

Ophthalmologie 2023 · 120:358–371  
<https://doi.org/10.1007/s00347-023-01844-2>  
Angenommen: 7. März 2023  
Online publiziert: 3. April 2023  
© Der/die Autor(en) 2023



# „Minimally invasive glaucoma surgery“ – Kammerwinkelbasierte Verfahren im Vergleich

Karsten Klabe<sup>1</sup> · Florian Rüfer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Breyer Kaymak Klabe Augenchirurgie, Düsseldorf, Deutschland

<sup>2</sup> Augenzentrum.ONE, Kiel, Deutschland

## In diesem Beitrag

- **Übersicht über die einzelnen Operationsverfahren**  
Trabekuläre Stents · Kanaloplastik ab interno (iTrack Advance™, OMNI® Surgical System)
- **Trabekulotomie ab interno**  
Gonioskopieassistierte transluminale Trabekulotomie, OMNI®
- **Trabekulektomie ab interno**  
Trabektom® · Kahook Dual Blade®
- **„High frequency deep sclerotomy“ (HFDS®)**
- **Excimer-Laser-Trabekulostomie**
- **Suprachoroidale Drainage**  
CyPass®, iStent supra®, MINiject®
- **Schlussfolgerung**

## Zusammenfassung

In der Versorgung von Patienten mit einer Glaukomerkrankung spielen operative Verfahren eine zunehmende Rolle. Innerhalb der letzten Dekade haben sich neue chirurgische Verfahren etabliert, die unter dem Begriff „minimally invasive glaucoma surgery“ (MIGS) zusammengefasst werden. Eine große Vielfalt von unterschiedlichen Operationen zielt dabei auf die Strukturen im Kammerwinkel, sei es das Trabekelmaschenwerk und den Schlemm-Kanal zur Verbesserung des physiologischen Abflusses oder auch die Verbesserung des alternativen uveoskleralen Abflusses. Die Umsetzung des Therapieziels unterscheidet sich bei den einzelnen Verfahren ebenso wie die maximal erreichbare Drucksenkung. Im Vergleich zur Trabekulektomie mit dem Einsatz von Zytostatika ist die erzielbare Drucksenkung in der Regel deutlich geringer. Als Vorteil dieser Verfahren werden hingegen die signifikant geringeren intra- und postoperativen Komplikationsraten betont. Mit zunehmender klinischer Erfahrung und dem Anwachsen von suffizienten Daten dieser neuen chirurgischen Verfahren fällt eine fundierte Einordnung in den Behandlungsalgorithmus der Glaukomchirurgie leichter. Dennoch bleibt die letztendliche Entscheidung für einen einzelnen Eingriff aufgrund der geringen Differenzen hinsichtlich Wirksamkeit und Sicherheitsprofil häufig an die persönlichen Präferenzen des Chirurgen gebunden.

## Schlüsselwörter

Trabekulektomie · Trabekuläre Stents · Kanaloplastik ab interno · Trabekulotomie ab interno · Suprachoroidale Drainage



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Die operative Behandlung des Glaukoms erlebte über die letzten Jahre einen deutlichen Wandel. Insbesondere die minimal-invasive Glaukomchirurgie hat ein neues Kapitel der Glaukomoperationen aufgeschlagen. Die Trabekulektomie mit dem Einsatz von Zytostatika (Mitomycin C, 5-Fluorouracil) gilt nach wie vor als Goldstandard und wird weiterhin in den aktuellen Leitlinien der European Glaucoma Society als Methode der Wahl zur initialen operativen Therapie des Glaukoms empfohlen. Andererseits sehen ebendiese Leitlinien erstmals MIGS („minimally invasive glaucoma surgery“)-Verfahren als

Alternative in der Behandlung früher bis moderater Glaukome [1, 28].

Nach einer Auswertung von Lübke et al. lag der Anteil der MIGS (ohne Verfahren mit subkonjunktivalem Fistulationsweg) in deutschen Kliniken 2019 bei etwa 10% [2]. Bei dieser Auswertung wurden allerdings keine ambulanten Operationszentren mitberücksichtigt, in denen der Anteil dieser Eingriffe mittlerweile deutlich höher liegen dürfte.

Das Marktanalyseunternehmen Market Scope ermittelte, dass bereits 2022 die Mehrzahl der Glaukomoperationen weltweit MIGS-Prozeduren sein werden. Für

Hier steht eine Anzeige.



2027 prognostiziert das Unternehmen sogar einen Anteil von über 75 % aller geschätzten 2,1 Mio. Glaukomoperationen auf der Welt [3].

Insbesondere das höhere Risiko von Komplikationen wie Überfiltration mit persistierender Hypotonie, hypotoniebedingter Visusabfall, frühe und späte Sickerkissenkomplikationen, Entzündungen und Penetration des Zytostatikums in die Vorderkammer bei der Trabekulektomie waren und sind ein wesentlicher Grund für die Suche nach alternativen chirurgischen Verfahren in der Glaukomchirurgie [4].

Weiterhin zeigt sich, dass eine pauschalisierte Behandlung den individuellen Unterschieden der Glaukomerkrankung nicht gerecht wird. Hier soll und muss eine Individualisierung angestrebt werden [5]. Die MIGS kann dabei ein Ansatz sein, diese Individualisierung besser zu erreichen.

Die Vorteile der MIGS leiten sich aus ihrer Definition ab. Sie stellen Operationsverfahren dar, die über einen Ab-interno-Zugang erfolgen, dabei ein sehr geringes Operationstrauma verursachen, gleichzeitig aber auch effektiv und sicher sein sollen und im postoperativen Management einfach zu handhaben sind [6]. Nach einer hohen Anfangseuphorie zeigte sich nicht nur im klinischen Alltag, dass diese hohen Ziele nicht immer erreicht werden. Insbesondere die Senkung des Augeninnendruckes erreichte nur im Einzelfall das Niveau der klassischen Trabekulektomie.

Dennoch haben sich diese unterschiedlichen Verfahren bei der Behandlung des Glaukoms als früher invasiver Therapieansatz etabliert, wenn medikamentöse Behandlungen oder nichtinvasive Lasertherapien nicht wirksam sind.

Es findet sich eine große Vielfalt unterschiedlicher chirurgischer Verfahren, von denen ein Großteil die Strukturen des physiologischen Kammerabflusses (Trabekelmaschenwerk, Schlemm-Kanal, Kollektorkanäle) zur Senkung des Augeninnendruckes (IOD) adressiert.

Die unterschiedlichen Verfahren können in 3 Gruppen unterteilt werden:

1. Verfahren, die mithilfe von Stents den Abflusswiderstand reduzieren (iStent [Glaukos Corp., Aliso Viego, CA, USA],

Hydrus Microstent [Alcon, FortWorth, TX, USA]),

2. Verfahren, die eine Viskodilatation des Schlemm-Kanals und ein Stretching des Trabekelmaschenwerkes induzieren (Kanaloplastik ab interno, iTrack Advance [Nova Eye Medical Limited, Kent Town, SA, Australien], OMNI Surgical system [Sight Sciences Inc., Menlo Park, CA, USA]), und
3. Verfahren, die das Trabekelmaschenwerk ganz oder partiell öffnen oder resezeieren (Ab-interno-Trabekulotomie, „gonioscopy assisted transluminal trabeculotomy“ [GATT], OMNI Surgical System, ELIOS Excimer-Laser-Trabekulotomie [Elios Vision GmbH, Germering, Deutschland], „high frequency deep sclerotomy“ [HFDS] [Oertli Instrumente AG, Berneck, Schweiz]) [27].

Eine weitere Gruppe sind Verfahren, die über ein Ab-interno-Implantat den uveoskleralen Abfluss als alternativen Abflussweg fördern (MINIject [iStar Medical, Wavre, Belgien], Cypass [Alcon, Fort Worth, TX, USA], iStent supra [Glaukos Corp., San Clemente, CA, USA]).

## Übersicht über die einzelnen Operationsverfahren

### Trabekuläre Stents

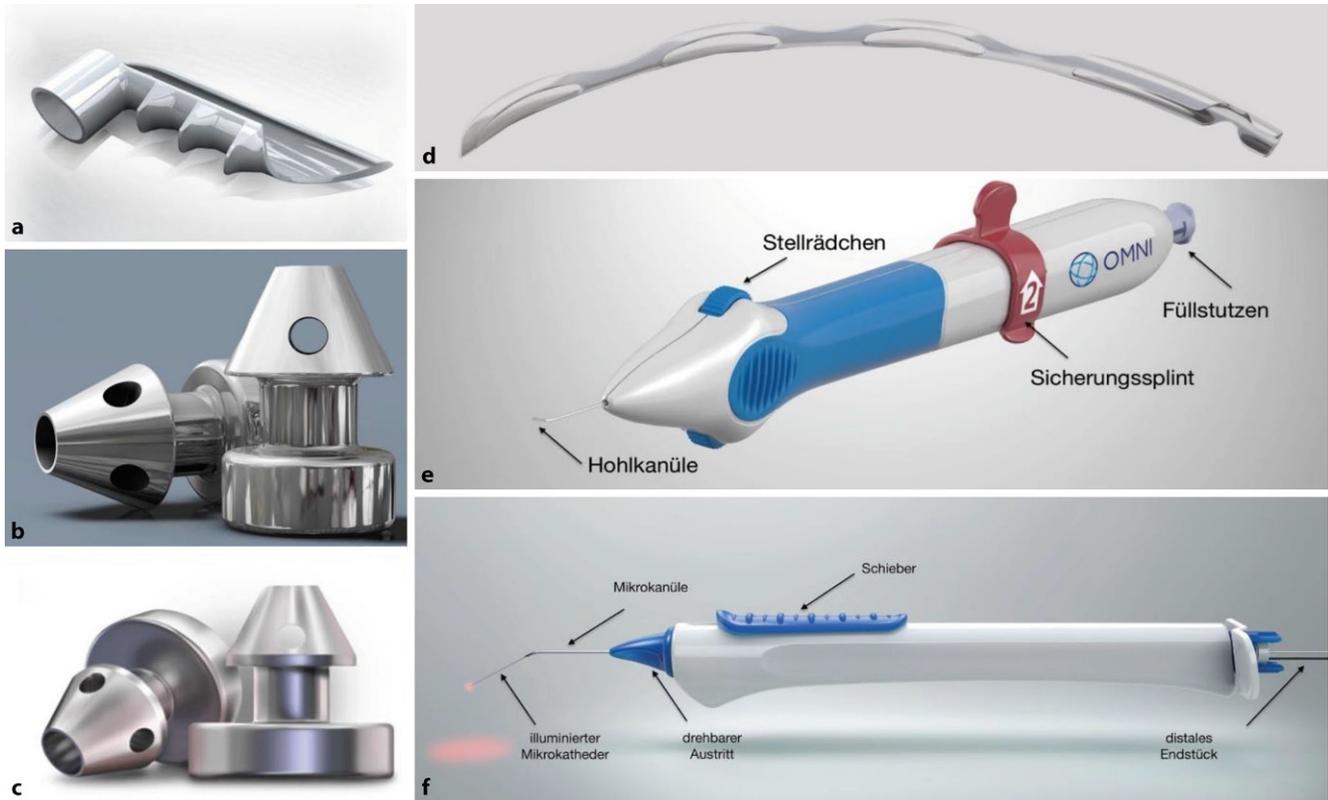
#### iStents®

Über Vorläufer der heutigen trabekulären Mikrostents mit nachgewiesener intrakularer IOD(Augeninnendruck)-Senkung wurde bereits 2002 berichtet [8]. Die Verminderung des trabekulären Abflusswiderstands in enukleierten Augen durch die ersten iStents konnte 2004 gezeigt werden [7]. Erste klinische Ergebnisse damit wurden ab 2007 publiziert [9]. Die erste Generation der iStents bestand aus einem abgewinkelten, halb geöffneten Titanröhrchen (Abb. 1a), das nach Perforation des Trabekelmaschenwerkes in den Schlemm-Kanal implantiert wurde. Die Länge betrug 1 mm, der Innendurchmesser 120 µm. Der im Schlemm-Kanal liegende Anteil hatte zahnchenartige Aufsteilungen, die eine Dislokation verhinderten. Ziaei et al. [10] fanden 7 Jahre nach kombinierter Kataraktoperation mit Implantation eines iStents der ersten Generation eine IOD-Senkung

von präoperativ im Mittel 21,3 auf 16,4 mm Hg. Präoperativ wurden im Mittel 2,17 Antiglaukomatosa getropft, nach 7 Jahren waren es nach einem allmählichen Wiederanstieg 1,58. Auch ohne kombinierte Kataraktoperation konnte an phaken und pseudophaken Augen gezeigt werden, dass es auch im Langzeitverlauf zu einer signifikanten IOD-Senkung und Reduktion der benötigten Antiglaukomatosa kommt [11].

Mit der zweiten Generation (iStent inject, ab 2012; Abb. 1b) vereinfachte sich der Implantationsprozess deutlich, da mithilfe eines Federmechanismus auf Knopfdruck eine standardisierte Applikation von 2 vorgeladenen Stents radiär in Richtung der Führungsnadel des Applikators ermöglicht wurde. Das Design änderte sich zu einem kurzen, heparinbeschichteten Titanröhrchen mit pfeilspitzenartigem Köpfchen mit Widerhakenfunktion. Der Innendurchmesser wurde auf 80 µm reduziert. Gillmann et al. konnten in einer Fallserie mit der Vorderabschnitts-optischen Kohärenztomographie (AS-OCT) zeigen, dass 72 % der implantierten iStent inject mit dem distalen Ende des Stents nicht optimal im Schlemm-Kanal platziert waren und dass ein leicht über das Niveau des Trabekelmaschenwerkes erhabener Stent im Vergleich zu einem zu tief implantierten Stent mit einer besseren IOD-senkenden Funktion einherging [12]. In einer retrospektiven Vergleichsstudie fanden Guedes et al. nach 6 Monaten dennoch eine tiefere IOD-Senkung nach iStent inject im Vergleich zur Situation nach iStent-Implantation der 1. Generation [13]. Diese Ergebnisse wurden von Manning auch in einem Vergleich 12 Monate nach der Implantation bestätigt [14]. Shalaby et al. stellten nach 12 Monaten keinen signifikanten Unterschied in der IOD-Senkung fest, aber die benötigten topischen Antiglaukomatosa konnten nach iStents inject-Implantation stärker reduziert werden als nach Implantation von iStents der ersten Generation [15].

In der aktuellen dritten Generation (iStent inject W, seit 2018) wurde bei ansonsten gegenüber der zweiten Generation gleich gebliebenem Design die Basisplatte der Stents vergrößert (Abb. 1c), um einer zu tiefen Implantation ins Trabekelmaschenwerk vorzubeugen. Da offensichtlich eine möglichst exakte Platzierung



**Abb. 1** ▲ a iStent, erste Generation. b iStent inject, zweite Generation. c iStent inject W, dritte Generation (mit freundl. Genehmigung der Firma Glaukos). d Hydrus Microstent (mit freundl. Genehmigung der Firma Alcon). e OMNI Surgical System (mit freundl. Genehmigung der Firma Sight Sciences). f iTrack Advance (mit freundl. Genehmigung der Firma Nova Eye)

der iStents entscheidend für die trabekuläre Abflussverbesserung und damit für die erreichbare IOD-Senkung ist, verwundert es nicht, dass bei der Implantation von mehreren Stents im Durchschnitt eine bessere IOD-Senkung erreicht werden kann. Dies wurde bei iStents der ersten Generation von Katz et al. an 109 Augen untersucht [16]. Bei Implantation eines Stents wurde nach 42 Monaten im Mittel eine IOD-Senkung von 30%, nach Implantation von 2 iStents von 37% und nach Implantation von 3 Stents von 43% gefunden. Diesem Umstand wird auch in der neuesten Entwicklung Rechnung getragen, die ab diesem Jahr in Deutschland in den Handel gelangt. Mit dem iStent infinite werden mithilfe eines repetierbaren Federmechanismus 3 Stents der dritten Generation statt wie bisher 2 Stents implantiert. Sarkisian et al. haben hierzu aktuelle Ergebnisse einer Multicenterstudie veröffentlicht. Bei 72 Augen mit einem mittleren Ausgangs-IOD von 23,4 mm Hg unter im Mittel 3,1 Antiglaukomatosa fand sich eine Reduktion auf im Mittel 17,5 mm Hg

bzw. 2,7 topische Antiglaukomatosa [17]. Diese Ergebnisse sind aufgrund der hohen Zahl von erfolglosen Glaukomvoreroperationen (61 von 72 Augen) jedoch nur bedingt mit den Studien der früheren iStent-Generationen vergleichbar. Die Daten der Studie unterstreichen, dass MIGS auch nach erfolglosen fistulierenden Eingriffen erfolgreich sein kann, was auch den eigenen Erfahrungen der Autoren entspricht.

### » MIGS kann auch nach erfolglosen fistulierenden Eingriffen erfolgreich sein

Alle Generationen von iStents haben gemeinsam, dass es bei einer kombinierten Kataraktoperation insgesamt zu einer tieferen IOD-Senkung kommt als im Standalone-Verfahren. Für den Erfolg ist nicht nur eine optimale Platzierung im Ziliarkörperband notwendig, sondern auch ein wohl dosierter Anpressdruck bei der Implantation, damit es nicht zu einer zu tiefen Implantation ins Gewebe kommt. Unmittelbar nach optimaler Implantation tre-

ten häufig kleinere Refluxblutungen aus den Kollektorkanälchen aus den Ostien der Stents auf, die in der Regel innerhalb von ein paar Tagen selbstlimitierend sind. Kommt es selten Wochen bis Monate nach der Stentimplantation zu rezidivierenden Vorderkammerblutungen, kann ein Uveitis-Glaukom-Hyphäma-Syndrom die Ursache sein [20]. Vermutlich ausgelöst durch mechanische Irritationen, kommt es zu Reizzuständen, die durch die Entfernung der Stents beruhigt werden können. Weiterhin wurden Stentokklusionen und IOD-Spitzen als postoperative Komplikationen beschrieben [21].

### Hydrus® Microstent

Ebenfalls zur trabekulären Implantation wurde der Hydrus Microstent (Fa. Alcon, Fort Worth, TX, USA) entwickelt, der mit 8 mm Länge deutlich größer ist als die iStents. Wie der iStent der ersten Generation, wird der Hydrus nach Inzision des Trabekelmaschenwerkes mit dem Applikator seitwärts in den Schlemm-Kanal implantiert. Das Verschieben wird mithilfe eines

Abrollmechanismus über ein Rädchen am Applikator ermöglicht. Im Vergleich zum iStent ist nur das Ostium, das am Übergang von der Vorderkammer in den Schlemm-Kanal zu liegen kommt, röhrenförmig. Die weiter im Schlemm-Kanal liegenden Anteile entsprechen einem halboffenen, mit großen Fensterungen versehenen Gerüst, das eine mechanisch dilatierende Wirkung des Schlemm-Kanals hat und die Eingänge in die Kollektorkanälchen ausspart (Abb. 1d und 4b). Es wird standardmäßig nur 1 Stent implantiert. Das Material ist glatt poliertes Nitinol, eine Nickel-Titan-Legierung, die als Formgedächtnismetall auch im Auge die ursprünglich erzeugte Form behält. In der HORIZON-Studie wurde nachgewiesen, dass eine Kataraktoperation in Kombination mit einer Hydrus-Implantation bezüglich der IOD-Senkung und der Medikamentenreduktion einer alleinigen Kataraktoperation überlegen ist. Dieser Unterschied ist auch 5 Jahre nach dem Eingriff noch statistisch signifikant [22]. Innerhalb des 5-jährigen Follow-up konnte mithilfe der Studie auch nachgewiesen werden, dass die zusätzliche Implantation des 8 mm langen Hydrus im Vergleich zur Kataraktoperation allein nicht zu einem höheren Endothelzellverlust führt. In der COMPARE-Studie, einer prospektiven, randomisierten Vergleichsstudie, wurden die klinischen Resultate 12 Monate nach Hydrus-Implantation mit denen nach Implantation von 2 iStents der ersten Generation verglichen [23]. Bei gut vergleichbaren Ausgangsgruppen betrug die erreichte IOD-Senkung in der Hydrus-Gruppe im Mittel  $-1,7$  mm Hg und in der iStent-Gruppe  $-1,0$  mm Hg bei gleichzeitiger Senkung der benötigten topischen Antiglaukوماتosa in der Hydrus-Gruppe um im Mittel  $-1,6$  Wirkstoffe und in der iStent-Gruppe um  $-1,0$  Wirkstoffe. Diese Unterschiede waren statistisch signifikant. Da mittlerweile gezeigt werden konnte, dass die neueren Generationen der iStents zu einer tieferen IOD-Senkung führen als die erste Generation, lässt sich hieraus noch keine Überlegenheit des Hydrus gegenüber den neueren Generationen der iStents ableiten. In einer nicht randomisierten retrospektiven Studie wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich IOD-Senkung und Tropfenersparnis zwischen

Hydrus und iStent inject (zweite Generation) festgestellt [24].

Die beschriebenen Komplikationen sind vergleichbar mit denen des iStent (IOD-Spitzen, Hyphäma, Stentokklusion) und in den wenigsten Fällen schwerwiegend [21].

Laroche et al. zeigten in einer kleinen Fallserie von 4 Patienten, dass es postoperativ zu einer Fehlpositionierung des distalen Stentendes in die Vorderkammer kommen kann [25]. Da die Nitinol-Stents die Eigenschaft des Formgedächtnisses haben, könnte dies in Augen, die einen größeren Durchmesser des Schlemm-Kanals als 12 mm haben, dazu führen, dass sich der Stent nach innen wölbt und mit den Enden das Trabekelmaschenwerk durchdringt.

### Kanaloplastik ab interno (iTrack Advance™, OMNI® Surgical System)

Die Kanaloplastik ab interno entstand als eine Modifikation der Kanaloplastik ab externo, die den Schlemm-Kanal über einen Ab-interno-Zugang partiell öffnet und dilatiert.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zur Kanaloplastik ab externo ist, dass hier kein Spannungsfaden eingebracht wird, der eine langfristige Dilatation des Schlemm-Kanals induziert, da das Trabekelmaschenwerk partiell eröffnet wird. Beim Straffen eines eingelegten Fadens würde dies unweigerlich zu einem weiteren Aufreißen des Trabekelmaschenwerkes („cheese wiring“) führen. Die Grundidee dieses Ansatzes entstammt der Subgruppenanalyse zur Wirksamkeit der Kanaloplastik ab externo [26]. Dabei konnten Lewis et al. zeigen, dass auch ohne Einbringen eines Spannungsfadens eine effektive anhaltende Drucksenkung über den Ab-externo-Ansatz erzielt wurde.

Es stehen zurzeit 2 Systeme kommerziell zur Verfügung: der iTrack-Mikrokatheter der Firma Nova Eye Medical Limited, Melbourne, Australien, mit einem Handgriff (iTrack Advance) sowie das OMNI Surgical System der Firma Sight Sciences Inc., Menlo Park, USA. Beide Systeme sind in der Anwendung ähnlich, zeigen jedoch im Detail Unterschiede.

Das OMNI Surgical System besteht aus einem Handgriff, der in einer gebogenen

Hohlnadel mündet (Abb. 1e). Der Mikrokatheter ist fest im System integriert genauso wie ein Reservoir, das das Viskoelastikum aufnimmt. Mit der Hohlnadelspitze wird zunächst das Trabekelmaschenwerk punktuell eröffnet. Danach wird mit dem Vortriebsrädchen der Mikrokatheter in den Schlemm-Kanal vorgeschoben und dieser so mechanisch dilatiert. In einem Schritt werden dabei ca.  $180^\circ$  der Zirkumferenz des Schlemm-Kanals sondiert. Beim Zurückziehen des Katheters – ebenfalls über das Vortriebsrädchen – wird kontinuierlich das Viskoelastikum freigesetzt. Die Menge beträgt dabei ca.  $11 \mu\text{l}$ . Nach Drehen des Instrumentes werden die verbliebenen  $180^\circ$  nach demselben Prinzip behandelt.

Der iTrack Advance nutzt den bekannten iTrack-Mikrokatheter, der auch bei der Ab-externo-Variante eingesetzt wird. Dieser Katheter wird in ein spezielles Handstück integriert, das einen Mechanismus enthält, der durch einen Schieber den Katheter so weit vorschiebt, dass in einem Arbeitsgang die gesamten  $360^\circ$  des Schlemm-Kanals sondiert werden können (Abb. 1f). Dadurch, dass der klassische Mikrokatheter verwendet wird, ist der Vorbereitungsaufwand im Vergleich zum OMNI System höher, bietet aber den Vorteil, dass der Kanal unter Sicht (Lichtleiter zur Spitze des Katheters) sondiert werden kann und dass die Menge an zu applizierendem Viskoelastikum beliebig variiert werden kann.

Die bereits vorliegenden Daten zeigen bisher eine signifikante und andauernde Drucksenkung und Medikamentenreduktion sowohl bei der Verwendung des iTrack-Systems als auch des OMNI System.

Im Rahmen einer ersten retrospektiven Studie verglichen Gallardo et al. die Kanaloplastik ab interno als Stand-alone-Verfahren ( $n=41$ ) mit der Kombination mit einer Kataraktoperation ( $n=34$ ). Dabei war der drucksenkende Effekt von  $32,8\%$  beim Stand-alone-Verfahren minimal höher als beim kombinierten Eingriff ( $31,7\%$ ). Bei der Reduktion der drucksenkenden Medikamente waren  $36\%$  der Kanaloplastikaugen medikamentenfrei, verglichen mit  $40\%$  bei der kombinierten Operation. Beide Unterschiede waren statistisch nicht signifikant. Vergleichbare Ergebnisse werden auch von anderen Autoren berichtet [30, 32]. Im Vergleich zur Ab-externo-Variante

te liegen damit der drucksenkende Effekt als auch die Reduktion der notwendigen Medikamente im vergleichbaren Niveau der klassischen Ab-externo-Kanaloplastik ohne Modifikation [31].

Neben der geringeren Invasivität und Schonung der Bindehaut zeichnet sich die Ab-interno-Variante durch ein gutes Sicherheitsprofil aus, zeigt jedoch regelmäßig postoperative Mikrohyphämata als Zeichen einer Refluxblutung. Diese müssen in der Regel nicht durch einen weiteren Eingriff behandelt werden [29–31, 38]. Vorstellbar ist jedoch eine höhere Rate der Kataraktinduktion bei phaken Augen durch die längere und intensivere Manipulation in der Vorderkammer, auch wenn dazu noch keine suffizienten Daten vorliegen.

### » Die Ab-interno-Variante zeichnet sich durch ein gutes Sicherheitsprofil aus

Die Vorteile der Kanaloplastik ab interno liegen daher v. a. in der kürzeren Operationszeit und der geringen Invasivität im Vergleich zum Ab-externo-Verfahren. Auch eine Kombination mit der Kataraktchirurgie ist sehr gut möglich und lässt sich ohne größeren Aufwand in die Operationsroutine einführen.

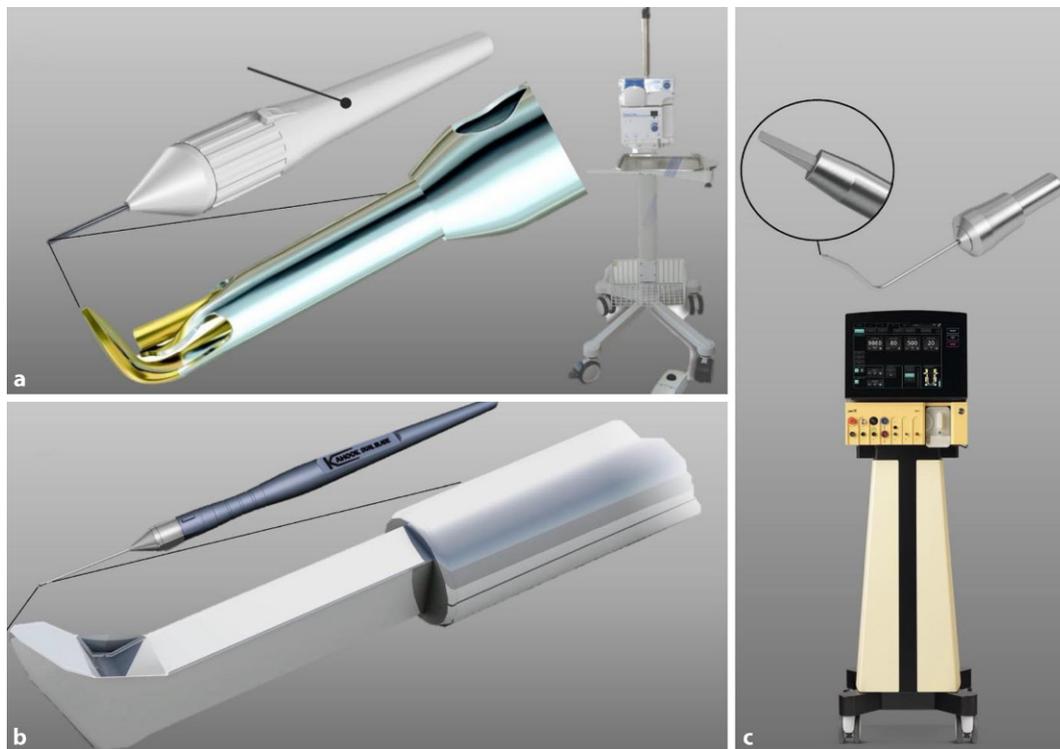
## Trabekulotomie ab interno

### Gonioskopieassistierte transluminale Trabekulotomie, OMNI®

Sowohl beim iTrack Advance als auch beim OMNI Surgical System kann nach der Sondierung des Schlemm-Kanals eine Trabekulotomie angeschlossen werden. Diese erfolgt beim iTrack Advance über das Fassen der Katheterspitze mit einem zweiten Instrument (z.B. Netzhautpinzette) und Herausziehen des liegenden Katheters. Dieser Eingriff wird auch als gonioskopieassistierte transluminale Trabekulotomie (GATT) bezeichnet. Beim OMNI System erfolgt die Trabekulotomie in 2 jeweils 180° umfassenden Schritten, bei denen der Katheter nicht retrahiert wird, sondern die Kanülenspitze dem Verlauf des Schlemm-Kanals folgt und so das Trabekelmaschenwerk öffnet.

Hier steht eine Anzeige.





**Abb. 2** ◀ **a** Trabektom mit Grundeinheit und Applikationshandgriff, Spitze im Detail (mit freundl. Genehmigung der Firma MST, Chicago, IL, USA). **b** Kahook Dual Blade, Spitze im Detail (mit freundl. Genehmigung der Firma New World Medical). **c** HFDS („high frequency deep sclerotomy“), Applikationsspitze im Detail mit Oertli-Operationsplattform (mit freundl. Genehmigung der Firma Oertli)

Sowohl klinische Studien wie ROMEO und GEMINI als auch Fallserien zeigten, dass die Kombination mit einer Trabekulotomie dabei sowohl bei der Drucksenkung als auch bei der Reduktion der Anzahl der postoperativ notwendigen Medikamente etwas besser wirksam zu sein scheint (IOD-Senkung um 6,4–8 mm Hg nach 12 Monaten bzw. zwischen 6,5 und 8,7 mm Hg bei der alleinigen Kanaloplastik vs. 8,9–12,0 mm Hg nach 12 Monaten und 9,7–10,4 mm Hg nach 24 Monaten bei der Kombination mit einer Trabekulotomie). Auch bei der Medikamentenreduktion liegen die Werte tendenziell etwas höher in der kombinierten Operation (Medikamentenreduktion um 0,8 bis 1,6 nach 12 Monaten sowie 0,8 bis 1,0 nach 18 Monaten vs. 1,3 bis 1,5 nach 12 Monaten sowie 1,4 bis 1,5 nach 24 Monaten) [33–37].

Die beschriebenen Komplikationen umfassen zuallererst Einblutungen in die vordere Augenkammer (0,97–50,6% der Fälle), dabei ist die Frequenz bei der Kombination von Kanaloplastik und Trabekulektomie ab interno etwa doppelt so häufig, verglichen mit der reinen Kanaloplastik ab interno. Weiterhin zeigten sich Druckspitzen (0–22,2%) und/oder ein Hornhautödem (0–6,2%). Sehr seltene Komplikationen waren fibrinöse Uveitiden,

eine Iridodialyse oder ein Iristrauma, Hypotonien, Descemetolyse, zystoides Makulaödem, Visusverschlechterung und Aderhautabhebungen [21].

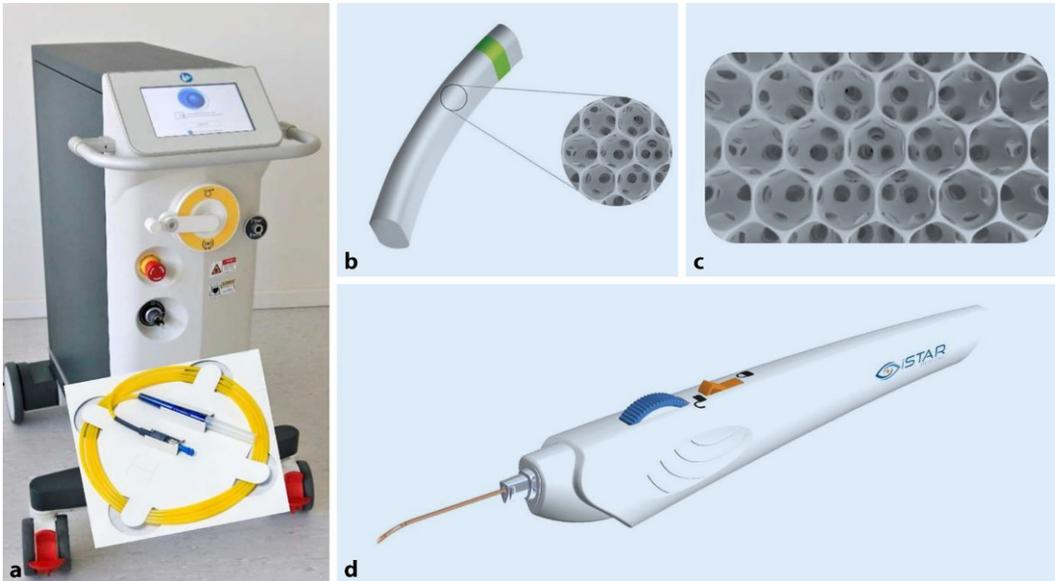
### Trabekulektomie ab interno

#### Trabektom®

Im Vergleich zu einer klassischen Goniotomie wird mit dem Trabektom (Neomedix, Tustin, USA) das Trabekelmaschenwerk nicht nur inzidiert, sondern durch Elektroablation über 3 bis 4 Uhrzeiten entfernt. Gleichzeitig mit der Elektroablation des Gewebes erfolgen eine Irrigation über eine Infusion zur Kühlung und eine Aspiration des ablatierten Gewebes (▣ Abb. 2a). Neben antiinflammatorischen Substanzen ist nach der Trabektomanwendung über mehrere Wochen die Gabe von Pilocarpin sinnvoll, um ein Verkleben des Wundspalts und eine Tamponade der Kollektorkanäle durch Irisgewebe zu verhindern.

Frühe IOD-Dekompensationen einer Trabekulektomie ab interno mit dem Trabektom traten in einer Studie von Kono et al. bei etwa 20% der Augen auf. Die Hälfte davon zeigte einen spontanen Rückgang, die andere Hälfte war persistierend. Als prognostisch ungüns-

tige Ausgangssituationen wurden eine vorausgegangene Selektive Lasertrabekuloplastik (SLT) und ein hoher präoperativer IOD identifiziert [42]. In einer retrospektiven, nicht randomisierten, gematchten Vergleichsstudie an 39 Augen je Gruppe wurden für das Trabektom eine etwas tiefere IOD-Senkung und stärkere Medikamentenreduktion als für die iStent inject-Implantation innerhalb der ersten 2 Jahre gefunden. Alle Operationen wurden mit einer Kataraktoperation kombiniert [39]. In einer retrospektiven Vergleichsstudie von Kurij et al. an 70 Augen traten 12 Monate nach kombinierter Kataraktoperation mit Trabektom oder iStents der ersten Generation keine signifikanten Unterschiede in der IOD-Senkung auf. Allerdings kam es in der Trabektomgruppe signifikant häufiger zu Komplikationen (insbesondere Vorderkammerblutungen, Druckspitzen; [40]). In einer weiteren retrospektiven Vergleichsstudie konnten Pahlitzsch et al. 3 Jahre nach Trabektom, iStent inject, oder SLT keine signifikanten Unterschiede in der IOD-Senkung zwischen den einzelnen Verfahren feststellen [18]. Kono et al. fanden 6 Jahre nach Trabektomoperation an 305 Augen in einer retrospektiven Studie im Mittel noch eine IOD-Senkung von 20% [41]. Pahlitzsch et al. berichteten bei



**Abb. 3** ◀ a ELIOS-Laserplattform mit FIDO-Applikationssonde (Weinert Fiber Optics GmbH, Sonnerberg) (mit freundl. Genehmigung der Firma ELIOS). b MINject-Implantat. c Detailaufnahme der Struktur des MINject. d MINject-Applikator (mit freundl. Genehmigung der Firma iSTAR Medical)

gleichzeitiger Reduktion antiglaukomatöser Wirkstoffe auch beim Pseudoexfoliationsglaukom nach 3 Jahren über eine IOD-Senkung von im Mittel 22,49 präoperativ auf 14,57 mm Hg (–35 %) [42]. Auch Okeke et al. identifizierten in einer Studie an 658 Patienten nach 12 Monaten besonders an Augen mit Pseudoexfoliationsglaukom eine gute Erfolgsquote. Weitere günstige Ausgangsfaktoren waren hispanische Abstammung, ein hoher Ausgangs-IOD und eine kombinierte Kataraktoperation [44]. Neben häufigen initialen Refluxblutungen aus den Kollektorkanälen und passageren Druckspitzen kann es in seltenen Fällen zu einer ungewollten Zyklodialyse kommen [43].

### Kahook Dual Blade®

Ähnlich wie mit dem Trabektom wird auch mit dem Kahook Dual Blade (KDB; New World Medical, Rancho Cucamonga, CA, USA) eine Abtragung des Trabekelmaschenwerkes durchgeführt, um den trabekulären Abflusswiderstand zu verringern. Anders als bei der klassischen Trabekulotomie wird das Trabekelmaschenwerk nicht einfach inzidiert, sondern es wird durch 2 parallel angeordnete Messer nach pflugartigem Eingehen in den Schlemm-Kanal Gewebe exzidiert (▣ Abb. 2b). Dabei handelt es sich um Einmalinstrumente, die im Vergleich zum Trabektom kein zusätzliches Irrigationssystem benötigen. Eine zweite Generation, das KDB Glide,

weist an der Basis abgerundete Kanten auf, die mehr der konkaven Form der Rückwand des Schlemm-Kanals nachempfunden sind, um weniger Verletzungen der Kollektorkanäle zu induzieren [46].

Albuainain et al. konnten in einer retrospektiven Studie an Augen, bei denen eine Kataraktoperation kombiniert mit KDB-Trabekulektomie durchgeführt wurde, bei einem mittleren Ausgangs-IOD von 20,4 mmHg über 24 Monate eine Senkung auf 13,9 mmHg ( $n=46$ ) und nach 36 Monaten auf 13,9 mmHg ( $n=16$ ) feststellen. Die mittlere Anzahl der benötigten Medikamente reduzierte sich im gleichen Zeitraum von 3,2 auf 1,4 bzw. 2,0 Wirkstoffe [45]. Das Ausmaß der IOD-Senkung nach Trabekulektomie mit dem KDB war in einer Studie von Pratte et al. bei Augen mit höherem Ausgangs-IOD und einer initial höheren Zahl von antiglaukomatösen Wirkstoffen höher als bei geringerem Ausgangs-IOD und weniger Antiglaukomatosa [47].

In einer retrospektiven, multizentrischen Studie verglichen EIMallah et al. eine Kataraktoperation entweder kombiniert mit KDB-Trabekulektomie oder mit einer iStent-Implantation (Einzelstent, erste Generation). Innerhalb der ersten 12 Monate zeigten sich mittels KDB eine geringgradig tiefere IOD-Senkung und geringere Tropfenersparnis als mittels KDB [48]. Dies lässt sich nicht mit der Implantation mehrerer iStents der neueren Generationen vergleichen. In einer

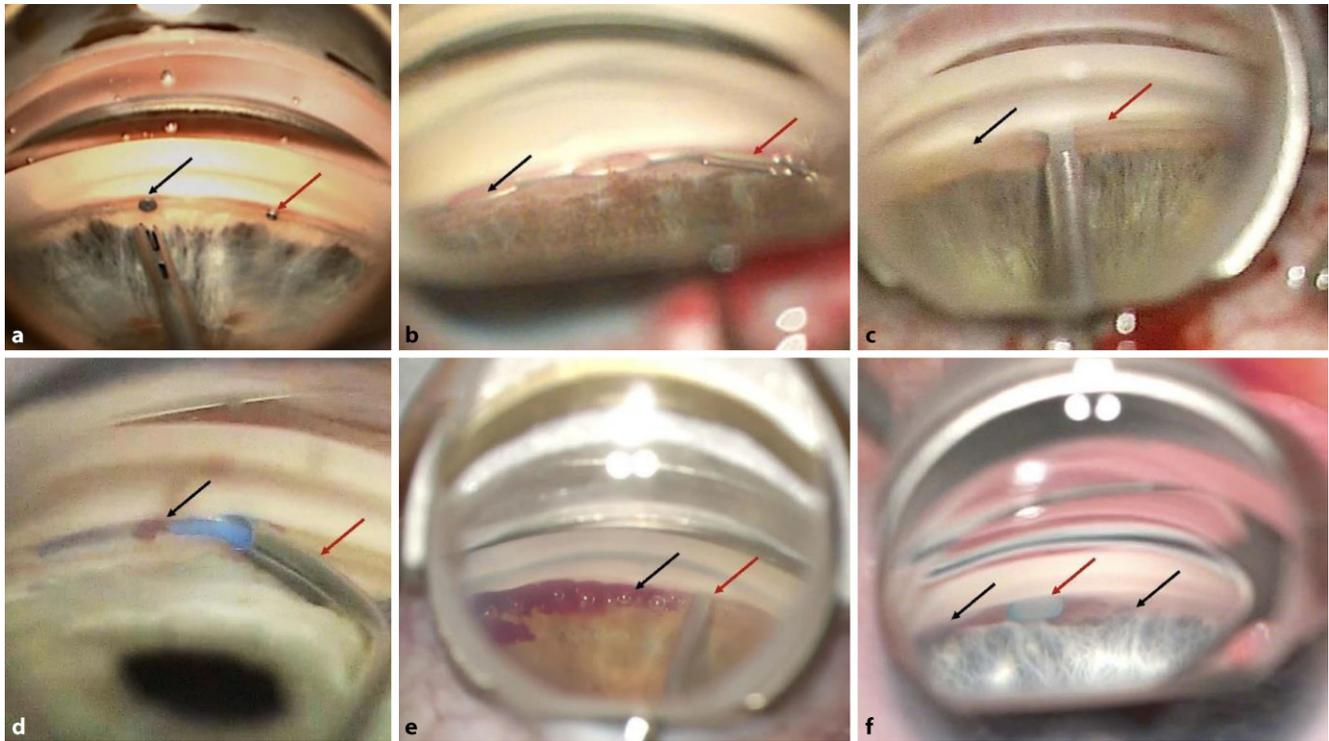
weiteren retrospektiven Vergleichsstudie fanden Lee et al. innerhalb eines Follow-up von 6 Monaten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der IOD-Senkung zwischen Kataraktoperation mit kombinierter KDB-Trabekulektomie bzw. kombinierter iStent-Implantation. In der KDB-Gruppe kam es häufiger zu passageren Tensiodekompensationen als in der iStent-Gruppe [49].

Von Oterendorp und Bahlmann beschrieben bei der Operation mit dem KDB im Vergleich zum Trabektom eine etwas schlechtere Spurtreue beim Schneiden im Trabekelmaschenwerk mit einem Risiko für Fehlschnitte: Hierdurch kann es neben den sehr häufig auftretenden unproblematischen Refluxblutungen aus den Kollektorkanälen auch zu schwerwiegenderen Blutungen aus der Irisbasis kommen [50].

Hirabayashi et al. wiesen darauf hin, dass durch eine KDB-Trabekulotomie signifikante Änderungen des kornealen Astigmatismus auftreten können [51]. Das Verfahren sollte deshalb nicht mit der Implantation von torischen IOLs kombiniert werden.

### „High frequency deep sclerotomy“ (HFDS®)

Die „high frequency deep sclerotomy“ (HFDS®) ist ein Verfahren zur Hochfrequenzablation des Trabekelmaschenwerkes und der angrenzenden Sklera.



**Abb. 4 ▲** Intraoperative Darstellung verschiedener MIGS („minimally invasive glaucoma surgery“-)Verfahren. **a** iStent (schwarzer Pfeil iStent inject W, roter Pfeil iStent inject). **b** Hydrus Microstent (schwarzer Pfeil Fensterung des Stents hinter dem Trabekelwerk [TCS], roter Pfeil Ostium des Hydrus). **c** Kahook Dual Blade (schwarzer Pfeil intaktes TCS, roter Pfeil exziiertes TCS). **d** Kanaloplastik mit OMNI (schwarzer Pfeil Refluxblutung an der Eintrittsstelle des Mikrokateters, schwarzer Pfeil Kanüle). **e** ELT (Excimer-Laser-Trabekulostomie) mit ELIOS (schwarzer Pfeil Kavitationsbläschen und Refluxblutung, roter Pfeil Lasersonde). **f** MINject (roter Pfeil Implantat, schwarze Pfeile Begrenzungen der Iridodialyse)

Dabei werden – je nach Zugänglichkeit – zwischen 4 und 8 punktuelle Effekte gesetzt, deren Tiefe über den Schlemmkanal hinausgeht. Die HFDS ist gebunden an die Operationsplattformen der Firma Oertli Instrumente AG (Berneck, Schweiz, **▣ Abb. 2c**).

Die veröffentlichten klinischen Daten zeigen eine Drucksenkung von bis zu 40% bei gleichzeitiger signifikanter Medikamentenreduktion [52–54] und bei geringer Komplikationsrate. Als häufigste Komplikationen traten Hyphämata in bis zu 26% der Fälle und postoperative Druckspitzen in 19% der Fälle auf. Schwerwiegende Nebenwirkungen wurden nicht berichtet [52].

### Excimer-Laser-Trabekulostomie

Die Excimer-Laser-Trabekulostomie (ELT) (Elios Vision GmbH, MLase AG, Germering, Deutschland) ist ein invasives Laserverfahren mit dem Ziel einer punktuellen Eröffnung des Trabekelmaschenwerkes (TCS). Die Wellenlänge variiert im Vergleich zum

Excimer-Laser in der Hornhautbehandlung (ELT 308 nm vs. 193 nm). Daher kann die Laserenergie über eine Faser direkt zum Zielort geleitet werden (**▣ Abb. 3a**). In kurzen Pulsen werden nach bestehendem Behandlungsprotokoll zehn 210 µm messende Mikroperforationen in das TCS geschossen. Die ersten Arbeiten zur ELT wurden bereits 1987 veröffentlicht [55]. Die vorliegenden klinischen Ergebnisse zeigten Drucksenkungen zwischen 29 und 43% bei einer Medikamentenreduktion von 47–61% [56]. Die Drucksenkung zeigte sich über bis zu 8 Jahre stabil [57].

Die Rate von Komplikationen war in allen Publikationen gering. Druckspitzen in 10–15% und Hyphämata in unter 10% waren die häufigsten Nebenwirkungen. Es wurden keine schweren Komplikationen berichtet [56].

### Suprachoroidale Drainage

CyPass<sup>®</sup>, iStent supra<sup>®</sup>, MINject<sup>®</sup>

Im Jahr 1905 empfahl Heine eine partielle Zyklodialyse als Erfolg versprechenden Eingriff zur signifikanten und anhaltenden Senkung des Augeninnendruckes [58]. In den folgenden Jahrzehnten gab es zahlreiche weitere Ideen zur Nutzung des suprachoroidalen Abflussweges zur Senkung des IODs [59, 60].

Eine Renaissance begann mit der Einführung des CyPass-Microstents (Fa. Alcon, Fort Worth, TX, USA) nach FDA (Food and Drug Administration)-Zulassung 2016 (CE-Zulassung bereits 2008). Die Studienergebnisse zeigten eine vielversprechende Drucksenkung zwischen 20 und 30% bei gleichzeitiger Medikamentenreduktion über 2 bis 3 Jahre [61–63]. Allerdings zeigte sich in der COMPASS XT-Folgestudie nach 5 Jahren ein signifikanter Hornhautendothelzellverlust bei einer anterioren Stentimplantation [64]. Diese Komplikationen waren zum Teil so folgenschwer,

**Tab. 1** trabekuläre MIGS – Verfahren im Überblick

Verfahren	Verbleibendes Implantat?/Bei Metall: MRT stabil?	Besonderheiten des Verfahrens	Komplikationen In % (gerundet)	Publizierte Nachbeobachtungszeit	Cochrane Review Evidenz der IOD-Senkung	Cochrane Review Evidenz der Medikamentenfreiheit	Studien
iStent inject	Ja (Titan) MRT-stabil bis 3 T	2 Stents pro Injektor	IOD-Spitzen bis 22 Hyphäma bis 10 Hornhautödem bis 9 Stentokklusion bis 13	5 Jahre	Sehr gering	Sehr gering	R 25 NR 17
iStent inject W	Ja (Titan) MRT-stabil bis 3 T	2 Stents, geringeres Risiko der Überimplantation	IOD-Spitzen bis 18 Hyphäma bis 5 Hornhautödem bis 10 Stentokklusion bis 6	1 Jahr	Keine Daten Ggf. wie iStent	Keine Daten Ggf. wie iStent	R 3 NR 2
Hydrus	Ja (Nitinol) MRT-stabil bis 3 T	Ausspannen von Schlemm-Kanal und TCS	IOD-Spitzen bis 6 Hyphäma bis 6 Hornhautödem bis 3 Stentokklusion bis 6	5 Jahre	Moderat	Moderat	R 6 NR 6
ABIC iTrack Advance	Implantatfrei	Illuminierter Spitze, variable Viskoelastikamenge	IOD-Spitzen bis 22 Hyphäma bis 20	4 Jahre	Keine Daten	Keine Daten	R 2 NR 0
OMNI Surgical System	Implantatfrei	Einfaches Handling, definierte Viskoelastikamenge	Hyphäma 25 IOD-Spitzen bis 4	2 Jahre	Keine Daten	Keine Daten	R 3 NR 6
GATT iTrack Advance	Implantatfrei	Sichere 360°-Trabekulotomie	Hyphäma 50 IOD-Spitzen bis 19	2 Jahre	Keine Daten	Keine Daten	R NR 3
Trabektom	Implantatfrei	Erhöhter apparativer Aufwand	Hyphäma 95 IOD-Spitzen bis 29	6 Jahre	Sehr gering	Sehr gering	R 3 NR 1
Kahook Dual Blade	Implantatfrei	Minimales Single-use-Equipment	IOD-Spitzen bis 18 Hyphäma bis 35 Hornhautödem bis 15	3 Jahre	Keine Daten Ggf. wie Trabektom	Keine Daten Ggf. wie Trabektom	R 5 NR 1
ELT	Implantatfrei	Excimer-Laser-Technik, erhöhter apparativer Aufwand	Hyphäma < 10 IOD-Spitzen	Bis 8 Jahre	Keine Daten Ggf. wie Trabektom	Keine Daten Ggf. wie Trabektom	R 0 NR 2
HFDS	Implantatfrei	Gebunden an Oertli-Plattform	Hyphäma 26 IOD-Spitzen 19	Bis 2 Jahre	Keine Daten Ggf. wie Trabektom	Keine Daten Ggf. wie Trabektom	R 1 NR 1
MINIject	Ja (Silikon)	Suprachoroidaler Abflussweg	IOD-Spitzen 50 Visusreduktion 30 Hyphäma 20	Bis 2 Jahre	Hoch Cypass-Daten!	Hoch Cypass-Daten!	R 0 NR 9

ELT Excimer-Laser-Trabekulotomie, GATT gonioskopieassistierte transilluminale Trabekulotomie, HFDS „high frequency deep sclerotomy“, IOD Augeninnendruck, MRT Magnetresonanztomographie, NR nicht randomisiert/keine Angabe (clinicaltrial.gov), R randomisiert, TCS Trabekelmaschenwerk [72–76]

dass es zu einer Visusbeeinträchtigung und/oder Hornhautdekomensation kam und eine Kürzung des Stents empfohlen wurde. Gleichzeitig erfolgte die freiwillige Marktrücknahme des Stents noch im Jahr 2018.

Ein weiterer suprachoroidaler Stent, der iStent supra (Fa. Glaukos, San Clemente, CA, USA), zeigte in ersten klinischen Studien ebenfalls eine drucksenkende Potenz von etwa 30 % bei signifikanter Medikamentenreduktion, erreichte jedoch nie eine Markteinführung trotz bestehender CE-Zulassung seit 2010 [65, 71].

Im Dezember 2021 erfolgte nunmehr die Markteinführung eines weiteren Stents zur Verbesserung des uveoskleralen Abflusses – der MINJect (Fa. iSTAR Medical, Wavre, Belgien).

Der MINJect besteht aus einem speziell gefertigten schwammartigen Silikonmaterial (Starflow®, **Abb. 3c**) mit einer Länge von 5 mm, einer Breite von 1,1 mm bei einer Dicke von 0,6 mm (**Abb. 3b**). Der MINJect wird über ein spezielles Injektorsystem (**Abb. 3d**) nach Schaffung einer kleinen lokalen Zyklodialyse in den Suprachoroidalraum implantiert. Dabei ragt nur ein ca. 0,5 mm langer Anteil in die Vorderkammer (**Abb. 4f**), um eine Endothelschädigung zu verhindern.

Die vorliegenden Ergebnisse stammen aus den Zulassungsstudien und zeigen eine durchschnittliche Senkung des Augeninnendruckes von 39% über 2 Jahre bei einer gleichzeitigen Medikamentenreduktion von 2,4 auf 1,4 nach 24 Monaten [66, 67]. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass der MINJect dabei stets als Stand-alone-Verfahren geprüft wurde. Der Endothelzellverlust wird mit ca. 6% nach 2 Jahren angegeben.

Die Anzahl der Komplikationen war insgesamt gering und überwiegend nicht schwerwiegend. Am häufigsten traten ein Vorderkammerreizzustand mit Visusreduktion (30,8%), Gesichtsfelddefekte (26,9%), Augendruckspitzen (19,2%), Linsen-trübungen bei phaken Augen (19,2%) und Hyphämata (11,6%) auf [66]. Einschränkung muss dabei darauf hingewiesen werden, dass die Gesamtzahl der eingeschlossenen Augen mit 79 Augen gering ist. Dennoch zeichnet sich ab, dass das drucksenkende Potenzial bei Adressierung des uveoskleralen Abflusses

etwas potenter ist als bei den trabekulären Stents.

## Schlussfolgerung

Die große Vielfalt unterschiedlicher Verfahren mit vergleichbarer Drucksenkung und vergleichbarem Risikoprofil macht die Frage „Welche Operation für welchen Patienten?“ im Einzelfall schwierig.

Einigkeit herrscht lediglich dahingehend, das MIGS-Verfahren eher für milde bis moderate Glaukomstadien geeignet sind. Aber schon die Frage, ob es gerechtfertigt ist, die Eingriffe überwiegend in Kombination mit einer Kataraktoperation durchzuführen oder ob lediglich eine Medikamentenreduktion bereits Indikation für einen operativen Eingriff ist, wird lebhaft diskutiert [1, 19, 68]. Oft werden dabei Details in den Vordergrund gerückt (Implantate vs. kein Implantat, alternativer vs. physiologischer Abfluss, Exzision von Gewebe vs. nur Perforation, limitiertes vs. großflächiges Behandlungsareal), die dem eigentlichen und anerkannten Therapieziel – einer signifikanten Senkung des Augeninnendruckes – weniger Beachtung schenken und eher Ausdruck einer fehlenden klaren Differenzierung sind.

Um eine Entscheidungsfindung zu vereinfachen, sollten wir uns mit den einzelnen Teilaspekten der verschiedenen Verfahren auseinandersetzen und daraus die individuelle Therapie ableiten. Dabei ist und bleibt der zu erreichende Augeninnendruck nach dem Eingriff (Zieldruckkonzept) das wichtigste Entscheidungskriterium. Andere Aspekte wie koexistierende Katarakt, Voroperationen, Zustand der Konjunktiva, aber auch Lebensalter, Glaukomstadium und Progressionsrate sowie andere Begleiterkrankungen und Präferenzen des Patienten sollen und müssen in den Indikationsstellungsprozess Eingang finden [1].

### » Der zu erreichende Augeninnendruck nach dem Eingriff ist das wichtigste Entscheidungskriterium

Aufgrund der Unterschiede zur klassischen Filtrationschirurgie oder den subkonjunktivalen Stents ist der durchschnittlich erreichbare Zieldruck ohne zusätzliche Medikation in den meisten Fällen höher. Post-

operative IOD-Werte von 14 mm Hg und weniger ohne Zusatzmedikation sind selten.

In der **Tab. 1** finden sich verschiedene Aspekte der hier besprochenen Verfahren im Vergleich.

Insbesondere die vorhandenen Cochrane Reviews können eine wertvolle Hilfe sein bei der Entscheidung, ob und wenn ja, welches MIGS-Verfahren gewählt werden sollte, auch wenn sich für verschiedene Methoden (Kanaloplastik ab interno) und Variationen einer Eingriffsgruppe (Trabekulotomie ab interno mit KDB, HFDS und ELT oder suprachoroidaler Abflussweg mit MINJect) noch keine Reviews finden.

So scheinen das drucksenkende Potenzial sowie die Chance der Medikamentenfreiheit beim suprachoroidalen Abflussweg höher zu sein als beim trabekulären Abfluss. Beim trabekulären Abfluss scheinen Implantate mit einem größeren Behandlungsareal (Hydrus) gegenüber einem kleineren Behandlungsareal (iStent) geringgradig effektiver zu sein. Eine Resektion des Trabekelmaschenwerkes scheint dagegen im Vergleich mit einem Stent keine Vorteile zu haben bezüglich Drucksenkung und Medikamentenfreiheit.

Zusammenfassend muss jedoch festgestellt werden, dass auch nach mehr als einem Jahrzehnt der MIGS die Evidenz hinsichtlich der Senkung des Augeninnendruckes und/oder der Reduktion der Medikamentenlast der Patienten bei vielen Verfahren noch gering ist und es daher weiterer qualitativ hochwertiger Studien bedarf, um klare Richtlinien für den Einsatz der einzelnen Verfahren abzuleiten. Es wird auch zu klären sein, ob durch eine gezielte Fibroshemmung im Trabekelmaschenwerk [69] oder im suprachoroidalen Raum [70] die Langzeiterfolge nach unterschiedlichen MIGS-Verfahren verbessert werden können.

Erfreulich ist, dass die überwiegende Mehrheit der Verfahren ein gutes bis sehr gutes Sicherheitsprofil aufweist, auch wenn hier weiter Langzeitergebnisse (z. B. Hornhautendothelschaden) notwendig sind. Es konnte gezeigt werden, dass MIGS-Verfahren mit unterschiedlichen Wirkmechanismen mit einer additiven Wirkung kombiniert werden können [71–76]. Möglicherweise können hieraus – auch in Kombination mit in naher Zukunft verfü-

baren implantierbaren medikamentösen Slow-Release-Systemen – neue Glaukomtherapien entwickelt werden, die eine vergleichbare IOD-Senkung wie fistulierende Operationsverfahren bei gleichzeitig deutlich reduziertem Operationsrisiko ermöglichen.

### Fazit für die Praxis

- Es steht eine große Vielfalt an neuen chirurgischen Verfahren in der Versorgung von Patienten mit einer Glaukomerkrankung zur Verfügung, die unter dem Begriff „minimally invasive glaucoma surgery“ (MIGS) zusammengefasst werden.
- Die Umsetzung des Therapieziels unterscheidet sich bei den einzelnen Verfahren ebenso wie die maximal erreichbare Drucksenkung.
- MIGS-Verfahren mit unterschiedlichen Wirkmechanismen können mit einer additiven Wirkung kombiniert werden.
- Die überwiegende Mehrheit der Verfahren weist ein gutes bis sehr gutes Sicherheitsprofil auf.
- Die Entscheidung für einen einzelnen Eingriff bleibt aufgrund der geringen Differenzen hinsichtlich Wirksamkeit und Sicherheitsprofil häufig an die persönlichen Präferenzen des Chirurgen gebunden.

### Korrespondenzadresse

**Dr. med. Karsten Klabe**  
Breyer Kaymak Klabe Augenchirurgie  
Martin-Luther-Platz 22, 40212 Düsseldorf,  
Deutschland  
k.klabe@augenchirurgie.clinic

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** K. Klabe macht folgende Angaben: Consulting fees all payments to institution von Alcon, SightSciences Inc., Oertli Instrumente AG, Elios Vision GmbH, iStar Medical, Abbvie Inc.; Payment or honoraria for lectures, presentations, speakers bureaus, manuscript writing or educational events all payments to institution von Glaukos Corp., Nova Eye Medical limited, Carl Zeiss AG; Participation on a Data Safety Monitoring Board or Advisory Board all payments to institution von Santen Pharmaceutical Co., Ltd., Glaukos Corp., Abbvie Inc. F. Rüfer macht folgende Angaben: Payment or honoraria for lectures, presentations, speakers bureaus, manuscript writing or educational events all payments to institution von Glaukos Corp., Abbvie Inc., Théa Laboratories.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative

Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

### Literatur

1. European Glaucoma Society (2020) Terminology and guidelines for glaucoma, 5. Aufl. PubliComm, Sanova Italy. ISBN 978-88-98320-46-2.
2. Luebke J, Böhringer D, Evers C, Daniel MC, Reinhard T, Lang SJ (2022) Glaucoma treatment in German hospitals in 2019. *Klin Monbl Augenheilkd*. <https://doi.org/10.1055/a-1725-8605>
3. Market Scope (2022) Glaucoma surgical device market report. <https://www.market-scope.com/files/products/brochures/337/2022%20Glaucoma%20Device%20Report%20Brochure.pdf>. Zugegriffen: 05.01.2023
4. Gabai A, Cimarosti R, Battistella C, Isola M, Lanzetta P (2019) Efficacy and safety of trabeculectomy versus nonpenetrating surgeries in open-angle glaucoma: a meta-analysis. *J Glaucoma* 28(9):823–833. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001323>
5. Quigley HA (2019) 21st century glaucoma care. *Eye (Lond)* 33(2):254–260. <https://doi.org/10.1038/s41433-018-0227-8>
6. Saheb H, Ahmed II (2012) Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol* 23(2):96–104. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e32834ff1e7>
7. Bahler CK, Smedley GT, Zhou J, Johnson DH (2004) Trabecular bypass stents decrease intraocular pressure in cultured human anterior segments. *Am J Ophthalmol* 138(6):988–994. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2004.07.035>
8. Spiegel D, Kobuch K (2002) Trabecular meshwork bypass tube shunt: initial case series. *Br J Ophthalmol* 86(11):1228–1231. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.11.1228>
9. Spiegel D, Wetzel W, Haffner DS, Hill RA (2007) Initial clinical experience with the trabecular micro-bypass stent in patients with glaucoma. *Adv Ther* 24(1):161–170. <https://doi.org/10.1007/BF02850004>
10. Ziaei H, Au L (2021) Manchester iStent study: long-term 7-year outcomes. *Eye (Lond)* 35(8):2277–2282. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01255-6>
11. Lavia C, Dallorto L, Maule M, Ceccarelli M, Fea AM (2017) Minimally-invasive glaucoma surgeries (MIGS) for open angle glaucoma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 12(8):e183142. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183142>
12. Gillmann K, Bravetti GE, Mermoud A, Mansouri K (2019) A prospective analysis of iStent inject microstent positioning: Schlemm canal dilatation and intraocular pressure correlations. *J Glaucoma* 28(7):613–621. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001273>
13. Guedes RAP, Gravina DM, Lake JC, Guedes VMP, Chaoubah A (2019) Intermediate results of iStent or iStent inject implantation combined with cataract surgery in a real-world setting: a longitudinal retrospective study. *Ophthalmol Ther* 8(1):87–100. <https://doi.org/10.1007/s40123-019-0166-x>
14. Manning D (2019) Real-world case series of iStent or iStent inject trabecular micro-bypass stents combined with cataract surgery. *Ophthalmol Ther* 8(4):549–561. <https://doi.org/10.1007/s40123-019-00208-x>
15. Shalaby WS, Lam SS, Arbabi A, Myers JS, Moster MR, Kolomeyer NN, Razeghinejad R, Shukla AG, Hussein TR, Eid TM, Shalaby SM, Lee D (2021) iStent versus iStent inject implantation combined with phacoemulsification in open angle glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 69(9):2488–2495. [https://doi.org/10.4103/ij.o.jo\\_308\\_21](https://doi.org/10.4103/ij.o.jo_308_21)
16. Katz LJ, Erb C, Carceller GA, Fea AM, Voskanyan L, Wells JM, Giamporcaro JE (2015) Prospective, randomized study of one, two, or three trabecular bypass stents in open-angle glaucoma subjects on topical hypotensive medication. *Clin Ophthalmol* 9:2313–2320. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S96695>
17. Sarkisian SR Jr, Grover DS, Gallardo M, Brubaker JW, Giamporcaro JE, Hornbeak DM, Katz LJ, Navratil T, iStent infinite® Study Group (2022) Effectiveness and safety of iStent infinite trabecular micro-bypass for uncontrolled glaucoma. *J Glaucoma* 32(1):9–18. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002141>
18. Pahlitzsch M, Davids AM, Winterhalter S, Zorn M, Reitemeyer E, Klamann MKJ, Torun N, Bertermann E, Maier AK (2021) Selective laser trabeculoplasty versus MIGS: forgotten art or first-step procedure in selected patients with open-angle glaucoma. *Ophthalmol Ther* 10(3):509–524. <https://doi.org/10.1007/s40123-021-00347-0>
19. Radcliffe N (2022) The case for standalone micro-invasive glaucoma surgery: rethinking the role of surgery in the glaucoma treatment paradigm. *Curr Opin Ophthalmol*. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000927>
20. Siedlecki A, Kinariwala B, Sieminski S (2022) Uveitis-glaucoma-hyphema syndrome following iStent implantation. *Case Rep Ophthalmol* 13(1):82–88. <https://doi.org/10.1159/000519660>
21. Rowson AC, Hogarty DT, Maher D, Liu L (2022) Minimally invasive glaucoma surgery: safety of individual devices. *J Clin Med* 11(22):6833. <https://doi.org/10.3390/jcm11226833>
22. Ahmed IK, De Francesco T, Rhee D, McCabe C, Flowers B, Gazzard G, Samuelson TW, Singh K, HORIZON Investigators (2022) Long-term outcomes from the HORIZON randomized trial for a Schlemm's canal microstent in combination cataract and glaucoma surgery. *Ophthalmology* 129(7):742–751. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2022.02.021>
23. Ahmed IK, Fea A, Au L, Ang RE, Harasymowicz P, Jampel HD, Samuelson TW, Chang DF, Rhee DJ, COMPARE Investigators (2020) A prospective randomized trial comparing hydrus and iStent microinvasive glaucoma surgery im-

- plants for standalone treatment of open-angle glaucoma: the COMPARE study. *Ophthalmology* 127(11):52–61. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2019.04.034>
24. Holmes DP, Clement CI, Nguyen V, Healey PR, Lim R, White A, Yuen J, Lawlor M (2022) Comparative study of 2-year outcomes for hydrus or iStent inject microinvasive glaucoma surgery implants with cataract surgery. *Clin Exp Ophthalmol* 50(3):303–311. <https://doi.org/10.1111/ceo.14048>
  25. Laroche D, Martin A, Brown A, Sakkari S, Ng C (2022) Mispositioned hydrus microstents: a case series imaged with NIDEK GS-1 gonioscope. *J Ophthalmol*. <https://doi.org/10.1155/2022/1605195>
  26. Lewis RA, von Wolff K, Tetz M, Koerber N, Kearney JR, Shingleton BJ, Samuelson TW (2011) Canaloplasty: three-year results of circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm canal using a microcatheter to treat open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg* 37(4):682–690. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.10.055>
  27. Francis BA, Akil H, Bert BB (2017) Ab interno Schlemm's canal surgery. *Dev Ophthalmol* 59:127–146. <https://doi.org/10.1159/000458492>
  28. Xin C, Wang H, Wang N (2020) Minimally invasive glaucoma surgery: what do we know? Where should we go? *Transl Vis Sci Technol* 9(5):15. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.5.15>
  29. Gallardo MJ (2021) 24-month efficacy of viscodilation of Schlemm's canal and the distal outflow system with itrack ab-interno canaloplasty for the treatment of primary open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol* 15:1591–1599. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S272506>
  30. Hughes T, Traynor M (2020) Clinical results of ab interno canaloplasty in patients with open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol* 14:3641–3650. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S275087>
  31. Gallardo MJ, Supnet RA, Ahmed IIK (2018) Circumferential viscodilation of Schlemm's canal for open-angle glaucoma: ab-interno vs ab-externo canaloplasty with tensioning suture. *Clin Ophthalmol* 12:2493–2498. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S178962>
  32. Koerber N, Ondrejka S (2022) Four-year efficacy and safety of itrack ab-interno canaloplasty as a standalone procedure and combined with cataract surgery in open-angle glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd*. <https://doi.org/10.1055/a-1737-4149>
  33. Grover DS, Smith O, Fellman RL, Godfrey DG, Gupta A, Montes de Oca I, Feuer WJ (2018) Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy: an ab interno circumferential trabeculotomy: 24 months follow-up. *J Glaucoma* 27(5):393–401. <https://doi.org/10.1097/JG.0000000000000956>
  34. Klabe K, Kaymak H (2021) Standalone trabeculotomy and viscodilation of Schlemm's canal and collector channels in open-angle glaucoma using the OMNI surgical system: 24-month outcomes. *Clin Ophthalmol* 15:3121–3129. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S325394>
  35. Hirsch L, Cotliar J, Vold S, Selvadurai D, Campbell A, Ferreira G, Aminlari A, Cho A, Heersink S, Hochman M, Gallardo M, Williamson B, Phan R, Nelson C, Dickerson JE Jr. (2021) Canaloplasty and trabeculotomy ab interno with the OMNI system combined with cataract surgery in open-angle glaucoma: 12-month outcomes from the ROMEO study. *J Cataract Refract Surg* 47(7):907–915. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000552>
  36. Vold SD, Williamson BK, Hirsch L, Aminlari AE, Cho AS, Nelson C, Dickerson JE Jr. (2021) Canaloplasty and trabeculotomy with the OMNI system in pseudophakic patients with open-angle glaucoma: the ROMEO study. *Ophthalmol Glaucoma* 4(2):173–181. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2020.10.001>
  37. Gallardo MJ, Pyfer MF, Vold SD, Sarkisian SR Jr, Campbell A, Singh IP, Flowers B, Dhamdhare K, GEMINI study group (2022) Canaloplasty and trabeculotomy combined with phacoemulsification for glaucoma: 12-month results of the GEMINI study. *Clin Ophthalmol* 16:1225–1234. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S362932>
  38. Beres H, Scharioth GB (2022) Canaloplasty in the spotlight: surgical alternatives and future perspectives. *Rom J Ophthalmol* 66(3):225–232. <https://doi.org/10.22336/rjo.2022.44>
  39. Al Yousef Y, Strzalkowska A, Hillenkamp J, Rosentreter A, Loewen NA (2020) Comparison of a second-generation trabecular bypass (iStent inject) to ab interno trabeculectomy (trabectome) by exact matching. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 258(12):2775–2780. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04933-z>
  40. Kurji K, Rudnisky CJ, Rayat JS, Arora S, Sandhu S, Damji KF, Dorey MW (2017) Phaco-trabectome versus phaco-iStent in patients with open-angle glaucoma. *Can J Ophthalmol* 52(1):99–106. <https://doi.org/10.1016/j.cjco.2016.06.018>
  41. Kono Y, Kasahara M, Hirasawa K, Tsujisawa T, Kanayama S, Matsumura K, Morita T, Shoji N (2020) Long-term clinical results of trabectome surgery in patients with open-angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 258(11):2467–2476. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04897-0>
  42. Pahlitzsch M, Davids AM, Zorn M, Torun N, Winterhalter S, Maier AB, Klamann MK, Bertelmann E (2018) Three-year results of ab interno trabeculectomy (trabectome): Berlin study group. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 256(3):611–619. <https://doi.org/10.1007/s00417-017-3882-8>
  43. Berk TA, An JA, Ahmed IIK (2017) Inadvertent cyclo-dialysis cleft and hypotony following ab-interno trabeculotomy using the trabectome device requiring surgical repair. *J Glaucoma* 26(8):742–746. <https://doi.org/10.1097/JG.0000000000000719>
  44. Okeke CO, Miller-Ellis E, Rojas M, Trabectome Study Group (2017) Trabectome success factors. *Medicine* 96(24):e7061. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007061>
  45. Albuainain A, AlHabash A (2022) Three-year clinical outcomes of phacoemulsification combined with excisional goniotomy using the kahook dual blade for cataract and open-angle glaucoma in Saudi Arabia. *Saudi J Ophthalmol* 36(2):213–217. [https://doi.org/10.4103/sjopt.sjopt\\_182\\_21](https://doi.org/10.4103/sjopt.sjopt_182_21)
  46. Dorairaj S, Radcliffe NM, Grover DS, Brubaker JW, Williamson BK (2022) A review of excisional goniotomy performed with the Kahook dual blade for glaucoma management. *J Curr Glaucoma Pract* 16(1):59–64. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10078-1352>
  47. Pratte EL, Cho J, Landreneau JR, Hirabayashi MT, An JA (2022) Predictive factors of outcomes in Kahook dual blade excisional goniotomy combined with phacoemulsification. *J Curr Glaucoma Pract* 16(1):47–52. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10078-1313>
  48. ElMallah MK, Seibold LK, Kahook MY, Williamson BK, Singh IP, Dorairaj SK, KDB Goniotomy Study Group (2019) 12-month retrospective comparison of Kahook dual blade excisional goniotomy with iStent trabecular bypass device implantation in glaucomatous eyes at the time of cataract surgery. *Adv Ther* 36(9):2515–2527. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01025-1>
  49. Lee D, King J, Thomsen S, Hirabayashi M, An J (2019) Comparison of surgical outcomes between excisional goniotomy using the Kahook dual blade and iStent trabecular micro-bypass stent in combination with phacoemulsification. *Clin Ophthalmol* 13:2097–2102. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S224109>
  50. van Oterendorp C, Bahlmann D (2019) Kahook Dual Blade : Ein Instrument zur mikroinvisiblen Trabekelwerkschirurgie. *Ophthalmologie* 116(6):580–584. <https://doi.org/10.1007/s00347-018-0844-4>
  51. Hirabayashi MT, McDaniel LM, An JA (2019) Reversal of toric intraocular lens-corrected corneal astigmatism after Kahook dual blade goniotomy. *J Curr Glaucoma Pract* 13(1):42–44. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10078-1243>
  52. Pajic B, Pajic-Eggspuehler B, Haefliger I (2011) New minimally invasive, deep sclerotomy ab interno surgical procedure for glaucoma, six years of follow-up. *J Glaucoma* 20(2):109–114. <https://doi.org/10.1097/JG.0b013e3181d8d3f1>
  53. Abushanab MMI, El-Shiati A, El-Beltagi T, Hassan Salah S (2019) The efficacy and safety of high-frequency deep sclerotomy in treatment of chronic open-angle glaucoma patients. *Biomed Res Int*. <https://doi.org/10.1155/2019/1850141>
  54. Kontic M, Todorovic D, Zecevic R, Sarenac Vulovic T (2022) High-frequency deep sclerotomy as adjunctive therapy in open angle glaucoma patients. *Ophthalmic Res*. <https://doi.org/10.1159/000527677>
  55. Berlin MS, Rajacich G, Duffy M, Grundfest W, Goldenberg T (1987) Excimer laser photoablation in glaucoma filtering surgery. *Am J Ophthalmol* 103(5):713–714. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)74339-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)74339-9)
  56. Durr GM, Töteberg-Harms M, Lewis R, Fea A, Marolo P, Ahmed IIK (2020) Current review of excimer laser trabeculostomy. *Eye Vis (Lond)* 7:24. <https://doi.org/10.1186/s40662-020-00190-7>
  57. Berlin MS, Shakibkhou J, Tilakaratna N, Giers U, Groth SL (2022) Eight-year follow-up of excimer laser trabeculostomy alone and combined with phacoemulsification in patients with open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg* 48(7):838–843. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000856>
  58. Böke H (1990) Zur Geschichte der Zyklodialyse. In *memoriam Leopold Heine 1870–1940*. *Klin Monbl Augenheilkd* 197(4):340–348. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1046291>
  59. Erb C (2018) Suprachoroidale minimalinvasive Glaukomchirurgie : Verfahren und klinische Ergebnisse. *Ophthalmologie* 115(5):370–380. <https://doi.org/10.1007/s00347-017-0594-8>
  60. Jordan JF, Engels BF, Dinslage S, Dietlein TS, Ayertey HD, Roters S, Esser P, Konen W, Krieglstein GK (2006) A novel approach to suprachoroidal drainage for the surgical treatment of intractable glaucoma. *J Glaucoma* 15(3):200–205. <https://doi.org/10.1097/01.jg.0000212207.79899.85>
  61. Grisanti S, Grisanti S, Garcia-Feijoo J, Dick HB, Munoz-Negrete FJ, Arrondo E, Ianchulev T (2018) Supraciliary microstent implantation for open-angle glaucoma: multicentre 3-year outcomes. *BMJ Open Ophthalmol* 3(1):e183. <https://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000183>
  62. Vold SA II, Craven ER, Mattox C, Stamper R, Packer M, Brown RH, Ianchulev T, CyPass Study Group (2016) Two-year COMPASS trial results: supraciliary microstenting with phacoemulsification in

- patients with open-angle glaucoma and cataracts. *Ophthalmology* 123(10):2103–2112. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.06.032>
63. Sandhu A, Jayaram H, Hu K, Bunce C, Gazzard G (2021) Ab interno supraciliary microstent surgery for open-angle glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev* 5(5):CD12802. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012802.pub2>
64. Reiss G, Clifford B, Vold S, He J, Hamilton C, Dickerson J, Lane S (2019) Safety and effectiveness of CyPass supraciliary micro-stent in primary open-angle glaucoma: 5-year results from the COMPASS XT study. *Am J Ophthalmol* 208:219–225. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.07.015>
65. Ocular Surgery News Editorial Board (2014) Suprachoroidal shunt with topical travoprost reduces IOP. <https://www.healio.com/ophthalmology/glaucoma/news/online/%7be8e242db-da97-4545-aa04-1a63657530a3%7d/study-suprachoroidal-shunt-with-topical-travoprost-reduces-iop>. Zugegriffen: 05.01.2023
66. Denis P, Hirneiß C, Durr GM, Reddy KP, Kamarthi A, Calvo E, Hussain Z, Ahmed IK (2022) Two-year outcomes of the MINiject drainage system for uncontrolled glaucoma from the STAR-I first-in-human trial. *Br J Ophthalmol* 106(1):65–70. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316888>
67. García Feijó J, Denis P, Hirneiß C, Aptel F, Peruchó González L, Hussain Z, Lorenz K, Pfeiffer N, STAR-II Investigators (2020) A European study of the performance and safety of MINiject in patients with medically uncontrolled open-angle glaucoma (STAR-II). *J Glaucoma* 29(10):864–871. <https://doi.org/10.1097/JG.0000000000001632>
68. Fellman RL, Mattox C, Singh K, Flowers B, Francis BA, Robin AL, Butler MR, Shah MM, Giaconi JA, Sheybani A, Song BJ, Stein JD (2020) American glaucoma society position paper: microinvasive glaucoma surgery. *Ophthalmol Glaucoma* 3(1):1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2019.12.003>
69. Luo J, Tan G, Thong KX, Kafetzis KN, Vallabh N, Sheridan CM, Sato Y, Harashima H, Tagalakis AD, Yu-Wai-Man C (2022) Non-viral gene therapy in trabecular meshwork cells to prevent fibrosis in minimally invasive glaucoma surgery. *Pharmaceutics* 14(11):2472. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14112472>
70. Hübner L, Schlötzer-Schrehardt U, Weller JM, Hoberger B, Mardin CY, Lämmer R (2022) Ultrastructural analysis of explanted CyPass microstents and correlation with clinical findings. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 260(8):2663–2673. <https://doi.org/10.1007/s00417-022-05620-x>
71. Myers JS, Masood I, Hornbeak DM, Belda JI, Auffarth G, Jünemann A, Giamporcaro JE, Martínez-de-la-Casa JM, Ahmed IK, Voskanyan L, Katz LJ (2018) Prospective evaluation of two iStent<sup>®</sup> trabecular stents, one iStent<sup>®</sup> supra<sup>®</sup> suprachoroidal stent, and postoperative prostaglandin in refractory glaucoma: 4-year outcomes. *Adv Ther* 35(3):395–407. <https://doi.org/10.1007/s12325-018-0666-4>

## Cochrane Reviews

72. Otárola F, Virgili G, Shah A, Hu K, Bunce C, Gazzard G (2020) Ab interno trabecular bypass surgery with Schlemm's canal microstent (hydrus) for open angle glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev* 3(3):CD12740. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012740.pub2>
73. Hu K, Shah A, Virgili G, Bunce C, Gazzard G (2021) Ab interno trabecular bypass surgery with

## Minimally invasive glaucoma surgery—Comparison of angle based procedures

Surgical procedures are playing an increasing role in the care of patients with glaucoma. Within the last decade, new surgical procedures have been established, which are summarized under the term minimally invasive glaucoma surgery (MIGS). A wide variety of different procedures are aimed at the structures in the angle of the anterior chamber, such as the trabecular meshwork and Schlemm's canal, to improve the physiological outflow or to improve the alternative uveoscleral outflow. The implementation of the treatment goal differs in the individual procedures, as does the maximum pressure reduction that can be achieved. Compared to trabeculectomy with the use of cytosstatic agents, the achievable pressure reduction is usually significantly lower. In contrast, the significantly lower intraoperative and postoperative complication rates are emphasized as an advantage of these procedures. With increasing clinical experience and the growth of sufficient data on these new surgical procedures, a well-founded classification in the treatment algorithm of glaucoma surgery becomes easier; nevertheless, due to the small differences with respect to efficacy and safety profile, the final decision for an individual procedure often remains dependent on the surgeon's personal preferences.

### Keywords

Trabeculectomy · Trabecular stents · Ab interno canaloplasty · Ab interno trabeculotomy · Suprachoroidal drainage

- trabectome for open-angle glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev* 2(2):CD11693. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011693.pub3>
74. Le JT, Bicket AK, Wang L, Li T (2019) Ab interno trabecular bypass surgery with iStent for open-angle glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev* 3(3):CD12743. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012743.pub2>
75. Sandhu A, Jayaram H, Hu K, Bunce C, Gazzard G (2021) Ab interno supraciliary microstent surgery for open-angle glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev* 5(5):CD12802. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012802.pub2>
76. Bicket AK, Le JT, Azuara-Blanco A, Gazzard G, Wormald R, Bunce C, Hu K, Jayaram H, King A, Otárola F, Nikita E, Shah A, Stead R, Tóth M, Li T (2021) Minimally invasive glaucoma surgical techniques for open-angle glaucoma: an overview of Cochrane systematic reviews and network meta-analysis. *JAMA Ophthalmol* 139(9):983–989. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.2351>