# 12 Jahre Computer-Aided Surgery around the Head: Entwicklungen in der chirurgischen Planung und Simulation aus Berner Perspektive

W. Wimmer[1,2], N. Gerber[1], S. Weber[1], L.-P. Nolte[3], M. Caversaccio[1,2]

[1]ARTORG Center for Biomedical Engineering Research, Universität Bern, Schweiz
[2]Universitätsklinik für HNO, Kopf- und Halschirurgie, Inselspital Bern, Schweiz
[3]Institut für chirurgische Technologien und Biomechanik, Universität Bern, Schweiz

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. M. Caversaccio
Universitätsklinik für HNO, Kopf- und Halschirurgie,
Inselspital, Universität Bern
Freiburgstrasse, 3010 Bern, Schweiz
marco.caversaccio@insel.ch

source: https://doi.org/10.7892/boris.85308 | downloaded: 25.4.2024

## Zusammenfassung

Dank der multidisziplinären Ausrichtung des internationalen CAS-H Symposiums ergaben sich in den letzten Jahren einige Fortschritte in der Medizintechnologie, welche oft von der Industrie übernommen wurden. In Bern konnten viele Entwicklungen und Erfahrungen auf dem Gebiet der computergestützten Chirurgie, gerade durch die fördernde Wirkung des CAS-H Meetings gemacht werden. Planungs- und Simulationsmethoden in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, sowie der HNO Heilkunde, wurden entwickelt und klinisch getestet. Weitere CAS-H Symposien sollten in Zukunft folgen, um die Möglichkeiten der computergestützten Chirurgie im Kopfbereich weiter zu voranzubringen.

## Schlüsselwörter

Schädelbasis, Bildgestützte Chirurgie, Nase, CAS-H, Präoperative Planung

## Abstract

Over the last years, the multidisciplinary character of the international CAS-H symposium has advanced many medical technologies that were adopted by the industry. In Bern, the synergetic effects of the CAS-H symposium enabled for many experiences and developments in the area of computer-aided surgery. Planning and simulation methods in the areas of craniomaxillofacial surgery and otorhinolaryngology were developed and tested in clinical settings. In the future, further CAS-H symposia should follow to promote the possibilities and applications of computer-assisted surgery around the head.

## Key words

Skull base, computer-aided surgery, nose, CAS-H, preoperative planning

Bildbasierte Simulations- und Planungssoftware sowie stereotaktische Navigationssysteme sind heute als Standard in einer grossen Anzahl von Eingriffen in der HNO-, MKG und Neurochirurgie anzusehen. Die internationale Symposiumreihe „Computer-aided surgery around the head (CAS-H)“ begleitete diese Entwicklung seit ihrer ersten Durchführung im Jahre 2003 bis heute.

## 1. CAS-H Symposium

Die computergestützte Chirurgie („computer-aided surgery“, CAS) beruht auf den Konzepten der rahmenbasierten Stereotaxie des vorherigen Jahrhunderts und wurde erstmals in den 1980ern zur Behandlung von Patienten im Kopfbereich eingesetzt [11,26]. In den letzten Jahren konnten wichtige Fortschritte in der Entwicklung und Anwendung von CAS-Technologien erreicht werden, welche mittlerweile einen festen Bestandteil in der klinischen Routine der HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie darstellen [7,12,27]. Der Übergang von experimentellen und akademischen Laborgeräten zu kommerziell nutzbaren Systemen, mit nachweisbaren klinischen Nutzungsparametern, erforderte eine enge Zusammenarbeit und Vernetzung von Experten aus unterschiedlichen Disziplinen. Mit der Intention, den Austausch zwischen Forschern und Anwendern zu fördern und eine Plattform für die neuesten CAS Entwicklungen zu bieten, wurde im Frühling 2003 das erste internationale Symposium zur computerassistierten Kopfchirurgie („Computer-aided surgery around the head“, CAS-H) unter der Schirmherrschaft des vom Schweizer Nationalfonds geförderten Nationalen Forschungsschwerpunkts für computergestützte und bildgeführte medizinische Eingriffe (NCCR Co-Me), der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC) und der Schweizerischen Gesellschaft für ORL (SGORL)“ in Interlaken organisiert (Abb. 1).

Über 200 Teilnehmer, darunter Kliniker, Grundlagenforscher und Technologieanbieter, folgten der Einladung und präsentierten Ihre Erfahrungen in insgesamt 85 Vorträgen, darunter Beiträge

aus Belgien, Deutschland, Frankreich, Grossbritannien, Israel, Japan, Kanada, den Niederlanden, Österreich, der Schweiz, Singapur, Spanien und den Vereinigten Staaten. Begleitet wurde die 3-tägige Veranstaltung durch den „CAS-H surgical academy“ Kurs, bei dem die Teilnehmer die Möglichkeit hatten, aktuelle Navigations- und Robotik-Systeme kennenzulernen und zu testen. Das Programm bestand zusätzlich aus einem Workshop zum Thema „Augmented reality in Computer-aided surgery“. In einem eingeladenen Referat stellte Dr. Richard Bucholz (St. Louis, USA) einen historischen Abriss sowie aktuelle Entwicklungen des Themas der computergestützten Chirurgie vor. Aufgrund der positiven Resonanz fanden die CAS-H in den darauffolgenden Jahren in der Schweiz (Bern, 2004), Deutschland (Berlin, 2005 und Leipzig, 2008), Österreich (Innsbruck, 2007), sowie in Frankreich (Paris, 2009) statt. Die letztjährige CAS-H Konferenz 2015 wurde durch das Universitätsklinikum in Ulm, einem renommierten Zentrum für klinisch-technologische Forschung, organisiert [16].

Seit der ersten Konferenz vor 12 Jahren konnten in Bern im Rahmen der Kollaborationen des CAS-H Symposium viele Erfahrungen in der Planung und Simulation computergestützter Eingriffe gemacht werden. Im Folgenden sollen diese kurz zusammengefasst werden.

## 2. Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Der Einsatz von CAS Systemen bietet sich in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie aufgrund der Einzigartigkeit der Fälle, der feinen anatomischen Strukturen und komplexen Knochenbewegungen in 6 Freiheitsgraden an [17]. Computerprogramme ermöglichen hierbei eine dreidimensionale Vermessung der Knochenstrukturen und die Planung bzw. Darstellung chirurgischer Korrekturen, welche auch die Simulation der Auswirkungen auf das umliegende Weichteilgewebe beinhalten kann [9,10,15,18]. In der Dentalimplantologie kann die präoperative Planung durch eine automatische Echtzeit-Strukturanalyse mittels der Methode der finiten

Elemente eingesetzt werden [22]. Zur Positionierung des Implantates wird so bereits vor dem chirurgischen Eingriff die Festigkeit des umliegenden Knochengewebes berücksichtigt.

## 3. Nasennebenhöhlen und vordere Schädelbasis

Bei der Chirurgie der Nasennebenhöhlen und der vorderen Schädelbasis ist die Orientierung häufig durch das Fehlen anatomischer Landmarken (z.B. bei Fehlbildungen, Voroperationen, etc.) erschwert. Der Einsatz von CAS Systemen kann dem Chirurgen bei unübersichtlichen Verhältnissen nützliche Hilfestellungen geben [5,6,19,21]. Da sich die Qualität des präoperativen Bilddatensatzes unmittelbar auf die Genauigkeit der Planung und der Navigation auswirkt, ist auf eine detaillierte Bildgebung zu achten. Zum Teil werden hohe Strahlendosen zur Bildgewinnung mittels Computer-Tomografie (CT) verwendet. In einer Studie des Inselspitals konnte gezeigt werden, dass CT-Protokolle mit reduzierter Strahlenbelastung bereits ausreichend hohe Auflösung und Kontrast für die Planung und Navigation mit CAS Systemen liefern [20]. Zusätzlich ist es möglich unterschiedliche Bildgebungsmodalitäten zu kombinieren, um den Detailgrad der Datensätze zu erhöhen. So kann z.B. die hochauflösende Darstellung von Knochengewebe bei der CT-Bildgebung mit dem guten Weichteilkontrast in der Magnetresonanztomografie verbunden werden [23]. In der computer-assistierten Tumorbehandlung an der Schädelbasis kann die Positionierungsgenauigkeit der Nadeln für die Brachytherapie durch die präoperative Planung und anschliessend navigiertes Einführen verbessert werden [24]. Eine weitere Anwendung von computer-assistierten Systemen in der HNO-Heilkunde ist die präoperative Simulation und Analyse der anatomischen und pathologischen Situation anhand virtueller dreidimensionaler Rekonstruktionen (Abb. 2). Der klinische Nutzen solcher Simulationen ist noch beschränkt, allerdings eignen sich diese als Trainings-Instrument zur Ausbildung von jungen Ärzten [3]. Die Ergebnisse der präoperativen Planung, so z.B. die Tumorgrösse oder die geplante Einführtrajektorie, können in das endoskopische oder mikroskopische System eingespielt und mit dem Bild überlagert werden

(„augmented reality“). Diese Überlagerungen können ausserdem helfen, wichtige anatomische Landmarken, welche durch Schwellungen oder Blut verdeckt sind, zu visualisieren und den Chirurgen in schwierigen Situationen zu unterstützen [4,6].

## 4. Otobasis

Die Herausforderung bei Eingriffen an der lateralen Schädelbasis liegt beim Erhalt bzw. bei der Vermeidung wichtiger Strukturen wie der Hauptschlagader, dem Gesichtsnerv und dem Hirn. Deswegen werden Planung- und Simulationstools entwickelt, um zukünftig minimalinvasive Eingriffe an der Otobasis zu ermöglichen [8,25]. Ein Schwerpunkt ist die präoperative Planung zur Zugangsgewinnung und -optimierung von Hörimplantaten. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei, dass keine vollautomatischen Planungsmethoden verwendet werden, sondern die Expertise des Chirurgen bzw. Radiologen durch intuitive und im Hintergrund arbeitende halbautomatische Algorithmen (z.B. bei der Segmentierung) unterstützt wird [14]. Besonders für die roboter-assistierten Cochlea-Implantation [1] sind derartige Planungssysteme unerlässlich und werden aus diesem Grund seit längerer Zeit in Bern entwickelt (Abb. 3).

Für die Planung von knochenverankerten aktiven Hörimplantaten wird die optimale Position des Implantates bei Fällen mit geringen Platzverhältnissen im Mastoid präoperativ mittels Knochendickenkartographie bestimmt [28]. Bei komplexeren Eingriffen, z.B. DACS Implantationen, können die Planungsergebnisse zusätzlich durch Rapid-Prototyping gefertigte Modelle zur Orientierung herangezogen werden (Abb. 4) [13].

## 5. Ausblick

Im Zuge der weiteren Digitalisierung der Medizin sowie einer stetigen Verbesserung medizinischer Bildgebungsmethoden wird der Stellenwert der bildbasierten Planung und Simulation von chirurgischen Eingriffen in Zukunft ein noch höherer Stellenwert beizumessen sein. Es sollte ausserdem davon auszugehen sein, dass künftig auch komplexe Eingriffe an schwierig zu erreichenden Lokalitäten und bei geringen Grössenverhältnissen durch computergestützte Verfahren unterstützt werden können. Damit multidisziplinäre Kollaborationen gefördert und diese Technologien weiterentwickelt werden können, sehen wir es als sinnvoll an, in Zukunft weitere CAS-H Symposien durchzuführen.

## 6. Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen institutionellen und privatwirtschaftlichen Förderern, die die Forschung in der Vergangenheit überaus grosszügig unterstützt haben. Stellvertretend für eine Vielzahl sollen hier den Berner Instituten (ARTORG Center, ISTB und Inselspital), dem Schweizer Nationalfonds SNF (NCCR Co-Me Forschungsschwerpunkt und Nano-Tera Initiative), der Schweizerischen Kommission für Technologie und Innovation KTI, der Europäischen Kommission, sowie den Fachgesellschaften für HNO- und Schädelbasischirurgie und der CURAC gedankt werden.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Bell B, Williamson T, Gerber N, Gerber K, Wimmer W, Kompis M, Weber S, Caversaccio M (2014) An image-guided robot system for direct cochlear access. *Cochlear Implants Int* 15:S11-13.
2. Bucholz RD, Greco DJ (1996) Image-guided surgical techniques for infections and trauma of the central nervous system. *Neurosurg Clin N Am* 7:187-200.
3. Caversaccio M, Eichenberger A, Häusler R (2003) Virtual simulator as a training tool for endonasal surgery. *Am J Rhinol* 17:283-290.

4. Caversaccio M, Garcia-Giraldez J, Gonzalez-Ballester M, Marti G (2007) Image-guided surgical microscope with mounted minitracker. *J Laryngol Otol* 121:160-162.

5. Caversaccio M, Langlotz F, Nolte L-P, Häusler R (2007) Impact of self-developed planning and self-constructed navigation system on skull base surgery: 10 years experience. *Act Otolaryngol* 127:403-407.

6. Caversaccio M, Garcia Giraldez J, Thoranaghatte R, Zheng G, Eggli P, Nolte L-P, Gonzalez-Ballester M (2008) Augmented reality endoscopic system (ARES): preliminary results. Rhinology 46:156-158.

7. Caversaccio M, Zheng G, Nolte LP (2008) Computer-aided surgery of the paranasal sinuses and the anterior skull base. *HNO* 56:376-382.

8. Caversaccio M, Stieger C, Weber S, Häusler R, Nolte LP (2009) Navigation and robotics of the lateral skull base. *HNO* 57:975-982.

9. Chapuis J, Schramm A, Pappas I, Hallermann W, Schwenzer-Zimmerer K, Langlotz F, Caversaccio M (2007) A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw surgery. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 11: 274-287.

10. De Momi E, Chapuis J, Pappas I, Ferrigno G, Hallermann W, Schramm A, Caversaccio M (2006) Automatic extraction of the mid-facial plane for cranio-maxillofacial surgery planning. *Int J Oral Maxillofac Surg* 35:636-642.

11. Eggers G, Mühling J, Marmulla R (2006) Image-to-patient registration techniques in head surgery. Int J Oral Maxillofac Surg 35:1081-1095.

12. Federspil PA (2009) New developments in computer-assisted surgery (CAS). From intraoperative imaging to ultrasound-based navigation. *HNO* 57:983-989.

13. Gerber N, Bell B, Kompis M, Stieger C, Caversaccio M, Weber S (2012) A software tool for preoperative planning of implantable hearing devices. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 9, 7:S134–135.

14. Gerber N, Bell B, Gavaghan K, Weisstanner C, Caversaccio M, Weber S (2014) Surgical planning tool for robotically assisted hearing aid implantation. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 9:11-20.

15. Hallermann W, Olsen S, Bardyn T, Taghizadeh F, Banic A, Iizuka T (2006) A new method for computer-aided operation planning for extensive mandibular reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 117:2431-2437.

16. Hoffman TK, Sommer F (2016) Computer Assisted Surgery around the Head (CASH): Interdisciplinary symposium and hands-on workshop, Ulm, 25-26 September 2015. *HNO* 64:59-60.

17. Markiewicz MR, Bell RB (2011) Modern concepts in computer-assisted craniomaxillofacial reconstruction. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 19:295-301.

18. Meehan M, Teschner M, Girod S (2003) Three-dimensional simulation and prediction of craniofacial surgery. *Orthod Craniofac Res* 6 Suppl 1:202-107.

19. Müller SA, Caversaccio M (2010) Outcome of computer-assisted surgery in patients with chronic rhinosinusitis. *J Laryngol Otol* 124:500-504.

20. Nauer C, Eichenberger A, Dubach P, Gralla J, Caversaccio M (2009) CT radiation dose for computer-assisted endoscopic sinus surgery: dose survey and determination of dose-reduction limits. *Am J Neuroradiol* 30:617-622.

21. Oeken J, Törpel J (2008) The influence of navigation on endoscopic sinus surgery. *HNO* 56:156-157.

22. Olsen S, Ferguson S, Sigrist C, Fritz W-R, Nolte L-P, Hallermann W, Caversaccio M (2004) A novel computational method for real-time preoperative assessment of primary dental implant stability. *Clin Oral Impl Res* 16:53-59.

23. Pappas I, Styner M, Malik P, Remonda L, Caversaccio M (2004) Automatic method to assess local CT-MR imaging registration accuracy on images of the head. *Am J Neuroradiol* 26:137-144.

24. Pappas I, Ryan P, Cossmann P, Kowal J, Borgeson B, Caversaccio M (2005) Improved targeting device and computer navigation for accurate placement of brachytherapy needles. *Med Phys* 32:1796-1801.

25. Schipper J, Klenzner T, Aschendorff A, Arapakis I, Ridder GJ, Laszig R (2004) Navigation-controlled cochleostomy. Is an improvement in the quality of results for cochlear implant surgery possible? *HNO* 52:329-335.

26. Schlöndorff G, Mösges R, Meyer-Ebrecht D, Krybus W, Adams L (1989) CAS (computer assisted surgery). A new procedure in head and neck surgery. *HNO* 37:187-190.

27. Strauss G, Winkler D, Jacobs S, Trantakis C, Dietz A, Bootz F, Meixensberger J, Falk V (2005) Mechatronic in functional endoscopic sinus surgery. First experiences with the daVinci Telemanipulatory System. *HNO* 53:623-630.

28. Wimmer W, Gerber N, Guignard J, Dubach P, Kompis M, Weber S, Caversaccio M (2015) Topographic bone thickness maps for Bonebridge implantations. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 272:1651-1658.

**Abbildungen – Legenden**

Abb. 1: Einladung zum ersten CAS-H Symposium 2003 in Interlaken, Schweiz.

Abb. 2: Training eines Eingriffes im dreidimensionalen Simulator [2].

Abb. 3: Planungssoftware zur roboter-assistierten Cochlea-Implantation (OtoPlan).

Abb. 4: An der lateralen Schädelbasis können computergestützte Planung und die Verwendung von patientenspezifischen Modellen die Eingriffe optimieren