roboter) an allen Eingriffen dieser Art (offen und minimalinvasiv) von Interesse. Nur wenn der Anteil der Laparoskopie tatsächlich mit der Einführung von OP-Robotern steigt, kann davon ausgegangen werden, dass es tatsächlich zu größeren Verbesserungen in Patientenoutcomes kommt.

Analog zur für Belagstage beschriebenen Methode wurden die Auswirkungen der Verfügbarkeit von OP-Robotern auf den Anteil der laparoskopisch durchgeführten Operationen bestimmt.

Tabelle 16: Regressionsanalyse Anteil Laparoskopie, Modell AL1

Abhängige Variable: Anteil Laparoskopie

Datensatz: Alle Eingriffe in Fondskrankenanstalten, 2013–2023

Modell: Logit-Regression

Term	Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie	Cholezystektomie	Hysterektomie	Teilnephrektomie	Radikale Prostatektomie
(Konstante)	0,785 **	3,591 ***	33,283 ***	0,683	3,965 ***
Bgld.	0,674 ***	1,275 ***	0,415 ***	1,657	154.986,600
Ktn.	Referenzkategorie				
NÖ	0.516 ***	0.984	0.473 ***	0.373 *	0.403 ***
OÖ	0.519 ***	1.095 *	0.670 ***	1.173	0.421 ***
Sbg.	0.959	1.433 ***	0.837 ***	6.116 ***	0.102 ***
Stmk.	0.922 ***	0.629 ***	0.559 ***	0.176 ***	0.013 ***
T	1.357 ***	1.015	0.538 ***	0.226 ***	0.010 ***
Vbg.	0.387 ***	1.679 ***	0.320 ***	0.083 ***	0.109 ***
W	0.768 ***	0.846 ***	0.409 ***	0.431 *	0.055 ***
Roboter verfügbar	0.884 ***	0.991	1.031	2.091 ***	4.994 ***
Weiblich	1.042 **	1.794 ***	0.024 ***	0.991	1.000
Alter	***	***	***	***	***
Zeittrend	***	***	***	***	***
N	215.696	208.880	91.344	6.737	14.557
R <sup>2</sup>	0,123	0,080	0,093	0,260	0,392
AIC	270.788,5	139.407,4	111.526,4	7.369,0	11.651,9
BIC	271.037,8	139.696,0	111.769,4	7.510,9	11.803,9
RMSE	0,47	0,31	0,46	0,43	0,35

Anmerkung: exponierte Koeffizienten; Standardfehler sind robust (HC1);

p-Wert: 0,01 > + > 0,05 > \* > 0,1 > \*\* > 0,001 > \*\*\*

Quelle: GÖG-Berechnung

Die Ergebnisse, zusammengefasst in Tabelle 16, zeigen, dass der Anteil minimalinvasiver Operationen mit der Verfügbarkeit von OP-Robotern bei den Eingriffen radikale Prostatektomie und Teilnephrektomie signifikant ansteigen. Bei den Koeffizienten in der Zeile „Roboter verfügbar“ handelt es sich um sogenannte Odds Ratios (OR). Ein OR vergleicht die Chancen (Odds) eines Ereignisses in einer Gruppe mit den Chancen desselben Ereignisses in einer anderen Gruppe. Ein OR von 1 bedeutet, dass die Chancen des Ereignisses in beiden Gruppen gleich sind.

Bei der Hysterektomie, Cholezystektomie und dem Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie ist dieser Effekt schwächer und nur bei Verfügbarkeit einer größeren Anzahl bzw. vergleichsweise höherer Roboterdichte feststellbar. Dies ergibt sich aus zusätzlichen, hier nicht dargestellten, Datenanalysen analog zu Modellen B2 und B3 für die Belagstage.

### 6.3 Mortalität

Bei der Analyse der Mortalität werden nur die drei Eingriffskategorien Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie, Cholezystektomie und Hysterektomie analysiert. Für die beiden anderen Kategorien gab es zu wenige Sterbefälle, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, was aus Patientensicht erfreulich ist. Von den 6.737 Aufenthalten der Indikationsgruppe Teilnephrektomien, gab es nur 13 Sterbefälle, und für die 14.557 Radikalen Prostatektomien wurde sogar nur ein Sterbefall aufgezeichnet.

Bei zwei der Eingriffsarten kann eine statistisch signifikante Reduktion der Mortalität verzeichnet werden. In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Mortalitätsanalyse zu finden. Für den Eingriff Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie kommt es schon ab dem ersten verfügbaren Roboter im Bundesland zu einer signifikanten Reduktion der Mortalität. Bei der Cholezystektomie ist diese Reduktion erst bei einer relativ hohen Anzahl an Robotern im Bundesland signifikant.

Die Ergebnisse der Mortalität sind allerdings aufgrund der niedrigen Fallzahl mit besonderer Vorsicht zu interpretieren.

Tabelle 17: Regressionsanalyse Mortalität, Modell M2

Abhängige Variable: Mortalität

Datensatz: Alle Eingriffe in Fondskrankenanstalten, 2013–2023

Modell: Logit-Regression

Term	Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie	Cholezystektomie	Hysterektomie	Teilnephrektomie	Radikale Prostatektomie
(Konstante)	0,000 ***	0,002 ***	0,000	–	–
Bgld.	0,939	1,004	0,310	–	–
Ktn.	Referenzkategorie				
NÖ	1,970 **	1,091	0,740	–	–
OÖ	1,921 +	1,174	0,599	–	–
Sbg.	1,398	1,020	0,695	–	–
Stmk.	1,383	1,218 *	0,492 +	–	–
T	0,769	1,193 +	0,262 *	–	–
Vbg.	0,669	0,663 **	0,801	–	–
W	1,685	1,660 **	1,056	–	–
1 Roboter verfügbar	0,556 **	0,973	1,274	–	–
2 Roboter verfügbar	1,000	0,869	0,427	–	–
3 Roboter verfügbar	1,099	1,144	1,499	–	–
4 Roboter verfügbar	0,856	0,953	2,094 +	–	–
5+ Roboter verfügbar	0,593	0,652 **	0,881	–	–
Weiblich	2,190 ***	0,624 ***	85.929,014	–	–
Alter	***	***	***	–	–
Zeittrend	n.s	n.s	n.s	–	–
N	215.696	208.880	91.344	–	–
R <sup>2</sup>	0,019	0,027	0,006	–	–
AIC	4.667,7	23.152,5	1.617,8	–	–
BIC	4.842,5	23.372,3	1.814,3	–	–
RMSE	0,04	0,11	0,04	–	–

Anmerkung: Exponierte Koeffizienten; Standardfehler sind robust (HC1);  
 p-Wert: nicht signifikant n.s. 0,1 > + > 0,05 > \* > 0,01 > \*\* > 0,001 > \*\*\*

Quelle: GÖG Berechnung

## 6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Verbreitung von OP-Robotern in Österreich bei gewissen Eingriffsarten zu einer Reduktion der Liegedauern, einem Anstieg des Anteils der minimalinvasiv durchgeführten Eingriffe, und einer Reduktion der Mortalität beigetragen hat. Der Effekt auf die Belagstage lässt sich mit etwa einem Tag weniger bei der radikalen Prostatektomie beziffern. Dieser Befund steht im Einklang mit der Literatur zu den Vorteilen des Einsatzes von OP-Robotern. Bei den anderen analysierten Eingriffen wurde ein etwas geringerer Effekt festgestellt.

Die Analyse dieser Eingriffe unterliegt jedoch der Limitation, dass in einem Bundesland verfügbare Roboter nicht zwangsweise für diese Eingriffe eingesetzt werden. Das Modelldesign verlangt aber, nicht den tatsächlichen Einsatz des Roboters in einer OP, sondern dessen prinzipielle Verfügbarkeit zu untersuchen, weil der tatsächliche Einsatz in einer bestimmten OP vom Gesundheitszustand der Patientin oder des Patienten abhängt, was auch einen Effekt auf die Liegedauer haben kann.

Bei der Teilnephrektomie kann der Effekt der Verfügbarkeit von Robotern auf die durchschnittliche Liegedauer etwas schwächer angenommen werden und könnte zu einer Reduktion von etwa 0,75 Belagstagen führen. Dies ergibt sich aus der Addition der Effekte der einzelnen zusätzlichen OP-Roboter aus Tabelle 14.

Für die anderen Eingriffe ist die Quantifizierung des Effekts auf die Belagsdauer mit größerer Unsicherheit behaftet.

Die Analyse des Anteils der laparoskopisch durchgeführten Eingriffe zeigt, dass die Verfügbarkeit von OP-Robotern mit einem Anstieg dieses Anteils einherging, vor allem für Radikale Prostatektomien und Teilnephrektomien. Es ist daher plausibel, dass die Reduktion der Belagsdauer teilweise durch den höheren Anteil minimalinvasiver Operationen bewirkt wurde.

Für die Eingriffskategorien Verschluss einer Inguinal- oder Femoralhernie und Cholezystektomie zeichnet sich in den Daten eine statistisch signifikante Reduktion der Mortalität durch die Verfügbarkeit von OP-Robotern ab. Die Ergebnisse der Mortalität sind allerdings aufgrund der niedrigen Fallzahl mit besonderer Vorsicht zu interpretieren.

Es ist außerdem anzumerken, dass nur ein ausgewähltes Set an Eingriffen untersucht wurde. Die Analyse zu den Auswirkungen der OP-Roboter ist somit als eine erste Annäherung an diese Thematik zu verstehen. Eine detailliertere Analyse würde einer solideren Datenbasis bedürfen, bei der etwa geklärt sein müsste, für welche Eingriffe die OP-Roboter wann genau in den jeweiligen Bundesländern zur Verfügung standen.

Darüber hinaus ist die notwendige Annahme, dass OP-Roboter zu keiner bedeutender Änderung der Patientenströme zwischen Bundesländern führen, als Limitation anzuführen.

## 7 Zukunftsperspektiven

Die Verbreitung der Robotik in der Chirurgie wird voraussichtlich weiter zunehmen und könnte in den nächsten 10–15 Jahren integraler Bestandteil des chirurgischen Alltags werden. Die befragten Experten erwarten, dass technologische Fortschritte die Anwendungsmöglichkeiten und die Effizienz der Robotik weiter verbessern werden. Diese Entwicklungen könnten dazu führen, dass langfristig die Robotik gegenüber der offenen Chirurgie und der Laparoskopie zu dominieren beginnt, da die neue Generation von Chirurginnen und Chirurgen mit diesen Technologien aufwächst und sie bevorzugt einsetzt (Hirsch 2022).

Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist die zunehmende Konkurrenz, die Innovationen wie neue Instrumente und Funktionen, unterstützt durch Fortschritte in der künstlichen Intelligenz (KI), vorantreibt (McCartney 2023). Zu den von McCartney (2023) beschriebenen erwarteten technologischen Fortschritten gehören:

- **flexible, schlangenartige Arme:** Diese neuen Technologien sollen ermöglichen, dass robotische Arme wie ein Katheter durch die Blutgefäße oder natürlichen Öffnungen der Patientin bzw. des Patienten geführt werden, anstatt durch die Haut. Dies könnte die Durchführung von Eingriffen wie Bronchoskopien und Koloskopien erleichtern.
- **digitale Verbesserungen:** Augmented Reality, digitale Leistungsanalysen und Echtzeit-Feedback werden Teil der robotischen Chirurgieplattformen. Diese Technologien können das Zittern der Hände der Chirurgin bzw. des Chirurgen reduzieren oder eliminieren und bieten eine verbesserte Darstellung des Operationsfelds, um die Präzision zu erhöhen. Ähnlich wie KI-unterstützte Bremssysteme bei modernen Autos, um Unfälle zu verhindern, kann ein Roboter zum Beispiel auch Bewegungen in gewissen Zonen des Operationsfelds verhindern.
- **automatisierte Aufgaben:** Roboter könnten bald in der Lage sein, kleinere Manöver wie das Setzen von Nähten auszuführen. Wenn die Anatomie relativ konsistent und identifizierbar ist, könnte ein robotisches System eine Vielzahl von kleineren chirurgischen Aufgaben übernehmen.
- **künstliche Intelligenz:** Es ist möglich, dass eines Tages auch chirurgische Eingriffe ohne Chirurginnen bzw. Chirurgen durchgeführt werden. KI könnte Tausende von Videos analysieren, in denen Chirurginnen oder Chirurgen dieselbe Operation durchführen, und diese Schritte in einem Algorithmus replizieren, sodass Maschinen diese Aufgaben übernehmen können.

Die Entwicklung der robotischen Chirurgie hin zu einem größeren konzeptionellen Feld der rechnerassistierten Chirurgie ist in jedem Fall im Gange (Singh et al. 2021). Neue robotische Plattformen haben jedoch noch begrenzte Studien oder Analysen, die aussagekräftige Schlussfolgerungen zulassen, was eine Vielzahl neuer Szenarien und Möglichkeiten für zukünftige Anwendungen offen lässt (Singh et al. 2021).

Ein wesentlicher Aspekt ist auch die strategische Spezialisierung von Chirurginnen und Chirurgen bzw. Krankenanstalten. In Zukunft wird man „weniger Kliniken brauchen [...], die vorgeben alles zu können.“ (Hirsch 2022)

## 7.1 Basisszenario der Bedarfsprognose

Als Basisszenario wird angenommen, dass sich die aktuellen Anwendungsgebiete von OP-Robotern nicht verändern. Der zukünftige Bedarf wird ausschließlich basierend auf der demografischen Entwicklung geschätzt. Hierbei wird angenommen, dass der Bedarf aufgrund der Alterung der Bevölkerung und des Bevölkerungswachstums ansteigen wird. Für dieses Szenario wird die Bedarfsentwicklung bis 2030 und 2040 geschätzt.

Für die Berechnung des Basisszenarios werden aktuelle Einsatzzahlen nach Alters- und Geschlechtskohorten berechnet und diese mit dem erwarteten Wachstum der jeweiligen Kohorte multipliziert. Die Summe dieser Werte relativ zur aktuellen Summe der Einsatzzahlen ergibt den demografischen Druck aufgrund von Bevölkerungswachstum und Veränderungen der Alters- und Geschlechtszusammensetzung der Bevölkerung. Die Ergebnisse einmal für Einsatzzahlen nach Kohorte gemäß den aktuellen Anwendungsgebieten werden in Tabelle 18 präsentiert.

Während die Gesamtbevölkerung von Österreich von 2023 auf 2040 um 3,1 Prozent zunimmt, kommt es auch zu einer Alterung der Bevölkerung, was einen zusätzlichen demografischen Druck für den Bedarf an gewissen medizinischen Eingriffen bedeutet.

Tabelle 18: Basisszenario des Bedarfsanstiegs an Robotereingriffen ausschließlich aufgrund von demografischen Entwicklungen

Referenzdemografie der Roboterpatientinnen und -patienten	Anstieg 2023 bis 2030	Anstieg 2023 bis 2040
<b>Anwendungszahlen gemäß österreichweiter Einsatzgebiete 2023</b>		
Österreich 2023	8,27%	12,96%

Quelle: GÖG-Berechnung

## 7.2 Szenarien zu zukünftigen Einsatzgebieten - Methodenbeschreibung

In diesen Szenarien werden spezielle Annahmen zur Ausdehnung der einzelnen Einsatzgebiete getroffen und es wird der prozentuelle Wachstumsdruck auf die Anzahl der Aufenthalte bzw. Roboter berechnet. Es werden nur Daten zu Eingriffen und Aufenthalten in Fondskrankenanstalten berücksichtigt. Da-Vinci-Einsatzzahlen aus dem Jahr 2023 in ganz Österreich werden als Referenzgrößen herangezogen, um verschiedene Szenarien der Bedarfsentwicklung zu kalibrieren.

Die Datenbasis beruht auf den Einsatzzahlen für die 14 verschiedenen Indikationsgruppen für Aufenthalte aus dem Abschnitt 5.4 Einsatzbereiche 2022/23. Für jede Indikationsgruppe kann die notwendige prozentuelle und absolute Veränderung der Anzahl an Aufenthalten mit Roboter-einsatz berechnet werden, um entweder den österreichischen Bundesländermedian oder den österreichischen Durchschnitt zu erreichen. Aus diesen Zahlen können individuelle Bedarfs-szenarien konstruiert werden. Die Szenarien werden dann durch eine Angleichung bis zum Jahr 2030 bzw. 2040 an die aktuellen 2023 Einsatzzahlen des Bundesländermedians bzw. des österreichischen Durchschnitts berechnet.

Für die meisten Indikationsgruppen liegt der Bundesländermedian unter dem österreichischen Durchschnitt.

Neben der Zielsetzung von Bundesländermedian oder Österreich-Durchschnitt gibt es auch die Entscheidung zu treffen, ob in jeder Indikationsgruppe die Anzahl der Aufenthalte gleich bleiben und die relevante österreichische Roboterquote erreicht werden soll (Roboterquote: Anteil der Aufenthalte mit Robotereinsatz an allen Aufenthalten) oder ob die gesamtösterreichische Anzahl der roboterassistierten Aufenthalte je 100.000 EW angestrebt wird (Robotereinsatz).

Konkrete Bedarfsszenarien sollten strategische Zielsetzungen zur gewünschten Ausweitung der OP-Robotik berücksichtigen und können demnach individuell aus der Auswahl und Addition der Zahlen jeweils einer Option „Aufenthalte mit Robotereinsatz“ gebildet werden. Daraus kann der Gesamtbedarf an Eingriffen berechnet und relativ zur aktuellen Anzahl gestellt werden. Auf diese Weise kann eine prozentuelle Ausweitung der Anzahl der Eingriffe berechnet werden, welche für ein Zukunftsszenario zusätzlich mit dem relevanten demografischen Druckfaktor aus dem Basiszenario multipliziert werden muss.

Zusätzlich werden zwei Szenarien dargestellt, die einer starken Ausweitung der Anwendungsfelder entsprechen (Innovationsszenarien). Für beide wird davon ausgegangen, dass die Anzahl der Aufenthalte pro 100.000 EW in den jeweiligen Indikationsgruppen (unabhängig vom Robotereinsatz) sich dem österreichischen Durchschnitt angleichen. Das „AT 2023 Maximale Nutzung“ Szenario geht zusätzlich von einer Angleichung an die österreichische OP-Robotik Innovationspitze des Jahres 2023 aus. Das bedeutet, in jeder Indikationsgruppe wird die Roboterquote des Bundeslandes mit dem höchsten Wert im Jahr 2023 herangezogen, um die Anzahl der Eingriffe zu berechnen. Bei dem zweiten Szenario wird außerdem eine Annäherung an den internationalen Trend zur Verbreitung der Fachgebiete gemäß der Literatur (siehe Abschnitt 3.4 Trend in Fachgebieten) angenommen. Dazu wird angenommen, dass die Urologie bereits eine Sättigung aufweist. Die Anzahl der Eingriffe im Szenario „Maximale Innovation“ geht demnach von einer Summe an urologischen Eingriffen aus, die gleich ist der des Szenarios „AT 2023 Maximale Nutzung“. Für Gynäkologische Robotereingriffe wird der Bedarf gleich jenem in der Urologie gesetzt und in der Allgemeinchirurgie wird von einem doppelt so hohen Bedarf ausgegangen. In allen anderen Gruppen wird der Bedarf an Eingriffen gleich jenem aus dem Szenario „AT 2023 Maximale Nutzung“ gesetzt.

In einem letzten Schritt ist die Transformation der Anzahl von Eingriffen auf eine Anzahl von OP-Robotern notwendig. Dazu können hier nur grobe Schätzwerte herangezogen werden. Eine genauere Analyse müsste auch Informationen zu der durchschnittlichen Operationszeit der verschiedenen Eingriffe berücksichtigen. Als vereinfachende Annahme wird hier davon ausgegangen, dass alle Eingriffe durchschnittlich gleich lang dauern. Der Österreich-Durchschnitt liegt bei jährlich 284 Eingriffen pro Da Vinci. Unter der Annahme, dass es langfristig zu einer Effizienzsteigerung kommen soll, wird für das Zieljahr 2030 von 290 jährlichen Eingriffen pro Roboter und für das Zieljahr 2040 von 300 jährlichen Eingriffen ausgegangen. Auf diese Weise kann die absolute Zahl an Robotern für jedes Bedarfsszenario berechnet werden.

## 8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Roboterchirurgie, sowie das Da-Vinci-System, befindet sich trotz ihrer zunehmenden Verbreitung noch immer in den Anfängen. In Österreich hat sich die Anzahl der Da-Vinci-Systeme von sechs im Jahr 2015 auf mindestens 36 im Jahr 2024 erhöht. Die häufigsten Einsatzgebiete sind die Urologie, Allgemeinchirurgie und Gynäkologie.

Die chirurgische Robotik erweitert die minimalinvasive Chirurgie und ermöglicht komplexe Eingriffe mit hoher Präzision. Der Erfolg hängt jedoch maßgeblich von den Fähigkeiten der Chirurginnen und Chirurgen ab. Die Implementierung von OP-Robotern bringt sowohl technische Vorteile als auch institutionelle Herausforderungen mit sich. Es gibt wenig eindeutige Evidenz zur Effektivität von Da-Vinci-Robotern, da das Feld noch jung ist. Die Roboterchirurgie hat aber das Potenzial, die Ergonomie für Chirurginnen und Chirurgen zu verbessern. Studien zeigen auch, dass roboterassistierte Eingriffe zu weniger Blutverlust, kürzeren Krankenhausaufenthalten und schnelleren Erholungszeiten führen können. Besonders bei komplexen Operationen, die sonst offen durchgeführt werden müssten, bietet die Roboterchirurgie klare Vorteile. Im Vergleich zu traditionellen laparoskopischen Eingriffen gibt es jedoch keine eindeutige Evidenz.

Die Auswirkungen der Verfügbarkeit von OP-Robotern auf Patientenoutcomes in Österreich wurden mittels einer Difference-in-Difference-Analyse untersucht. Das verwendete Modell isoliert den Effekt der OP-Roboter von allgemeinen Zeittrends und berücksichtigt Alter, Geschlecht und Bundesland. Die Analyse umfasst Daten von 2013 bis 2023 und fokussiert auf häufig roboterassistiert durchgeführte Eingriffe. Wiederaufnahmen konnten aufgrund seltener Vorkommen nicht untersucht werden. Die Datenlage in Österreich zeigt statistisch signifikante Reduktionen der Belagstage bei bestimmten Eingriffen nach der Einführung von OP-Robotern, insbesondere bei der radikalen Prostatektomie. Auch der Anteil der offenen Eingriffe geht mit der Verfügbarkeit von Da-Vinci-Systemen zurück. Die Effektgrößen variieren je nach Outcome, Eingriff und Anzahl der verfügbaren Roboter. In der Prostatektomie kommt es zum Beispiel zu einer durchschnittlichen Reduktion der Belagstage von einem Tag. Die Ergebnisse der Mortalität sind aufgrund der niedrigen Fallzahl mit besonderer Vorsicht zu interpretieren.

Die Technologie der OP-Robotik bietet sowohl Vorteile als auch Herausforderungen, die sorgfältig abgewogen werden müssen. Die Anschaffung und Wartung des Da-Vinci-Systems sind sehr teuer und können eine erhebliche finanzielle Belastung darstellen. Aufgrund der Marktentwicklungen kann sich ein Abwarten bei der Anschaffung eventuell lohnen. Roboterassistierte Eingriffe dauern im Allgemeinen länger als offene oder konventionell laparoskopische Eingriffe. Diese Verlängerung ist auf die komplexe Handhabung und notwendige Einarbeitung zurückzuführen. Mit zunehmender Erfahrung können die Operationszeiten jedoch wieder abnehmen. Chirurginnen und Chirurgen benötigen umfangreiche Schulungen und Übung, um den Roboter effektiv und sicher zu bedienen. Dies erfordert zusätzliche Zeit und Ressourcen. Die Einführung von OP-Robotern erfordert außerdem Anpassungen in der organisatorischen Struktur von Krankenhäusern und kann die Kommunikation und Zusammenarbeit im OP-Team verändern. Es gibt auch noch nicht genügend Langzeitdaten, um die Sicherheit und Wirksamkeit des Systems vollständig zu bewerten. Einzelne Berichte dokumentieren auch Patientinnen und Patienten, die während der Operation Verletzungen erlitten haben, die zu langfristigen Komplikationen

fürten.<sup>21</sup> Eine sorgfältige Planung und kontinuierliche Evaluierung sind notwendig, um die Vorteile dieser Technologie optimal zu nutzen.

Die roboterassistierte Chirurgie wird oft als Weiterentwicklung der Laparoskopie betrachtet. Sie könnte die konventionelle Laparoskopie in Zukunft komplett ablösen. Der Einsatz des Da-Vinci-Roboters hat sich von der Urologie und Gynäkologie auf eine breite Palette von chirurgischen Disziplinen ausgeweitet. Besonders stark ist das Wachstum in der Allgemeinchirurgie. In der Urologie gilt die OP-Robotik inzwischen als Norm. Es wird erwartet, dass die Einsatzgebiete weiter zunehmen und sich auf andere Fachbereiche ausweiten.

Die Da-Vinci-Gerätedichte liegt 2023 in Österreich bei 3,3 Systemen je 1 Million Menschen, über dem europäischen Durchschnitt von 2,2 Geräten. Im internationalen Vergleich liegt Österreich deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von 1,1 Geräten. Die USA haben mit 14,9 Geräten je 1 Million Menschen die höchste Gerätedichte. Die Auslastung der Da-Vinci-Systeme in Österreich variiert stark zwischen den Bundesländern. Im Jahr 2023 wurden durchschnittlich 247 Eingriffe pro Roboter durchgeführt. Die Auslastung ist in den letzten Jahren gestiegen und liegt über dem europäischen Durchschnitt.

Die Monopolstellung des Da-Vinci-Systems wird durch das Auslaufen von Patenten und den Eintritt neuer Konkurrenzprodukte herausgefordert. Neue Systeme wie das Hugo-System von Medtronic und das Ottava-System von Johnson & Johnson bieten Alternativen. Diese neuen Systeme fokussieren auf Ergonomie, Single-Port-Technologie und Kosteneffizienz. Der zunehmende Wettbewerb fördert Innovationen und könnte die Preise senken.

Es wird erwartet, dass die roboterassistierte Chirurgie ein fester Bestandteil der chirurgischen Ausbildung wird. Die Doppelkonsole des Da-Vinci-Systems bietet neue didaktische Möglichkeiten. Jüngere Chirurginnen und Chirurgen erlernen roboterassistierte Eingriffe oft schneller als konventionelle laparoskopische Verfahren. Es gibt jedoch Diskussionen darüber, ob Chirurginnen und Chirurgen sowohl die konventionelle Laparoskopie als auch die roboterassistierte Chirurgie erlernen sollten.

Ein positiver Zusammenhang zwischen dem Behandlungsvolumen und der Ergebnisqualität ist in der Literatur nachgewiesen und somit für eine Vielzahl von Verfahren evident (Leow et al. 2018; Levillant et al. 2021). Auch in der OP-Robotik werden Mindestanzahlen von Eingriffen benötigt, um effiziente Abläufe sowie Patientensicherheit zu gewährleisten (Day et al. 2023). Der Einsatz zukünftiger OP-Roboter sollte daher primär an Standorten erfolgen, wo eine entsprechende Auslastung der Geräte sowie eine disziplinar ausgewogene Nutzung gewährleistet werden kann. Dieser Schlussfolgerung entsprechen auch allgemeine ökonomische Überlegungen von Skaleneffekten. Vor diesem Hintergrund und vor der Tatsache, dass die Anwendungsgebiete der OP-Robotik beinahe ausschließlich elektive Eingriffe betreffen, ist eine flächendeckende Verteilung dieser Systeme nachrangig.

Aufgrund der Marktdynamik sollte abschließend auch überlegt bzw. beobachtet werden ob gleichwertige oder auch bessere Alternativen verfügbar werden, die gegebenenfalls eine höhere Kosteneffektivität aufweisen.

---

<sup>21</sup> <https://www.nbcnews.com/health/health-news/da-vinci-surgical-robot-medical-breakthrough-risks-patients-n949341> (Zugriff am 28.10.2024)

## Referenzen

- Baracy, Michael G. Jr.; Martinez, Marco; Hagglund, Karen; Fareeza, Afzal; Sanjana, Kulkarni; Logan, Corey; Aslam, Muhammad Faisal (2022): Minimally invasive hysterectomy for benign indications-surgical volume matters: a retrospective cohort study comparing complications of robotic-assisted and conventional laparoscopic hysterectomies. In: Journal Robot Surg 16/5:1199-1207
- Beard, David; Burke, Josh; Goodacre, Tim; Harji, Deena; Karim, Omer; Kerr, Richard; Loflus, Ian; Mortensen, Neil; Rockall, Tim; Sarafidou, Katerina; Soomro, Naeem; Tomlinson, Ralph; Yassin, Nuha (2023): Robotic-assisted Surgery: A Pathway to the Future - A guide to good practice. Royal College of Surgeons of England
- Brunner, Stefanie; Müller, Dolores T.; Eckhoff, Jennifer A.; Reisewitz, Alissa; Schiffmann, Lars M.; Schröder, Wolfgang; Schmidt, Thomas; Bruns, Christiane J.; Fuchs, Hans F. (2023): Innovative Operationsroboter und Operationstechnik für den Einsatz am oberen Gastrointestinaltrakt. In: Wiener klinisches Magazin 26/5:184-191
- Chee, Madeline Yen Min; Wu, Andrew Guan Ru; Fong, Khi-Yung; Yew, Ashley; Koh, Ye Xin; Goh, Brian K.P. (2024): Robotic, laparoscopic and open surgery for gallbladder cancer: a systematic review and network meta-analysis. In: Surgical endoscopy 38/9:4846-4857
- Choi, Yoo Jin; Sang, Nguyen Thanh; Jo, Hye-Sung; Kim, Dong-Sik; Yu, Young-Dong (2023): A single-center experience of over 300 cases of single-incision robotic cholecystectomy comparing the da Vinci SP with the Si/Xi systems. In: Scientific reports 13/1:9482
- Crew, Bec (2020): Worth the cost? A closer look at the da Vinci robot's impact on prostate cancer surgery. In: Nature 580/7804:5-7
- Criss, Cory N.; MacEachern, Mark P.; Matusko, Niki; Dimick, Justin B.; Maggard-Gibbons, Melinda; Gadepalli, Samir K. (2019): The Impact of Corporate Payments on Robotic Surgery Research: A Systematic Review. In: Annals of surgery 269/3:389-396
- Day, Elizabeth K; Galbraith, Norman J; Ward, Hester JT; Roxburgh, Campbell S (2023): Volume-outcome relationship in intra-abdominal robotic-assisted surgery: a systematic review. In: Journal of robotic surgery 17/3:811-826
- Dobbs, Thomas D.; Cundy, Olivia; Samarendra, Harsh; Khan, Khurram; Whitaker, Iain Stuart (2017): A Systematic Review of the Role of Robotics in Plastic and Reconstructive Surgery—From Inception to the Future. In: Frontiers in surgery:Volume 4, Article 66
- Edwards, Guy (2020): The patent power struggle in surgical robotics [online]. Rapid Medtech Communications Ltd. A Rapid News Group Company. <https://www.medtechnews.com/medtech-insights/assessing-patents-in-surgical-robotics/> [Zugriff am 21.10.2024]
- Eglau, Karin; Fülöp, Gerhard; Mildschuh, Stephan; Paretta, Petra (2019): Österreichischer Strukturplan Gesundheit 2017 inklusive Großgeräteplan (ÖSG 2017) gemäß Beschluss der Bundes-Zielsteuerungskommission vom 30. Juni 2017 inklusive der bis 27. September 2019

beschlossenen Anpassungen. Hg. v. Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, Wien

- Fadel, Michael G.; Walshaw, Josephine; Pecchini, Francesca; Elhadi, Muhammed; Yiasemidou, Marina; Boal, Matthew; Carrano, Francesco Maria; Massey, Lisa H.; Antoniou, Stavros A.; Nickel, Felix (2024): European Robotic Surgery Consensus (ERSC): Protocol for the development of a consensus in robotic training for gastrointestinal surgery trainees. In: Plos one 19/5:e0302648
- Fischer, S.; Kisser, A. (2015): Roboterassistierte Chirurgie: Eine systematische Übersichtsarbeit zu Wirksamkeit und Sicherheit bei ausgewählten Indikationen und anfallenden Kosten. Ludwig-Boltzmann-Institut für Health Technology Assessment 84, Wien
- Hirsch, Lena Sophie (2022): Der Einsatz von Robotik in der Chirurgie im Hinblick auf den Patientennutzen: Eine qualitative Analyse. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
- Høyland, S. A.; Holte, K. A.; Gjerstad, B.; Teig, I. L. (2023): A System Perspective on Implementation and Usage of the Da Vinci Technology at a Large Norwegian Regional Hospital. SAGE Open, 13/3, SAGE Publications
- Jeong, In Gab; Khandwala, Yash S.; Kim, Jae Heon; Han, Deok Hyun; Li, Shufeng; Wang, Ye; Chang, Steven L.; Chung, Benjamin I. (2017): Association of robotic-assisted vs laparoscopic radical nephrectomy with perioperative outcomes and health care costs, 2003 to 2015. In: Jama 318/16:1561-1568
- Khorgami, Zhamak; Li, Wei T.; Jackson, Theresa N.; Howard, Anthony C. ; Sclabas, Guido M. (2019): The cost of robotics: an analysis of the added costs of robotic-assisted versus laparoscopic surgery using the National Inpatient Sample. In: Surgical endoscopy 33/:2217-2221
- Krajcinovic, K. (2018): Robotik in der Chirurgie, Mehrwert oder kein zusätzlicher Nutzen? In: Coloproctology 40/:109-113
- Lee, Chang Min; Park, Sungsoo; Park, Sung Hyun; Kim, Ki-Yoon; Cho, Minah; Kim, Yoo Min; Hyung, Woo Jin; Kim, Hyoung-II (2023): Short-term outcomes and cost-effectiveness of laparoscopic gastrectomy with articulating instruments for gastric cancer compared with the robotic approach. In: Scientific reports 13/1:9355
- Lee, Juhun; Hong, Dae Gy (2023): Comparative study of supracervical hysterectomy between da Vinci SP® surgical system and conventional single-site laparoscopy for uterine fibroid: single center experiences. In: Journal of robotic surgery 17/4:1421-1427
- Leow, Jeffrey J; Leong, Eugene K; Serrell, Emily C; Chang, Steven L; Gruen, Russell L; Png, Keng Siang; Beaulé, Lisa T; Trinh, Quoc-Dien; Menon, Mani M; Sammon, Jesse D (2018): Systematic review of the volume–outcome relationship for radical prostatectomy. In: European Urology Focus 4/6:775-789

- Levaillant, Mathieu; Marcilly, Romaric; Levaillant, Lucie; Michel, Philippe; Hamel-Broza, Jean-François; Vallet, Benoît; Lamer, Antoine (2021): Assessing the hospital volume-outcome relationship in surgery: a scoping review. In: BMC Medical Research Methodology 21/1:1-15
- Lombardo, R.; Romagnoli, M.; De Nunzio, C.; Albisinni, S. (2024): Editorial: new horizons in robotic platforms. In: Prostate cancer and prostatic diseases 27/1:7-8
- Marcus, Hani J.; Ramirez, Pedro T.; Khan, Danyal Z.; Layard Horsfall, Hugo; Hanrahan, John G.; Williams, Simon C.; Beard, David J.; Bhat, Rani; Catchpole, Ken; Cook, Andrew (2024): The IDEAL framework for surgical robotics: development, comparative evaluation and long-term monitoring. In: Nature medicine 30/1:61-75
- Mayor, Nikhil; Coppola, Andrew S.J.; Challacombe, Ben (2022): Past, present and future of surgical robotics. In: Trends in Urology & Men's Health 13/1:7-10
- McCartney, J. (2023): Robotic Surgery Is Here to Stay—and So Are Surgeons [online]. American College of Surgeons (ACS). Bulletin. Vol.108. <https://www.facs.org/for-medical-professionals/news-publications/news-and-articles/bulletin/2023/may-2023-volume-108-issue-5/robotic-surgery-is-here-to-stay-and-so-are-surgeons/> [Zugriff am 21.10.2024]
- Perez, Rafael E.; Schwaitzberg, Steven D. (2019): Robotic surgery: finding value in 2019 and beyond. Annals of Laparoscopic and Endoscopic Surgery, 4, USA
- Probst, Patrick (2023): A Review of the Role of Robotics in Surgery: To DaVinci and Beyond! In: Missouri medicine 120/5:389-396
- Riegelnegg, Michaela; Gassner, Lucia; Grössmann-Waniek, Nicole; Wild, Claudia (2023): Robot-assisted surgery in thoracic and visceral indications. A systematic review. AIHTA Project Report No.: 108/Update 2023. HTA Austria - Austrian Institute for Health Technology Assessment GmbH, Vienna
- Rizzo, Kayla R.; Grasso, Samuel; Ford, Brandon; Myers, Alex; Ofstun, Emily; Walker, Avery (2023): Status of robotic assisted surgery (RAS) and the effects of Coronavirus (COVID-19) on RAS in the Department of Defense (DoD). In: Journal of robotic surgery 17/2:413-417
- Shah, A. A.; Bandari, J.; Pelzman, D.; Davies, B. J.; Jacobs, B. L. (2021): Diffusion and adoption of the surgical robot in urology. In: Translational andrology and urology 10/5:2151-2157
- Sheetz, Kyle H.; Claffin, Jake; Dimick, Justin B. (2020): Trends in the adoption of robotic surgery for common surgical procedures. In: JAMA network open 3/1:e1918911-e1918911
- Sighinolfi, Maria Chiara; Messina, Luigi Amerigo; Stocco, Matteo; Moscovas, Marcio Covas; Pelliccia, Paolo; Palma, Alessia; Rossini, Marta; Gallo, Angela; Ramondo, Augusto; Pozzi, Efrem; Assumma, Simone; Terzoni, Stefano; Sandri, Marco; Patel, Vipul; Rocco, Bernardo (2024): Cost analysis of new robotic competitors: a comparison of direct costs for initial hospital stay between Da Vinci and Hugo RAS for radical prostatectomy. In: Journal of robotic surgery 18/1:251

- Singh, Tejinder P.; Zaman, Jessica; Cutler, Jessica (2021): Robotic surgery: at the crossroads of a data explosion. In: *World journal of surgery* 45/:3484-3492
- Soltani Sharif Abadi, A.; Ordys, A.; Kukielka, K.; Pierscionek, B. (2023): Review on challenges for robotic eye surgery; surgical systems, technologies, cost-effectiveness, and controllers. In: *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery* 19/4:e2524
- Talamini, Mark A. (2019): The impact of corporate payments on robotic surgery research: a systematic review. In: *Annals of surgery* 269/3:397-398
- Turchetti, Giuseppe; Palla, Ilaria; Pierotti, Francesca; Cuschieri, Alfred (2012): Economic evaluation of da Vinci-assisted robotic surgery: a systematic review. In: *Surgical endoscopy* 26/3:598-606
- Wood, Simon N. (2017): *Generalized Additive Models. An Introduction with R, Second Edition.* Hg. v. Chapman and Hall/CRC. New York
- Wright, Jason D.; Ananth, Cande V.; Lewin, Sharyn N.; Burke, William M.; Lu, Yu-Shiang.; Neugut, Alfred I.; Herzog, Thomas J.; Hershman, Dawn L. (2013): Robotically assisted vs laparoscopic hysterectomy among women with benign gynecologic disease. In: *Jama* 309/7:689-698
- Xue, Ruihua; Liu, Rong (2022): Statistical analysis of da Vinci procedure volumes of 2021 in the Chinese Mainland. In: *Intelligent Surgery* 4/:18-22