

**Evaluation der Therapieeffizienz horizontaler Dreimuskel-  
chirurgie zur Behandlung großwinkliger Esotropie**

**Inauguraldissertation**

**zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin**

**des Fachbereichs Medizin**

**der Justus-Liebig-Universität Gießen**

**vorgelegt von Röhm, Julia Sophia**

**aus Görlitz**

**Gießen 2022**

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Michael Gräf

2. Gutachter: Prof. Dr. Rainer Schulz

Tag der Disputation: 01.12.2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1. Anatomie der äußeren Augenmuskeln.....	1
1.2. Strabismus.....	2
1.2.1. Richtung der Deviation .....	2
1.2.2. Manifest – Latent.....	3
1.2.3. Konkomitant – Inkomitant .....	3
1.2.4. Prävalenz .....	3
1.3. Formen der Esodeviation .....	5
1.3.1. Frühkindliches Schielsyndrom (FKSS).....	5
1.3.2. Erworbenes Innenschielen.....	5
1.3.3. Normosensorisches Spätschielen .....	6
1.3.4. Mikrostrabismus .....	6
1.4. Binokularsehen .....	7
1.5. Folgen von Schielen.....	7
1.5.1. Schielamblyopie .....	7
1.5.2. Psychosoziale Faktoren .....	9
1.6. Behandlung von großwinkligen Esodeviationen .....	10
1.7. Fragestellung.....	12
<b>2. Methoden</b> .....	<b>14</b>
2.1. Diagnostik.....	14
2.1.1. Bestimmung der Sehschärfe (Visusbestimmung) .....	14
2.1.2. Refraktometrie.....	14
2.1.3. Bestimmung der Bulbuslänge .....	15
2.1.4. Einseitiger/simultaner und alternierender Abdecktest.....	15
2.1.5. Messung des manifesten und des maximalen Schielwinkels .....	16
2.2. Prüfung des Binokularsehens.....	17

2.2.1. Lichtschweiftest nach Bagolini .....	17
2.2.2. Titmus-Stereotests .....	17
2.2.3. Lang-Stereotest.....	18
2.3. Operatives Vorgehen .....	18
2.3.1. Rücklagerung M. rectus medialis.....	18
2.3.2. Faltung /Resektion M. rectus lateralis.....	20
2.3.3. Operationsdosierung.....	21
2.4. Behandlungsfälle .....	21
2.5. Ein- und Ausschlusskriterien.....	22
2.6. Statistische Auswertung.....	23
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>24</b>
3.1. Demografische Daten .....	24
3.2. Dreimuskelchirurgie .....	26
3.2.1. Operation .....	26
3.2.2. Kontrollzeitpunkt.....	26
3.2.3. Schielwinkel .....	26
3.2.4. Schielwinkelreduktion.....	28
3.2.5. Operationsergebnis.....	30
3.2.6. Binokularsehen.....	30
3.3. Beidseitige Medialisrücklagerung .....	31
3.3.1. Operation .....	31
3.3.2. Kontrollzeitpunkt.....	31
3.3.3. Schielwinkel .....	32
3.3.4. Schielwinkelreduktion.....	33
3.3.5. Operationsergebnis.....	35
3.3.6. Binokularsehen.....	35
3.4. Kombinierte Konvergenzoperation.....	36

3.4.1. Operation .....	36
3.4.2. Kontrollzeitpunkt.....	36
3.4.3. Schielwinkel .....	37
3.4.4. Schielwinkelreduktion.....	38
3.4.5. Operationsergebnis .....	40
3.4.6. Binokularsehen .....	41
3.5. Vergleich der Operationsverfahren.....	41
3.6. Explorative Datenanalyse .....	45
3.6.1. Einfluss der Bulbuslänge auf die Dosiswirkungsbeziehung .....	45
3.6.2. Einfluss des Operateurs auf die Dosiswirkungsbeziehung.....	46
3.6.3. Einfluss des Alters auf die Dosiswirkungsbeziehung .....	48
3.6.4. Schnitt-Naht-Zeiten .....	49
3.6.5. Horizontale Inkomitanz im Seitblick.....	50
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>55</b>
4.1. Evaluation der Dreimuskelchirurgie .....	55
4.2. Evaluation der beidseitigen Medialisrücklagerung.....	61
4.3. Evaluation der kombinierten Konvergenzoperation .....	66
4.4. Vergleich der Operationsverfahren.....	70
4.5. Studienlimitationen.....	72
4.6. Ausblick.....	73
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>74</b>
5.1. Hintergrund.....	74
5.2. Patienten und Methoden .....	74
5.3. Ergebnisse .....	74
5.4. Schlussfolgerung.....	75
<b>6. Abstract.....</b>	<b>76</b>
6.1. Background.....	76

6.2. Patients and methods .....	76
6.3. Results.....	76
6.4. Conclusion .....	77
<b>7. Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>78</b>
<b>8. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>79</b>
<b>9. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>83</b>
<b>10. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>85</b>
<b>11. Anhang.....</b>	<b>97</b>
<b>12. Publikationsverzeichnis.....</b>	<b>104</b>
<b>13. Ehrenwörtliche Erklärung.....</b>	<b>105</b>
<b>14. Danksagung .....</b>	<b>106</b>

# 1. Einleitung

## 1.1. Anatomie der äußeren Augenmuskeln

Die Kenntnis der Anatomie der extraokulären Augenmuskeln ist entscheidend für das Verständnis von Strabismus-Operationen (Apt 1980). Die sechs äußeren Augenmuskeln ermöglichen es, das Auge äußerst präzise in drei Hauptachsen zu bewegen. Die extraokulären Augenmuskeln lassen sich in vier gerade Augenmuskeln, *M. rectus inferior*, *M. rectus lateralis*, *M. rectus superior*, *M. rectus medialis* sowie zwei schräge Augenmuskeln, *M. obliquus superior* und *M. obliquus inferior* einteilen. Alle äußeren Augenmuskeln, außer dem *M. obliquus inferior*, entspringen dem *Anulus tendineus communis* in der Orbitaspitze. Die geraden Augenmuskeln ziehen durch die Tenon-Kapsel, welche den *Bulbus oculi* in der Orbita sichert, in das *Spatium episclerale* (Kaufmann und Steffen 2020a). Die geraden Augenmuskeln setzen an der Sklera an, jedoch mit unterschiedlichen Abständen zum *Limbus corneae*, an welchem das Bindehautepithel in das Corneaepithel übergeht. Der Abstand der Insertion der einzelnen Augenmuskeln zum Limbus nimmt vom *M. rectus medialis* über den *M. rectus inferior* und *lateralis* zur temporalen Insertionskante des *M. rectus superior* zu (Apt 1980; Goldstein 1969). Dieses Phänomen wird als Tillaux-Spirale bezeichnet. Die Innervation des *M. rectus inferior*, *M. obliquus inferior*, *M. rectus medialis* erfolgt über den unteren Ast des *N. oculomotorius*, die Innervation des *M. rectus superior* über den oberen Ast des *N. oculomotorius*. Der *M. rectus lateralis* wird durch den *N. abducens* innerviert, der *M. obliquus superior* durch den *N. trochlearis*. Mit den 4 *Mm. recti* verlaufen die vorderen Ziliararterien, diese sind neben den *Aa. ciliares posteriores longae* für die Versorgung des vorderen Augenabschnittes von besonderer Bedeutung. Bei Operationen kann es durch die Abtrennung der Sehne zur Beeinträchtigung der Blutversorgung kommen (Kaufmann und Steffen 2020a).

Die *Mm. recti medialis* und *lateralis* haben als primäre Funktion die Horizontalbewegung. Sie haben keine sekundäre oder tertiäre Funktion, während die geraden Vertikalmotoren, neben ihrer Hauptwirkung, abhängig von der Position des Auges, sekundär rotatorisch und tertiär adduktorisch wirken. Die schrägen Augenmuskeln wirken primär rotatorisch, sekundär vertikal und tertiär abduktorisch (Kaufmann und Steffen 2020a; Krewson 1950).

## 1.2. Strabismus

Strabismus („Schielen“) hat seinen Wortursprung im Griechischen und leitet sich von „*strabós* - verdreht“ ab. Der Augenarzt und Historiker Alfred Hirschberg verfolgte die Beschreibung des Schielens bis zu den antiken Griechen zurück. Im *Corpus Hippocraticum* wird das Schielen als „Verdrehen der Augen“ beschrieben. In den Papyri der Ägypter fand Hirschberg überlieferte Rezepte aus Schildkrötenhirn, welche „das Umdrehleiden in den Augen“ kurieren sollten (Hirschberg 1890: 44). Der Strabismus ist auch physiologisch eine Form des „Verdrehens“. Ein Auge weicht von der Sollblickrichtung ab. Die Gesichtslinien, die Geraden durch die Foveola des Auges und das fixierte Objekt bzw. den fixierten Punkt, beider Augen treffen sich nicht im betrachteten Objekt. Ein Auge ist nicht auf das Fixationsobjekt ausgerichtet (Cüppers 1966; Travers 1938). Es existieren verschiedene Kriterien, nach welchen die Formen des Schielens klassifiziert werden können. Diese Einteilungen helfen, die jeweilige Schielform einem bestimmten Krankheitsbild zuzuordnen. Es wird zum Beispiel unterschieden zwischen dem Zeitpunkt des Auftretens, der Konstanz des Schielwinkels, der Richtung der Fehlstellung oder dem Vorhandensein pathologischer Bewegungsmuster (Kaufmann 2020). Es ist schwierig, eine klare Klassifikation für die unterschiedlichen Schielformen und Syndrome zu finden, da diese häufig ineinander übergreifen bzw. Mischformen vorliegen können.

### 1.2.1. Richtung der Deviation

Eine Abweichung des Auges auf seiner vertikalen Achse kann nach medial oder nach lateral erfolgen. Bei einer Esodeviation, einem Innenschielen, ist das Auge nach medial von seiner Sollblickrichtung abgewichen. Bei einer Exodeviation, einem Außenschielen, weicht das Auge nach lateral von der Sollblickrichtung ab. Eine Abweichung in der horizontalen Achse kann nach unten oder oben erfolgen und wird demgemäß als Hypo- bzw. Hyperdeviation bezeichnet (Kaufmann 2020). Bei einer rotatorischen Fehlstellung handelt es sich um eine Zyklodeviation. Es wird zwischen einer Verrollung des oberen Augenpols in der vertikalen Achse zur Nase (Inzyklodeviation) und einer Verrollung nach außen (Exzyklodeviation) unterschieden (Kaufmann 2020).

### **1.2.2. Manifest – Latent**

Ein latentes Schielen wird als Heterophorie bezeichnet. Es ist kein Schielwinkel zu beobachten, solange ungestört beide Augen fixieren. Wird ein Auge abgedeckt, die Fusion somit unterbrochen, begibt sich das abgedeckte Auge in seine Ruheposition. Diese wird als „fusionsfreie Ruhelage“ bezeichnet, im Fall einer Heterophorie weicht die „fusionsfreie Ruhelage“ von der Orthostellung ab. Dies ist auch spontan bei Ermüdung des Auges möglich und kann Diplopie sowie asthenopische Beschwerden verursachen (Kommerell und Kromeier 2002). Beim manifesten Schielen, der Heterotropie, ist der Schielwinkel auch zu beobachten, wenn beide Augen geöffnet sind (Kaufmann 2020).

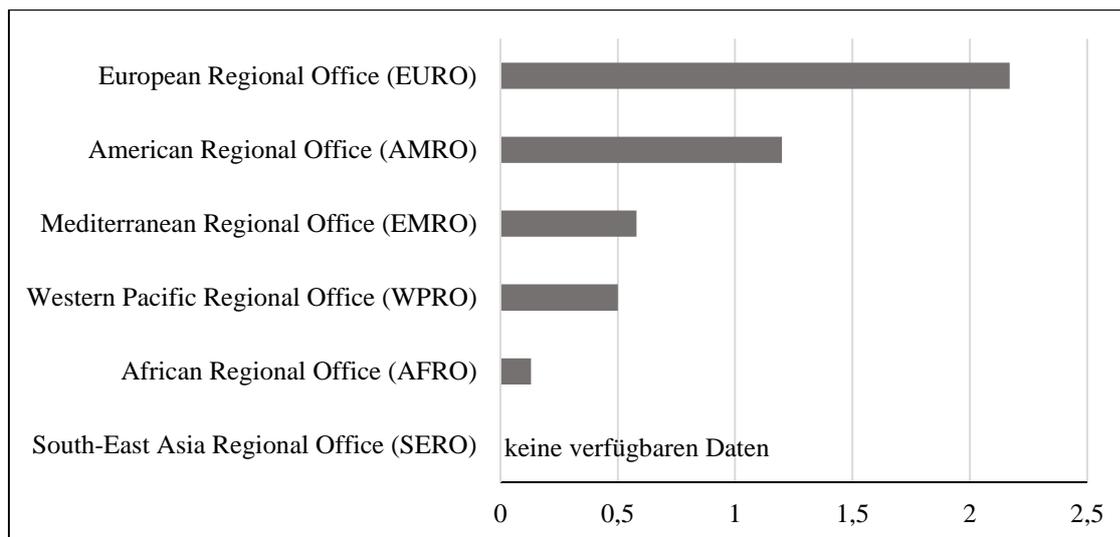
### **1.2.3. Konkomitant – Inkomitant**

Bei der primären Diagnostik und für die operative Versorgung muss man zwischen Strabismus concomitans (Begleitschielen) und Strabismus incomitans (Nicht-Begleitschielen) unterscheiden. Der Strabismus incomitans kann verursacht sein durch Paresen der Augenmuskeln, Muskeleinklemmungen, Muskelentzündungen, Hämatome, Fehlinnervation, orbitale Frakturen und Ähnliches mehr (Lueder 2015). Beim Strabismus incomitans ist die Bulbusmobilität meist vermindert, weswegen der Schielwinkel in den unterschiedlichen Blickrichtungen variiert. Beim Strabismus concomitans bleibt der Schielwinkel in den unterschiedlichen Blickrichtungen konstant (Cüppers 1972). Die Beweglichkeit der Augen ist meist nicht eingeschränkt (Kaufmann 2020).

### **1.2.4. Prävalenz**

Die Häufigkeit von Schielen und die Prävalenz von Eso- und Exodeviationen unterliegt weltweit starken Schwankungen. Hashemi et al. haben in einer Metaanalyse die weltweiten Verteilungsunterschiede untersucht. Abbildung 1 zeigt die Prävalenz von Esotropie für die 6 WHO Regionen. Sie betrug im europäischen Raum für Exotropie 1,5% und für Esotropie 2,2% (Hashemi et al. 2019). Im Westpazifikraum hingegen überwog die Exotropie mit einer Prävalenz von 1,5%, während die Esotropie lediglich eine Prävalenz von 0,6% aufwies (Hashemi et al. 2019).

Die Prävalenzverteilung zeigt, dass insbesondere in Europa möglichst die Prävention und gegebenenfalls die Behandlung der Esotropie eine entscheidende Rolle in der Versorgung von Schielenden einnehmen muss.



**Abbildung 1** Weltweite Prävalenz (in % ) von Esotropie nach Hashemi et al. 2019

Die KiGGS-Studie ist eine repräsentative Langezeitdatenerhebung des Robert-Koch-Instituts zur deutschlandweiten Gesundheit von Kindern und Jugendlichen. Es handelt sich um eine Basiserhebung mittels Fragebogen, deshalb sind viele der Daten schwach differenziert. Im Rahmen der Studie wurde auch die Strabismus-Prävalenz für die Altersgruppe von 0–17 Jahren in Deutschland ermittelt. Diese betrug 4,1 %, wobei die Prävalenz bei Mädchen 4,4 % und bei Jungen 3,7 % betrug (Schuster et al. 2017). Unbehandeltes Schielen bei Schulkindern kann zu psychosozialen Problemen, reduziertem Binokularsehen, asthenopischen Beschwerden mit Konzentrations-schwierigkeiten und feinmotorischen Problem führen, auch geht es häufig mit Amblyopie einher (Kommerell und Rüssmann 2020). Die Amblyopiebehandlung sollte so früh wie möglich erfolgen. Die Behandlung des Schielens an sich und deren Zeitpunkt hängt von der Schielform ab. Im Rahmen von Einschulungsuntersuchungen erfolgten Datenerhebungen zur Häufigkeit von Schielerkrankungen für diese Alterskohorte. Die Auswertung aus dem Jahr 2005 in Schleswig-Holstein ergab eine Prävalenz von 1,8% für Schielen (Horch und Atzpodien 2007). Eine ähnliche Erhebung in Sachsen-Anhalt für Einzuschulende aus den Jahren 2008-2012 ergab ebenfalls eine Prävalenz von 1,8% (Wahl 2013).

### **1.3. Formen der Esodeviation**

#### **1.3.1. Frühkindliches Schielsyndrom (FKSS)**

Das frühkindliche Schielsyndrom tritt innerhalb der ersten 6 Lebensmonate auf. Eine akkommodative oder neurologische Ursache muss zur Diagnosestellung ausgeschlossen sein. Das Leitsymptom ist das großwinklige Innenschielen, weitere häufige Befunde sind dissoziierte Vertikaldeviationen (DVD), Alphabetsymptome, eine Schiefhaltung des Kopfes (häufig Drehung in Richtung des führenden Auges) und ein Nystagmus latens (Lang 1967).

Das Ziel der Therapie des frühkindlichen Schielsyndroms ist eine Sicherstellung der motorisch möglichst symmetrischen Funktion. Zunächst steht die Amblyopieprophylaxe bzw. -therapie mittels Refraktionskorrektur und Okklusion im Vordergrund. Der Zeitpunkt für die chirurgische Intervention ist nicht einheitlich. Besonders im amerikanischen Raum wird ein sehr früher Operationszeitpunkt angestrebt, teilweise innerhalb des 1. Lebensjahres (Wright und Strube 2015). Hierbei sind Re-Operationen wegen erneuter Esodeviation, konsekutiver Exodeviation und später hinzukommenden Obliquusstörungen häufig (Simonsz und Kolling 2011). Für einen relativ frühen Operationszeitpunkt spricht die vermutlich höhere Chance, eine grobe Stereopsie zu erreichen (Simonsz et al. 2005). Im deutschsprachigen Raum liegt der Konsens bei einer Operation zwischen dem 2. und 5. Lebensjahr (Estermann und Mojon 2009; Kaufmann und Steffen 2020b).

#### **1.3.2. Erworbenes Innenschielen**

Bei Kleinkindern entspricht die motorische Ruhelage eher einer Esostellung, bei Jugendlichen und Erwachsenen hingegen eher einer Exostellung. Eine Esotropie gilt somit als typisch für das Kindesalter (Lang 2003). Im Senium sind Esodeviationen jedoch ebenfalls nicht selten, diese werden häufig durch eine zunehmende Bindegewebsschwäche verursacht (Chaudhuri und Demer 2013). Der Zeitpunkt des Schielbeginns ist entscheidend für die Prognose und Therapie, da gerade in den ersten Lebensjahren die visuelle Entwicklung empfindlich gestört werden kann. Beim rein akkommodativen Strabismus convergens resultiert der Schielwinkel aus der unkorrigierten Weitsichtigkeit mit einer erhöhten Akkommodation zum Ausgleich (Friemel 1968). Im Rahmen der Naheinstellungstrias verstärkt sich bei Akkommodation der Esotonus. Bei Korrektur der

Hyperopie mit einer Brille verschwindet der Schielwinkel komplett (Friemel 1968). Es ist bei jeder Form der Esotropie entscheidend, die Fehlsichtigkeit zu korrigieren. Würde dies unterlassen und primär operiert, erhöhte sich das Risiko für eine daraus folgende Exotropie und Winkelinstabilität. Die Pathogenese des teilakkommodativen Strabismus convergens entspricht der des rein akkommodativen Strabismus convergens, jedoch verbleibt nach der Korrektur der Hyperopie ein Schielwinkel. Lang bezeichnet den bestehenden Restwinkel als „Basisabweichung“, welche nur mit Prismen oder einer Operation therapiert werden kann (Lang 2003). In der englischen Literatur ist der Begriff akkommodativer Esotropie weiter gefasst. Auch eine nur vermutlich durch Hyperopie ausgelöste Esotropie, die unter Brillenkorrektur nicht verschwindet, wird als „accommodative esotropia“ von der „infantile esotropia“ unterschieden (Lembo et al. 2019). Dies ist im Hinblick auf die erreichbaren Binokularfunktionen, die im Fall von „infantile esotropia“ sehr limitiert sind, und damit auch für die Beurteilung von Operationsergebnissen sinnvoll.

### **1.3.3. Normosensorisches Spätschielen**

Das normosensorische Spätschielen setzt ein, wenn das visuelle System in seinen wesentlichen Grundzügen ausgeformt ist. Dieser Zeitpunkt befindet sich im Alter von 2-4 Jahren. Der Beginn ist plötzlich und von einer akuten Diplopie begleitet (Lang 1974). Bei dieser Erkrankung ist eine zügige Operation dringend notwendig, da sonst der Verlust des normalen Binokularsehens droht. Die empfohlene Obergrenze bis zur Operation beträgt 6 Monate. Da vor Beginn des akuten Schielens in den meisten Fällen Binokularsehen und normale retinale Korrespondenz bestanden, ist durch die Operation eine komplette Beseitigung des Schielens möglich (Lang 1974).

### **1.3.4. Mikrostrabismus**

Für den Mikrostrabismus ist per Definition ein kleiner Schielwinkel bis  $5^\circ$  charakteristisch (Lang 1972). Im Bereich dieses manifesten Schielwinkels besteht ein peripheres Fusionsvermögen mit anormaler retinaler Korrespondenz, weswegen der Bagolini-Test positiv und grobes Stereosehen vorhanden sein kann. Random-Dot-Stereopsis, welche eine normale Netzhautkorrespondenz erfordert, ist meist nicht vorhanden. Infolge des kleinen Winkels wird der Mikrostrabismus oft erst spät erkannt und führt daher verhältnismäßig häufig zu Amblyopie, da zur Vermeidung von Konfusion und Diplopie zentrale und parazentrale Gesichtsfeldanteile des schielenden Auges

zerebral supprimiert werden (Lang 1973). Wenn zudem eine latente Schielkomponente besteht, kann der Mikrostrabismus dekompensieren. Die bei Mikrostrabismus zumeist bestehende Amblyopie wird als Kriterium zur Abgrenzung von der dekompensierten Esophorie (latentes Innenschielen) herangezogen (Gräf und Lorenz 2015). Ein konsekutiver Mikrostrabismus ist das bestmögliche Ergebnis der operativen Therapie einer infantilen großwinkligen Esotropie (Lang 1973).

## **1.4. Binokularsehen**

Die binokulare Tiefenwahrnehmung (Stereopsis) wird durch die Überlappung der Gesichtsfelder beider Augen ermöglicht. Die geringe Ungleichheit der zwei Netzhautindrücke durch den horizontalen Augenabstand wird im Gehirn zu einem dreidimensionalen Bild kombiniert. Stereopsis benötigt die gleichzeitige Fixation mit den *Foveolae* beider Augen, um die Kongruenz der Netzhautkoordinaten im Sinne normaler retinaler Korrespondenz im visuellen Kortex des Gehirns zu gewährleisten. Ein normales Binokularsehen ist entscheidend für viele Aktivitäten des Alltags, es ermöglicht uns Tiefenwahrnehmung und das Erkennen von Disparitäten. Die Katze nutzt diese Form der Tiefenwahrnehmung, um die Entfernung für den Sprung zur Beute abzuschätzen. Der Mensch nutzt diese Fähigkeit für feinmotorisches und räumliches Arbeiten. Binokularsehen ermöglicht dem Chirurgen, feine Oberflächenstrukturen zu erkennen, dem Schneider, die Nadel durch das Ohr zu fädeln oder dem Handballer, den Ball präzise zu fangen (Kohli et al. 2017; Schaeffel 2017).

## **1.5. Folgen von Schielen**

### **1.5.1. Schielamblyopie**

Bei der Geburt ist das visuelle System des Menschen unreif (Lang 1997). Im ersten Lebensjahr wächst das Auge durchschnittlich von 16mm auf 21mm in die Länge, dieser Prozess wird als Emmetropisierung bezeichnet (Brémond-Gignac et al. 2011; Graumann 2006). Insbesondere die zentralen Netzhautanteile der Makula sind beim Neugeborenen noch nicht vollständig differenziert. Die Zapfen des Neugeborenen enthalten weniger Sehpigment und sind weniger dicht gepackt. Es folgt eine steile Entwicklungskurve der Netzhaut während der ersten 6 Lebensmonate (Graumann 2006). Der visuelle Kortex

wird in der pränatalen Phase durch Wellen von retinaler Ganglienzellaktivität stimuliert und die kortikale Reifung angeregt. Nach der Geburt werden Licht und visuelle Stimuli benötigt, um die Ausreifung fortzusetzen. Diese Phase der plastischen neuronalen Entwicklung reicht bis ins 3. Lebensjahr (Graven 2004).

Tritt in dieser vulnerableren Phase ein Schielen auf, kann dies zur funktionellen Unterdrückung (Suppression) des Seheindrucks des schielenden Auges führen (Sattler 1927). Beim Schielen verschiebt sich die Abbildung auf der Netzhaut um den Schielwinkel. Das fixierte Bild wird nicht länger auf die *Fovea* des schielenden Auges projiziert, sondern mehr oder weniger weit davon entfernt, also peripher auf die Netzhaut. Die fovealen Eindrücke des schielenden und des nicht schielenden Auges stimmen nicht überein. Da eine Fusion der Netzhautindrücke nicht mehr möglich ist, erfolgt auf kortikaler Ebene die Suppression, sonst würde es zu Diplopie und Konfusion kommen (Gräf und Haase 2020). Die Hemmungsintensität ist während der neuronalen Entwicklung besonders ausgeprägt, weshalb die Ausblendung des Seheindrucks eines Auges besonders einschneidend für die Ausbildung der Sehschärfe ist (Sengpiel und Blakemore 1996). Amblyopie entsteht dann, wenn permanent dasselbe Auge zur Fixation bevorzugt wird. Das Risiko einer Amblyopie bei streng einseitigem Schielen ist sehr hoch. Durch Okklusion des führenden Auges in einem altersentsprechenden Rhythmus wird therapeutisch versucht einen Fixationswechsel zu erreichen (Lang 1972).

Ein kortikaler Mechanismus, um das Doppelbild zu harmonisieren, ist, zwischen zwei eigentlich nicht korrespondierenden Netzhautpunkten eine anomale Korrespondenz zu schaffen. Die periphere Fusion erfolgt zwischen zwei bezüglich ihrer Position zur *Foveola* unterschiedlichen Netzhautarealen. Es entsteht ein exzentrisches Korrespondenzzentrum, wodurch beschränkte stereoskopische Leistungen erbracht werden können (Matteucci 1960; Pajic 1972).

Charakteristisch für die Amblyopie ist das Phänomen des „Crowding“, welches 1972 erstmals wissenschaftlich beschrieben wurde. Amblyope Kinder konnten auch nach der Okklusionstherapie einzelne Buchstaben deutlich besser erkennen als Buchstabenreihen (Hilton und Stanley 1972). Der Störeinfluss benachbarter Konturen führt zu einer geringeren Sehschärfe für dicht nebeneinanderliegende Zeichen (Flögel und Langmann 1998).

### 1.5.2. Psychosoziale Faktoren

Die Schieloperation von Erwachsenen ohne Diplopie wurde lange als kosmetischer Eingriff angesehen. Betrachtet man jedoch die Lebensqualität manifest Schielender, zeigt sich ein signifikanter Einfluss auf die sozialen Beziehungen, die Selbstwahrnehmung und den Lebensstil (Jackson et al. 2006).

Schielende können soziale Vermeidungsstrategien entwickeln: Auf den Boden schauen, direkten Blicken ausweichen oder sich die Haare über die Augen wachsen lassen. Eine Schweizer Studie untersuchte den Einfluss von Schielen in der Beziehungssuche mit Hilfe standardisierter Interviews durch verschiedene Partnervermittlungen. Die Agenturen schätzten die Vermittlungssituation zu 92,5% als deutlich erschwert ein (Mojon-Azzi et al. 2008). Die Vermittler schätzten die Wirkung der Schielenden auf die anderen Suchenden als signifikant weniger „attraktiv, erotisch, interessant, sportlich, intelligent und erfolgreich“ (Mojon-Azzi et al. 2008) ein. Mit dem „Appearance Scale 20 (AS20)“ wurde 2009 ein spezifischer Fragebogen für die Lebensqualität von Erwachsenen mit manifestem Strabismus entwickelt, um diese möglichst frei von anderen Einflussfaktoren abbilden zu können (Hatt et al. 2009). Sah et al. evaluierten die Lebensqualität von 132 jungen Erwachsenen in Indien mit Hilfe des AS20, wobei sie signifikant schlechtere Werte für den psychosozialen und funktionellen Bereich im Vergleich zu einer durchschnittlichen Bevölkerungskohorte erhoben (Sah et al. 2017). Eine Studie am „Liverpool University Hospital“ konnte mit Hilfe des AS20 zeigen, dass die Lebensqualität sich nach einer Strabismus-Operation signifikant verbesserte (Glasman et al. 2013). Es wurde eine stärkere Verbesserung der AS20 Wertung bei einer größeren Änderung des Winkels festgestellt (Glasman et al. 2013).

Gesundheitsökonomische Betrachtungen zeigten eine hohe Kosteneffizienz von Strabismus-Operationen für Erwachsene. Eine japanische Studie ermittelte einen durchschnittlichen Gewinn von 0,99 QALYs (quality-adjusted life year) nach der Strabismus-Operation, was einem Kostenverhältnis von 1.303 \$/QALY entspricht (Fujiike et al. 2011). Beauchamp et al. kamen für die USA auf ein Kostenverhältnis von 1.632 \$/QALY, wegen der dort deutlich höheren Behandlungskosten und einen Zugewinn von 2,61 QALYs nach der Strabismus-Operation. In den USA werden < \$50.000/QALY als sehr kosteneffizient betrachtet (Beauchamp et al. 2006). Im Vergleich hierzu weist eine Total-Endoprothese des Knies in den USA ein Kostenverhältnis von 10.325\$/QALY

auf (Carr et al. 2012). Eine finnische Studie berichtete durchschnittliche Kostenverhältnisse von 13.995 €/QALY für eine Total-Endoprothese des Knies und 6.710€/QALY für eine Total-Endoprothese der Hüfte (Räsänen et al. 2007).

Unter dem Slogan „Wir müssen den psychosozialen Aspekten des Schielens Beachtung schenken“ (Marsh 2015) wurde auf dem „Cambridge Ophthalmological Symposium“ für Aufmerksamkeit geworben. Die Korrektur stigmatisierender großer Schielwinkel ist die Wiederherstellung einer normalen Physiognomie. Sie schafft die Möglichkeit auf normales oder eben subnormales Binokularesehen sowie einer Vergrößerung des binokularen Gesichtsfelds.

### **1.6. Behandlung von großwinkligen Esodeviationen**

Eine Augenmuskeloperation kann mit dem Ziel der Verkleinerung des Schielwinkels und bzw. oder des Erreichens der Fähigkeit räumlichen Sehens durchgeführt werden. Es gilt, verschiedene Faktoren bei der Indikationsstellung abzuwägen. Die Normalisierung der Augenstellung ist ein entscheidender Punkt, wenn die Schielenden durch große Winkel unter einer deutlich sichtbaren Beeinträchtigung leiden. Das Erreichen von normalem Binokularesehen, auch von eingeschränktem, kann zu deutlichen Erleichterungen im Alltag führen. Für die Behandlung des großwinkligen Innenschielens kommen unterschiedliche Strategien zum Einsatz.

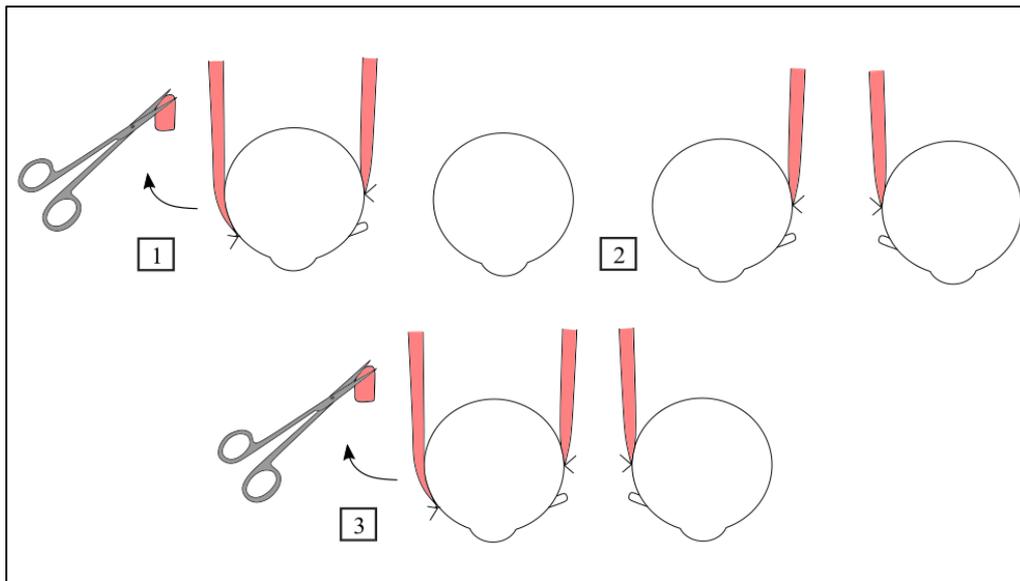
Die kombinierte Konvergenzoperation ist in Deutschland das Standardverfahren zur Reduktion großer Schielwinkel, wobei häufig in zwei Operationsschritten vorgegangen wird. Im Rahmen der kombinierten Konvergenzoperation erfolgt die Rücklagerung des *M. rectus medialis* und die Verkürzung des *M. rectus lateralis* am selben Auge (Abbildung 2.1). Durch die Operation an beiden Muskeln eines Auges soll das Tonusverhältnis von Antagonisten und Agonisten annähernd aufrecht erhalten werden (Cüppers 1972). Da die Spannung beider Muskeln verändert wird, ändert sich im Idealfall die Wirkung des Drehmoments auf den Bulbus kaum, sondern lediglich dessen Positionierung (Kaufmann und Steffen 2020b). Bei sehr großen Operationsstrecken kann es jedoch zu Inkomitanz zwischen beiden Augen kommen (Lee und Dyer 1983).

Die beidseitige Medialisrücklagerung (Abbildung 2.2) ist eines der ältesten Operationsverfahren. Johann Friedrich Dieffenbach führte 1839 als erste offiziell

dokumentierte Strabismusoperation eine komplette Durchtrennung des *M. rectus medialis* durch (Leffler et al. 2017; Tour und Asbury 1958). Bereits im Jahr 1931 hatte Jameson erste Empfehlungen zur Durchführung und Dosierung der beidseitigen Medialisrücklagerung gegeben (Jameson 1931). Die beidseitige Medialisrücklagerung setzte sich im angloamerikanischen Raum weitestgehend als primäres Operationsverfahren durch. Bei sehr großen Dosierungen kann sie Adduktionsdefizite verursachen.

Die beidseitige Medialisrücklagerung mit zusätzlicher Fadenoperation ist ein in Europa verbreitetes Verfahren, welches insbesondere bei nicht akkommodativem Konvergenzexzess bevorzugt verwendet wird, aber auch bei der Behandlung großen und sehr großen Innenschielens gute Resultate zeigt (Gräf et al. 2012).

Die Dreimuskelchirurgie entspricht einer kombinierten Konvergenzoperation an einem Auge und einer Rücklagerung des *M. rectus medialis* des anderen Auges (Abbildung 2.3). Bereits 1967 empfahl Taylor die Drei- oder Viermuskelchirurgie für sehr große Schielwinkel (Taylor 1967). Erste Studien zur Therapieeffizienz wurden von Lee und Dyer sowie Scott et al. in den 1980er Jahren veröffentlicht. Sie beobachteten, dass die gängigen Verfahren von kombinierter Konvergenzoperation und beidseitiger Medialisrücklagerung häufig nicht das gewünschte Operationsergebnis erzielten (Lee und Dyer 1983; Scott et al. 1986). Durch die Verteilung auf mehrere Muskeln sollte ein besseres Ergebnis mit weniger Inkomitanz und Adduktionsdefizit erreicht werden (Lee und Dyer 1983).



**Abbildung 2** Schemazeichnung **1** Rücklagerung *M. rectus medialis* und Resektion *M. rectus lateralis*, **2** beidseitige Rücklagerung des *M. rectus medialis*, **3** beidseitige Rücklagerung des *M. rectus medialis* und einseitige Resektion *M. rectus lateralis*

### 1.7. Fragestellung

Die Empfehlungen zur operativen Therapie des großwinkligen Innenschielens sind nicht einheitlich und immer noch Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion (Thomas, et al., 2010). Kombinierte Augenmuskeloperationen machen den entscheidenden Anteil an Augenmuskeleingriffen aus, bei der Wahl der Operationsmethode sollte das bestmögliche Ergebnis erzielt werden. Eine Re-Operation geht mit einer erhöhten Belastung, einem erhöhten Risiko durch eine weitere Narkose sowie erhöhten Gesundheitskosten einher. In der Gießener Augenklinik ist in den letzten zwei Dekaden ein Wandel der primären Vorgehensweise zu erkennen. Es wurde beobachtet, dass das Standardverfahren der einseitigen kombinierten Konvergenzoperation bei sehr großem Winkel oft nicht genügt, um mit einer einzigen Operation zum Ziel zu gelangen. Der Einsatz alternativer Verfahren erfolgte mit dem Ziel, die Korrektur in einem Operationsschritt zu erreichen. Zu diesen zählten die beidseitige Medialisrücklagerung, die beidseitige Medialisrücklagerung mit Fadenoperation (BMRF), in Einzelfällen die gleichzeitige Operation an allen vier Horizontalmotoren und, seit 2016, die Dreimuskelchirurgie. Zur Dreimuskelchirurgie lagen bis zur Veröffentlichung von Gräf, Röhm und Wassill noch keine Studienergebnisse aus Deutschland vor (Gräf et al. 2021, 2022). Bei den wenigen

international veröffentlichten Ergebnissen waren die behandelten Gruppen klein und die Resultate nicht einheitlich. Im Rahmen dieser Arbeit soll die Dreimuskelchirurgie zur Behandlung großwinkligen Innenschielens evaluiert und mit der kombinierten Konvergenzoperation und der beidseitigen Medialisrücklagerung bei derselben Indikation verglichen werden.

## **2. Methoden**

### **2.1. Diagnostik**

#### **2.1.1. Bestimmung der Sehschärfe (Visusbestimmung)**

Die Prüfung der Sehschärfe erfolgte abhängig von Alter und Fähigkeiten. Für Kinder vor dem Schuleintritt wurden in der Regel Lea-Symbole in 3m Prüfdistanz verwendet. Hierbei mussten die Kinder einen Kreis, ein Viereck, einen Apfel und ein Haus erkennen und benennen können. Die Symbole sind so gewählt, dass zwischen ihnen eine vergleichbare Erkennbarkeit besteht (Hyvärinen et al. 1980). Die Eltern sollten die Kinder vor der Untersuchung mit den Zeichen vertraut machen, um bei der Untersuchung die bestmögliche Mitarbeit zu erzielen. Für ältere Kinder und Erwachsene wurden Landoltringe in einer Prüfdistanz von 5m genutzt. Die Prüfung erfolgte Zeile für Zeile. Das Erfolgskriterium war das richtige Benennen von mindestens 3 von 5 gezeigten Optotypen. Die Untersuchung entsprach der DIN 58220 / EN ISO 8596. Es wurde die Forced-Choice-Strategie genutzt (Dietze 2018; Gräf 2004).

#### **2.1.2. Refraktometrie**

Die Refraktion ist das Maß für die optische Einstellung des Auges (Hruby 1974). Diese ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Brechkraft des Auges und der Bulbuslänge. Die Lichtbrechung erfolgt durch die Hornhaut und die Linse. Beim emmetropen Auge ist die Brechkraft nicht konstant, sondern abhängig von der Akkommodation der Linse (Hruby 1974). Liegt ein Missverhältnis von Brechkraft und Bulbuslänge vor, kommt es zu Refraktionsfehlern in Form von Kurzsichtigkeit (Myopie) oder Weitsichtigkeit (Hyperopie oder Hypermetropie). Eine nicht physiologische Hornhautkrümmung kann ebenfalls Refraktionsfehler (Astigmatismus) verursachen.

Die Refraktion des Auges kann objektiv und subjektiv bestimmt werden. Um den Einfluss der Akkommodation zu verhindern, welche bei Kindern und Jugendlichen stark ausgeprägt sein kann, erfolgten die Untersuchungen in Zykloplegie. Die objektive Refraktion wurde mittels Autorefraktometer (Nidek Autorefraktometer ARK-510A) bzw. Skiaskopie bestimmt. Bei Kleinkindern kommt den objektiven Verfahren ein hoher Stellenwert zu, da die Mitarbeitsfähigkeit bei der subjektiven Bestimmung begrenzt ist (Wübbolt et al. 2006). Die automatische Refraktometrie erfolgt nach dem Bildschärfe-

verfahren. Ein Infrarotgitter wird auf die Netzhaut projiziert, das reflektierte Licht wird von Sensoren registriert und die Refraktion berechnet (Hunold et al. 1988).

Bei der Skiaskopie (Schattenprobe) wird das vom Skiaskop erzeugte Lichtband auf den Augenhintergrund projiziert (Friedburg 2008). Der entstehende Lichtreflex und seine Bewegung im Verhältnis zum Skiaskop geben Auskunft über die Art des Refraktionsfehlers. Durch das Vorhalten von Skiaskopiergläsern können Refraktionsfehler neutralisiert werden. Die Refraktion wird am Flackerpunkt gemessen, bei diesem liegt der Fernpunkt in der Skiaskopierblende. Der Lichtreflex bewegt sich nicht mehr, sondern leuchtet nur noch auf sobald das Lichtband auf die Pupille trifft (Friedburg 2008). Der Vorteil der Skiaskopie ist, dass diese auch bei schlechter Kooperation zu sehr guten Ergebnissen führen kann. Die Qualität der Ergebnisse ist jedoch stark abhängig von Erfahrung und Kenntnis des Fachpersonals.

### **2.1.3. Bestimmung der Bulbuslänge**

Die Messung der axialen Bulbuslänge erfolgte mit dem Zeiss Meditec IOL-Master (Seriennummer 953686). Es wurde der Mittelwert aus mindestens 3 Messungen pro Auge bestimmt. Der IOL-Master bestimmt die Bulbuslänge mittels der partiellen Kohärenzinterferometrie. Das Gerät sendet einen infraroten Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 780nm aus. Durch die Auswertung der Zeitspanne, bis der vom Fundus reflektierte Strahl registriert wird, kann die Achsenlänge ermittelt werden (Kim et al. 2020; Lam et al. 2001).

### **2.1.4. Einseitiger/simultaner und alternierender Abdecktest**

Für den einseitigen simultanen Abdecktest wurde die zu untersuchende Person zunächst aufgefordert, eine Lichtquelle in einer Entfernung von 5m zu fixieren. Das wahrscheinlich nicht schielende Auge wurde mit einem Okkluder, unter anhaltender Fixation der Lichtquelle, abgedeckt (Haellmigk 1967). Bei manifestem Schielen ist am nicht abgedeckten Auge eine Einstellbewegung aus der Fehlstellung heraus zu erkennen. Das abgedeckte Auge weicht parallel dazu in eine Fehlstellung ab, die Fixation kann stets nur von einem Auge gehalten werden. Anschließend erfolgte die Untersuchung bei Fixation eines kleineren Objekts im Abstand von 0,3m (Rüssmann 2003). Für den alternierenden Abdecktest wurde durch abwechselndes Abdecken beider Augen eine zwischenzeitliche eventuelle Fusion oder Winkelveränderung verhindert. Der Okkluder

wurde ohne Unterbrechung nach mindestens 5 Sekunden zwischen den Augen gewechselt und jeweils die Einstellbewegung des freigegebenen Auges beurteilt (Haellmigk 1967). Ein vorher nicht sichtbares latentes Schielen (Heterophorie) kann im alternierenden Abdecktest entdeckt werden. Durch die Demaskierung einer latenten Komponente kann der maximale Winkel bei Heterotropie beobachtet werden, dieser entspricht am ehesten der fixationsfreien Lage (Gutzeit 2008; Rüssmann 2003, 2020).

#### **2.1.5. Messung des manifesten und des maximalen Schielwinkels**

Der simultane Prismenabdecktest ermittelt den manifesten Schielwinkel. Die Messung erfolgte mit Einzelprismen. Schielwinkel  $\leq 27^\circ$  können durch das Verdecken des nicht schielenden Auges und gleichzeitiges Vorhalten des Prismas vor das schielende Auge ermittelt werden. Das Prisma wird solange angepasst, bis keine Einstellbewegung mehr erfolgt. Der Schielwinkel wird anschließend dem entsprechenden Prisma abgelesen (Rüssmann 2020). In den handelsüblichen Prismensätzen entspricht das stärkste Prisma einer Ablenkung von  $27^\circ$ . Für die Messung größerer Schielwinkel wurde zusätzlich ein Prisma vor das fixierende Auge gegeben. Das fixierende Auge stand also nicht im Geradeausblick (Primärposition), sondern war leicht adduziert. Da die Messung in Grad erfolgte, konnte der Schielwinkel durch einfache Addition der beiden Prismenwerte ermittelt werden. Dies wäre bei Messprismen, die in Prismendioptrien kalibriert sind, nicht möglich. Die einfache Addition von Prismendioptrien hätte im Bereich großer Winkel erhebliche Messfehler zur Folge (Frank et al. 2020). Die Untersuchung erfolgte unter Brillenkorrektur der Fehlsichtigkeit, dabei ist zu beachten, dass das Brillenglas außerhalb seiner optischen Mitte eine prismatische Wirkung besitzt. Durch diese Wirkung ist bei Hyperopie der vom Prisma abgelesene Winkel niedriger und bei Myopie höher als der tatsächliche Schielwinkel. Dieser Effekt nimmt bei hohen Korrekturwerten und großen Schielwinkeln zu (Adelstein und Cüppers 1966; Guilino 1967). In der Augenklinik Gießen wird regelmäßig die prismatische Wirkung der Brillengläser ab einer Stärke von 3,0dpt bei der Schielwinkelbestimmung zum Korrekturwert des Messprismas addiert.

Der alternierende Prismenabdecktest wird zur Messung des maximalen Schielwinkels genutzt. Für die Bestimmung von Schielwinkeln  $>27^\circ$  wurde auch hier mit einem Prisma vor jedem Auge gearbeitet. Mit dem Okkluder wurden im Wechsel beide Augen abgedeckt und jeweils das frei werdende Auge auf Einstellbewegung untersucht. Die

Prismenkombination, bei der keine Einstellbewegung zu beobachten war, entsprach dem maximalen Schielwinkel.

## **2.2. Prüfung des Binokularsehens**

Postoperativ und zur abschließenden Kontrolluntersuchung wurde das Binokularsehen geprüft. Präoperativ waren aufgrund der großen Schielwinkel keine stereoptischen Funktionen zu erwarten (Von Noorden und Campos 2002). Das erreichte Testniveau wurde in 5 Klassen unterteilt: Suppression bzw. Exklusion (0), Simultansehen im Bagolini-Test (1), positiver Titmus-Fliege-Test (2), Titmus Ringe/Tiere (3) und Stereosehen im Lang-1-Test mit Random-Dot-Stereogrammen (4).

### **2.2.1. Lichtschweiftest nach Bagolini**

Der Lichtschweiftest nach Bagolini prüft die niedrigste Stufe des Binokularsehens, das Simultansehen. Zur Untersuchung wurde ein Vorhalter genutzt, in dem eine feine Parallelstreifung eingearbeitet ist. Die Streifen des rechten Glases sind auf  $45^\circ$  ausgerichtet, die des linken Glases auf  $135^\circ$  (Bagolini 1967). Beim Blick durch den Vorhalter auf eine punktförmige Lichtquelle erscheint vor jedem Auge ein Schweif. Die Lichtschweife beider Augen stehen im  $90^\circ$ -Winkel aufeinander. Normalerweise treffen sich die Strahlen in der Lichtquelle, der Test ist positiv. Ist ein Lichtschweif unterbrochen oder wird nicht wahrgenommen, wird der Seheindruck des zugehörigen Auges zentral gehemmt, der Test ist negativ. Es wurde in einer Entfernung von 5m und 0,3m zur Lichtquelle untersucht (Bagolini 1967; Rüssmann 2020). Neben der verbalen Beschreibung bestand die Möglichkeit, das Gesehene mit einem Stift oder in der Luft mit dem Finger aufzuzeichnen.

### **2.2.2. Titmus-Stereotests**

Die Titmus-Stereotests bestehen aus einem polarisierenden Material mit querdysparaten Abbildungen. Die Gläser der zum Test gehörenden Polarisationsbrille enthalten Polarisatoren, die jeweils um  $90^\circ$  gegeneinander versetzt sind. Durch dieses Prinzip wird die Abbildung von beiden Augen getrennt wahrgenommen und ein Tiefeneindruck entsteht (Von Noorden und Campos 2002). Bei vorhandenem Stereosehen erscheint die Abbildung dreidimensional. Der Titmus-Fliege-Test entspricht einer groben Stereopsie von 3600 Bogensekunden (Fricke und Siderov 1997). Die Kinder wurden aufgefordert, nach den Flügeln der Fliege zu greifen, wobei typischerweise ein Greifen in die Luft zu

beobachten ist. Bei fehlendem Stereosehen berührt das Kind die Testplatte. Der Titmus-Testsatz enthält zudem 3 Reihen von je 5 kleineren Tierabbildungen entsprechend 400, 200 und 100 Bogensekunden und 9 Sets von je 4 Ringen von 800 bis 40 Bogensekunden (Von Noorden und Campos 2002). Die entgegenkommende Abbildung musste gezeigt oder benannt werden. Für die Klassifizierung wurde nicht nach Bogensekunden abgestuft.

### **2.2.3. Lang-Stereotest**

Der Lang-Stereotest nutzt zur Testung des Stereosehens die Prinzipien die Random-Dots nach Julesz und das Zylinderrasterverfahren nach Hess (Julesz 1962; Lang 1983). Die auf der Testkarte verteilten Punkte werden durch die davorliegenden Zylinder so unterteilt, dass sie entweder nur vom rechten oder vom linken Auge wahrgenommen werden. Es entsteht ein räumlicher Eindruck. Der Lang-Stereotest I zeigt drei für Kinder gut erkennbare Objekte, eine Katze, einen Stern und ein Auto. Während der Untersuchung wurde die Testkarte in einem Abstand von 40cm parallel zum Gesicht präsentiert. Bei richtiger Benennung oder Zeigen der Stereogramme wurde der Test positiv gewertet (Lang und Lang 1987; Rüssmann 2003).

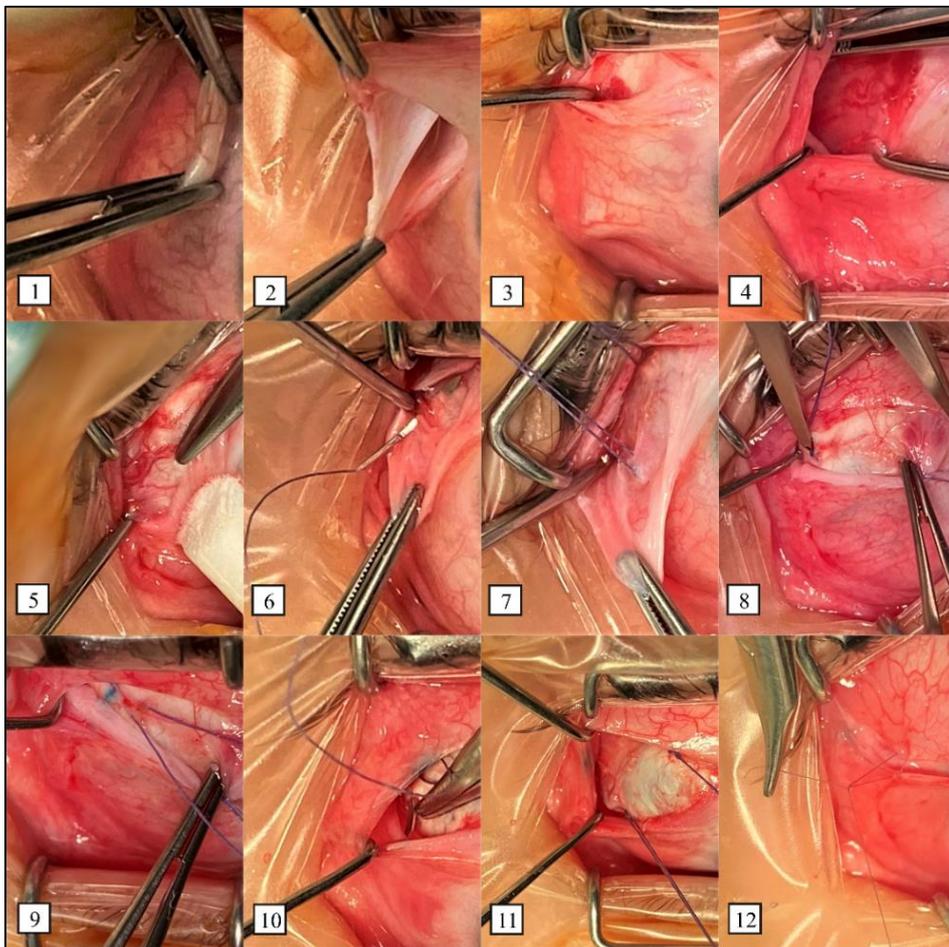
## **2.3. Operatives Vorgehen**

Die Eingriffe erfolgten in Vollnarkose. Die Operationsvorbereitung verlief für alle Operationen einheitlich. Der Bindehautsack wurde mit 5%iger Povidon-Iod-Lösung gespült, die nach 2 Minuten mit 0,9%iger NaCl-Lösung herausgewaschen wurde, anschließend erfolgte die Hautdesinfektion. Das zu operierende Auge wurde mit einer Inzisionsfolie abgedeckt, diese geöffnet und der Lidsperrer so eingelegt, dass sich keine Zilien im Operationsfeld befanden. Die Bindehautoberöffnung und der Zugang zum Muskel erfolgten über einen radiären Schnitt oder einen Limbusschnitt mit radiärer Erweiterung. Die Muskelverkürzungen erfolgten durch Resektion oder Faltung, die „Verlängerungen“ bzw. Entspannungen durch Rücklagerung. Für alle Muskelnähte wurde mit Spatulanadeln doppelt armiertes, resorbierbares Nahtmaterial Polyglactin 6-0 (Vicryl®) verwendet. Die Bindehaut wurde mit Polyglactin 9-0 (Vicryl®) verschlossen.

### **2.3.1. Rücklagerung *M. rectus medialis***

Der *M. rectus medialis* wurde von seiner ursprünglichen Insertion abgetrennt und um eine zuvor bestimmte Millimeterzahl (Dosierung) zurückversetzt. Hierfür wurde der Muskel

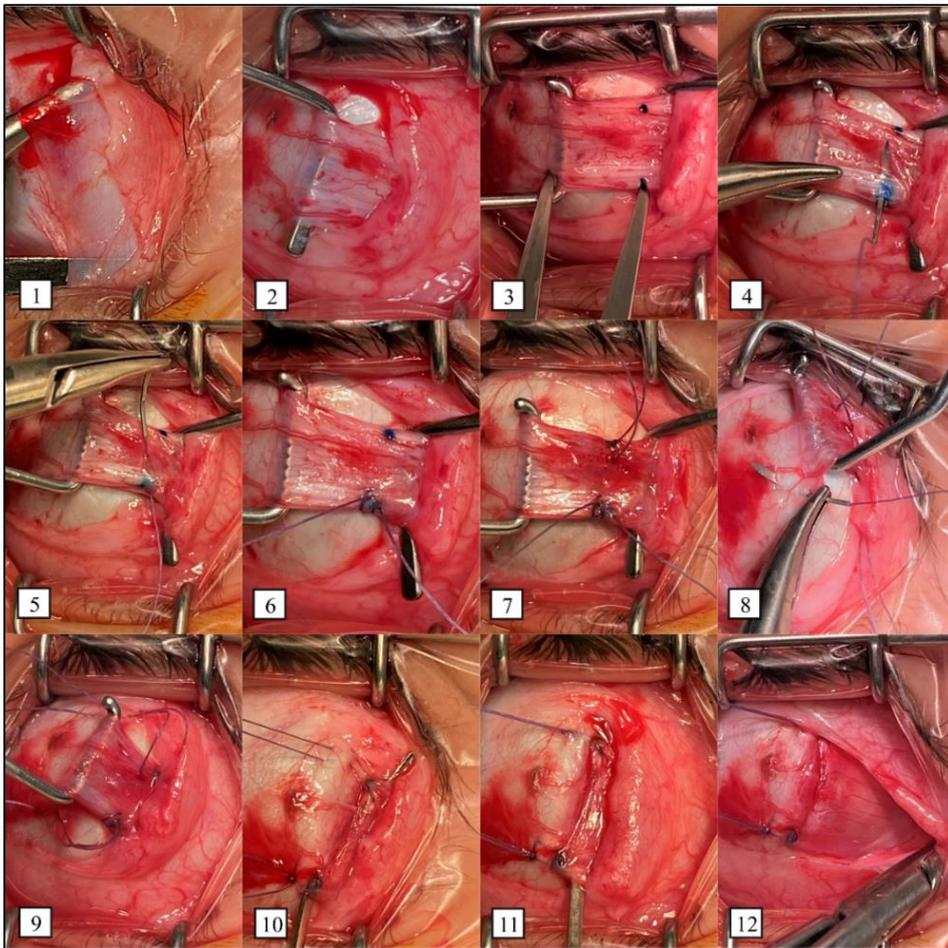
zuvor dargestellt und mit den Schielhaken angehoben (Abbildung 3.1-5). Die Muskelsehne wurde möglichst ansatznah, mittels zweier Fadenschlingen zu je 1/4 Sehnenbreite, aufgenommen (Abbildung 3.6-7). Mithilfe eines Zirkels wurde der horizontale Abstand zwischen Schlingen und Limbus gemessen (Abbildung 3.8). Anschließend wurde der Muskel ansatznah abgetrennt. Die gewünschte Rücklagerungsstrecke wurde zum ursprünglichen Limbusabstand addiert, die entsprechende Distanz in horizontaler Verlängerung markiert und der Muskel skleral reinseriert, wobei die ursprüngliche Ansatzbreite erhalten bleibt (Abbildung 3.9-11). Durch die Rücklagerung wird die Vordehnung des Muskels und damit seine Zugspannung reduziert. Die mittlere Gleichgewichtsstellung verschiebt sich nach lateral (Kaufmann und Steffen 2020b).



**Abbildung 3** Rücklagerung *M. rectus medialis*: **1** Präparation der Bindehaut, **2** Bindehautoffnung, **3** Unterfahren des Muskels mit dem Schielhaken, **4** Präparation des *M. rectus medialis* **5** Präparation aufliegender Blutgefäße, **6** Anschlingen des Muskels, **7** angeschlungener Muskel, **8** Markierung mit Methylenblau nach Desinsertion der Sehne, **9/10** sklerale Fixation, **11** rückgelagerter Muskel, **12** Bindehautverschluss

### 2.3.2. Faltung /Resektion *M. rectus lateralis*

Der *M. rectus lateralis* wurde an seiner Insertion aufgesucht und freipräpariert (Abbildung 4.1-2). Von der Insertion ausgehend, wurde die zuvor bestimmte Millimeterzahl (Dosierung) mittels Zirkel und Methylenblau markiert (Abbildung 4.3). Auf Höhe der Markierung wurde der Muskel mittels zweier Fadenschlingen (je 1/3 Sehnenbreite) aufgenommen (Abbildung 4.4-7). Für die Faltung wurde der Muskel mit der Hilfe von zwei Schielhaken über einem Irisspatel aufgespannt, so dass die Fäden am Muskelansatz skleral fixiert werden können (Abbildung 4.8-12). Im Fall einer Resektion würde der Muskel nach dem Anschlingen am Ansatz mit einem Scherchen abgetrennt. Die Refixation erfolgt bei der Resektion an der ursprünglichen Ansatzstelle (Kaufmann und Steffen 2020b; Küper 1964).



**Abbildung 4** Faltung *M. rectus lateralis*: **1** Präparation der Bindehaut, **2** Aufspannen der Muskelsehne über den Schielhaken, **3** Markierung der Verkürzungsstrecke mit Methylenblau, **4/5** Anschlingen des Muskels, **6** fertige dreifache Fadenschlinge, **7** zu jeweils 1/3 der Breite angeschlungener Muskel, **8** sklerale Durchstiche an den Rändern der Insertion,

**9** Anheben des Muskels zum Einführen des Irisspatels mit dem die Falte zwischen Sehne und Sklera ausgespannt wird, **10** Festziehen der Nähte, **11** Platzierung der Knoten an den Ausstichpunkten (die Verkürzungsstrecke entspricht der Distanz der Fadenschlingen zu den Einstichpunkten), **12** Entfernen des Irisspatels

### **2.3.3. Operationsdosierung**

Die kombinierte Konvergenzoperation wurde in der Regel am nicht führenden Auge durchgeführt. Die Dosierung der Rücklagerung reichte von 5mm bis 7mm, die der Verkürzung von 7mm bis 10mm.

Für die beidseitige Medialisrücklagerung wurden gängige Dosierungen von 6,5mm bis 8mm je Muskel in Abhängigkeit der Winkelgröße eingesetzt (Wright und Strube 2015).

Die Dreimuskelchirurgie wurde auf den maximalen präoperativen Fernschielwinkel (A) dosiert. Die Dosierung (D) wurde näherungsweise nach der Gleichung bestimmt:

$$D/\text{mm} = 0,5 A/^{\circ} \times \text{BL}/22\text{mm}$$

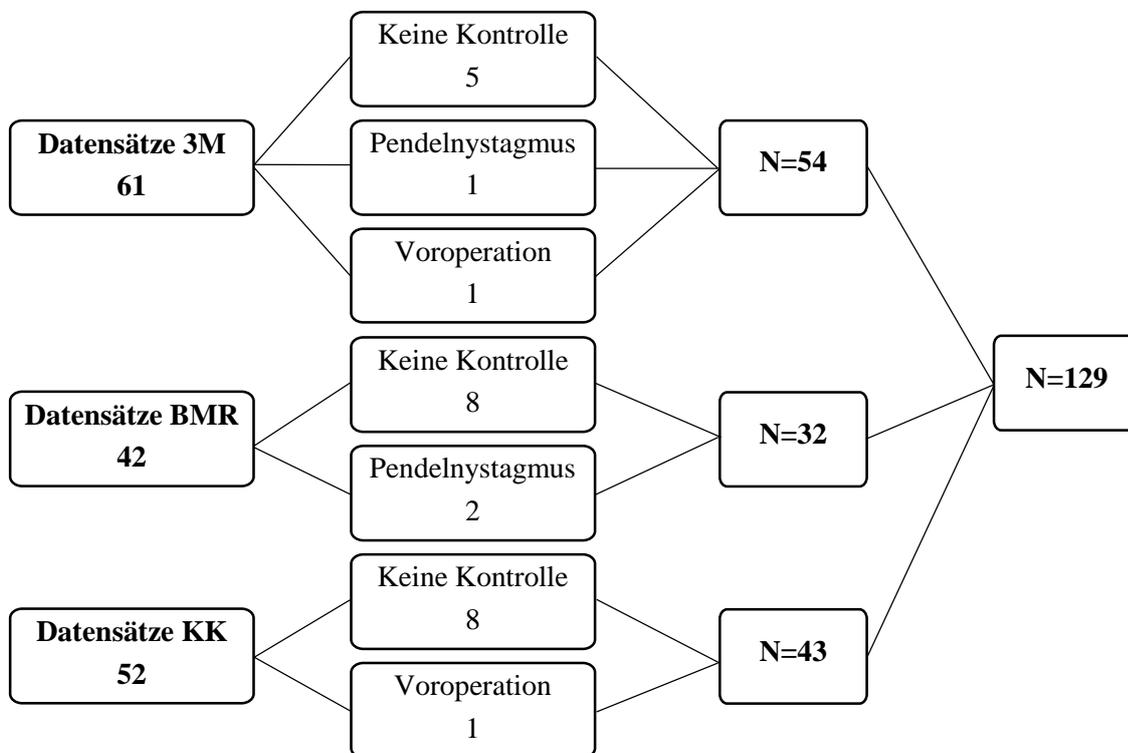
Die Bulbuslänge (BL) ging als Faktor BL/22mm in die Berechnung ein, hierdurch war die Dosis auf größere bzw. geringere Längen der Bulbi angepasst (Gräf et al. 2022).

### **2.4. Behandlungsfälle**

Unter Verwendung der lückenlos vorliegenden Operationspläne wurden durch die Autorin Listen von Dreimuskeloperationen, beidseitigen Medialisrücklagerungen und kombinierten Konvergenzoperationen entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien erstellt. Für die beidseitigen Medialisrücklagerungen und die Dreimuskelchirurgie wurden alle Behandlungsfälle seit 2013 betrachtet, welche in der Augenklinik Gießen die entsprechende Operation erhalten haben. Dies entsprach sämtlichen Fällen von Dreimuskelchirurgie. Kombinierte Konvergenzoperationen wurden bis in das Jahr 2015 kontinuierlich rückwärts identifiziert, um eine entsprechende Gruppengröße zu erhalten. Die Krankenakten wurden dazu von der Autorin aus dem Archiv herausgesucht und selbstständig ausgewertet.

## 2.5. Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden nur Behandlungsfälle in die Auswertung aufgenommen, die eine großwinklige, konkomitante Esotropie von  $\geq 27^\circ$  aufwiesen und nach einem der drei Verfahren (Dreimuskelchirurgie; beidseitige Medialisrücklagerung; kombinierte Konvergenzoperation) operiert wurden. Ein zusätzliches Höhenschielen in Form eines Strabismus surso- oder deorsoadductorius mit im gleichen Eingriff durchgeführter Obliquus-Chirurgie war zulässig. Ausschlusskriterien waren vorherige Augenmuskeloperation, paretisches Schielen, endokrine Orbitopathie, fehlende Untersuchung zum Kontrollzeitpunkt und Pendelnystagmus. Die ausgeschlossenen Fälle und der jeweilige Ausschlussgrund sind Abbildung 5 zu entnehmen.



**Abbildung 5** Auswertung der Datensätze nach Operationsverfahren: Dreimuskelchirurgie (3M), beidseitige Medialisrücklagerung (BMR) und kombinierte Konvergenzoperation (KK); links die Datensätze pro Operationsverfahren vor Selektion, zentral die ausgeschlossene Datensätze mit Begründung; rechts die ausgewerteten Fälle

## **2.6. Statistische Auswertung**

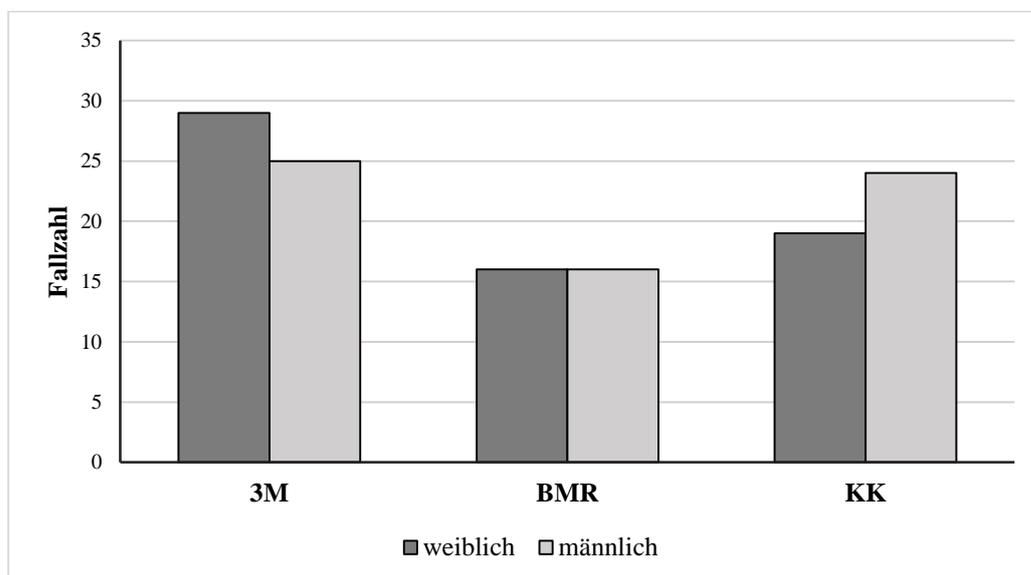
Die aus den Behandlungsakten und Operationsberichten extrahierten Daten wurden unter Verwendung des Statistikprogramms „Excel®“ von Microsoft und „IBM® SPSS Statistics 26“ von der Autorin ausgewertet. Zur weiteren Testung wurden die Rangkorrelationsanalyse nach Spearman, der Chi-Quadrat-Test, der Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben, der Kruskal-Wallis-Test sowie die zweifaktorielle Varianzanalyse für Ränge nach Friedman angewendet. Signifikanz wurde für  $p \leq 0,05$  angenommen. Beim multiplen Testen mittels Kruskal-Wallis-Test wurde die Bonferroni-Korrektur verwendet. Im Rahmen der explorativen Datenanalyse erfolgten die Testungen des Datensatzes, die nicht unmittelbar im Zusammenhang mit der Fragestellung stehen, als Ausblick auf gegebenenfalls weitere interessante Fragestellungen für einen neuen Datensatz.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Demografische Daten

Es wurden 129 Datensätze zur Auswertung herangezogen, welche die formalen Einschlusskriterien erfüllten. Die Datensätze werden nach Operationsverfahren gruppiert ausgewertet, Dreimuskelchirurgie (3M), beidseitige Medialisrücklagerung (BMR) und kombinierte Konvergenzoperation (KK).

Abbildung 6 zeigt die Geschlechtsverteilung für das jeweilige Operationsverfahren in absoluten Zahlen. Von den insgesamt 129 ausgewerteten Personen waren 64 weiblich (49,6%) und 65 männlich (50,4%).



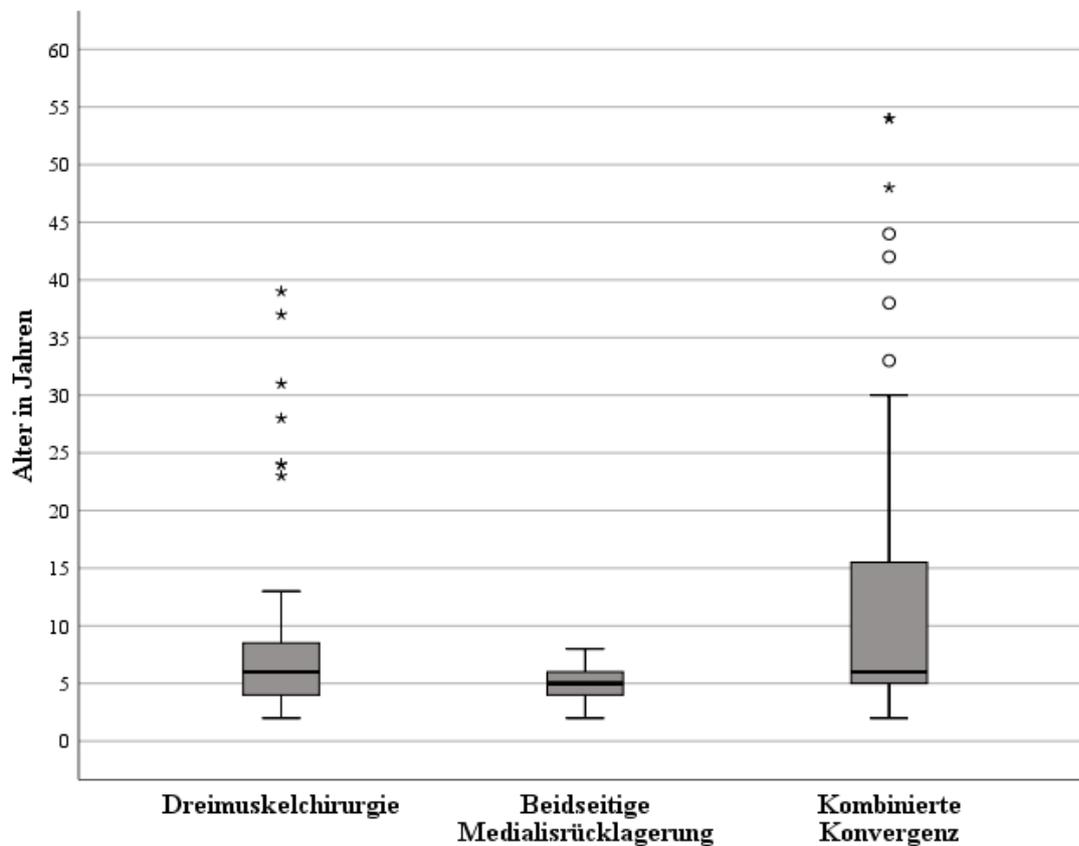
**Abbildung 6** Geschlechtsverteilung aufgeschlüsselt nach Operationsverfahren

Tabelle 1 und Abbildung 7 zeigen die Altersverteilung der Gesamtgruppe aufgeschlüsselt nach den drei Operationsverfahren. Die Boxen in der Abbildung umfassen das 2. Quartil, den Median und das 3. Quartil der Verteilung. Die Whisker/Antennen bilden zusammen mit den Ausreißern und extremen Ausreißern jeweils das 1. bzw. 4. Quartil ab. Ausreißer liegen mehr als den 1,5fachen Interquartilsabstand von der Box entfernt, extreme Ausreißer mehr als den 3fachen Interquartilsabstand. Die Gruppe BMR zeigt indicationsbedingt die geringste Streubreite, da dieses Verfahren für sehr große Schielwinkel nur bei Kindern eingesetzt wurde. In den Gruppen 3M und KK befinden

sich auch Erwachsene. Die Gruppe KK zeigte ebenfalls indikationsbedingt die größte Streubreite, da es sich um die traditionelle Zwei-Schrittstrategie handelte.

**Tabelle 1** Alter in Jahren zum Operationszeitpunkt

	Drei- muskelchirurgie	Beidseitige Medialisrücklagerung	Kombinierte Konvergenzoperation
N	54	32	43
Mittelwert	8,2	4,9	14,5
SD	7,6	1,5	15,1
Median	5,5	5,0	6,0
Minimum	2	2	2
Maximum	37	8	54



**Abbildung 7** Altersverteilung aufgeschlüsselt nach Operationsverfahren

° Ausreißer >1,5facher Interquartilsabstand \*Extreme Ausreißer >3facher Interquartilsabstand

### **3.2. Dreimuskelchirurgie**

Es erfolgten 54 Dreimuskeleingriffe, welche die formalen Einschlusskriterien erfüllten. Dreimuskelchirurgie wird seit dem Jahr 2016 regelmäßig an der Gießener Augenklinik angewandt. Die Eingriffe fanden in den Jahren 2016 (2), 2017 (5), 2018 (23), 2019 (20) und 2020 (4) statt und wurden von zwei Operateuren durchgeführt. Die Anzahl der Operationen 2020 war COVID-19-bedingt deutlich niedriger als in den Vorjahren. Einen zeitgleichen Eingriff an den schrägen Augenmuskeln erhielten 20 Personen. Die häufigste Diagnose war frühkindliche Esotropie (34), gefolgt von vermutlich akkommodativ erworbener Esotropie (9), dekompensierter Esophorie (4), normosensorischem Spätschielen (3), dekompenziertem Mikrostrabismus (2) und sekundärer Esotropie (2). Das mittlere sphärische Äquivalent des gemessenen Brechkraftfehlers beider Augen betrug  $2,4\text{dpt} \pm 2,6\text{dpt}$ . Die mittlere Bulbuslänge beider Augen ergab  $21,8\text{mm} \pm 1,1\text{mm}$  bei  $N=52$ , in 2 Fällen lag kein Wert vor.

#### **3.2.1. Operation**

Die Operationsstrecke betrug im Median 17mm (15;21). Die auch im Folgenden jeweils in Klammern angegebenen Zahlen entsprechen der Spannweite, also dem minimalen und maximalen Wert der Untersuchungsgruppe. Im Mittel entsprach die Dosierung, bezogen auf den Schielwinkel, einem Verhältnis von  $0,5\text{mm}/^\circ \pm 0,04\text{mm}/^\circ$ .

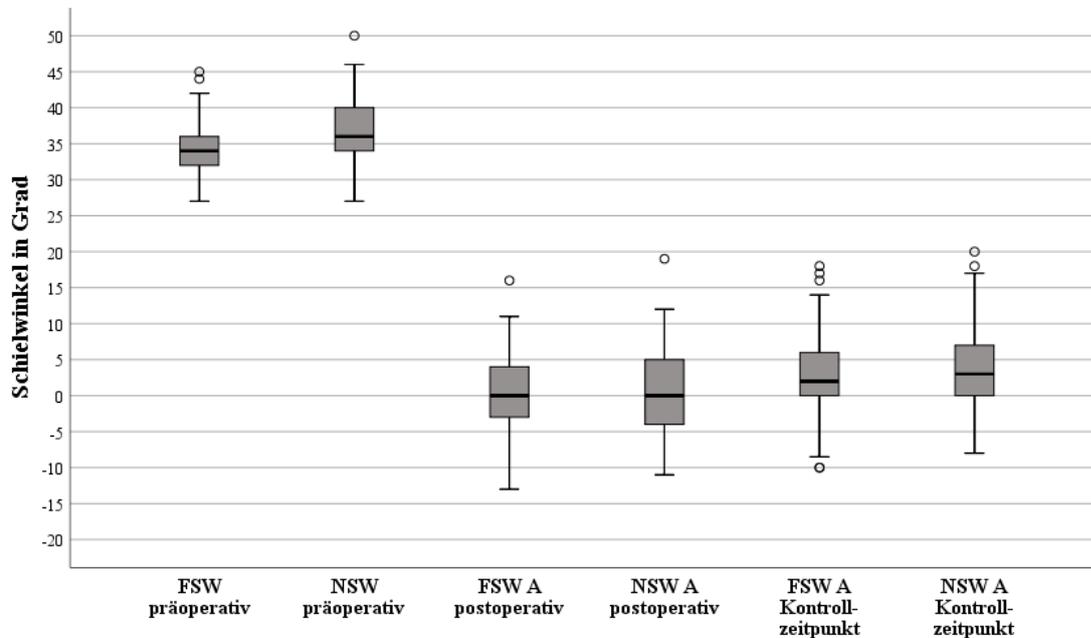
#### **3.2.2. Kontrollzeitpunkt**

Die Schielwinkel wurden präoperativ, 1-2 Tage postoperativ und zu einem späteren Kontrollzeitpunkt bestimmt. Dieser lag im Median 4 Monate postoperativ, die minimale Nachbeobachtungszeit (NBZ) betrug 3 Monate, die maximale NBZ 14 Monate. Die individuellen Daten gehen aus Tabelle A1 des Anhangs hervor.

#### **3.2.3. Schielwinkel**

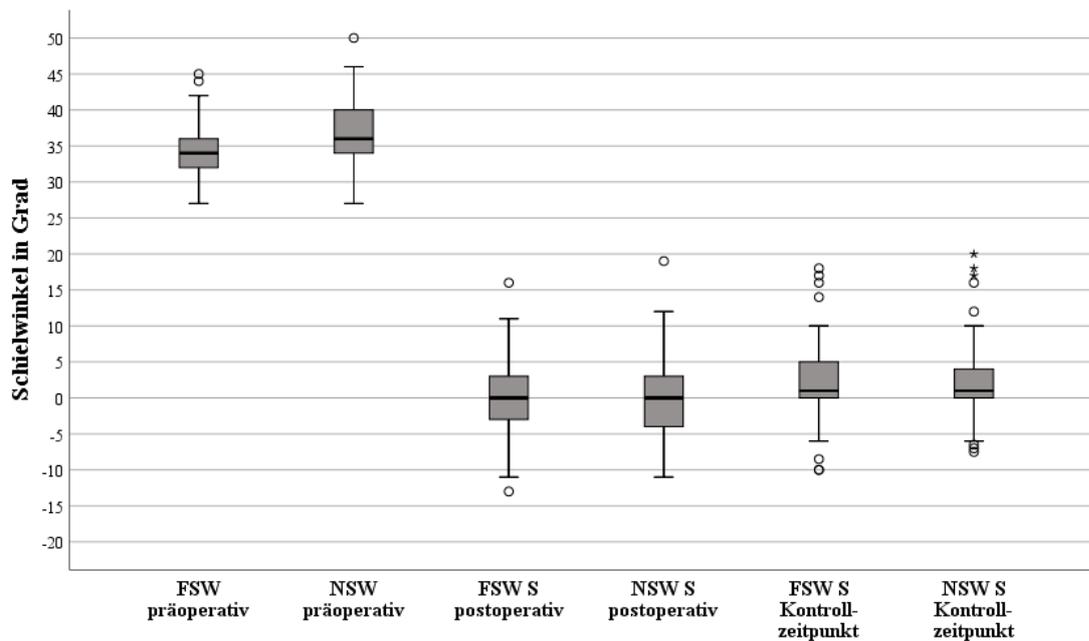
Der präoperative Fernschielwinkel betrug im Median  $34^\circ$  (27;45). In der postoperativen Messung vor Entlassung betrug der maximale (im alternierenden Abdecktest bestimmte) Fernschielwinkel  $0^\circ$  (-13;16), bei einem Patienten konnte mangels Kooperation zu diesem Zeitpunkt kein Wert erhoben werden ( $N=53$ ). Zur abschließenden Kontrolle wurden alle 54 Personen untersucht, der maximale Fernschielwinkel betrug  $2^\circ$  (-10;18).

Der Nahschielwinkel betrug im Median präoperativ  $36^\circ$  (27;50), der maximale Nahschielwinkel postoperativ  $0^\circ$  (-11;19) und zum Kontrollzeitpunkt  $2,5^\circ$  (-8;20). In Abbildung 8 sind die maximalen Schielwinkel der Gruppe Dreimuskelchirurgie dargestellt.



**Abbildung 8** Vergleich maximaler (A) Fern- und Nahschielwinkel (FSW; NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=53)

Der manifeste (mittels simultanem Abdecktest bestimmte) Fernschielwinkel betrug im Median postoperativ  $0^\circ$  (-13;16) und zum Kontrollzeitpunkt  $1^\circ$  (-10;18). Der manifeste Nahschielwinkel betrug vor Entlassung  $0^\circ$  (-11;19) und zum Kontrollzeitpunkt  $1^\circ$  (-7,5;20). In der Abbildung 9 sind die manifesten Schielwinkel im zeitlichen Verlauf dargestellt.

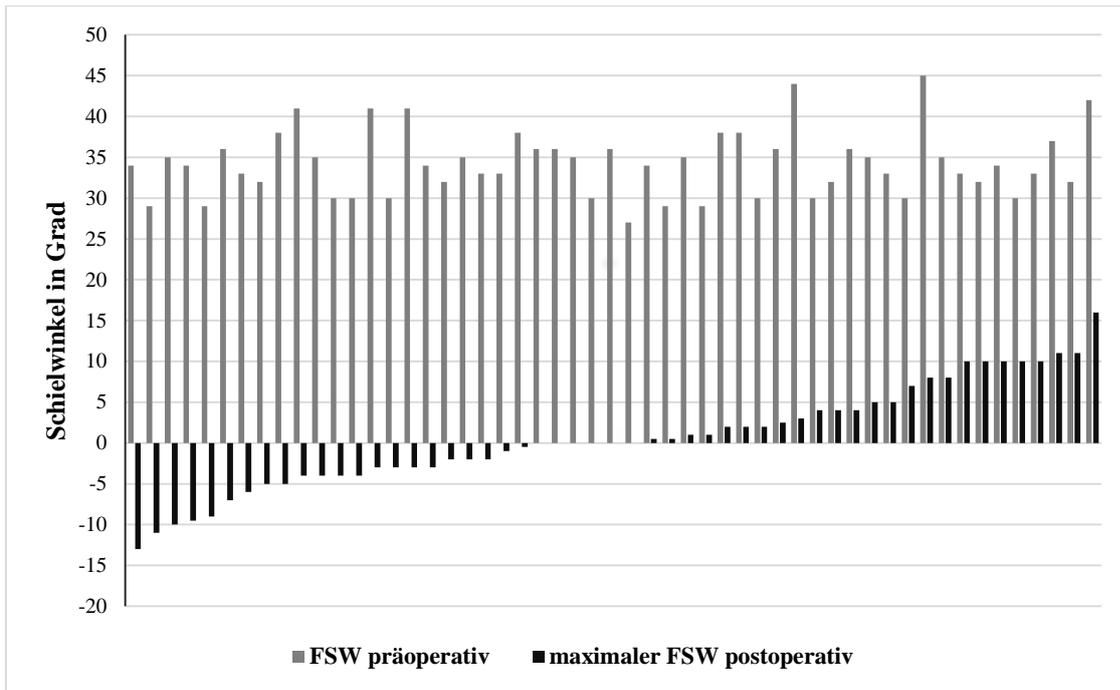


**Abbildung 9** Vergleich manifester (S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=53)

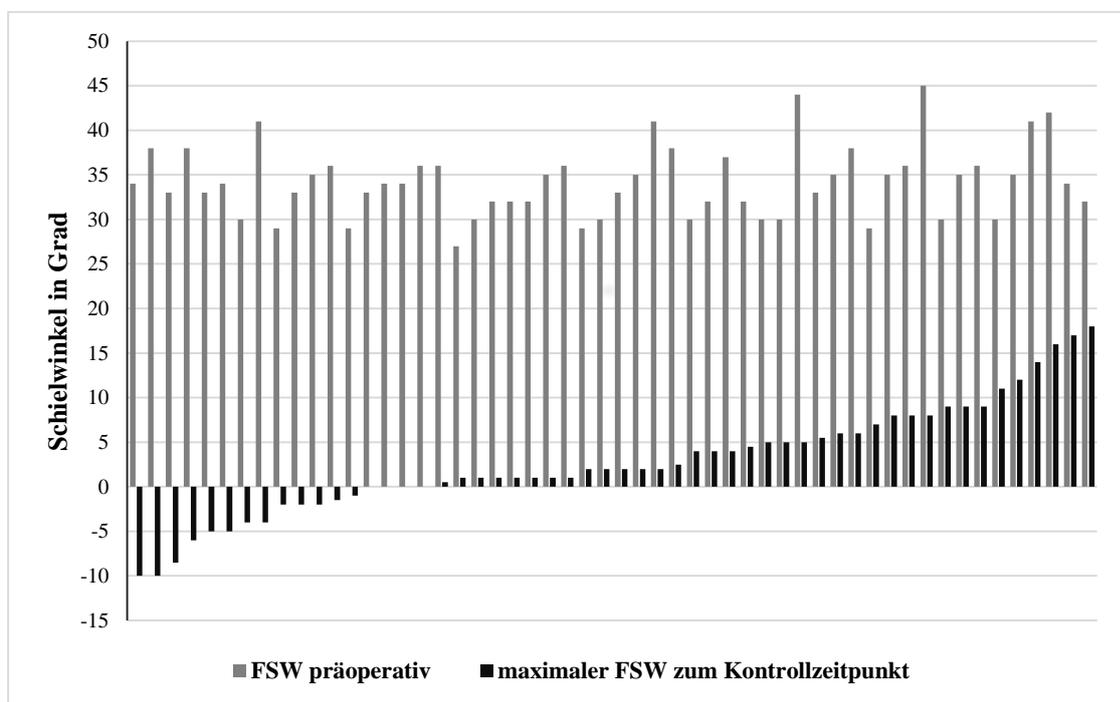
### 3.2.4. Schielwinkelreduktion

Die Differenz von präoperativem Fernschielwinkel und unmittelbar postoperativem maximalen Fernschielwinkel bildet am ehesten den mechanischen Operationseffekt ab. Sie entspricht der absoluten Schielwinkelreduktion und ist aus Abbildung 10 für den postoperativen Zeitpunkt abzulesen. Die Abbildung 11 zeigt die Differenz zwischen präoperativem Fernschielwinkel und dem Fernschielwinkel bei Kontrolle, diese wird stärker durch Ausgleichsinnervation, Binokularesehen und Adaptation beeinflusst als die direkt postoperativen Werte. Die mediane Schielwinkelreduktion betrug postoperativ  $34^\circ$  (20;47) und zum Kontrollzeitpunkt  $31^\circ$  (14;48).

Die absolute Schielwinkelreduktion im Verhältnis zur Operationsstrecke ergibt die Dosiswirkungsbeziehung ( $^\circ/\text{mm}$ -Koeffizient bzw. Effektivität) des Eingriffs, welche zum Vergleich von Eingriffen mit unterschiedlicher Dosis hilfreich ist. Im Mittel wurde initial eine Effektivität von  $1,9^\circ/\text{mm}$  erreicht bei einer Standardabweichung von  $0,4^\circ/\text{mm}$ . Zum Kontrollzeitpunkt lag die mittlere Effektivität bei  $1,8^\circ/\text{mm} \pm 0,4^\circ/\text{mm}$ . Im Median betrug die Effektivität direkt postoperativ  $2,0^\circ/\text{mm}$  (1,2;2,8) und zum Kontrollzeitpunkt  $1,82^\circ/\text{mm}$  (0,8;2,5).



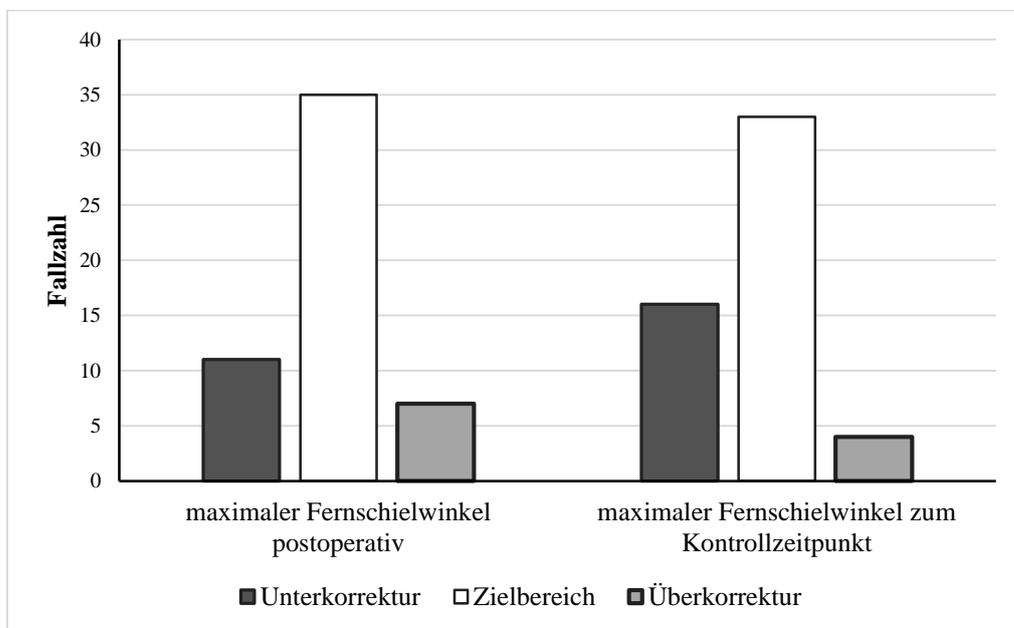
**Abbildung 10** Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und 1 bis 2 Tage nach Dreimuskelchirurgie (N=53), aufsteigend nach maximalem postoperativen Fernschielwinkel angeordnet (in Anlehnung an Gräf et al. 2021)



**Abbildung 11** Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=54), aufsteigend nach maximalem Fernschielwinkel zum Kontrollzeitpunkt angeordnet (in Anlehnung an Gräf et al. 2021)

### 3.2.5. Operationsergebnis

Als Operationserfolg wird in der angelsächsischen Literatur eine Exo- oder Esodeviation  $\leq 10$ PD (Bayramlar et al. 2014; Camuglia et al. 2011; Cifuentes et al. 2018; Forrest et al. 2003; Scott et al. 1986) gewertet, dies entspricht  $5,7^\circ$ . In der vorliegenden Arbeit wurde der Zielbereich etwas strenger mit Exo- oder Esodeviation von  $\leq 5^\circ$  im APCT definiert. Exodeviationen von mehr als  $5^\circ$  entsprechen einer Überkorrektur, Esodeviationen von mehr als  $5^\circ$  einer Unterkorrektur. In Abbildung 12 sind die absoluten Zahlen vergleichend dargestellt. Es waren 11 (20,8%) von 53 Behandlungsfällen unterkorrigiert, 35 (66,0%) lagen im Zielbereich und 7 (13,2%) waren überkorrigiert. Zum Kontrollzeitpunkt waren 16 (30,2%) unterkorrigiert, 33 (62,3%) im Zielbereich und 4 (7,6%) überkorrigiert.



**Abbildung 12** Vergleich der absoluten Zahlen im Zielbereich von  $\pm 5^\circ$  1-2 Tage postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=53)

### 3.2.6. Binokularesehen

Zum Kontrollzeitpunkt lagen bei 26 (48,1%) Personen messbare Binokularfunktionen vor, 25 (46,3%) zeigten Suppression bzw. Exklusion und in 3 (5,6%) Fällen lag kein Wert vor (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2** Binokulares Sehen zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (absolute und relative Häufigkeit) nach Dreimuskelchirurgie

	Anzahl	%
Suppression bzw. Exklusion	25	46,3
Simultansehen im Bagolini-Test	17	31,5
Titmus-Fliege-Test positiv	0	0,0
Titmus Ringe oder Tiere positiv	4	7,4
feines Stereosehen (Lang-1) positiv	5	9,3
kein Wert	3	5,6

### 3.3. Beidseitige Medialisrücklagerung

Es erfolgten 32 Eingriffe mittels beidseitiger Medialisrücklagerung, welche die formalen Einschlusskriterien erfüllten. Die betrachteten Eingriffe fanden in den Jahren 2013 (4), 2014 (6), 2015 (9), 2016 (7), 2017 (4), 2018 (1) und 2019 (1) statt und erfolgten primär durch 2 Operateure, sowie in 2 Fällen durch andere Operierende. Ein zeitgleicher Eingriff an den schrägen Augenmuskeln erfolgte bei 11 Operationen. Die häufigste Diagnose war frühkindliche Esotropie (24), gefolgt von vermutlich akkommodativ erworbener Esotropie (3), normosensorischem Spätschielen (3) und dekompenziertem Mikrostrabismus (2). Das mittlere sphärische Äquivalent des Brechkraftfehlers beider Augen betrug  $3,2\text{dpt} \pm 2,6\text{dpt}$ . Die mittlere Bulbuslänge beider Augen ergab  $21,6\text{mm} \pm 1,2\text{mm}$  bei  $N=31$ , in 1 Fall lag kein Wert vor.

#### 3.3.1. Operation

Die Operationsstrecke umfasste im Median 15mm (13;16), was einem durchschnittlichen Dosierungsverhältnis von  $0,5\text{mm}/^\circ \pm 0,075\text{mm}/^\circ$  entsprach. Dieses lag unter dem bis zu einem Schielwinkel von  $20^\circ$  üblichen Verhältnis von  $0,67\text{mm}/^\circ$ .

#### 3.3.2. Kontrollzeitpunkt

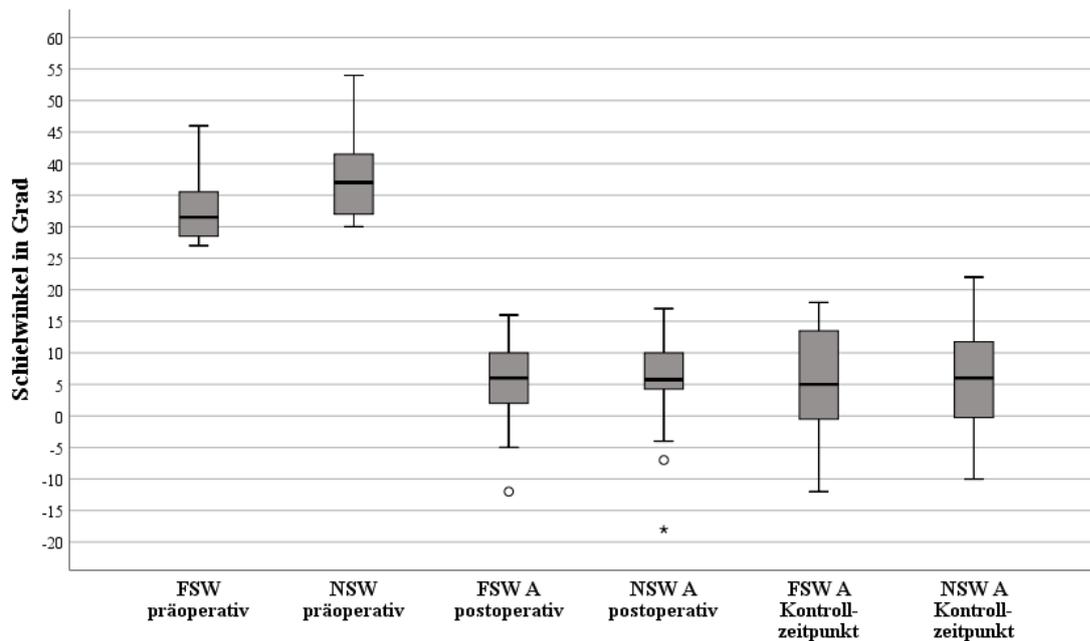
Die Schielwinkel wurde präoperativ, 1-2 Tage postoperativ und zu einem Kontrollzeitpunkt bestimmt, welcher im Median 4 Monate nach Operation lag. Die NBZ

betrug minimal 1 Monat und maximal 21 Monate. Die individuellen Daten gehen aus Tabelle A2 des Anhangs hervor.

### 3.3.3. Schielwinkel

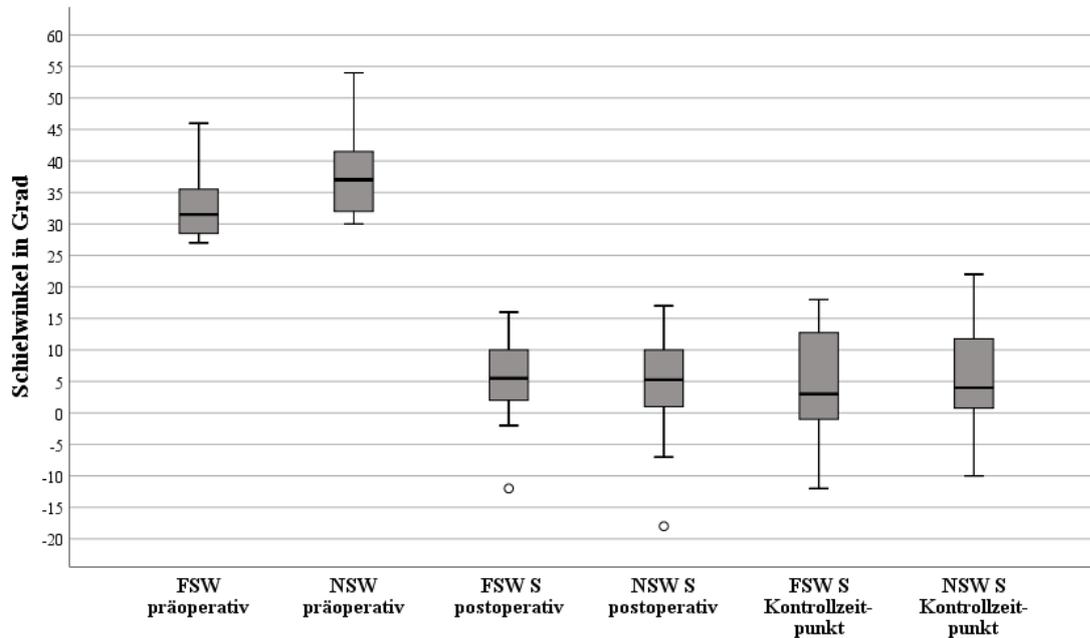
Der präoperative Fernschielwinkel betrug im Median  $31,5^\circ$  (27;46). In der postoperativen Messung betrug der maximale Fernschielwinkel  $6^\circ$  (-12;16) und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt  $5^\circ$  (-12;18).

Der Nahschielwinkel betrug im Median  $37^\circ$  (30;54), der maximale Nahschielwinkel postoperativ  $5,8^\circ$  (-18;17) und zum Kontrollzeitpunkt  $6^\circ$  (-10;22). Abbildung 13 zeigt die maximalen Schielwinkel im zeitlichen Verlauf.



**Abbildung 13** Vergleich maximaler (A) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32)

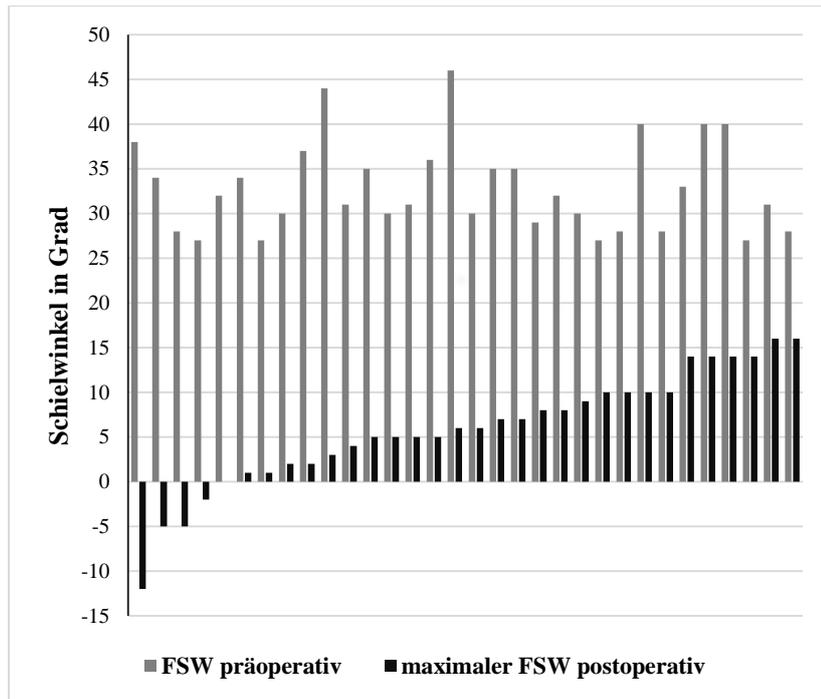
Der manifeste Fernschielwinkel betrug im Median postoperativ  $5,5^\circ$  (-12;16) und zum Kontrollzeitpunkt  $3^\circ$  (-12;18). Der manifeste Nahschielwinkel betrug vor Entlassung  $5,3^\circ$  (-18;17) und zum Kontrollzeitpunkt  $4^\circ$  (-12;18). In der Abbildung 14 sind die manifesten Schielwinkel im zeitlichen Verlauf dargestellt.



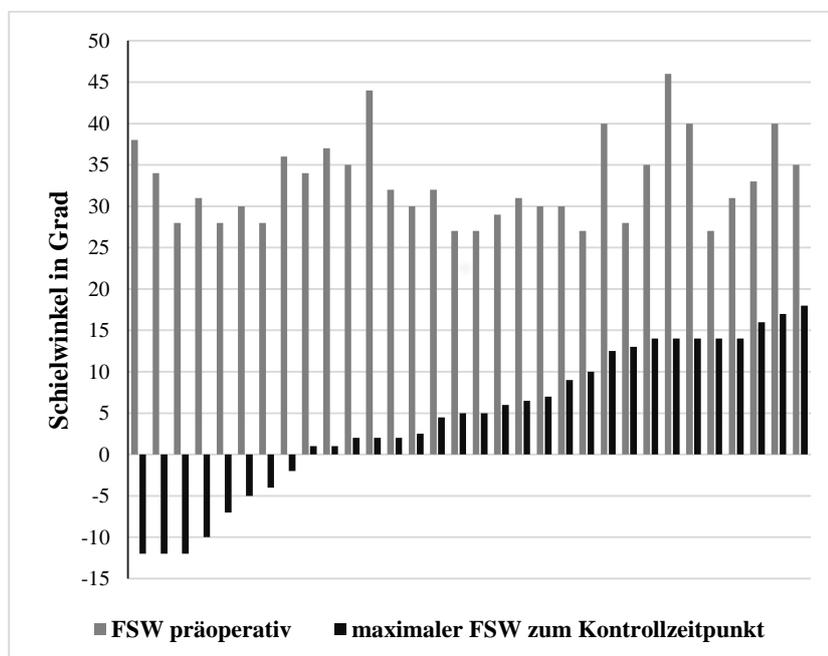
**Abbildung 14** Vergleich manifester (S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32)

### 3.3.4. Schielwinkelreduktion

Abbildung 15 zeigt die absolute Schielwinkelreduktion für den maximalen Fernschielwinkel postoperativ, Abbildung 16 zeigt diese für den Kontrollzeitpunkt. Die mediane Schielwinkelreduktion betrug postoperativ  $26,5^\circ$  (12;50) und zum Kontrollzeitpunkt  $27,5^\circ$  (13;50). Im Mittel wurde initial eine Effektivität von  $1,8^\circ/\text{mm}$  erreicht, bei einer Standardabweichung von  $0,5^\circ/\text{mm}$ . Zum Kontrollzeitpunkt lag die mittlere Effektivität bei  $1,9^\circ/\text{mm} \pm 0,6^\circ/\text{mm}$ . Im Median betrug die Effektivität initial  $1,8^\circ/\text{mm}$  (0,9;3,3) und zum Kontrollzeitpunkt  $2,0^\circ/\text{mm}$  (1,0;3,3).



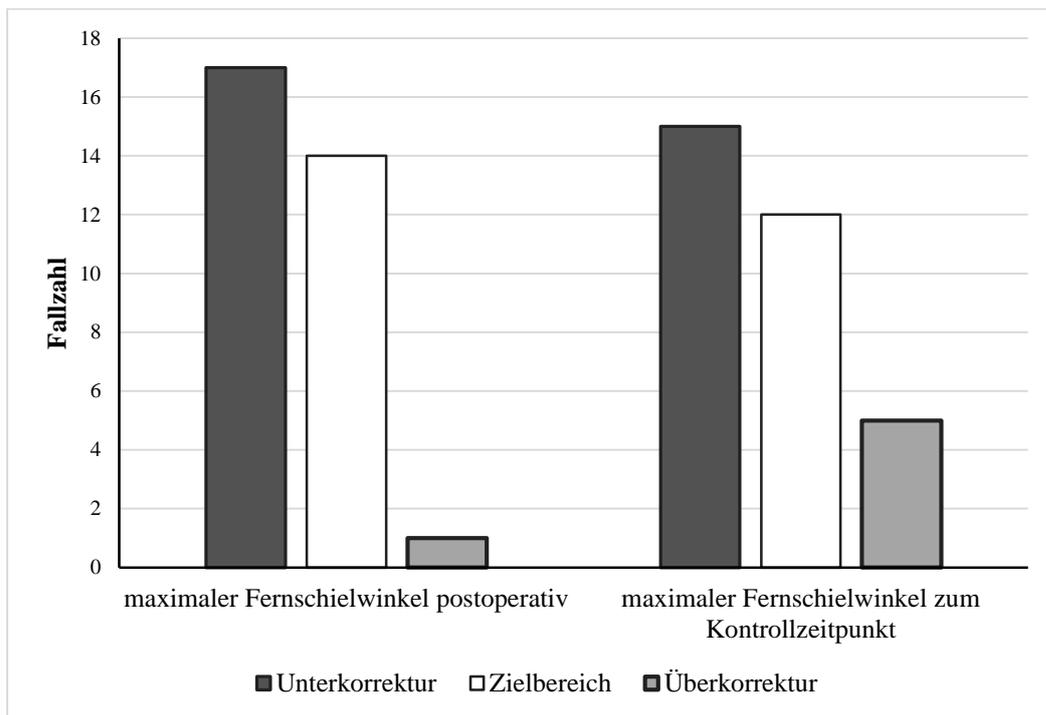
**Abbildung 15** Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und 1 bis 2 Tage nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32), aufsteigend nach maximalem postoperativen Fernschielwinkel angeordnet



**Abbildung 16** Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32), aufsteigend nach maximalem Fernschielwinkel zum Kontrollzeitpunkt angeordnet

### 3.3.5. Operationsergebnis

Das Operationsergebnis wird nach Unterkorrektur, Zielbereich oder Überkorrektur bewertet. In Abbildung 17 werden die absoluten Zahlen verglichen. Es waren postoperativ 17 (53,1%) von 32 Personen unterkorrigiert, 14 (43,8%) im Zielbereich und 1 (3,1%) Kind überkorrigiert. Zum Kontrollzeitpunkt waren 15 (46,9%) unterkorrigiert, 12 (37,5%) im Zielbereich und 5 (15,6%) überkorrigiert.



**Abbildung 17** Vergleich der absoluten Zahlen im Zielbereich von  $\pm 5^\circ$  1-2 Tage postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32)

### 3.3.6. Binokularesehen

Zum Kontrollzeitpunkt lagen bei 19 (59,4%) Personen messbare Binokularfunktionen vor, 10 (31,3%) zeigten Suppression bzw. Exklusion und in 3 (9,4%) Fällen lag kein Wert vor (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3** Binokulares Sehen zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (absolute und relative Häufigkeit) nach beidseitiger Medialisrücklagerung

	Anzahl	%
Suppression bzw. Exklusion	19	59,4
Simultansehen im Bagolini-Test	5	15,6
Titmus-Fliege-Test positiv	1	3,1
Titmus Ringe oder Tiere positiv	3	9,4
feines Stereosehen (Lang-1) positiv	1	3,1
kein Wert	3	9,4

### 3.4. Kombinierte Konvergenzoperation

Es erfolgten 43 Eingriffe mittels kombinierter Konvergenzoperation, welche die formalen Einschlusskriterien erfüllten. Die betrachteten Eingriffe fanden in den Jahren 2015 (14), 2016 (15), 2017 (7), 2018 (4), 2019 (2) und 2020 (1) statt und erfolgten, bis auf 1 Fall, durch dieselben 2 Operateure. Ein zeitgleicher Eingriff an den schrägen Augenmuskeln erfolgte bei 13 Operationen. Die häufigste Diagnose war frühkindliche Esotropie (24), gefolgt von vermutlich akkommodativ erworbener Esotropie (6), dekompenziertem Mikrostrabismus (7), dekompenzierter Esophorie (3), normosensorischem Spätschielen (2) und sekundärer Esotropie (1). Das mittlere sphärische Äquivalent des Brechkraftfehlers beider Augen betrug  $2,0\text{dpt} \pm 3,1\text{dpt}$ . Die mittlere Bulbuslänge beider Augen ergab  $22,2\text{mm} \pm 1,2\text{mm}$  bei  $N=42$ , in 1 Fall lag kein Wert vor.

#### 3.4.1. Operation

Die Operationsstrecke betrug im Median 13mm (12;17), dies entsprach im Mittel einem Dosierungsverhältnis von  $0,4\text{mm}/^\circ \pm 0,06\text{mm}/^\circ$ . Das Dosierungsverhältnis war geringer als die im Schielwinkelbereich bis ca.  $20^\circ$  üblichen  $0,67\text{mm}/^\circ$ , bedingt durch die in vielen Fällen zweiseitige Strategie.

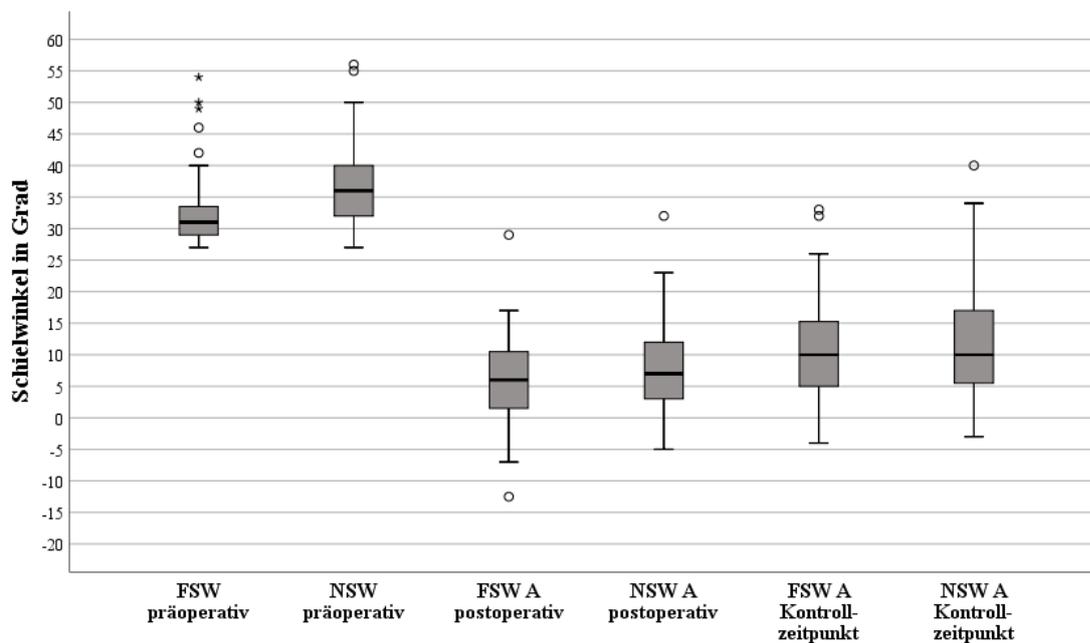
#### 3.4.2. Kontrollzeitpunkt

Die Schielwinkel wurden präoperativ, 1-2 Tage postoperativ und zu einem Kontrollzeitpunkt nach 3 bis 14 Monaten bestimmt. Der Kontrollzeitpunkt lag im Median

4 Monate nach der Operation. Die individuellen Daten können aus Tabelle A3 des Anhangs entnommen werden.

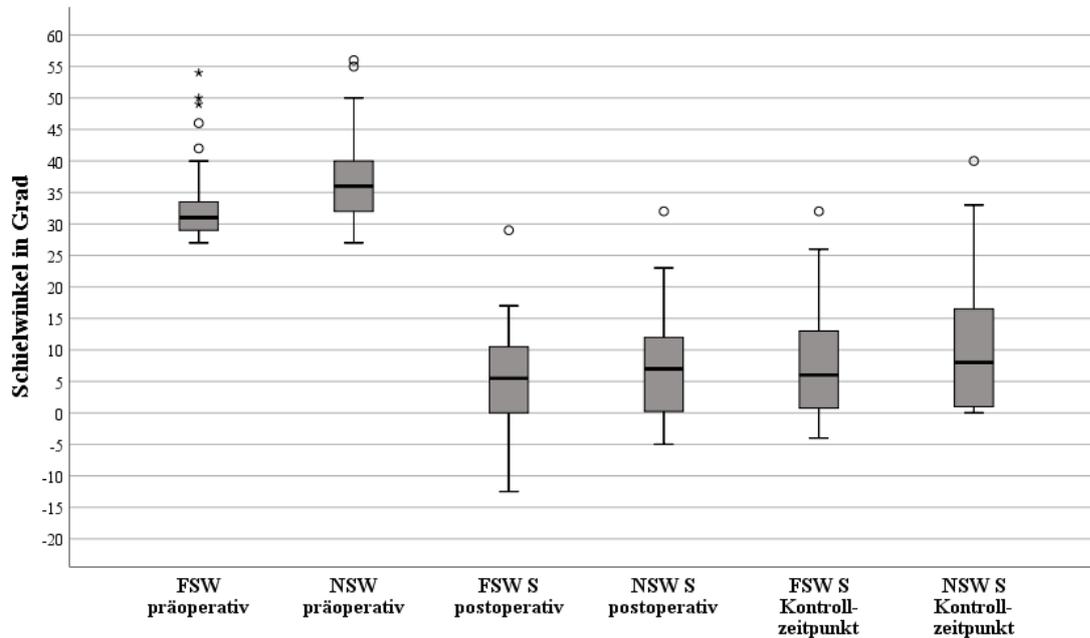
### 3.4.3. Schielwinkel

Der präoperative Fernschielwinkel betrug im Median  $31^\circ$  (27;54). In der postoperativen Messung vor Entlassung betrug der maximale Fernschielwinkel  $6^\circ$  (-12,5;29), zum abschließenden Kontrollzeitpunkt  $10^\circ$  (-4;33). Der Nahschielwinkel betrug präoperativ  $36^\circ$  (27;56), der maximale Nahschielwinkel postoperativ  $7^\circ$  (-5;32) und zum Kontrollzeitpunkt  $10^\circ$  (-3;40). Abbildung 18 zeigt die maximalen Schielwinkel im zeitlichen Verlauf.



**Abbildung 18** Vergleich maximaler (A) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43)

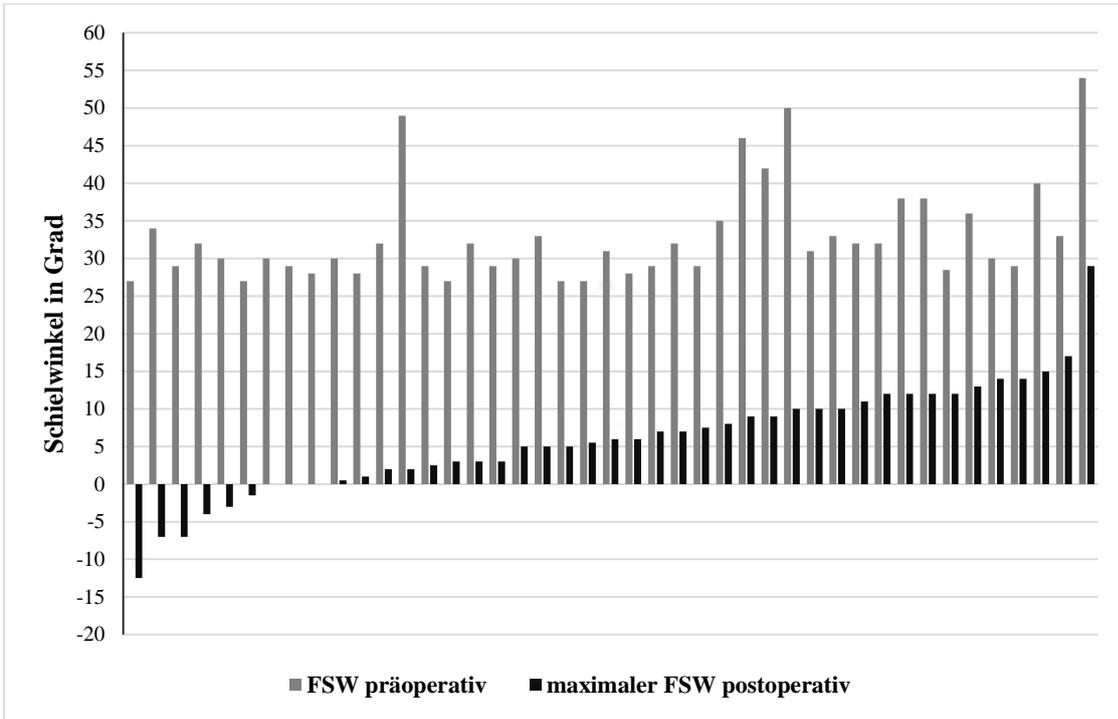
Der manifeste Fernschielwinkel betrug im Median postoperativ  $5,5^\circ$  (-12,5;29) und zum Kontrollzeitpunkt  $6^\circ$  (-4;32). Der manifeste Nahschielwinkel betrug postoperativ  $7^\circ$  (-5;32) und zum Kontrollzeitpunkt  $8^\circ$  (0;40). In Abbildung 19 sind die manifesten Schielwinkel im zeitlichen Verlauf dargestellt.



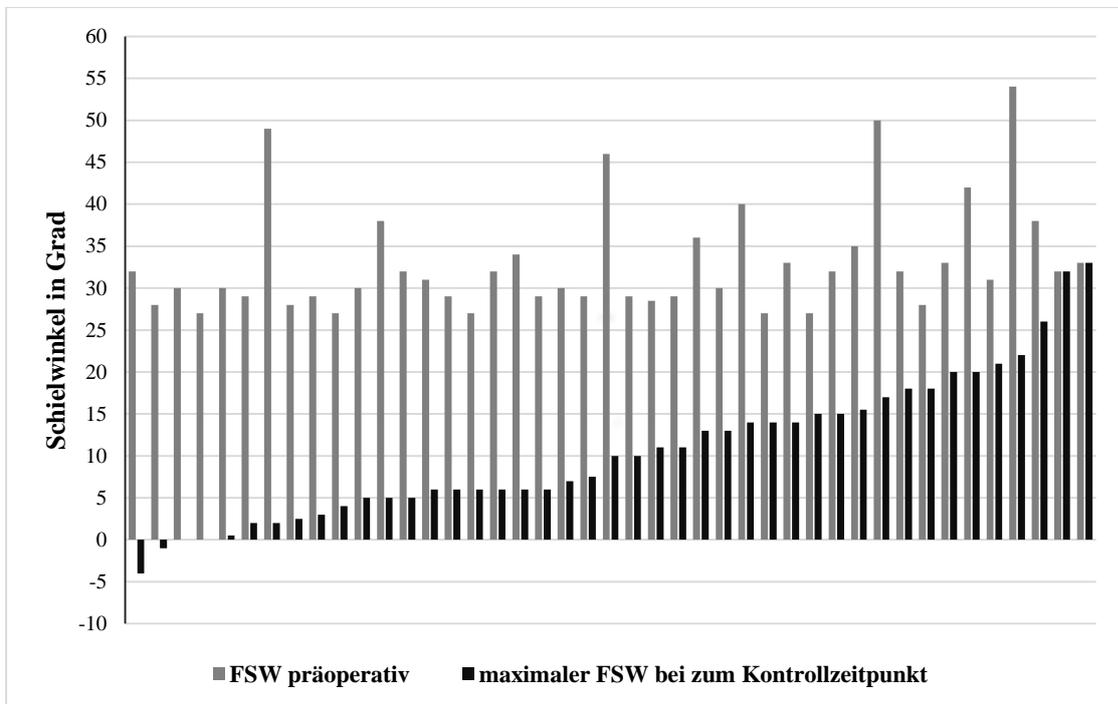
**Abbildung 19** Vergleich manifester (S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43)

#### 3.4.4. Schielwinkelreduktion

Die Reduktion des maximalen Fernschielwinkels betrug im Median  $26^\circ$  (15;47) und zum Kontrollzeitpunkt  $23^\circ$  (0;47). Abbildung 20 zeigt die absolute Schielwinkelreduktion direkt postoperativ, Abbildung 21 zeigt diese für den Kontrollzeitpunkt. Die Effektivität betrug postoperativ im Mittel  $2,0^\circ/\text{mm} \pm 0,5^\circ/\text{mm}$ , zum Kontrollzeitpunkt  $1,6^\circ/\text{mm} \pm 0,6^\circ/\text{mm}$ . Im Median betrug die Effektivität initial  $1,9^\circ/\text{mm}$  (1,2;3,2) und zum Kontrollzeitpunkt  $1,7^\circ/\text{mm}$  (0,0;2,9).



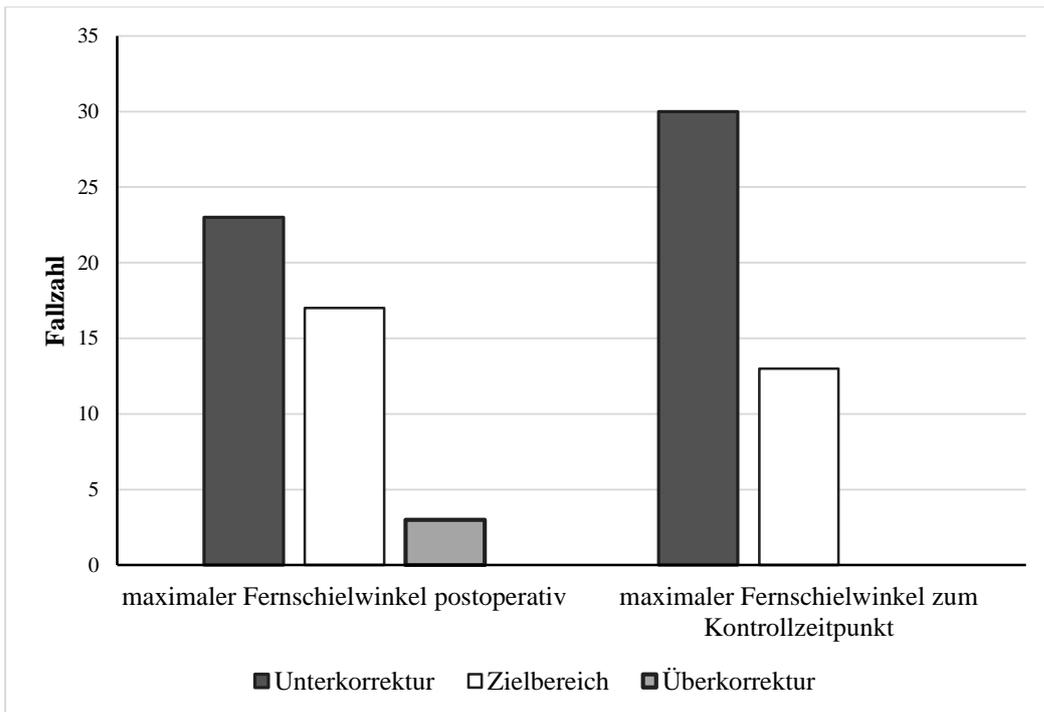
**Abbildung 20** Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und 1 bis 2 Tage nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43), aufsteigend nach maximalem postoperativen Fernschielwinkel angeordnet



**Abbildung 21** Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43), aufsteigend nach maximalem Fernschielwinkel zum Kontrollzeitpunkt angeordnet

### 3.4.5. Operationsergebnis

Das Operationsergebnis wird nach Unterkorrektur, Zielbereich oder Überkorrektur bewertet. In Abbildung 22 werden die absoluten Zahlen verglichen. Es waren postoperativ 23 (53,5%) von 43 Personen unterkorrigiert, 17 (39,5%) im Zielbereich und 3 (6,9%) waren überkorrigiert. Zum Kontrollzeitpunkt waren 30 (69,8%) unterkorrigiert und 13 (30,2%) im Zielbereich gelegen.



**Abbildung 22** Vergleich der absoluten Zahlen im Zielbereich von  $\pm 5^\circ$  postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43)

### 3.4.6. Binokularsehen

Zum Kontrollzeitpunkt lagen bei 19 (41,9%) der Operierten messbare Binokularfunktionen vor, 23 (53,5%) zeigten Suppression bzw. Exklusion und in 2 (4,7%) Fällen lag kein Wert vor (siehe Tabelle 4).

**Tabelle 4** Binokularsehen zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (absolute und relative Häufigkeit) nach kombinierter Konvergenzoperation

	Anzahl	%
Suppression	23	53,5
Simultansehen im Bagolini-Test	7	16,3
Titmus-Fliege-Test positiv	2	4,7
Titmus Ringe oder Tiere positiv	3	7,0
feines Stereosehen (Lang-1) positiv	6	14,0
kein Wert	2	4,7

### 3.5. Vergleich der Operationsverfahren

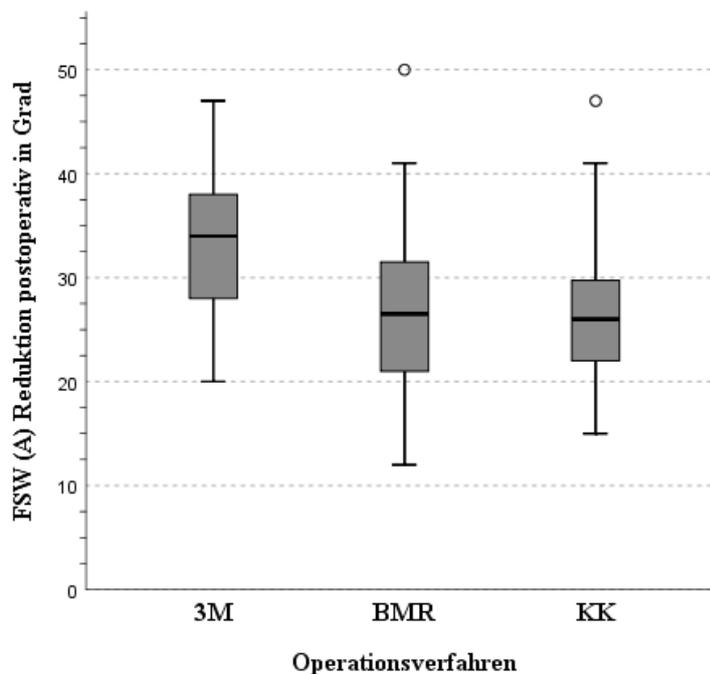
Die Tabelle 5 bietet eine Übersicht über die prä- und postoperativen Schielwinkel in den drei Gruppen. Es ist zu erkennen, dass die präoperativen Schielwinkel vergleichbar waren. Der präoperative Fernschielwinkel ist für die Dreimuskelchirurgie am größten, postoperativ und zum Kontrollzeitpunkt jedoch am geringsten. In der postoperativen Messung vor Entlassung sind die medianen Schielwinkel von beidseitiger Medialisrücklagerung und kombinierter Konvergenzoperation ähnlich. Längerfristig weist die Gruppe der kombinierten Konvergenzoperation die größte Esodeviation auf.

Die statistische Untersuchung erfolgte anhand der absoluten Schielwinkelreduktion (Abbildung 23), also der Differenz von präoperativem und postoperativem Schielwinkel bzw. dem Schielwinkel zum Kontrollzeitpunkt.

**Tabelle 5** Vergleich der medianen maximalen bzw. manifesten (A; S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW; NSW) prä-, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt gemessen in Grad: Dreimuskelchirurgie (N=54), beidseitige Medialisrücklagerung (N=32) und kombinierte Konvergenz (N=43)

	Operationsverfahren		
	3M	BMR	KK
FSW präoperativ	34,0	31,5	31,0
NSW präoperativ	36,0	37,0	36,0
FSW A postoperativ	0,0*	6,0	6,0
NSW A postoperativ	0,0*	5,8	7,0
FSW S postoperativ	0,0*	5,5	5,5
NSW S postoperativ	0,0*	5,3	7,0
FSW A Kontrolle	2,0	5,0	10,0
NSW A Kontrolle	2,5	6,0	10,0
FSW S Kontrolle	1,0	3,0	6,0
NSW S Kontrolle	1,0	4,0	8,0

\*n=53



**Abbildung 23** Reduktion des absoluten Fernschielwinkels postoperativ aufgeschlüsselt nach Operationsverfahren

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass sich die Reduktion des maximalen Fernschielwinkels direkt postoperativ zwischen den Operationsverfahren unterscheidet ( $p < 0,001$ ,  $N=128$ ). Der anschließend durchgeführte Post-hoc-Test ergibt, dass sich lediglich die Dreimuskelchirurgie von den anderen zwei Gruppen signifikant unterscheidet (siehe Tabelle 6). Die Reduktion des maximalen Fernschielwinkels ist bei der Dreimuskelchirurgie signifikant größer als bei den anderen Operationsverfahren.

Auch für die Reduktion des maximalen Fernschielwinkels zum Kontrollzeitpunkt zeigt der Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede zwischen den Operationsverfahren ( $p < 0,001$ ,  $N=129$ ). Die Post-hoc-Analyse (Tabelle 6) zeigt jedoch in diesem Fall keinen statistisch signifikanten Unterschied ( $p=0,118$ ,  $N=129$ ) beim Vergleich der Dreimuskelchirurgie mit der beidseitigen Medialisrücklagerung (die in der vorliegenden Studie nur bei jüngeren Kindern durchgeführt wurde). Im Vergleich zur kombinierten Konvergenzoperation ist die Reduktion des maximalen Fernschielwinkels zum Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie weiterhin signifikant größer.

**Tabelle 6** Paarweise Vergleiche der Reduktion des absoluten Fernschielwinkels postoperativ ( $N=128$ ) und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt ( $N=129$ ) nach Operationsverfahren

	Datensatz 1- Datensatz 2	Test- statistik	Standard- fehler	Standardtest- statistik	Signifikanz	Korr. Sig. <sup>a</sup>
Test 1 - postoperativer Vergleich	KK - BMR	1,4	8,653	0,162	0,871	0,871
	KK - 3M	31,253	7,607	4,108	<0,001	<0,001
	BMR - 3M	29,853	8,297	3,598	<0,001	<0,001
Test 2 - Vergleich zum Kontrollzeitpunkt	KK-BMR	21,967	8,721	2,519	0,012	0,036
	KK-3M	37,705	7,635	4,938	<0,001	<0,001
	BMR-3M	15,738	8,334	1,888	0,059	0,118

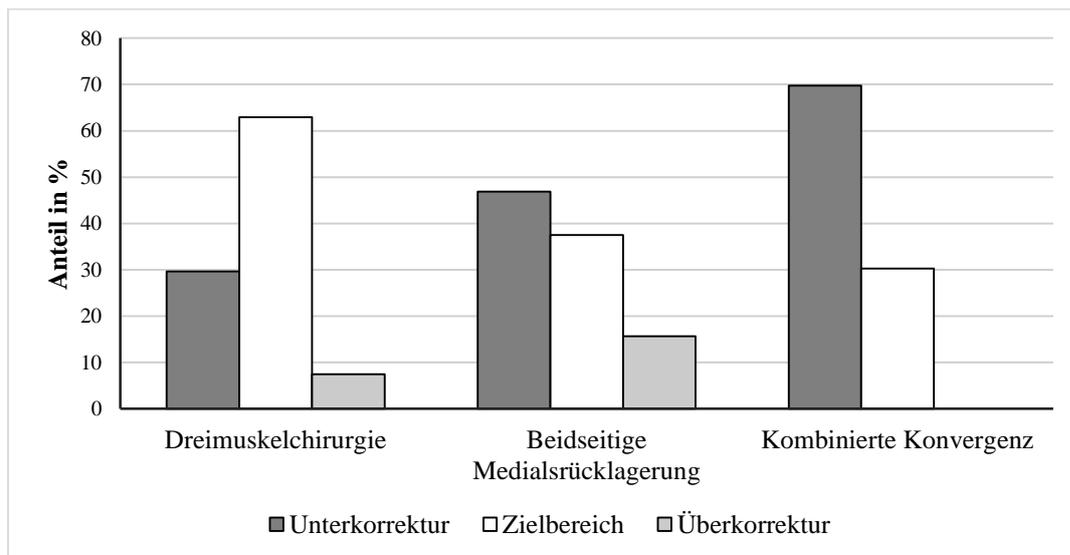
Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist  $\alpha 0,05$ .

- a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Holm-Prozedur für mehrere Tests angepasst (Gaetano 2013)

Der Operationserfolg wird entsprechend Absatz 3.2.5 in Unterkorrektur, Zielbereich und Überkorrektur eingeteilt. Die absoluten Werte können Tabelle 7 entnommen werden. Der relative Anteil ist für die einzelnen Operationsverfahren in Abbildung 24 dargestellt. Sie veranschaulicht, dass die Dreimuskelchirurgie häufiger zu einem Ergebnis im Zielbereich führt als die anderen Operationsverfahren. Mit dem Chi-Quadrat-Test wurde geprüft, ob die Häufigkeiten für ein Operationsergebnis im Zielbereich oder außerhalb des Zielbereichs (Unter- bzw. Überkorrektur) sich zwischen den Operationsverfahren signifikant unterscheiden. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Operationsverfahren (Chi-Quadrat=1,496, p=0,003, N=129).

**Tabelle 7** Operationsergebnisse bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel zum abschließenden Kontrollzeitpunkt

	Ergebnis		
	Zielbereich	Unter- oder Überkorrektur	Gesamt
Dreimuskelchirurgie	34	20	54
Beidseitige Medialisrücklagerung	12	20	32
Kombinierte Konvergenz	13	30	43
Gesamt	59	70	129



**Abbildung 24** Vergleich der Operationsergebnisse im Zielbereich nach 3M, BMR, KK anhand des maximalen Fernschielwinkels zum abschließenden Kontrollzeitpunkt

### 3.6. Explorative Datenanalyse

In den Abschnitten 3.2.4., 3.3.4. und 3.4.4. ist zu erkennen, dass die Dosiswirkungsbeziehung (Effektivität), sowohl zwischen den Operationsverfahren, als auch zwischen den Untersuchungszeitpunkten unterschiedlich ist, weswegen im Rahmen einer explorativen Datenanalyse mögliche Einflussfaktoren getestet wurden.

#### 3.6.1. Einfluss der Bulbuslänge auf die Dosiswirkungsbeziehung

Im Sinne einer möglichst übersichtlichen Auswertung wurde die Bulbuslänge des rechten und des linken Auges gemittelt, da kaum größere Seitendifferenzen vorkamen. Das Ergebnis wurde zur statistischen Auswertung genutzt.

In der Gruppe der Dreimuskelchirurgie betrug die Bulbuslänge im Median 21,9mm (19,4; 24,3) bei N=52, in 2 Fällen lag kein Wert vor. Die direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung korreliert mit der Bulbuslänge (siehe Tabelle 8). Die Effektstärke entspricht bei  $|r| = 0,288$  einer schwachen Korrelation (Cohen 1992). Die zum Kontrollzeitpunkt gefundenen Werte ( $r = -0,109$ ,  $p=0,442$ ,  $N=52$ ) lassen keinen systematischen Zusammenhang zwischen der Dosiswirkungsbeziehung und der mittleren Bulbuslänge mehr erkennen.

**Tabelle 8** Korrelation nach Spearman von Bulbuslänge und Dosiswirkungsbeziehung (Effektivität) postoperativ (N=51, listenweiser Fallausschluss) nach Dreimuskelchirurgie

		Bulbuslänge	Effektivität FSW postoperativ
Bulbuslänge	Korrelationskoeffizient r	1,000	-0,288
	Signifikanz (2-seitig)	.	0,041
Effektivität FSW postoperativ	Korrelationskoeffizient r	-0,288	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	0,041	.

In der Gruppe der beidseitigen Medialisrücklagerung betrug die Bulbuslänge im Median 21,4mm (18,6;23,8) bei N=31, in 1 Fall lag kein Wert vor. Für die Dosiswirkungsbeziehung der beidseitigen Medialisrücklagerung ergab sich direkt postoperativ ( $r=0,136$ ,  $p=0,466$ ,  $N=31$ ) kein Hinweis auf einen systematischen Zusammenhang mit der Bulbuslänge. Zum Kontrollzeitpunkt ( $r = -0,351$ ,  $p=0,053$ ,  $N=31$ )

war die Dosiswirkungsbeziehung bei kleineren Augen tendenziell höher als bei größeren Augen.

In der Gruppe der kombinierten Konvergenz betrug die Bulbuslänge im Median 22,1mm (19,7; 24,9) bei N=42, für in 1 Fall lag kein Wert vor. Auch für diese Gruppe ergab sich kein Hinweis auf einen Zusammenhang nach Spearman für die Dosiswirkungsbeziehung (Effektivität) direkt postoperativ ( $r=0,220$ ,  $p=0,162$ ,  $N=42$ ) sowie zum Kontrollzeitpunkt ( $r=0,179$ ,  $p=0,179$ ,  $N=42$ ) mit der Bulbuslänge.

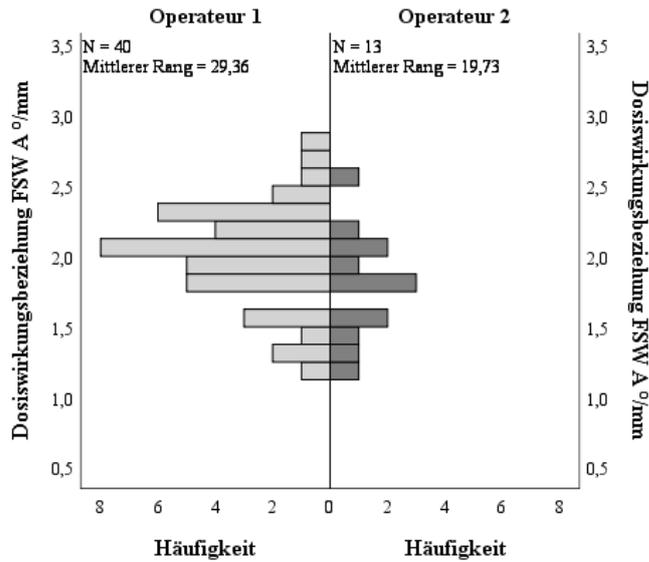
### **3.6.2. Einfluss des Operateurs auf die Dosiswirkungsbeziehung**

Es wurde getestet, ob ein Unterschied der Dosiswirkungsbeziehung zwischen den Operateuren besteht. Der Vergleich erfolgte anhand des maximalen postoperativen Fernschielwinkels. Die direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung wurde zum Vergleich gewählt, da kurz nach der Operation mögliche Einflüsse durch Binokularsehen und adaptive Faktoren bei vorhandenem Binokularsehen als am geringsten anzunehmen sind. Diese Einflüsse können den mechanischen Operationseffekt bis zum Kontrollzeitpunkt stärker überlagern. Die Testung erfolgte mit dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben.

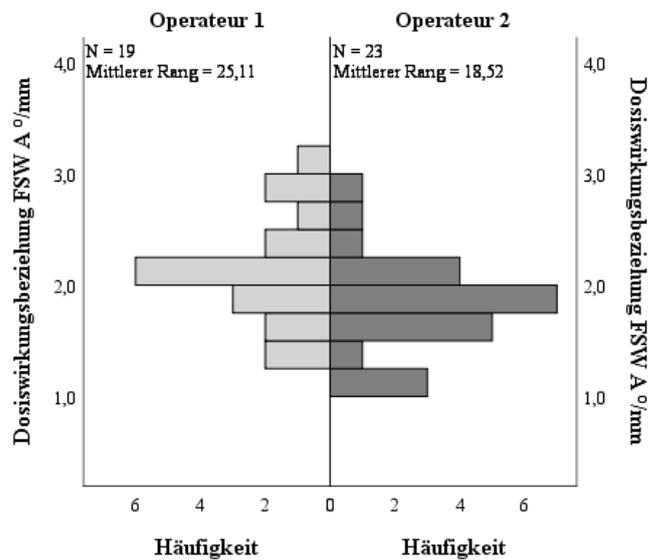
In der Gruppe der Dreimuskelchirurgie lag die mittlere Effektivität für Operateur 1 bei  $2,0^\circ/\text{mm} \pm 0,4^\circ/\text{mm}$  ( $N=40$ ) und für Operateur 2 bei  $1,8^\circ/\text{mm} \pm 0,4^\circ/\text{mm}$  ( $N=13$ ). Der Unterschied in der Effektivität zwischen den Operateuren ( $p=0,051$ ,  $N=53$ ), in der Größenordnung von 10%, war auffällig und lag nahe dem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ . Abbildung 25 lässt ebenfalls die Tendenz zu stärkeren Effekten durch Operateur 1 erkennen.

Auch für die kombinierte Konvergenzoperation zeigte sich eine Tendenz zu stärkeren Effekten von Operateur 1 mit einer mittleren Effektivität von  $2,1^\circ/\text{mm} \pm 0,5^\circ/\text{mm}$  ( $N=19$ ), gegenüber  $1,8^\circ/\text{mm} \pm 0,4^\circ/\text{mm}$  ( $N=23$ ) durch Operateur 2 (siehe Abbildung 26). Der Unterschied ( $p=0,083$ ,  $N=42$ ) blieb jedoch oberhalb des Niveaus  $p \leq 0,05$ .

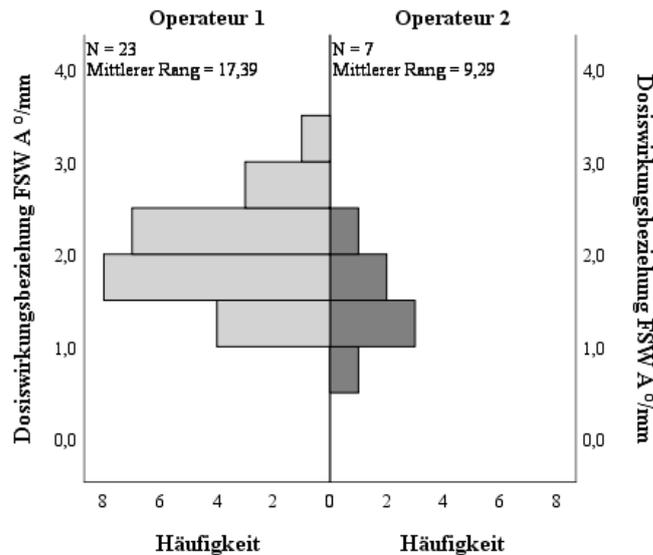
In der Gruppe der beidseitigen Medialisrücklagerung fiel ein Unterschied ( $p=0,033$ ,  $N=30$ ) zwischen den Operateuren auf, der relativ und absolut größer war als in den anderen Gruppen, bei jedoch nur geringer Patientenzahl für Operateur 2 (siehe Abbildung 27). Die mittlere Effektivität lag für Operateur 1 bei  $1,9^\circ/\text{mm} \pm 0,5^\circ/\text{mm}$  ( $N=23$ ) und für Operateur 2 bei  $1,4^\circ/\text{mm} \pm 0,4^\circ/\text{mm}$  ( $N=7$ ).



**Abbildung 25** Dreimuskelchirurgie - Direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel (FSW) von Operateur 1 und 2 mit Angabe der jeweiligen Häufigkeit



**Abbildung 26** Kombinierte Konvergenzoperation - Direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel (FSW) von Operateur 1 und 2 mit Angabe der jeweiligen Häufigkeit



**Abbildung 27** Beidseitige Medialisrücklagerung - Direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel (FSW) von Operateur 1 und 2 mit Angabe der jeweiligen Häufigkeit

Um eventuelle Dosierungsunterschiede als mögliche Ursache auszuschließen, wurden diese ebenfalls zwischen Operateur 1 und Operateur 2 verglichen. Es wurde mittels des Mann-Whitney-U-Tests bei unabhängigen Stichproben geprüft. Für keines der Operationsverfahren, 3M ( $p=0,779$ ,  $N=54$ ), BMR ( $p=0,131$ ,  $N=30$ ) und KK ( $p=0,842$ ,  $N=42$ ) fiel ein Unterschied, entsprechend des Niveaus  $p \leq 0,05$ , der absoluten Dosierungen zwischen den Operateuren auf. Auch für die relativen Dosierungen ( $\text{mm}/^\circ$ ) wurden keine Hinweise für Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den Operateuren gefunden: 3M ( $p=0,675$ ,  $N=54$ ), BMR ( $p=0,266$ ,  $N=30$ ) und KK ( $p=0,919$ ,  $N=42$ ).

### 3.6.3. Einfluss des Alters auf die Dosiswirkungsbeziehung

Mittels Rangkorrelation nach Spearman wurde eine Korrelation zwischen Alter zum Operationszeitpunkt und Dosiswirkungsbeziehung postoperativ, sowie zum Kontrollzeitpunkt geprüft. Dabei zeigte nur die direkt postoperative Effektivität der Gruppe Dreimuskelchirurgie eine negative Korrelation mit dem Alter. Die Effektivität ist bei Kindern als höher anzunehmen. Alle weiteren Tests blieben oberhalb des Niveaus  $p \leq 0,05$  (siehe Tabelle 9). Die Gruppe der beidseitigen Medialisrücklagerung ist in der Altersstruktur sehr homogen, weswegen keine Korrelation zu erwarten war.

**Tabelle 9** Korrelation nach Spearman von Alter zum Operationszeitpunkt zur Dosiswirkungsbeziehung postoperativ bzw. zum abschließenden Kontrollzeitpunkt

	Effektivität postoperativ			Effektivität zum Kontrollzeitpunkt		
	N	r	p	N	r	p
Alter 3M	53	<b>-0,401</b>	<b>0,003</b>	54	-0,122	0,380
Alter BMR	32	-0,206	0,258	32	-0,173	0,345
Alter KK	43	0,040	0,801	54	0,178	0,252

### 3.6.4. Schnitt-Naht-Zeiten

Für die einzelnen Operationsverfahren wurden die Zeiten vom ersten Bindehautschnitt bis zum Ende der letzten Bindehautnaht verglichen. Um Störeinflüsse zu vermeiden, wurden die Operationen mit zeitgleicher Obliquuschirurgie von diesem Vergleich ausgeschlossen.

Für die Dreimuskelchirurgie lagen 33 Datensätze vor, die mediane Schnitt-Naht-Zeit betrug 58 Minuten (34;111). Die mediane Schnitt-Naht-Zeit der beidseitigen Medialisrücklagerung betrug 40 Minuten (28;73) bei 21 verwertbaren Datensätzen. Für die kombinierte Konvergenzoperation betrug die Schnitt-Naht-Zeit im Median 38 Minuten (17;56) bei 30 Datensätzen. Es zeigte sich ein Unterschied der Schnitt-Naht-Zeiten der Dreimuskelchirurgie zu den anderen Operationsverfahren im Kurskal-Wallis-Test (siehe Tabelle 10). Zwischen der beidseitigen Medialisrücklagerung und der kombinierten Konvergenzoperation fiel kein Unterschied auf dem Niveau  $p \leq 0,05$  auf.

**Tabelle 10** Paarweise Vergleiche der Schnitt-Naht-Zeit nach Operationsverfahren (N=84)

Datensatz 1-Datensatz 2	Teststatistik	Standardfehler	Standardteststatistik	p	P(korrigiert) <sup>a</sup>
KK-BMR	9,788	6,937	1,411	0,158	0,475
KK-3M	32,080	6,150	5,216	0,000	0,000
BMR-3M	22,292	6,806	3,275	0,001	0,003

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.

a. Werte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

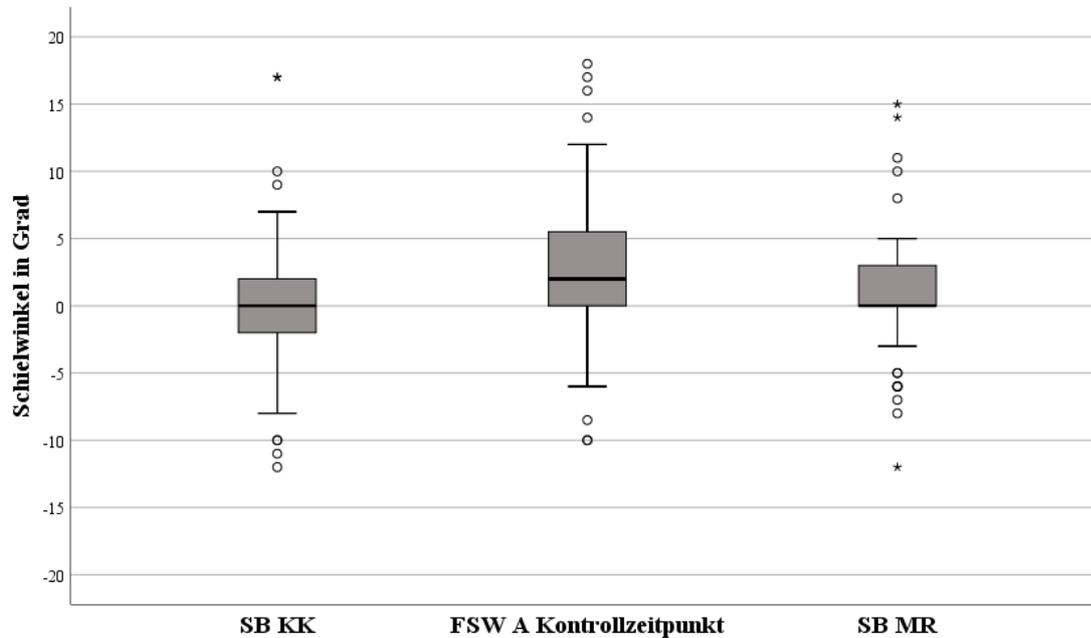
### 3.6.5. Horizontale Inkomitanz im Seitblick

Mit Hilfe der Varianzanalyse für Ränge nach Friedman bei verbundenen Stichproben wurde geprüft, ob sich die postoperativen Schielwinkel in den unterschiedlichen Blickrichtungen unterscheiden.

In der Gruppe der Dreimuskelchirurgie wurde in 49 Fällen zum Kontrollzeitpunkt der horizontale Schielwinkel im Rechts-/Linksblick erhoben. Für die Auswertung wurden die Schielwinkel im Blick zur Seite der kombinierten Konvergenzoperation (KK) und im Blick zur Seite mit alleiniger Medialisrücklagerung so transformiert, als wären alle KK am rechten Auge durchgeführt worden.

Der maximale Fernschielwinkel im Geradeausblick betrug im Median  $2^\circ$  (-10;18), beim Blick zur Seite der KK  $0^\circ$  (-12;17) und beim Blick zur Seite der alleinigen Medialisrücklagerung ebenfalls  $0^\circ$  (-12;15). In Abbildung 28 sind die Winkel vergleichend dargestellt. Die Differenzen aus Geradeausblick und Blick zur Seite der KK ergaben im Median  $2,0^\circ$  (-6;20), die Differenzen aus Geradeausblick und Blick zur Seite der Medialisrücklagerung  $1,0^\circ$  (-6;15). Im Mittel ergab die Differenz aus Geradeausblick und Blick zur Seite der KK  $2,6^\circ \pm 4,4^\circ$ , die Differenz aus Geradeausblick und Blick zur Seite der Medialisrücklagerung  $1,7^\circ \pm 4,1^\circ$ .

Die Varianzanalyse bestätigte einen Unterschied zwischen den Schielwinkeln in den Seitblicken und dem Geradeausblick (siehe Tabelle 11). Zwischen dem Blick zur Seite der kombinierten Konvergenzoperation und dem Blick zur Seite der Medialisrücklagerung gab es keine Hinweise auf einen Unterschied.



**Abbildung 28** Vergleich maximaler (A) Fernschielwinkel (FSW), im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenzoperation und zur Seite der Medialisrücklagerung (MR) zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=49)

**Tabelle 11** Paarweise Vergleiche der maximalen Schielwinkel im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenzoperation (KK), zur Seite der Medialisrücklagerung (MR) und im Geradeausblick zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie

Datensatz 1- Datensatz 2	Test-statistik	Standardfehler	Standardtest-statistik	p	P(korrigiert) <sup>a</sup>
SB KK - SB MR	-0,337	0,202	-1,667	0,096	0,287
SB KK - FSW A Kontrolle	-0,888	0,202	-4,394	0,000	0,000
SB MR - FSW A Kontrolle	0,551	0,202	2,727	0,006	0,019

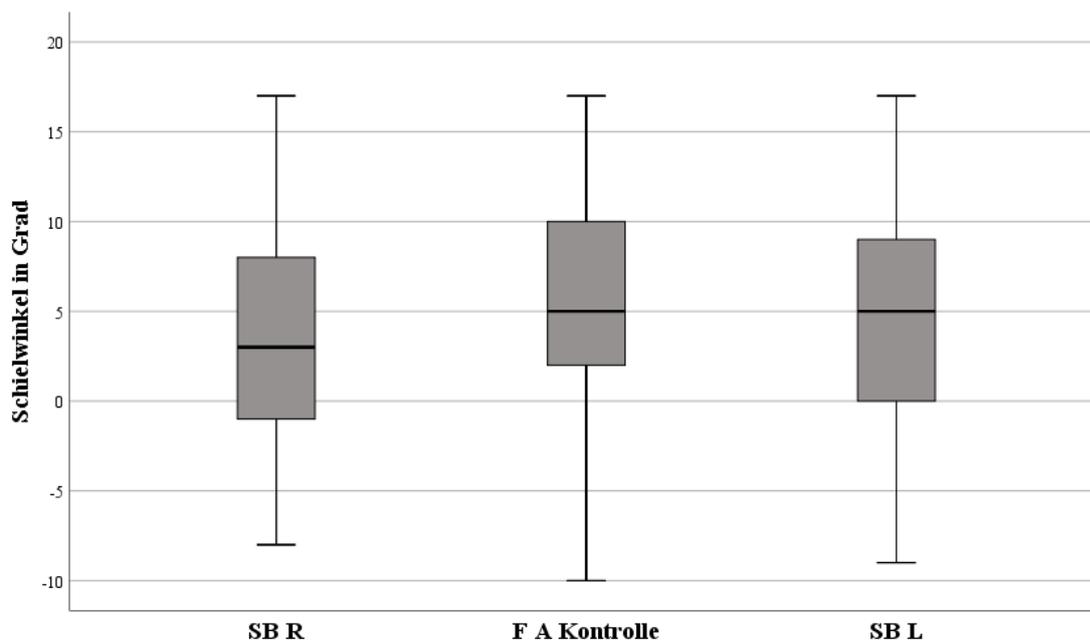
Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.

Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

In der Gruppe der beidseitigen Medialisrücklagerung wurde in 21 Fällen der Schielwinkel im Rechts-/Linksblick zum Kontrollzeitpunkt erhoben. Der maximale Fernschielwinkel im Geradeausblick betrug im Median  $5^\circ$  (-10;17), im Rechtsblick  $3^\circ$  (-8;17) und im Linksblick  $5^\circ$  (-9;17). In Abbildung 29 sind die drei Winkel vergleichend dargestellt. Die Differenz von Geradeausblick und Rechtsblick ergab im Median  $2,0^\circ$  (-3;14) und im Mittel  $2,1^\circ \pm 3,5^\circ$ , die Differenz aus Geradeausblick und Linksblick ergab  $1,0^\circ$  (-4;9) bzw.  $1,3^\circ \pm 2,8^\circ$ .

Für die beidseitige Medialisrücklagerung zeigte sich ein Unterschied zwischen dem Seitblick rechts und dem Geradeausblick in der Varianzanalyse. Für den Seitblick links ergab sich kein Hinweis auf eine relevante Inkomitanz im Vergleich zum Seitblick rechts bzw. dem Geradeausblick (siehe Tabelle 12).



**Abbildung 29** Vergleich maximaler (A) Fernschielwinkel (FSW), Seitblick (SB) rechts und Seitblick links zum Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=21)

**Tabelle 12** Paarweise Vergleiche der Schielwinkel im Seitblick (SB) rechts (R), Seitblick links (L) und im Geradeausblick zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung

Datensatz 1- Datensatz 2	Test- statistik	Standard- fehler	Standardtest- statistik	p	P(korrigiert) <sup>a</sup>
SB R - SB L	-0,429	0,309	-1,389	0,165	0,495
SB R - FSW A Kontrolle	-1,000	0,309	-3,240	0,001	0,004
SB L - FSW A Kontrolle	0,571	0,309	1,852	0,064	0,192

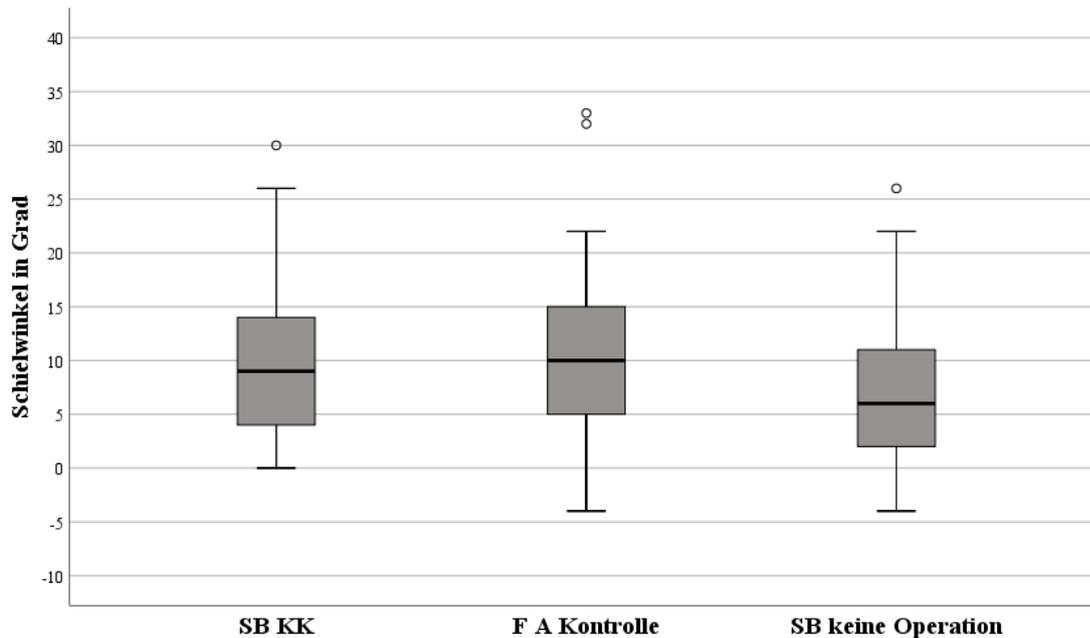
Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.

Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

Für die Gruppe der kombinierten Konvergenzoperation lagen die Schielwinkel im Rechts-/Linksblick in 41 Fällen zum Kontrollzeitpunkt vor. In der Auswertung wurden die Schielwinkel im Blick zur Seite der kombinierten Konvergenzoperation und im Blick zur anderen Seite verglichen. Der maximale Fernschielwinkel im Geradeausblick betrug im Median  $10^\circ$  (-4;33), beim Blick zur Seite der Operation  $9^\circ$  (-0;30) und beim Blick zur anderen Seite  $6^\circ$  (-4;26). In Abbildung 30 ist zu erkennen, dass die Differenz zwischen Geradeausblick und Blick zur operierten Seite sowohl im Median  $0^\circ$  (-5,22) als auch im Mittel mit  $-0,6^\circ \pm 4,9^\circ$  kleiner ist als die Differenz aus Geradeausblick und Blick zur nicht operierten Seite  $2^\circ$  (-3;22) bzw.  $3,5^\circ \pm 5,2^\circ$ .

Auch die Varianzanalyse bestätigte, insbesondere für den Blick zur Seite ohne Operation, die Inkomitanz. Zwischen Blick zur Seite der Operation und dem Geradeausblick ergab sich kein relevanter Unterschied (siehe Tabelle 13). Die kombinierte Konvergenzoperation hatte also in Adduktion des operierten Auges einen zunehmenden Effekt.



**Abbildung 30** Vergleich maximaler (A) Fernschielwinkel (FSW), im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenz und zur nicht operierten Seite zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=41)

**Tabelle 13** Paarweise Vergleiche der Schielwinkel im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenzoperation (KK), zur nicht operierten Seite und im Geradeausblick zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation

Datensatz 1- Datensatz 2	Test-statistik	Standardfehler	Standardtest-statistik	p	P(korrigiert) <sup>a</sup>
SB keine Operation - FSW A Kontrolle	0,768	0,221	3,479	0,001	0,002
SB keine Operation – SB KK	0,915	0,221	4,141	0,000	0,000
FSW A Kontrolle – SB KK	0,146	0,221	0,663	0,508	1,000

Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.

Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

a. Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst.

## 4. Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Operationsverfahren gegeneinander und mit der Literatur verglichen. Ein Teil der Daten der Gruppe Dreimuskelchirurgie wurde bereits in Co-Autorschaft (Gräf et al. 2021, 2022) publiziert. Das chirurgische Vorgehen zur Korrektur großwinkliger Esotropie ist nicht einheitlich. Es liegen keine Studien vor, welche die Operationsverfahren (3M, BMR, KK) für große Schielwinkel randomisiert gegeneinander prüfen. Auch in der vorliegenden Arbeit erfolgte keine Randomisierung, es wurde retrospektiv auf Daten aus Operationsberichten und Krankenakten zurückgegriffen. Die Eignung der Dreimuskelchirurgie zur Therapie großwinkliger Esotropie wurde bereits in den 1960er Jahren in zwei Publikationen erwähnt und gegenüber der Zweimuskelchirurgie als überlegen bewertet (Fisher et al. 1968; Taylor 1967). Seitdem folgten nur wenige Studien zur Therapieeffizienz der Dreimuskelchirurgie und sehr wenige Studien (Magli et al. 2014; Scott et al. 1986; Thomas und Guha 2010) mit direkten Vergleichen zu anderen gängigen Operationsverfahren.

### 4.1. Evaluation der Dreimuskelchirurgie

Für die horizontale Dreimuskelchirurgie wurden sehr unterschiedliche Erfolgsraten ( $|\text{Restschielwinkel}| \leq 10\text{PD}$ ) zwischen 30% und 100% beschrieben (Bayramlar et al. 2014; Camuglia et al. 2011; Chatzistefanou et al. 2013; Cifuentes et al. 2018; Forrest et al. 2003; Magli et al. 2014; Minkoff und Donahue 2005; Nabie et al. 2020; Sturm et al. 2015).

In der vorliegenden Betrachtung wurde der Zielbereich mit Exo- oder Esodeviation  $\leq 5^\circ$  im APCT definiert, da in der deutschen Strabologie in Grad gemessen wird. Ein Wert von 10 PD entspricht ca.  $5,7^\circ$  ( $\text{arc tan } 0,1$ ). Die vorliegende Studie ergab in 66% der Behandlungsfälle direkt postoperativ ein Ergebnis in diesem Bereich, zum abschließenden Kontrollzeitpunkt betrug die Erfolgsrate 62% bei Betrachtung des maximalen Fernschielwinkels. Bis auf eine Studie (Minkoff und Donahue 2005) mit sehr unbefriedigenden Ergebnissen, wiesen alle in Tabelle 14 verglichenen Studien ähnliche oder bessere Operationsergebnisse auf. Ursächlich für diesen Unterschied ist zum Teil der in der vorliegenden Studie enger gefasste Zielbereich. Weitere wesentliche Gründe dürften vor allem Unterschiede in der Schielwinkelmessung und der zur

Ergebnisbeurteilung verwendeten Schielwinkel sein. Den maximalen Winkel im alternierenden Prismenabdecktest bestimmt zu haben, gaben nur fünf Studien an (Camuglia et al. 2011; Chatzistefanou et al. 2013; Cifuentes et al. 2018; Forrest et al. 2003; Sturm et al. 2015). Es wurde jedoch größtenteils nicht eindeutig angegeben, ob ausschließlich Fernschielwinkel oder ein Mittel aus Fern- und Nahschielwinkel ausgewertet wurde. Forrest et al. gaben an, den Nahschielwinkel wenn möglich bestimmt zu haben, aber nicht, welcher Winkel für die Auswertung letztlich verwendet wurde. Minkoff und Donahue verwendeten bevorzugt den Fernschielwinkel, gaben aber an, dass dieser nicht immer verlässlich bestimmt werden konnte. Aufgrund des Alters der untersuchten Kinder von <24 Monaten, ist es fragwürdig, inwieweit die von ihnen beschriebene Methodik tatsächlich angewandt werden konnte (Minkoff und Donahue 2005). Die Kleinkinder und Säuglinge in diesem Alter fixieren ein weit entferntes Blickziel noch nicht zuverlässig. Auch der Prismenabdecktest in der Nähe ist in dieser Altersgruppe nur selten zuverlässig möglich, da die Stimmung des Kindes, Unaufmerksamkeit und Müdigkeit die erforderliche Mitarbeit limitieren. Zwei weitere Studien gaben nur an, den Prismenabdecktest genutzt zu haben, aber nicht, ob postoperativ der manifeste oder maximale Schielwinkel ausgewertet wurde (Bayramlar et al. 2014; Nabie et al. 2020).

In der Studie von Minkoff und Donahue war die Fallzahl mit 10 Kindern sehr klein. Direkt postoperativ war das Ergebnis gut, 80% der Kinder waren im Zielbereich und nur 20% waren überkorrigiert (Minkoff und Donahue 2005). Im Verlauf kam es zu einem Exodrift, 6 der 10 Behandelten benötigten eine Re-Operation wegen konsekutiver Exotropie (Minkoff und Donahue 2005). Die Nachbeobachtungszeit war uneinheitlich und wurde nicht eindeutig definiert (Minkoff und Donahue 2005). Die im Vergleich mit anderen Studien sehr hohe Exotropierate könnte durch die Art der Bestimmung der präoperativen Schielwinkel zu erklären sein. Minkoff und Donahue gaben an, die Schielwinkel mit dem Prismenabdecktest bestimmt zu haben. Ob dies bei den Kindern im Alter von 6 bis 23 Monaten wirklich umsetzbar war, erläuterten sie nicht. Sie erklärten das Ergebnis mit der Verwendung von Dosierungstabellen für Erwachsene (Minkoff und Donahue 2005), auch dies könnte den Übereffekt erklären. Die Dosierung sollte der geringeren Augengröße und den kürzeren Muskeln bei Kleinkindern und Säuglingen angepasst werden, wie z.B. in der vorliegenden Studie.

Die Beschreibung der Methode zur Bestimmung großer Schielwinkel war in der Mehrzahl der Studien (Bayramlar et al. 2014; Cifuentes et al. 2018; Minkoff und Donahue

2005; Nabie et al. 2020; Sturm et al. 2015) nicht eindeutig nachvollziehbar. Systematische Fehler bei der Schielwinkelmessung lassen sich deswegen nicht ausschließen. Zur Messung großer Schielwinkel reichen die regulären Prismenstärken nicht aus. Prismen dieser Ablenkung sind nicht verfügbar bzw. physikalisch gar nicht möglich, deshalb müssen zwei Prismen zur Winkelbestimmung genutzt werden. Aus den genannten Studien geht nicht hervor, ob die Prismen vor beiden Augen verteilt oder übereinandergelegt genutzt wurden. Im letzteren Fall ist zu berücksichtigen, dass eine bloße Addition der beiden Einzelprismenwerte nicht zulässig ist und enorme Fehler nach sich ziehen kann (Thompson und Guyton 1983). Prismendioptrien verhalten sich nicht linear sondern entsprechend der trigonometrischen Arcustangens-Funktion (Hardy 1945). Die Addition von Werten in Prismendioptrien lässt sich durch die mangelnden Angaben in den genannten Studien nicht ausschließen. Nur Camuglia et al. haben die Schielwinkelmessung exakt beschrieben und auf die entsprechenden Probleme verwiesen (Camuglia et al. 2011).

Forrest et al. schätzten in der Diskussion ihrer Ergebnisse die Notwendigkeit des Krimsky-Tests, bei dem die Schielwinkel anhand des Hornhautreflex bestimmt werden, bei sehr jungen Kindern als problematisch ein (Forrest et al. 2003). Die Beurteilung der Hornhautspiegelbilder ist selbst bei erfahrenen Untersuchenden ungenauer und stärker von den Untersuchenden abhängig als der Prismenabdecktest (Choi und Kushner 1998). Zumindest in vier Studien wurde teilweise auf Hornhautspiegelbilder zurückgegriffen (Bayramlar et al. 2014; Camuglia et al. 2011; Nabie et al. 2020; Sturm et al. 2015).

Forrest et al. betrachteten retrospektiv 49 Fälle von Dreimuskelchirurgie bei frühkindlicher Esotropie. Der Anlass war, dass ihnen wiederholt Unterkorrekturen bei der Verwendung der beidseitigen Medialisrücklagerung aufgefallen waren. Auch hier waren die Kinder mit durchschnittlich 12,9 Monaten sehr jung (Forrest et al. 2003). Sie nutzten für die Auswertung ihrer Ergebnisse Mittelwerte (Forrest et al. 2003). Für nicht sicher normalverteilte Datensätze ist die Nutzung von Medianen zu bevorzugen. Es ist für den Vergleich problematisch, dass dies in der Literatur unterschiedlich gehandhabt wird (Tabelle 14). Forrest et al. hatten eine Nachbeobachtungszeit von 2 Jahren als Ziel und führten anschließend eine Kaplan-Mayer-Analyse durch, um eine Verlaufsprognose über 6 Jahre geben zu können. Allerdings lagen nach 2 Jahren in nur 30 von 49 Fällen Angaben vor (Forrest et al. 2003). Die Variabilität der Nachbeobachtungszeit kann zu Selektionsbias führen (Seigel 1985). Forrest et al. folgerten aus ihren Ergebnissen, dass

die Dreimuskelchirurgie eine gute Therapieoption wäre und gaben eine entsprechende Dosierungsempfehlung. Abhängig von Alter und Schielwinkelgröße empfahlen sie 10mm bis 11mm Gesamtstrecke für die beidseitige Medialisrücklagerung und 4mm bis 8mm für die Verkürzung des *M. rectus lateralis*. Darauf aufbauend prüften Camuglia et al. mit demselben Seniorautor prospektiv in 51 Fällen die Dosierungsempfehlung. Mit Hilfe der Kaplan-Meier-Analyse erfolgte die Verlaufsprognose zu erwartender Ergebnisse für einen Zeitraum von 8 Jahren (Camuglia et al. 2011). In der Studie selbst wurden Untersuchungen zwischen 1 Woche und 2 Jahren postoperativ vorgenommen (Camuglia et al. 2011). Es wird nicht angegeben, wie viele Untersuchungen zu diesen Zeitpunkten tatsächlich erfolgten (Camuglia et al. 2011). Die direkt postoperative Erfolgsrate von 100% ist unglaublich hoch, die Prognose nach 8 Jahren mit 73,6% Erfolg bestätigt hingegen die Stärken der Dreimuskelchirurgie. Forrest et al. und Camuglia et al. haben die Operationsstrecken ausgehend vom *Limbus corneae* bestimmt, was genauer ist als die Bestimmung ausgehend von der Muskelinsertion, denn nach der Deinsertion kommt es häufig zu einer Verschiebung der Insertion nach anterior durch den Wegfall des Muskelzugs. Diese individuell unterschiedliche Dislokation kann den Operationseffekt ungewünscht beeinflussen (Honglertnapakul et al. 2020). Eine möglichst hohe Messgenauigkeit hat Einfluss auf das finale Ergebnis (Camuglia et al. 2011).

Chatzistefanou et al. präsentierten mit 194 Behandlungsfällen die bisher größte Studie zur Dreimuskelchirurgie bei großer Esotropie, das mediane Behandlungsalter lag bei 2,7 Jahren. In allen Behandlungsfällen erfolgte eine postoperative Kontrolle nach 8 Wochen, eine finale Untersuchung erfolgte in 178 Behandlungsfällen nach frühestens 6 Monaten (Chatzistefanou et al. 2013). Dabei zeigte sich 8 Wochen postoperativ in 79,4% ein Restschielwinkel im Bereich von  $\pm 10$ PD. Zum letzten Nachbeobachtungszeitpunkt nahm nach diesem Kriterium die Erfolgsrate auf 60,7% ab, wobei die Rate der Esodeviationen mit 15,5% zu 15,2% nahezu konstant blieb (Chatzistefanou et al. 2013). Die Rate der Exodeviationen nahm von 5,2% auf 24,2% deutlich zu, als Zeichen für einen langfristigen Exodrift (Chatzistefanou et al. 2013).

Folk et al. untersuchten, in welchem Zeitraum sich eine konsekutive Exotropie entwickelte. Hierfür betrachteten sie 250 Behandlungsfälle mit Exodrift nach operativer Korrektur der Esotropie. Sie fanden, dass nur 50% der Exodeviationen innerhalb des ersten Jahres aufgetreten sind und empfahlen längere Nachbeobachtungszeiten für die

Beurteilung der Exotropierate (Folk et al. 1983). Die Nachbeobachtungszeit der vorliegenden Studie ist dem gegenüber eher mittelfristig (Tabelle 14). Doch auch in Studien mit deutlich längerer Nachbeobachtungszeit (Bayramlar et al. 2014; Cifuentes et al. 2018; Forrest et al. 2003; Nabie et al. 2020) wurden keine übermäßigen Exotropieraten beobachtet. Im Gegensatz zu den früheren Befürchtungen von Folk et al. beobachteten Bayramlar et al., Nabie et al., Sturm et al. und die vorliegende Studie häufiger Unter- als Überkorrekturen. In anderen Studien waren Über- und Unterkorrekturen annähernd gleich häufig (Camuglia et al. 2011; Cifuentes et al. 2018; Forrest et al. 2003).

Die Studie von Sturm et al. ist mit dem Aufbau der vorliegenden Studie am besten vergleichbar. Das mittlere Behandlungsalter betrug 7,9 Jahre (1;27), im Vergleich zu 8,2 Jahren in der vorliegenden Studie. Der präoperativ gemessene maximale Schielwinkel war im Mittel mit  $30,2^\circ$  etwas kleiner als die  $34,2^\circ$  der vorliegenden Studie, weil bereits Schielwinkel ab  $21,8^\circ$  (40PD) eingeschlossen wurden (Sturm et al. 2015). Geringere Schielwinkel wurden nur in der Studie von Cifuentes et al. mit 35 PD aufgenommen, alle anderen Publikationen hatten größere Schielwinkel als Einschlusskriterium: Chatzistefanou et al., Forrest et al. und Nabie et al. wählten 50 PD als Grenzwert, wie in der vorliegenden Studie. Bayramlar et al. sowie Minkoff und Donahue wählten 55 PD und Camuglia et al. 60 PD. Chatzistefanou et al. verwiesen auf ein erhöhtes Risiko konsekutiver Exodeviationen bei Einsatz der Dreimuskelchirurgie für kleine Winkel, was jedoch eher der Dosierung als der Verteilung zuzuschreiben ist. Das damit etwas unterschiedliche Einschlusskriterium der minimalen Schielwinkelgröße hat vermutlich keinen wesentlichen Einfluss auf die in Tabelle 14 dargestellten Erfolgsraten. Deren Streuung dürfte vielmehr durch die Art der prä- und postoperativen Diagnostik und die Dauer der Nachbeobachtungszeit zu erklären sein. Zu berücksichtigen ist auch die Gruppengröße, so kann eine Erfolgsrate von 100% bei nur 9 Behandlungsfällen (Cifuentes et al. 2018) wahrscheinlicher zufallsbedingt sein als in einer Gruppe von 51 Behandlungsfällen (Camuglia et al. 2011).

Die größeren präoperativen Schielwinkel der vorliegenden Studie im Vergleich zur Studie von Sturm et al. erklären Unterschiede in der absoluten Schielwinkelreduktion. Sturm et al. berichteten postoperativ über eine Schielwinkelreduktion um  $27,6^\circ$ , von  $30,2^\circ$  auf  $2,6^\circ$ , und zum Kontrollzeitpunkt nach 6 Monaten immer noch um  $26,4^\circ$  auf  $5,5^\circ$  (Sturm et al. 2015). Die vorliegende Studie ergab bei Betrachtung der Mittelwerte direkt postoperativ eine Reduktion um  $33,5^\circ$ , von  $34,2^\circ$  auf  $0,7^\circ$ , und zum Kontrollzeitpunkt um

31,3° auf 2,9°. Beiden Studien ist die Tendenz zu einer geringen Abnahme des Effekts innerhalb des Kontrollintervalls gemeinsam. Dies deutet, zumindest mittelfristig, ebenfalls nicht auf eine Zunahme von Exotropie hin.

Beim Vergleich mit den genannten Studien sind Unterschiede in der Methodik und besonders auch dem Operationsalter zu bedenken (Gräf et al. 2022). Vielerorts wird eine Operation frühkindlicher Esotropie schon im Säuglings- bzw. Kleinkindalter angestrebt, im Wunsch, durch die frühe Operation ein besseres Stereosehen zu ermöglichen. Verschiedene Publikationen konnten keinen signifikanten Vorteil nachweisen (Fisher et al. 1968; Ing et al. 1966), während andere diesen bestätigten (Simonsz et al. 2005; Taylor 1963). Taylor untersuchte 37 Kinder im Alter zwischen 6 und 23 Monaten. Er schlussfolgerte, eine Operation im Alter zwischen 6 und 12 Monaten sei der optimale Zeitpunkt, hatte aber keine statistischen Belege hierfür (Taylor 1963). Weder verglich er in der Studie mit später operierten Kindern, noch ergaben seine Daten deutliche Hinweise für einen Vorteil (Taylor 1963). In Deutschland wird weitgehend eine Operation im Kindergarten- und Vorschulalter bevorzugt, wenn die Mitarbeit der Kinder für eine exakte Schielwinkelbestimmung gegeben ist und gegebenenfalls durch Okklusion die Amblyopie therapiert ist bzw. wegen des quasi protektiven Effekts des großen Schielwinkels gegen Fixationspräferenzen (Zipf 1976) gar nicht auftrat. Bei sehr zeitigen Operationen ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, mögliche Vertikaldeviationen zu übersehen und deswegen nicht im selben Therapieschritt zu behandeln oder auch, dass eine erst später hinzutretende Vertikaldeviation einen späteren Eingriff erfordert. Dies belegten Camuglia et al., die über 8 Fälle berichteten, bei denen eine spätere Obliquuschirurgie notwendig war (Camuglia et al. 2011). In der Literatur zur Dreimuskelchirurgie zeigten sich Unterschiede hinsichtlich des Operationsalters, während in vier Studien (Bayramlar et al. 2014; Camuglia et al. 2011; Forrest et al. 2003; Minkoff und Donahue 2005) sehr früh operiert wurde, waren die Kinder in der vorliegenden und den anderen betrachteten Studien (Chatzistefanou et al. 2013; Cifuentes et al. 2018; Nabie et al. 2020; Sturm et al. 2015) deutlich älter (Tabelle 14).

Die Dreimuskelchirurgie zeigte von den drei untersuchten Operationsverfahren mittelfristig die höchste Erfolgsrate. Im Zusammenhang mit den existierenden Publikationen bestätigt sich, dass die Dreimuskelchirurgie eine geeignete Behandlungsmethode zur Therapie großwinkliger Esotropie ist.

**Tabelle 14** Literaturvergleich Dreimuskelchirurgie

Studie	Statistik	N	Alter (J)	NBZ (M)	Präop. SW	Ergebnis postoperativ in %			Ergebnis NBZ in %		
						ZB	Unter- korr.	Über- korr.	ZB	Unter- korr.	Über- korr.
Forrest et al., 2003	MW	49	1,1	32,9	69 PD (60;85)	85,7	4,1	10,2	77,5	10,2	12,2
Minkoff und Donahue, 2005	MW	10	1,1	37,1	62,5 PD (55;80)	80	0	10	30	10	60
Camuglia et al., 2011	Median	51	1	37,2	65 PD (60;80)	100	0	0	73,6	7,8	9,7
Chatzistefanou et al., 2013	MW	194	4,3	79,2	68,2 PD (60;90)	79,4	15,5	5,2	60,7	15,2	24,2
Bayramlar et al., 2014	Median	18	1,8	32	68,8 PD (60;85)	78,8	22,2	0	78,8	22,2	0
Sturm et al., 2015	MW	27	7,9	6	30,2° (22;48)	-	-	-	64	26	7
Cifuentes et al., 2018	MW	9	48	12,5	45,6 PD (30;70)	-	-	-	100	0	0
Nabie et al., 2020	MW	37	12,2	15,7	70,4 PD (60;85)	-	-	-	81	16	3
Vorliegende Studie	Median	54	5,5	4	34° (27;45)	66,0	20,8	13,2	62,3	30,2	7,6
	MW		8,2	5,1	34,2°						

Alter in Jahren (J); NBZ - Nachbeobachtungszeit in Monaten (M), präop. SW - präoperativer Schielwinkel, ZB – Zielbereich ( $|SW| \leq 10PD$ ), Korr. – Korrektur

#### 4.2. Evaluation der beidseitigen Medialisrücklagerung

Für die beidseitige Medialisrücklagerung sind in der Literatur Erfolgsraten ( $|Restschielwinkel| \leq 10PD$ ) zwischen 40% und 91% beschrieben (Tabelle 15). Ältere Studien mit einer oberen Dosierungsgrenze von 5mm für die Medialisrücklagerung wurden nicht in die Diskussion eingeschlossen (Helveston et al. 1983; Kushner und Morton 1984). Diese Dosierungen sind bei sehr großen Schielwinkeln nicht mehr zeitgemäß, ihre Einbeziehung könnte den Vergleich durch gehäufte Unterkorrekturen verfälschen.

Szmyd et al. ermittelten Erfolgsraten von 91,1% bei großwinkliger frühkindlicher Esotropie ( $\geq 50PD$ ), wobei die Nachbeobachtungszeit mit 6 Wochen relativ kurz war. Die Auswertung erfolgte in zwei Gruppen, eine Gruppe erhielt eine beidseitige Medialisrücklagerung von 6mm, die andere Gruppe von 7mm (Szmyd et al. 1985). Die

Dosierungen sind mit denen der vorliegenden Studie (6,5 – 8mm je Muskel bei BMR) vergleichbar. Es wurden ausschließlich Kleinkinder im Alter von 5 bis 24 Monaten behandelt. Szmyd et al. positionierten sich gegen eine primäre Dreimuskelchirurgie, da ihnen die beidseitige Medialisrücklagerung als ausreichend erschien. Ihre Auswertung setzten Nelson et al. für 95 Behandlungsfälle fort. Sie werteten die Langzeitergebnisse über einen durchschnittlichen Nachbeobachtungszeitraum von 23,4 Monaten aus und ermittelten eine Erfolgsrate von immer noch 83,5% (Nelson et al. 1987).

Weakley et al. behandelten Winkel im Bereich von 65 bis 105 PD bei im Mittel 9,3 Monate alten Kindern. Sie verzeichneten Erfolgsraten von 75% (Weakley et al. 1991). Sie hielten die beidseitige Medialisrücklagerung für eine gute Option zur Korrektur großwinkliger Esotropie (Weakley et al. 1991). Als Vorteile der beidseitigen Medialisrücklagerung im Vergleich zur Dreimuskelchirurgie nannten sie eine einfacher zu erlernende Technik, eine kürzere Operationszeit und die Verfügbarkeit von zwei unberührten Muskeln für spätere Korrekturen (Weakley et al. 1991). Die Datenanalyse in Absatz 3.6.4 bestätigte, dass Zweimuskeloperationen logischerweise kürzere Operationszeiten aufwiesen als Dreimuskeloperationen. Die mediane Schnittnahtzeit war für die Dreimuskelchirurgie 18min länger als die der beidseitigen Medialisrücklagerung. Die Erfahrungen der Universitätsaugenklinik Gießen bestätigen nicht, dass eine Muskelverkürzung in Form der Faltung oder Resektion schwieriger zu erlernen sei.

Damanakis et al. untersuchten 16 Kleinkinder (18-36 Monate) mit sehr großen Innenschielwinkeln von 80 bis 90 PD. Alle Kinder erhielten eine beidseitige Medialisrücklagerung von 8mm je Muskel (Damanakis et al. 1994). Die Nachbeobachtungszeit betrug 6 bis 48 Monate, die Erfolgsrate am Ende der Nachbeobachtungszeit lag bei 75% (Damanakis et al. 1994).

Assaf hingegen berichtete mit einer Erfolgsrate von 40% über deutlich schlechtere Ergebnisse bei der im Vergleich größten Untersuchungsgruppe (N=101). Im Vergleich zu den zuvor genannten Studien war bei Assaf das mittlere Alter mit 6 Jahren deutlich höher, die präoperativen Fernschielwinkel lagen zwischen 30 und 95 PD. Er beobachtete die Tendenz, dass sich nach Unterkorrekturen der Schielwinkel im Lauf der Zeit noch in den Zielbereich verkleinert und empfahl, mit der Dosierung auf eine leichte Unterkorrektur zu zielen (Assaf 1997). Diese Exodrift fand die vorliegenden Studie

ebenfalls, der Anteil an Unterkorrekturen nahm über die Nachbeobachtungszeit von 43,8% auf 37,5% ab. Der Anteil der Überkorrekturen stieg hingegen von 3,1% auf 15,6%.

Vroman et al. verglichen die beidseitige Medialisrücklagerung in zwei Gruppen mit Winkeln von  $\leq 50$  PD und  $> 50$  PD. Als Erfolgskriterium legten sie keinen Zielbereich für den Schielwinkel fest, sondern, ob eine Re-Operation erfolgte (Vroman et al. 2000). Vroman et al. fanden für die Gruppe mit kleineren Winkeln eine Re-Operationsrate von 47%, bei größeren Winkeln von 20%. Das Erfolgskriterium war maßgeblich von den individuellen Entscheidungen und Wünschen der Beteiligten beeinflusst. Da nur Kleinkinder von 4 bis 18 Monaten operiert wurden, also insbesondere durch die Vorstellungen der Eltern. Es ist keine ausreichende Vergleichbarkeit gegeben, weswegen diese Studie nicht in Tabelle 15 einbezogen wurde.

**Tabelle 15** Literaturvergleich beidseitige Medialisrücklagerung

Studie	Statistik	N	Alter (J)	NBZ (M)	Präop. SW	Ergebnis postoperativ in %			Ergebnis NBZ in %		
						ZB	Unter-korr.	Über-korr.	ZB	Unter-korr.	Über-korr.
Szmyd et al., 1985	MW	45	1	13	62,8 PD (55;85)	91,1	8,9	0	84,5	11,1	4,4
Weakley et al., 1991	MW	36	0,8	18,2	74 PD (65;100)	-	-	-	75	14	11
Damanakis et al., 1994	MW	16	2,2	16,3	82,5 PD (80;90)	-	-	-	75	25	0
Assaf, 1997	MW	101	6,0	17,7	58,2 PD (30;95)	31,7	60,4	7,9	40,0	42,7	17,3
Thomas und Guha, 2010	MW	20	4,2	7,3	59,8 PD (45;90)	-	-	-	65	30	5
Ghali, 2017	MW	12	9,9	24	79,2 PD (70;90)	-	-	-	50	50	0
Talebnejad et al., 2020	MW	34	10,8	12	69,5 PD (65;90)	-	-	-	54	33	13
Vorliegende Studie	Median	32	5,0	4	31,5° (27;46)	43,8	53,1	3,1	37,5	46,9	15,6
	MW		4,9	5,2	32,9°						

Alter in Jahren (J); NBZ - Nachbeobachtungszeit in Monaten (M), präop. SW - präoperativer Schielwinkel, ZB – Zielbereich ( $|SW| \leq 10$ PD), Korr. –Korrektur

Bachar Zipori et al. analysierten 171 Behandlungsfälle auf Risikofaktoren für eine Re-Operation. Sie stellten fest, dass Unterkorrekturen für größere Winkel deutlich häufiger waren als für kleinere Winkel, ein Winkel  $>60$  PD war ein Risikofaktor für Misserfolg (Bachar Zipori et al. 2020). Es fehlen Angaben von Dosierungen, weswegen eine zu geringe Dosis als Ursache nicht auszuschließen ist (Bachar Zipori et al. 2020). Sie fanden eine Operation im Alter  $< 1$  Jahr oder  $> 7$  Jahre als weiteren Risikofaktor für Misserfolg, wobei das mittlere Alter 5,1 Jahre betrug (Bachar Zipori et al. 2020). Die Studie gibt keine eindeutige Antwort, ob die beidseitige Medialisrücklagerung für große Winkel geeignet ist (Bachar Zipori et al. 2020).

Thomas und Guha betrachteten 50 Behandlungsfälle mit großwinkligem Schielen, sowohl Eso- als auch Exodeviation. Sie schlüsselten ihre Auswertung in unterschiedliche Subgruppen auf und prüften mögliche Einflussfaktoren auf das Ergebnis (Thomas und Guha 2010). Für die beidseitige Medialisrücklagerung fanden sie in 13 von 20 Fällen ein Ergebnis im Zielbereich (Thomas und Guha 2010). Im Gegensatz zu Bachar Zipori et al. konnten sie in der gesamten Gruppe keinen Einfluss des Alters auf das Operationsergebnis nachweisen, wobei das mittlere Alter mit 4,2 Jahren niedriger war (Thomas und Guha 2010).

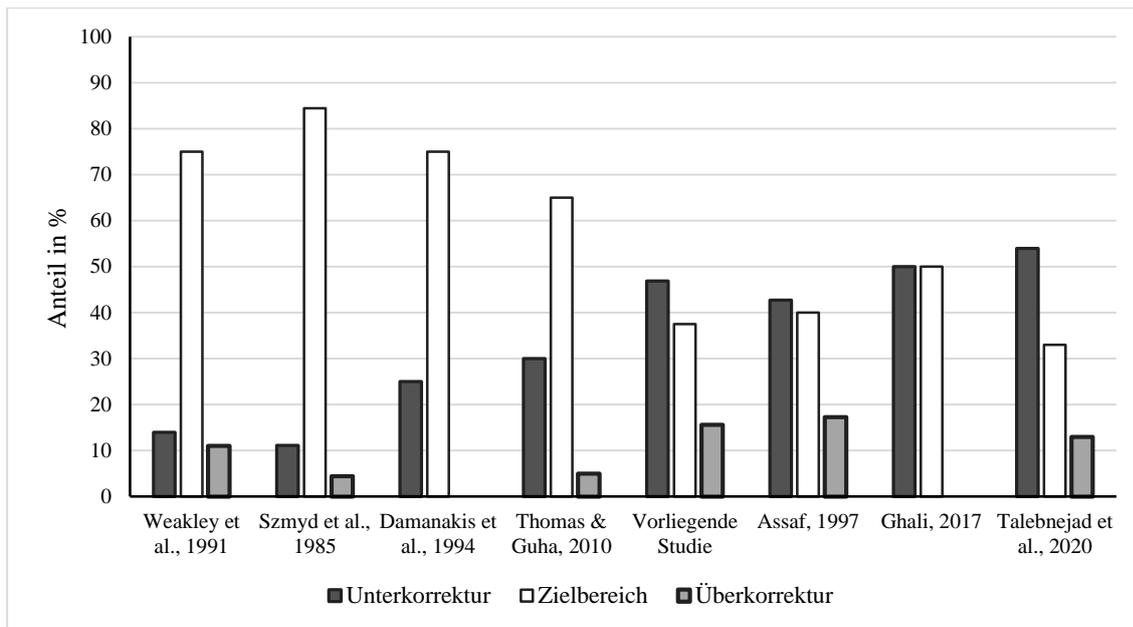
Ghali verglich die beidseitige Medialisrücklagerung mit der beidseitigen Medialis-Sehnenverlängerung. Es wurden 12 beidseitige Medialisrücklagerungen bei einem mittleren Operationsalter von 9,9 Jahren untersucht (Ghali 2017). Die Nachbeobachtungszeit betrug 24 Monate, am Ende dieser waren 50% der Behandlungsfälle ausreichend korrigiert (Ghali 2017). Es wurden Dosierungen zwischen 7 bis 8mm je Muskel verwendet, die auch für sehr große Schielwinkel von 70 bis 90 PD eingesetzt wurden (Ghali 2017). Ghali empfahl die beidseitige Medialisrücklagerung in den üblichen Dosierungen nicht als primäres Operationsverfahren für sehr große Schielwinkel, da er deren Effektivität für diese Behandlungsfälle als unzureichend einschätzte.

Wiederholt wurde in der Literatur die Frage aufgeworfen, ob die großstreckige Medialisrücklagerung zu Adduktionsdefiziten, Inkomitanz oder Konvergenzschwäche führt. Szmyd et al. fanden keine klinisch bedeutsamen Adduktionsdefizite oder Konvergenzschwächen in ihrer Untersuchungsgruppe. Damanakis et al. sowie Weakley et al. kamen zum gleichen Ergebnis. Allerdings fehlten genaue Angaben zur Prüfung und Ergebnisbewertung (Damanakis et al. 1994; Szmyd et al. 1985; Weakley et al. 1991).

Assaf beschrieb in 3% der Fälle moderate Adduktionsdefizite und Ghali beobachtete 2 Fälle mit Adduktionseinschränkung (Assaf 1997; Ghali 2017). Es finden sich generell nur wenige Angaben zum Schielwinkelverhalten in den Seitblicken. In der vorliegenden Studie ergab die Differenz von Geradeausblick und Rechtsblick mit  $2,0^\circ$  Unterschied zwischen den Medianen einen Hinweis auf Inkomitanz, was als gering zu werten und klinisch nicht relevant ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen teilweise deutliche Abweichungen von den genannten Studien in Tabelle 15. Ein Grund könnte das höhere Operationsalter sein. In Abbildung 31 sind die Ergebnisse der Studien aufsteigend nach dem durchschnittlichen Behandlungsalter dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Studien, bei welchen primär im Kleinkindalter operiert wurde, bessere Erfolgsraten für die beidseitige Medialisrücklagerung erzielen (Damanakis et al. 1994; Szmyd et al. 1985; Thomas und Guha 2010; Weakley et al. 1991). Ab einem mittleren Alter von 5 Jahren waren die Schielwinkel weniger häufig in den Zielbereich korrigiert (Assaf 1997; Ghali 2017; Talebnejad et al. 2020).

Nach unserer Auswertung ist die beidseitige Medialisrücklagerung zur Korrektur großwinkliger Esotropie in einem einzigen Eingriff nicht besser geeignet als die kombinierte Konvergenzoperation oder die Dreimuskelchirurgie. Abbildung 31 zeigt, dass mittelfristig gute Ergebnisse im Kleinkindalter erzielt werden konnten. Es ist nicht abschließend erforscht, wieso Kinder besser auf die Korrektur ansprechen. Eine mögliche Ursache könnte die stärker ausgeprägte Koaktivierung von Agonisten- und Antagonisten der Muskulatur von Kindern sein (Dotan et al. 2012). Auch denkbar ist eine verstärkte Wirkung der Muskellängendifferenz an den kleineren Kinderaugen (Hassan et al. 2018). Für das ältere Patientenkollektiv der Gießener Augenklinik führte die beidseitige Medialisrücklagerung in der vorliegenden Studie jedoch nicht zu zufriedenstellenden Operationsergebnissen.



**Abbildung 31** Literaturvergleich der Ergebnisse bei beidseitiger Medialisrücklagerung am Ende der Nachbeobachtungszeit; Studien aufsteigend nach mittlerem Behandlungsalter sortiert

### 4.3. Evaluation der kombinierten Konvergenzoperation

Als Vorteile einer kombinierten Konvergenzoperation, ähnlich denen der beidseitigen Medialisrücklagerung, werden kürzere Operationszeiten im Vergleich zur Dreimuskelchirurgie aufgeführt sowie die zwei unberührten Muskeln am anderen Auge für eine weitere Augenmuskeloperation. Der erstgenannte Vorteil kommt jedoch nur zum Tragen, wenn keine weiteren Eingriffe erforderlich werden. Ein häufiges Argument für die kombinierte Konvergenzoperation ist, dass das zweite Auge keinen Operationsrisiken (Nachblutungen, Infektionen) ausgesetzt ist, wenngleich diese gering sind. Wegen der Befürchtungen einer Komplikation wünschen insbesondere Personen mit einem amblyopen Auge keinen Eingriff am besser sehenden Auge, was für eine kombinierte Konvergenzoperation spricht (Kaufmann und Steffen 2020b). Die Operationsstrecken sind bei großen Schielwinkeln dementsprechend sehr groß, dies führt gegebenenfalls postoperativ zu Inkomitanz. Im Übrigen ist zu berücksichtigen, dass eine assoziierte Kopfwangshaltung nur durch eine Operation am besseren Auge mitkorrigiert werden kann.

Für die kombinierte Konvergenzoperation bei großwinkliger Esotropie wurden Erfolgsraten ( $|\text{Restschielwinkel}| \leq 10\text{PD}$ ) zwischen 52% und 66% beschrieben (Tabelle 16). In dem deutschen Standardwerk „Strabismus“ reicht die Dosierempfehlung für die kombinierte Konvergenzoperation nur bis zu Schielwinkeln von  $25^\circ$  (Kaufmann und Steffen 2020b).

Millán et al. untersuchten in einer Studie aus Brasilien 44 Fälle von großwinkliger Esotropie. Im Vergleich zur sonstigen Literatur wählten sie mit  $\pm 15$  PD ein weniger strenges Erfolgskriterium (Millán et al. 2009). Die kombinierte Konvergenzoperation ergab bis 60 PD ( $\sim 31^\circ$ ) akzeptable Resultate. Als Obergrenze für ein befriedigendes Ergebnis nannten sie einen Schielwinkel von 62,5 PD (Millán et al. 2009). Größere Schielwinkel konnten in der Regel nicht erfolgreich behandelt werden (Millán et al. 2009). Sie verwendeten im Bereich von 95-100 PD ( $\sim 43,5-45^\circ$ ) eine Dosis von 8mm Medialisrücklagerung und 9mm Lateralisresektion, was bei linearer Extrapolation von Kaufmanns Dosierungsgrafiken einen Effekt von ca.  $27^\circ$  erwarten ließ. Für diese hochdosierte Behandlungsgruppe wurden von Millán et al. Einschränkungen der okulären Beweglichkeit beobachtet, jedoch nicht konkret beschrieben (Millán et al. 2009).

Die maximale Dosierung in der vorliegenden Studie betrug 7mm Medialisrücklagerung und 9mm Lateralisverkürzung, um eine größere postoperative Inkomitanz und Adduktionseinschränkungen zu vermeiden. Die Differenz von  $2^\circ$  zwischen den Medianen in Geradeausblick und Blick zur nicht operierten Seite zeigte eine Inkomitanz, die in dieser Größenordnung noch klinisch vernachlässigbar ist. Die maximale individuelle Inkomitanz zwischen den Seitblicken betrug  $15^\circ$ . Für den Einzelfall kann im Rahmen der kombinierten Konvergenzoperation eine nicht zu vernachlässigende Inkomitanz entstehen, insgesamt zeigte sich in 3 Fällen eine Inkomitanz  $>10^\circ$ .

Kolling betrachtete 58 Behandlungsfälle, welche eine hochdosierte ( $>13\text{mm}$ ) kombinierte Konvergenzoperation erhielten. Auch er diskutierte anhand eines Fallbeispiels, ob ein erhöhtes Risiko für Bewegungsdefizite besteht: Bei einem präoperativen Schielwinkel von  $36^\circ$  wurde mit einer Dosierung von 9/9 operiert (Kolling 1989). Die postoperative Differenz von  $10^\circ$  zwischen den Seitblicken nahm in 3 Monaten auf  $5^\circ$  ab, der stärkere Effekt im kontralateralen Seitblick blieb bestehen (Kolling 1989). Kolling wies darauf hin, dass bei beidseitigen Eingriffen „postoperativ eine bessere und harmonischere Beweglichkeit der Augen“ erzielt werden könnte (Kolling 1989). Er fand

Dosiswirkungsbeziehungen von 1,59 bis 1,64°/mm (Kolling 1989), entsprechend dem Ergebnis der vorliegenden Studie von 1,6°/mm, was bei gleicher Mess- und OP-Technik wenig überrascht.

Eine brasilianische Studie zur Eignung der kombinierten Konvergenzoperation für großwinklige Esotropie verwendete einen Zielbereich von  $\pm 15$  PD zur Bestimmung der Erfolgsrate (Gigante und Bicas 2009). Für die Tabelle 16 wurden die Erfolgsraten für den üblichen Zielbereich von  $\pm 10$  PD aus den Daten von Gigante und Bicas bestimmt. Die Untersuchungen erfolgten 1 Woche postoperativ, nach 6 Monaten und nach 2 Jahren (Gigante und Bicas 2009). Da nach 2 Jahren nur 25 von 46 Fällen erneut untersucht wurden, sind die Langzeitergebnisse nur begrenzt aussagekräftig. In einer Folgestudie erfolgten in 36 Fällen Verlaufskontrollen 10 Jahre postoperativ (Gigante et al. 2018). Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Schielwinkeln der 6-Monatskontrolle und der 10-Jahreskontrolle, was für eine langfristige Stabilität der Ergebnisse der kombinierten Konvergenzoperation spricht (Gigante et al. 2018).

Talebnejad et al. untersuchten 48 Behandlungsfälle mit großwinkliger Esotropie, wobei 34 Fälle mittels beidseitiger Medialisrücklagerung und 14 Fälle mittels kombinierter Konvergenzoperation behandelt wurden. Die Ergebnisse waren für beide Operationsverfahren ähnlich (siehe Tabelle 15 und 16), wobei sich die Gruppen allerdings deutlich in Alter und präoperativem Schielwinkel unterschieden (Talebnejad et al. 2020). Die beidseitige Medialisrücklagerung wurde bevorzugt bei Kindern mit alternierender Fixation eingesetzt, während die kombinierte Konvergenzoperation primär bei Amblyopie eines Auges verwendet wurde (Talebnejad et al. 2020). Sie berichteten von anhaltenden Einschränkungen der Adduktion von 2 bis 3 mm in 3 Fällen (8,8%) nach beidseitiger Medialisrücklagerung und in 2 Fällen (14,2%) nach kombinierter Konvergenzoperation (Talebnejad et al. 2020).

Der Literaturvergleich zeigt, dass gerade bei sehr großer Esotropie die kombinierte Konvergenzoperation oft nicht ausreicht (Tabelle 16). Wenn dennoch die Entscheidung für ein zweizeitiges Vorgehen getroffen wird, sind das Risiko der Narkose, die psychischen Belastungen, der vermehrte Aufwand für prä- und postoperative Diagnostik und alle mit dem Eingriff verbundenen logistischen Faktoren zu bedenken.

Von anästhesiologischer Seite sind im Rahmen von Strabismus-Operationen spezifische Probleme im Kindesalter zu beachten. Zu nennen sind die Atemwegssicherung, ein

gehäuftes Auftreten von PONV (*postoperative nausea and vomiting*) und eine mögliche Neurodegeneration durch Anästhetika (Keilhauer et al. 2015). Verschiedene Studien empfehlen eine standardisierte PONV-Prophylaxe, da PONV verspätet oder nicht behandelt zu Hospitalisierung, Dehydrierung oder sogar einer Minderung des Operationserfolges führen kann (Keilhauer et al. 2015; Rodgers und Cox 2010; Welters et al. 2000). Seit ca. 20 Jahren wird verstärkt die Neurotoxizität von Anästhetika für das sich entwickelnde Gehirn untersucht. Während Tierexperimente deutliche Hinweise lieferten, blieb die Datenlage für den Menschen widersprüchlich (Barnes 2020; Becke et al. 2013; DiMaggio et al. 2011). Wilder et al. fanden bei Kindern unter 4 Jahren nach einer einzelnen Operation keine Hinweise auf Lernschwächen. Bei Kindern mit zwei oder drei Narkosen wurden signifikant häufiger Lernschwächen gefunden (Wilder et al. 2009). Wilder et al. untersuchten ihre Ergebnisse auch auf den Einfluss möglicher Kovariablen, wie Bildung der Mutter und Höhe der Krankheitslast. Sie fanden, auch unter Einbezug dieser Faktoren, einen Zusammenhang zwischen Lernschwäche und multiplen Narkosen (Wilder et al. 2009). In einer durch die “US National Institutes of Health” und die “US Food and Drug Administration” veranlassten prospektiven, randomisierten Studie wurden 722 Kinder in einer Narkose- und einer Kontrollgruppe verglichen, wobei für Narkosezeiten von bis zu 1 Stunde kein Einfluss ausgemacht werden konnte. Aus der Diskussion hat sich jedoch der Konsens ergeben, insbesondere bei jungen Kindern, die unbedingte Notwendigkeit von Allgemeinnarkosen noch genauer zu prüfen. In diesem Kontext ist auch die Entscheidung für ein zweizeitiges Vorgehen zu betrachten.

Die vorliegende Studie zeigte, dass die herkömmlich dosierte kombinierte Konvergenzoperation für Winkel  $\geq 27^\circ$  häufig in Unterkorrekturen resultiert.

**Tabelle 16** Literaturvergleich kombinierte Konvergenzoperation

Studie	Statistik	N	Alter (J)	NBZ (M)	Präop. SW	Ergebnis postoperativ in %			Ergebnis NBZ in %		
						ZB	Unter-korr.	Über-korr.	ZB	Unter-korr.	Über-korr.
Gigante und Bicas 2009	Median	46	15,5	6	65 PD (50;100)	51,1	44,4	4,4	63,4	36,6	0
Millán et al. 2009	MW	44	26	6	59,2 PD (40;100)				66*	34*	0*
Talebnejad et al. 2020	MW	14	31,3	12	80,7 PD (65;100)	-	-	-	52	33	15
Vorliegende Studie	Median	43	6	4	31° (27,54)	39,5	53,5	6,9	30,2	69,8	0
	MW		14,5	5,6	32,9°						

\*ZB entsprach  $\pm 15$  PD

Alter in Jahren (J); NBZ - Nachbeobachtungszeit in Monaten (M), präop. SW - präoperativer Schielwinkel, ZB – Zielbereich ( $|SW| \leq 10$ PD), Korr. – Korrektur

#### 4.4. Vergleich der Operationsverfahren

Die vorliegende Studie zeigte, dass bei der Behandlung großwinkliger Esotropie die Dreimuskelchirurgie signifikant häufiger als die beidseitige Medialisrücklagerung und die kombinierte Konvergenzoperation zur Korrektur des Schielwinkels in den Zielbereich einer maximalen Exo- oder Esodeviation  $\leq 5^\circ$  führte. Die Dreimuskelchirurgie bewirkte die größten Schielwinkelreduktionen, ohne einen unverhältnismäßig hohen Anteil von Exotropien.

Das Ziel der Strabismus-Operation sollte es sein, einen möglichst kleinen Winkel mit möglichst wenigen Eingriffen zu erreichen (Scott et al. 1986). Ein optimales Ergebnis in einem einzigen Schritt reduziert die Belastung durch die Operation, die Narkose und psychosoziale Einflussfaktoren. Es reduziert die Kosten für das Gesundheitssystem und die privaten Haushalte. Dies ist in den Ländern noch wichtiger, in welchen die Behandlungskosten durch „Out-of-pocket-payments“ gedeckt werden müssen und eine zweite Operation unter Umständen nicht finanzierbar ist. Das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis ist demnach von der Dreimuskelchirurgie zu erwarten.

Scott et al. verglichen in ihrer Studie Viermuskelchirurgie (N=18), Dreimuskelchirurgie (N=30) und Zweimuskelchirurgie (N=58). Die Gruppe der Zweimuskelchirurgie bestand aus 56 beidseitigen Medialisrücklagerungen und 2 kombinierten Konvergenzoperationen (Scott et al. 1986). Sie beobachteten in der Gruppe der Zweimuskelchirurgie nur in 37,3% der Fälle ein zufriedenstellendes Ergebnis, wobei jedoch niedrigere Dosierungen verwendet wurden (5-6,5mm je Muskel) als in späteren Studien. Die Gruppen der Drei- und Viermuskelchirurgie wurden zusammen ausgewertet und führten in 64,6% der Fälle am Ende der Nachbeobachtungszeit zu einem Ergebnis im Zielbereich (Scott et al. 1986).

Thomas und Guha verglichen ebenfalls Dreimuskelchirurgie (N=7), kombinierte Konvergenzoperation (N=5) und beidseitige Medialisrücklagerung (N=20) bei großwinkliger Esotropie. Sie fanden Hinweise auf eine Überlegenheit der Dreimuskelchirurgie, wegen des kleinen Gruppenumfangs war dies jedoch nur begrenzt aussagekräftig (Thomas und Guha 2010). Bei sehr großen Winkeln verstärkte sich ihr Eindruck einer besseren Eignung der Dreimuskelchirurgie (Thomas und Guha 2010).

Talebnejad et al. fanden in einem prospektiven Vergleich von beidseitiger Medialisrücklagerung (N=34) und kombinierter Konvergenzoperation (N=14) bei großwinkliger Esotropie keinen Unterschied im Operationserfolg. Sie räumten jedem Verfahren seine Berechtigung ein (Talebnejad et al. 2020).

In der Gesamtbetrachtung überwiegen die Vorteile der Dosisverteilung auf drei Muskeln bei großwinkliger Esotropie. Die kombinierte Konvergenzoperation und die beidseitige Medialisrücklagerung erscheinen im späteren Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter im Hinblick auf die Schielwinkelreduktion gleichwertig. Im Säuglings bzw. Kleinkindalter spricht für die beidseitige Medialisrücklagerung, dass diese Behandlungsgruppe einen besonders hohen Eso-/Konvergenztonus aufweist, dem vermutlich durch die Entspannung beider *Mm. recti mediales* besser begegnet wird. Dies konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht genauer analysiert werden.

#### 4.5. Studienlimitationen

Die vorliegende Studie weist Limitationen auf, die bei der Wertung der Ergebnisse zu berücksichtigen sind.

Eine längere Nachbeobachtungszeit hätte der vorliegenden Studie zusätzliches Gewicht verliehen. Viele der behandelten Personen nahmen lange Anreisewege in Kauf, um eine Operation in der Gießener Klinik vornehmen zu lassen. Nach erfolgreicher Operation sank auch die Motivation, für nachfolgende Untersuchungen erneut nach Gießen zu kommen, dies bedingt insgesamt eine kürzere Nachbeobachtungszeit. Die Ergebnisse sind als mittelfristig anzusehen.

Die Operationen wurden im Wesentlichen von zwei Operateuren durchgeführt. Ein Einfluss des Operateurs auf den Operationseffekt war trotz standardisierter Operationstechnik zu beobachten (siehe Absatz 3.6.2). Bei mehreren Operateuren könnten diese Unterschiede größer sein. Schutte et al. bezeichneten dies als den „menschlichen Fehler“. Sie schätzten, dass dieser bis zu 50% der Varianz bei Strabismus-Operationen bei absolut gleichen Operationsvoraussetzungen erklären könnte (Schutte et al. 2009). Um diesen „menschlichen Fehler“ möglichst konstant zu halten, wäre die Voruntersuchung durch immer dieselbe Orthoptistin, sowie die Operation durch immer denselben Operateur optimal. Bei isolierter Betrachtung nur eines Operateurs würden die Ergebnisse aber an Universalität verlieren. Insofern ist die Heterogenität des diagnostischen und operativen Teams für die klinische Situation an unterschiedlichen Behandlungsstätten nicht unbedingt ein Nachteil.

Die ELISSS-Studie („Early vs. Late Infantile Strabismus Surgery Study“) betrachtete insbesondere das Alter bei Operation als möglichen Einflussfaktor auf das Operationsergebnis. Es handelte sich um eine multizentrische Kooperation von 58 Augenkliniken aus 11 europäischen Ländern mit 532 Behandlungsfällen. Im Rahmen dieser Erhebung wurde beobachtet, dass ein geringeres Operationsalter (6-24 Monate) mit einer höheren Chance auf Binokularsehen verbunden war (Simonsz et al. 2005). Jedoch erübrigte sich bei 20% der später zur Operation geplanten Kinder (32-60 Monate) die Operation, da der Winkel bis dahin spontan abgenommen hatte (Simonsz und Eijkemans 2010). Die Kinder wären bei einer frühen Operation einem unnötigen Eingriff ausgesetzt gewesen. Die Re-Operationsraten von Kindern, welche innerhalb des ersten Lebensjahres operiert wurden, lagen deutlich höher als bei den Kindern mit einen

späteren Operationszeitpunkt (Simonsz und Eijkemans 2010). In der vorliegenden Studie wurden Frühoperationen nicht untersucht. Sie werden in der Gießener Klinik nur in Ausnahmefällen durchgeführt, in denen ein veritabler funktioneller Gewinn zu erwarten ist.

#### **4.6. Ausblick**

Die vorliegende Studie zeigte im Vergleich zur beidseitigen Medialisrücklagerung und der kombinierten Konvergenzoperation bessere Ergebnisse der Dreimuskelchirurgie bei der Behandlung großwinkliger Esotropie. Weitere Operationsverfahren, deren Vergleich ebenfalls lohnend erscheint, wurden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet. In der Vergangenheit wurde bereits die beidseitige Medialisrücklagerung mit Fadenverstärkung (retroäquatoriale Myopexie) untersucht (Gräf et al. 2012), ein in Deutschland ebenfalls verwendetes Verfahren zur Therapie großwinkliger Esotropie. International wird die Botulinumtoxin-A-Applikation mit oder ohne gleichzeitiger Medialisrücklagerung als Therapieroption evaluiert (Gallo et al. 2020; Lueder et al. 2012).

Eine an die vorliegende Studie anschließende Langzeitbetrachtung könnte weitere wichtige Informationen über die Nachhaltigkeit des Korrektureffekts geben. Für sehr große Schielwinkel ab 40° wäre eine Betrachtung von Viermuskeleingriffen interessant.

## **5. Zusammenfassung**

### **5.1. Hintergrund**

Schielopoperationen erfolgen zur Verkleinerung des Schielwinkels, um ein möglichst normales binokulares, bestenfalls feines räumliches Sehen zu ermöglichen. Das Vorgehen bei großwinkliger Esotropie ist nicht einheitlich. In Deutschland sind die kombinierte Konvergenzoperation und die beidseitige Medialisrücklagerung, fakulativ mit retroäquatorialer Myopexie verbreitet. Im US-amerikanisch geprägten Raum wird die beidseitige Medialisrücklagerung ohne Myopexie bevorzugt. Zur Dreimuskelchirurgie lagen noch keine Studien aus Deutschland vor. Die vorliegende Studie vergleicht die Dreimuskelchirurgie mit der etablierten kombinierten Konvergenzoperation und der beidseitigen Medialisrücklagerung ohne Myopexie.

### **5.2. Patienten und Methoden**

Es erfolgte eine retrospektive Auswertung von Dreimuskelchirurgie, kombinierter Konvergenzoperation und beidseitiger Medialisrücklagerung zur Korrektur von Esotropie  $\geq 27^\circ$  an der Universitätsaugenklinik Gießen. Als Erfolgskriterium war ein maximaler Restschielwinkel im Betrag von  $\leq 5^\circ$  definiert. Die Schielwinkel wurden in 5m und 0,3m im simultanen (manifesten Schielwinkel) und alternierenden (maximaler Schielwinkel) Prismenabdecktest im Geradeaus- und Seitblick gemessen. Die Messungen erfolgten präoperativ, postoperativ (1.-2.Tag) und zu einem späteren Kontrollzeitpunkt (1 bis 21 Monate). Zudem wurden das Alter bei Operation, das Geschlecht, die Nachbeobachtungszeit, der Operateur, die Dosierung, die axiale Bulbuslänge und die Qualität des erreichten Binokularsehens berücksichtigt.

### **5.3. Ergebnisse**

Es kamen 129 Datensätze (Dreimuskelchirurgie N=54, kombinierte Konvergenzoperation N=43 und beidseitige Medialisrücklagerung N=32) zur Auswertung. Im Folgenden sind Mediane zusammen mit der Streubreite angegeben.

Für Dreimuskeleingriffe betrug das Alter 5,5 Jahre (2;37), die Operationsstrecke 17mm (15;21) und die Nachbeobachtungszeit 4 Monate (3;14). Der maximale Fernschielwinkel betrug präoperativ  $34^\circ$  (27;45), postoperativ  $0^\circ$  (-13;16) und zum Kontrollzeitpunkt  $2^\circ$  (-10;18). Der maximale Nahschielwinkel betrug im Median präoperativ  $36^\circ$  (27;50),

postoperativ  $0^\circ$  (-11;19) und zum Kontrollzeitpunkt  $2,5^\circ$  (-8;20). Die maximalen Fernschielwinkel im Seitblick betragen zum Kontrollzeitpunkt beim Blick zur Seite der kombinierten Konvergenzoperation  $0^\circ$  (-12;17), ebenso wie beim Blick zur Seite der Medialisrücklagerung  $0^\circ$  (-12;15).

Für die beidseitigen Medialisrücklagerungen betrug das Alter 5 Jahre (2;8), die Operationsstrecke 15mm (13;16) und die Nachbeobachtungszeit 4 Monate (1;21). Der maximale Fernschielwinkel betrug präoperativ  $31,5^\circ$  (27;46), postoperativ  $6^\circ$  (-12;16) und zum Kontrollzeitpunkt  $5^\circ$  (-12;18). Der maximale Nahschielwinkel betrug präoperativ  $37^\circ$  (30;54), postoperativ  $5,8^\circ$  (-18;17) und zum Kontrollzeitpunkt  $6^\circ$  (-10;22). Zum Kontrollzeitpunkt betrug der maximale Fernschielwinkel im Rechtsblick  $3^\circ$  (-8;17) und im Linksblick  $5^\circ$  (-9;17).

Für die kombinierten Konvergenzoperationen betrug das Alter 6 Jahre (2;54), die Operationsstrecke 13mm (12;17) und die Nachbeobachtungszeit 4 Monate (3;47). Der maximale Fernschielwinkel betrug präoperativ  $31^\circ$  (27;54), postoperativ  $6^\circ$  (-12,5;29) und zum Kontrollzeitpunkt  $10^\circ$  (-4;33). Der maximale Nahschielwinkel betrug im Median präoperativ  $36^\circ$  (27;56), postoperativ  $7^\circ$  (-5;32) und zum Kontrollzeitpunkt  $10^\circ$  (-3;40). Der maximale Fernschielwinkel im Seitblick betrug zum Kontrollzeitpunkt beim Blick zur operierten Seite  $9^\circ$  (-0;30) und beim Blick zur nicht operierten Seite  $6^\circ$  (-4;26).

Nach Dreimuskelchirurgie waren zum Kontrollzeitpunkt, bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel, 66,0% der Behandlungsfälle in den Zielbereich korrigiert, nach beidseitiger Medialisrücklagerung 37,5% und nach kombinierter Konvergenzoperation 30,2%.

#### **5.4. Schlussfolgerung**

Durch die horizontale Dreimuskelchirurgie wurden circa zwei Drittel der großwinkligen Esotropien in einem einzigen Behandlungsschritt korrigiert. Die beidseitige Medialisrücklagerung und die kombinierte Konvergenzoperation, typische Ersteingriffe bei einer eventuell zweizeitigen Strategie, korrigierten große Schielwinkel nur in circa einem Drittel der Fälle.

## **6. Abstract**

### **6.1. Background**

Strabismus surgery is performed to reduce the angle of strabismus to allow normal binocular vision, at best fine three-dimensional vision. The surgical approach for large-angle esotropia is not uniform. In Germany, monocular surgery (recession and resection/plication) and bilateral medial rectus recession with retroequatorial myopexy are common. In the US-American area, bilateral medial rectus recession is generally preferred. No studies from Germany were available on three horizontal muscle surgery. The present study compares bilateral medial rectus recession plus unilateral lateral rectus plication with the established monocular surgery (recession and resection) and bilateral medial rectus recession without myopexy.

### **6.2. Patients and methods**

A retrospective evaluation of three horizontal muscle surgery, unilateral recess and plicate surgery and bilateral medial rectus recession for the correction of esotropia of  $\geq 27^\circ$  was performed at the University Eye Hospital Giessen. Success was defined by a maximum postoperative deviation in the absolute value of  $\leq 5^\circ$ . The angles of deviation were measured at 5m and 0.3m by simultaneous (manifest squint angle) and alternating (maximal squint angle) prism cover testing in straight and side gaze. Measurements were taken preoperatively, postoperatively (day 1-2), and at a later visit (1 to 21 months). In addition, age at surgery, gender, follow-up time, surgeon, dosage, axial length, and quality of binocular vision achieved were included.

### **6.3. Results**

There were 129 data sets (three horizontal muscle surgery N=54, monocular surgery N=43, and bilateral medial rectus recession N=32) for analysis. Medians are given below with the range of dispersion in brackets.

For three-muscle surgery, age at surgery was 5.5 years (2;37), amount of surgery was 17mm (15;21), and follow-up was 4 months (3;14). The maximal angle of strabismus at distance was  $34^\circ$  (27;45) preoperatively,  $0^\circ$  (-13;16) postoperatively and  $2^\circ$  (-10;18) at the final visit. The maximal angle of strabismus at near was  $36^\circ$  (27;50) preoperatively,  $0^\circ$  (-11;19) postoperatively and  $2.5^\circ$  (-8;20) at the final visit. At the final visit, the angle

of deviation in lateral gaze was  $0^{\circ}$  (-12;17) for gaze to the side of recess and plicate surgery, as well as  $0^{\circ}$  (-12;15) for gaze to the side of medial rectus recession.

For bilateral medial rectus recession, age at surgery was 5 years (2;8), amount of surgery was 15mm (13;16), and follow-up was 4 months (1;21). The maximal angle of strabismus at distance was  $31.5^{\circ}$  (27;46) preoperatively,  $6^{\circ}$  (-12;16) postoperatively and  $5^{\circ}$  (-12;18) at the final visit. The maximal angle of strabismus at near was  $37^{\circ}$  (30;54) preoperatively,  $5.8^{\circ}$  (-18;17) postoperatively and  $6^{\circ}$  (-10;22) at the final visit. At the final visit, the maximal angle of deviation was  $3^{\circ}$  (-8;17) in right gaze and  $5^{\circ}$  (-9;17) in left gaze.

For monocular surgeries, age at surgery was 6 years (2;54), amount of surgery was 13mm (12;17), and follow-up was 4 months (3;47). The maximal angle of strabismus at distance was  $31^{\circ}$  (27;54) preoperatively,  $6^{\circ}$  (-12.5;29) postoperatively and  $10^{\circ}$  (-4;33) at final visit. The maximal angle of strabismus at near was  $36^{\circ}$  (27;56) preoperatively,  $7^{\circ}$  (-5;32) postoperatively and  $10^{\circ}$  (-3;40) at the final visit. The angle of deviation in lateral gaze at the final visit was  $9^{\circ}$  (-0;30) when looking to the operated side and  $6^{\circ}$  (-4;26) when looking to the opposite side.

After three horizontal muscle surgery, 66.0% of the patients were corrected considering the final maximal angle of strabismus at distance, compared to 37.5% after bilateral medial rectus recession and 30.2% after monocular surgery.

#### **6.4. Conclusion**

Three horizontal muscle surgery corrected nearly two-thirds of large-angle esotropias in a single treatment step. Bilateral medial rectus recession and monocular surgery, typical initial procedures in a possible two-step strategy, corrected large-angle esotropias in only about one-third of cases.

## 7. Abkürzungsverzeichnis

3M	.....	Dreimuskelchirurgie
A	.....	maximaler Schielwinkel (im alternierenden Prismenabdecktest bestimmt)
AET	.....	akkommodative Esotropie
APCT	.....	alternierender Prismencover-/Prismenabdecktest
BL	.....	Bulbuslänge
BMR	.....	beidseitige Medialisrücklagerung
DES	.....	dekompensierte Esophorie
DMS	.....	dekompensierter Mikrostrabismus
DWB	.....	Dosiswirkungsbeziehung ( $^{\circ}$ /mm-Koeffizient)
FET	.....	frühkindliche Esotropie
FSW/F	.....	Fernschielwinkel
KK	.....	kombinierte Konvergenzoperation
NBZ	.....	Nachbeobachtungszeit
NSS	.....	normosensorisches Spätschielen
NSW/N	.....	Nahschielwinkel
PD	.....	Prismendioptrie
S	.....	manifeste Schielwinkel (im einseitigen Abdecktest)
SB	.....	Seitblick
SD	.....	Standardabweichung
SET	.....	sekundäre Esotropie
SPCT	.....	simultaner Prismencover-/Prismenabdecktest

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Weltweite Prävalenz (in % ) von Esotropie nach Hashemi et al. 2019	4
Abbildung 2	Schemazeichnung 1 Rücklagerung M. rectus medialis und Resektion M. rectus lateralis, 2 beidseitige Rücklagerung des M. rectus medialis, 3 beidseitige Rücklagerung des M. rectus medialis und einseitige Resektion M. rectus lateralis	12
Abbildung 3	Rücklagerung M. rectus medialis: 1 Präparation der Bindehaut, 2 Bindehauteröffnung, 3 Unterfahren des Muskels mit dem Schielhaken, 4 Präparation des M. rectus medialis, 5 Präparation aufliegender Blutgefäße, 6 Anschlingen des Muskels, 7 angeschlungener Muskel, 8 Markierung mit Methylenblau nach Desinsertion der Sehne, 9/10 sklerale Fixation, 11 rückgelagerter Muskel, 12 Bindehautverschluss	19
Abbildung 4	Faltung M. rectus lateralis: 1 Präparation der Bindehaut, 2 Aufspannen der Muskelsehne über den Schielhaken, 3 Markierung der Verkürzungsstrecke mit Methylenblau, 4/5 Anschlingen des Muskels, 6 fertige dreifache Fadenschlinge, 7 zu jeweils 1/3 der Breite angeschlungener Muskel, 8 sklerale Durchstiche an den Rändern der Insertion, 9 Anheben des Muskels zum Einführen des Irisspatels mit dem die Falte zwischen Sehne und Sklera ausgespannt wird, 10 Festziehen der Nähte, 11 Platzierung der Knoten an den Ausstichpunkten (die Verkürzungsstrecke entspricht der Distanz der Fadenschlingen zu den Einstichpunkten), 12 Entfernen des Irisspatels	20
Abbildung 5	Auswertung der Datensätze nach Operationsverfahren: Dreimuskelschirurgie (3M), beidseitige Medialisrücklagerung (BMR) und kombinierte Konvergenzoperation (KK); links die Datensätze pro Operationsverfahren vor Selektion, zentral die ausgeschlossene Datensätze mit Begründung; rechts die ausgewerteten Fälle	22
Abbildung 6	Geschlechtsverteilung aufgeschlüsselt nach Operationsverfahren	24
Abbildung 7	Altersverteilung aufgeschlüsselt nach Operationsverfahren	25

Abbildung 8	Vergleich maximaler (A) Fern- und Nahschielwinkel (FSW; NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=53)	27
Abbildung 9	Vergleich manifester (S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=53)	28
Abbildung 10	Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und 1 bis 2 Tage nach Dreimuskelchirurgie (N=53), aufsteigend nach maximalem postoperativen Fernschielwinkel angeordnet (in Anlehnung an Gräf et al. 2021)	29
Abbildung 11	Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=54), aufsteigend nach maximalem Fernschielwinkel zum Kontrollzeitpunkt angeordnet (in Anlehnung an Gräf et al. 2021)	29
Abbildung 12	Vergleich der absoluten Zahlen im Zielbereich von $\pm 5^\circ$ 1-2 Tage postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=53)	30
Abbildung 13	Vergleich maximaler (A) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32)	32
Abbildung 14	Vergleich manifester (S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32)	33
Abbildung 15	Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und 1 bis 2 Tage nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32), aufsteigend nach maximalem postoperativen Fernschielwinkel angeordnet	34
Abbildung 16	Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32), aufsteigend nach maximalem Fernschielwinkel zum Kontrollzeitpunkt angeordnet	34
Abbildung 17	Vergleich der absoluten Zahlen im Zielbereich von $\pm 5^\circ$ 1-2 Tage postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=32)	35

Abbildung 18	Vergleich maximaler (A) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43)	37
Abbildung 19	Vergleich manifester (S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW;NSW) präoperativ, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43)	38
Abbildung 20	Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und 1 bis 2 Tage nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43), aufsteigend nach maximalem postoperativen Fernschielwinkel angeordnet	39
Abbildung 21	Individuelle Fernschielwinkel (FSW) präoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43), aufsteigend nach maximalem Fernschielwinkel zum Kontrollzeitpunkt angeordnet	39
Abbildung 22	Vergleich der absoluten Zahlen im Zielbereich von $\pm 5^\circ$ postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=43)	40
Abbildung 23	Reduktion des absoluten Fernschielwinkels postoperativ aufgeschlüsselt nach Operationsverfahren	42
Abbildung 24	Vergleich der Operationsergebnisse im Zielbereich nach 3M, BMR, KK anhand des maximalen Fernschielwinkels zum abschließenden Kontrollzeitpunkt	44
Abbildung 25	Dreimuskelchirurgie - Direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel (FSW) von Operateur 1 und 2 mit Angabe der jeweiligen Häufigkeit	47
Abbildung 26	Kombinierte Konvergenzoperation - Direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel (FSW) von Operateur 1 und 2 mit Angabe der jeweiligen Häufigkeit	47
Abbildung 27	Beidseitige Medialisrücklagerung - Direkt postoperative Dosiswirkungsbeziehung bezogen auf den maximalen Fernschielwinkel (FSW) von Operateur 1 und 2 mit Angabe der jeweiligen Häufigkeit	48

Abbildung 28	Vergleich maximaler (A) Fernschielwinkel (FSW), im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenzoperation und zur Seite der Medialisrücklagerung (MR) zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie (N=49)	51
Abbildung 29	Vergleich maximaler (A) Fernschielwinkel (FSW), Seitblick (SB) rechts und Seitblick links zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung (N=21)	52
Abbildung 30	Vergleich maximaler (A) Fernschielwinkel (FSW), im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenz und zur nicht operierten Seite zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation (N=41)	54
Abbildung 31	Literaturvergleich der Ergebnisse bei beidseitiger Medialisrücklagerung am Ende der Nachbeobachtungszeit; Studien aufsteigend nach mittlerem Behandlungsalter sortiert	66

## 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Alter in Jahren zum Operationszeitpunkt	25
Tabelle 2	Binokularsehen zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (absolute und relative Häufigkeit) nach Dreimuskelchirurgie	31
Tabelle 3	Binokularsehen zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (absolute und relative Häufigkeit) nach beidseitiger Medialisrücklagerung	36
Tabelle 4	Binokularsehen zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (absolute und relative Häufigkeit) nach kombinierter Konvergenzoperation	41
Tabelle 5	Vergleich der medianen maximalen bzw. manifesten (A; S) Fern- und Nahschielwinkel (FSW; NSW) prä-, postoperativ und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt gemessen in Grad: Dreimuskelchirurgie (N=54), beidseitige Medialisrücklagerung (N=32) und kombinierte Konvergenz (N=43)	42
Tabelle 6	Paarweise Vergleiche der Reduktion des absoluten Fernschielwinkels postoperativ (N=128) und zum abschließenden Kontrollzeitpunkt (N=129) nach Operationsverfahren	43
Tabelle 7	Kreuztabelle Operationsergebnisse maximaler Fernschielwinkel zum abschließenden Kontrollzeitpunkt	44
Tabelle 8	Korrelation nach Spearman von mittlerer Bulbuslänge und Dosiswirkungsbeziehung (Effektivität) postoperativ (N=51, listenweiser Fallausschluss) nach Dreimuskelchirurgie	45
Tabelle 9	Korrelation nach Spearman von Alter zum Operationszeitpunkt zur Dosiswirkungsbeziehung postoperativ bzw. zum abschließenden Kontrollzeitpunkt	49
Tabelle 10	Paarweise Vergleiche der Schnitt-Naht-Zeit nach Operationsverfahren (N=84)	49
Tabelle 11	Paarweise Vergleiche der maximalen Schielwinkel im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenzoperation (KK), zur Seite der Medialisrücklagerung (MR) und im Geradeausblick zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach Dreimuskelchirurgie	51

Tabelle 12	Paarweise Vergleiche der Schielwinkel im Seitblick (SB) rechts (R), Seitblick links (L) und im Geradeausblick zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach beidseitiger Medialisrücklagerung	53
Tabelle 13	Paarweise Vergleiche der Schielwinkel im Blick zur Seite (SB) der kombinierten Konvergenzoperation (KK), zur nicht operierten Seite und im Geradeausblick zum abschließenden Kontrollzeitpunkt nach kombinierter Konvergenzoperation	54
Tabelle 14	Literaturvergleich Dreimuskelchirurgie	61
Tabelle 15	Literaturvergleich beidseitige Medialisrücklagerung	63
Tabelle 16	Literaturvergleich kombinierte Konvergenzoperation	70

## 10. Literaturverzeichnis

- 1 Adelstein FE, Cüppers C. Probleme bei der Bestimmung des objektiven Schielwinkels. Die Bewertung üblicher Untersuchungsmethoden an Hand eines Beispiels. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden 1966; 2: 21–29; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de) (Zugriff am 05.01.2022)
- 2 Apt L. An anatomical reevaluation of rectus muscle insertions. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1980; 78: 365–375
- 3 Assaf AA. Large bimedial rectus recession (6.5 mm or more) in the management of large-angle esotropia. *Strabismus* 1997; 5: 59–66
- 4 Bachar Zipori A, Spierer O, Sherwin JC, Kowal L. Why bilateral medial rectus recession fails? Factors associated with early repeated surgery. *Int Ophthalmol* 2020; 40: 59–66
- 5 Bagolini B. Anomalous correspondence: Definition and diagnostic methods. *Doc Ophthalmol* 1967; 23: 346–398
- 6 Barnes RK. "Pediatric Anesthetic Neurotoxicity": Time to Stop! *Anesth Analg* 2020; 131: 734–737
- 7 Bayramlar H, Karadag R, Yildirim A, Oçal A, Sari U, Dag Y. Medium-term outcomes of three horizontal muscle surgery in large-angle infantile esotropia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2014; 51: 160–164
- 8 Beauchamp CL, Beauchamp GR, Stager DR, Brown MM, Brown GC, Felius J. The cost utility of strabismus surgery in adults. *J AAPOS* 2006; 10: 394–399
- 9 Becke K, Siebert C, Dinkel M. Kinderanästhesie - Macht Narkose dumm? *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2013; 48: 240–245
- 10 Brémond-Gignac D, Copin H, Lapillonne A, Milazzo S. Visual development in infants: physiological and pathological mechanisms. *Curr Opin Ophthalmol* 2011; 22: 1-8

- 11 Camuglia JE, Walsh MJ, Gole GA. Three horizontal muscle surgery for large-angle infantile esotropia: validation of a table of amounts of surgery. *Eye (Lond)* 2011; 25: 1435–1441
- 12 Carr AJ, Robertsson O, Graves S, Price AJ, Arden NK, Judge A, Beard DJ. Knee replacement. *The Lancet* 2012; 379: 1331–1340
- 13 Chatzistefanou KI, Ladas ID, Droutsas KD, Koutsandrea C, Chimonidou E. Three horizontal muscle surgery for large-angle infantile or presumed infantile esotropia: long-term motor outcomes. *JAMA Ophthalmol* 2013; 131: 1041–1048
- 14 Chaudhuri Z, Demer JL. Sagging eye syndrome: connective tissue involution as a cause of horizontal and vertical strabismus in older patients. *JAMA Ophthalmol* 2013; 131: 619–625
- 15 Choi RY, Kushner BJ. The accuracy of experienced strabismologists using the Hirschberg and Krimsky tests. *Ophthalmology* 1998; 105: 1301–1306
- 16 Cifuentes DL, Pineles SL, Demer JL, Velez FG. Surgical success and lateral incomitance following three-muscle surgery for large-angle horizontal strabismus. *J AAPOS* 2018; 22: 17–21
- 17 Cohen J. A power primer. *Psychological Bulletin* 1992; 112: 155–159
- 18 Cüppers C. Some reflections on the possibility of influencing the pathological fixation act. *Ann R Coll Surg Engl* 1966; 38: 308–325
- 19 Cüppers C. Korrektur der Horizontalabweichung. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden 1972; 5: 11–19; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de) (Zugriff am 05.01.2022)
- 20 Damanakis AG, Arvanitis PG, Ladas ID, Theodossiadis GP. 8 mm bimedial rectus recession in infantile esotropia of 80-90 prism dioptres. *Br J Ophthalmol* 1994; 78: 842–844
- 21 Dietze H. Die Bestimmung der Sehschärfe. *Klin Monbl Augenheilkd* 2018; 235: 1057–1075

- 22 DiMaggio C, Sun LS, Li G. Early childhood exposure to anesthesia and risk of developmental and behavioral disorders in a sibling birth cohort. *Anesth Analg* 2011; 113: 1143–1151
- 23 Dotan R, Mitchell C, Cohen R, Klentrou P, Gabriel D, Falk B. Child-adult differences in muscle activation—a review. *Pediatr Exerc Sci* 2012; 1: 2–21
- 24 Estermann SS, Mojon D. Expertenbefragung im deutschen Sprachraum zur Strabismuschirurgie. *Klin Monbl Augenheilkd* 2009; 226: 475–484
- 25 Fisher NF, Flom MC, Jampolsky A. Early surgery of congenital esotropia. *Am J Ophthalmol* 1968; 65: 439–443
- 26 Flögel I, Langmann A. Ergebnisse der Sehschärfebestimmung bei Kindern mit LH-(Lea Hyvärinen)Tests. *Spektrum Augeheilkd* 1998; 12: 148–154
- 27 Folk ER, Miller MT, Chapman L. Consecutive exotropia following surgery. *Br J Ophthalmol* 1983; 67: 546–548
- 28 Forrest MP, Finnigan S, Finnigan S, Gole GA. Three horizontal muscle squint surgery for large angle infantile esotropia. *Clin Experiment Ophthalmol* 2003; 31: 509–516
- 29 Frank J, Laszlo A, Gräf M. Zur Messung großer Schielwinkel. *Z Prakt Augenheilkd* 2020; 41: 339–345
- 30 Fricke TR, Siderov J. Stereopsis, stereotests, and their relation to vision screening and clinical practice. *Clinical and Experimental Optometry* 1997; 80: 165–172
- 31 Friedburg D. Skiaskopie. *Klin Monbl Augenheilkd* 2008; 225: 165–178
- 32 Friemel E. Das akkommodative Schielen und seine Behandlung. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden 1968; 2: 251–253; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de)
- 33 Fujiike K, Mizuno Y, Hiratsuka Y, Yamada M. Quality of life and cost-utility assessment after strabismus surgery in adults. *Jpn J Ophthalmol* 2011; 55: 268–276
- 34 Gaetano J. Holm-Bonferroni Sequential Correction: An EXCEL Calculator 2013

- 35 Gallo FG, Plaitano C, Esposito Veneruso P, Magli A. Long-term effects of botulinum toxin in large-angle infantile esotropia. *Clin Ophthalmol* 2020; 14: 3399–3402
- 36 Ghali MA. Bimedial rectus muscle elongation versus bimedial rectus muscle recession for the surgical treatment of large-angle infantile esotropia. *Clin Ophthalmol* 2017; 11: 1877–1881
- 37 Gigante E, Bicas HEA. Cirurgia monocular para esotropias de grande ângulo: um novo paradigma. *Arq Bras Oftalmol* 2009; 72: 47–56
- 38 Gigante E, Romão RA, Valério FJP. Monocular surgery to correct large-angle esotropia: a 10-year follow-up study. *Arq Bras Oftalmol* 2018; 81: 232–238
- 39 Glasman P, Cheeseman R, Wong V, Young J, Durnian JM. Improvement in patients' quality-of-life following strabismus surgery: evaluation of postoperative outcomes using the Adult Strabismus 20 (AS-20) score. *Eye (Lond)* 2013; 27: 1249–1253
- 40 Goldstein JH. Strabismus and insertion of horizontal rectus muscles. *Am J Ophthalmol* 1969; 68: 695–698
- 41 Gräf M. Strategien der Visusbestimmung. *Klin Monbl Augenheilkd* 2004; 221: 557–565
- 42 Gräf M, Gerlach T, Borchert O, Lorenz B. Beidseitige Medialis-Rücklagerung mit Fadenoperation bei großer frühkindlicher Esotropie. *Klin Monbl Augenheilkd* 2012; 229: 987–994
- 43 Gräf M, Haase W. Amblyopie. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2020: 169–215
- 44 Gräf M, Lorenz B. Strabismus. *Monatsschr Kinderheilkd* 2015; 163: 230–240
- 45 Gräf M, Röhm J, Wassill H. Horizontale Dreimuskelchirurgie bei großwinkliger Esotropie. *Z Prakt Augenheilkd* 2021; 42: 374–378
- 46 Gräf M, Röhm J, Wassill H. Dreimuskelchirurgie bei großwinkliger Esotropie. *Ophthalmologe* 2022; 119: 30–37

- 47 Graumann CF. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung: Kognitive Entwicklung. Göttingen: Hogrefe Verlag 2006
- 48 Graven SN. Early neurosensory visual development of the fetus and newborn. *Clin Perinatol* 2004; 31: 199-216
- 49 Guilino G. Die Ablenkung starker prismatischer Probier- und Brillengläser, Definition und Anwendung. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden 1967; 2: 99–106; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de) (Zugriff am 05.01.2022)
- 50 Gutzeit A. Amblyopie und nichtparetisches Schielen. *Klin Monbl Augenheilkd* 2008; 225: 199-214
- 51 Haellmigk C. Die Bedeutung des Abdecktestes für die Diagnostik der Stellungsanomalien der Augen. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden 1967; 2: 67–70; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de) (Zugriff am 05.01.2022)
- 52 Hardy LG. Clinical use of ophthalmic prisms. *Arch Ophthalmol* 1945; 34: 16–23
- 53 Hashemi H, Pakzad R, Heydarian S, Yekta A, Aghamirsalim M, Shokrollahzadeh F, Khoshhal F, Pakbin M, Ramin S, Khabazkhoob M. Global and regional prevalence of strabismus: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Strabismus* 2019; 27: 54–65
- 54 Hassan MB, Diehl NN, Mohny BG. Immediate postoperative alignment following bimedral rectus recession for esotropia in children compared to adults. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2018; 5: 299–305
- 55 Hatt SR, Leske DA, Bradley EA, Cole SR, Holmes JM. Development of a quality of life questionnaire for adults with strabismus. *Ophthalmology* 2009; 116: 139-144
- 56 Helveston EM, Ellis FD, Schott J, Mitchelson J, Weber JC, Taube S, Miller K. Surgical treatment of congenital esotropia. *Am J Ophthalmol* 1983; 96: 218–228
- 57 Hilton AF, Stanley JC. Pitfalls in testing children's vision by the Sheridan Gardiner single optotype method. *Br J Ophthalmol* 1972; 56: 135–139

- 58 Hirschberg J. Aegypten: Geschichtliche Studien eines Augenarztes. Leipzig: Thieme 1890
- 59 Honglertnapakul W, Capo H, Cavuoto KM, McKeown CA. Extraocular muscle insertion shift after disinsertion during strabismus surgery. *Strabismus* 2020
- 60 Horch K, Atzpodien K, Hrsg. Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Schleswig-Holstein. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Berlin: Robert Koch-Inst 2007
- 61 Hruby K. Refraktionsbestimmung. *Ophthalmologica* 1974; 169: 23–29
- 62 Hunold W, Auffarth G, Effert R. Klinische Anwendung des Canon Autorefraktometers R 10 zur Refraktionsbestimmung bei Schielkindern. *Klin Monbl Augenheilkd* 1988; 192: 58–65
- 63 Hyvärinen L, Näsänen R, Laurinen P. New visual acuity test for pre-school children. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1980; 58: 507–511
- 64 Ing M, Costenbader FD, Parks MM, Albert DG. Early surgery for congenital esotropia. *Am J Ophthalmol* 1966; 61: 1419–1427
- 65 Jackson S, Harrad RA, Morris M, Rumsey N. The psychosocial benefits of corrective surgery for adults with strabismus. *Br J Ophthalmol* 2006; 90: 883–888
- 66 Jameson PC. The surgical entity of muscle recession. *Arch Ophthalmol* 1931; 6: 329–361
- 67 Julesz B. Visual pattern discrimination. *IEEE Trans. Inform. Theory* 1962; 8: 84–92
- 68 Kaufmann H. Terminologie und Charakteristika verschiedener Augenbewegungsstörungen. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2020: 105–112
- 69 Kaufmann H, Steffen H. Anatomie und Physiologie der Orbita und des Bewegungsapparats. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2020a: 13–39
- 70 Kaufmann H, Steffen H. Augenmuskeloperationen. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2020b: 378–413

- 71 Keilhauer J, Trieschmann U, Böttiger BW. Besondere Aspekte der Kinderanästhesie in der Ophthalmochirurgie. *Ophthalmologe* 2015; 112: 118–121
- 72 Kim KY, Choi GS, Kang MS, Kim US. Comparison study of the axial length measured using the new swept-source optical coherence tomography ANTERION and the partial coherence interferometry IOL Master. *PLoS ONE* 2020
- 73 Kohli V, Mehta B, Kumar S, Sahu S. Extent of improvement in binocularity and stereopsis in constant concomitant horizontal strabismus after surgical management and its association with the postoperative ocular alignment. *Journal of Evidence Based Medicine and Healthcare* 2017; 4: 80–85
- 74 Kolling G. Vor- und Nachteile hoch dosierter Eingriffe an den Horizontalmotoren. *Z Prakt Augenheilkd* 1989; 10: 267–271
- 75 Kommerell G, Kromeier M. Prismenkorrektion bei Heterophorie. *Ophthalmologe* 2002; 99: 3–9
- 76 Kommerell G, Rüssmann W. Heterophorie und Asthenopie. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2020: 112–130
- 77 Krewson WE. The action of the extraocular muscles: A method of vector-analysis with computations. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1950; 48: 443–486
- 78 Küper J. Die Verstärkung gerader Augenmuskeln durch Faltung. *Klin Monbl Augenheilkd* 1964; 145: 716–720
- 79 Kushner BJ, Morton GV. A randomized comparison of surgical procedures for infantile esotropia. *Am J Ophthalmol* 1984; 98: 50–61
- 80 Lam AK, Chan R, Pang PC. The repeatability and accuracy of axial length and anterior chamber depth measurements from the IOLMaster. *Ophthalmic Physiol Opt* 2001; 6: 477–483
- 81 Lang J. Zwei Schielformen „sui generis“: Der congenitale oder frühkindliche Strabismus und der Mikrostrabismus. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) *Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden* 1967; 2: 53–61; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de) (Zugriff am 05.01.2022)

- 82 Lang J. Mikrostrabismus. *Ophthalmologica* 1972; 165: 236–240
- 83 Lang J. Mikrostrabismus. Die Bedeutung der Mikrotropie für die Amblyopie für die Pathogenese des großen Schielwinkels und für die Heredität des Strabismus. Stuttgart: Enke Verlag 1973
- 84 Lang J. Charakteristika und Behandlung des akuten normosensorischen essentiellen Spätschielens. Freigang, M.: Arbeitskreis Schielbehandlung (Hrsg.) Einführungs- und Fortbildungsvorträge der Arbeitskreistagungen Wiesbaden 1974; 6: 189–195; [www.bielschowsky.de](http://www.bielschowsky.de) (Zugriff am 05.01.2022)
- 85 Lang J. Ein neuer Stereotest. *Klin Monbl Augenheilkd* 1983; 182: 373–375
- 86 Lang J. Die Amblyopie und ihre Behandlung. *Ophthalmologe* 1997; 94: 606–618
- 87 Lang J. Strabismus. Diagnostik, Schielformen, Therapie. Bern: Huber Verlag 2003
- 88 Lang J, Lang T. Eye screening with the lang stereotest. Symposium of the American Orthoptic Council 1987: 1–3
- 89 Lee DA, Dyer JA. Bilateral medial rectus muscle recession and lateral rectus muscle resection in the treatment of congenital esotropia. *Am J Ophthalmol* 1983; 95: 528–535
- 90 Leffler CT, Schwartz SG, Le JQ. American insight into strabismus surgery before 1838. *Ophthalmol Eye Dis* 2017
- 91 Lembo A, Serafino M, Strologo MD, Saunders RA, Trivedi RH, Villani E, Nucci P. Accommodative esotropia: the state of the art. *Int Ophthalmol* 2019; 39: 497–505
- 92 Lueder GT. Orbital causes of incomitant strabismus. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2015; 22: 286–291
- 93 Lueder GT, Galli M, Tychsen L, Yildirim C, Pegado V. Long-term results of botulinum toxin-augmented medial rectus recessions for large-angle infantile esotropia. *Am J Ophthalmol* 2012; 153: 560–563
- 94 Magli A, Carelli R, Matarazzo F, Bruzzese D. Essential infantile esotropia: postoperative motor outcomes and inferential analysis of strabismus surgery. *BMC Ophthalmol* 2014; 14

- 95 Marsh IB. We need to pay heed to the psychosocial aspects of strabismus. *Eye (Lond)* 2015; 29: 238–240
- 96 Matteucci P. Strabismic amblyopia. *Br J Ophthalmol* 1960; 44: 577–582
- 97 Millán T, Carvalho KM de, Minguini N. Results of monocular surgery under peribulbar anesthesia for large-angle horizontal strabismus. *Clinics (Sao Paulo)* 2009; 64: 303–308
- 98 Minkoff OV, Donahue SP. Three-muscle surgery for infantile esotropia in children younger than age 2 years. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2005; 42: 144-148
- 99 Mojon-Azzi SM, Potnik W, Mojon DS. Opinions of dating agents about strabismic subjects' ability to find a partner. *Br J Ophthalmol* 2008; 92: 765–769
- 100 Nabie R, Manouchehri V, Salehpour S, Ghadim BK, Bahramani E. Three horizontal muscle surgery for large-angle esotropia: success rate and dose-effect ratio. *Int J Ophthalmol* 2020
- 101 Nelson LB, Calhoun JH, Simon JW, Wilson T, Harley RD. Surgical management of large angle congenital esotropia. *Br J Ophthalmol* 1987; 71: 380–383
- 102 Pajic D. Qualifikation und Klassifikation der binokularen Korrespondenz. *Ophthalmologica* 1972; 165: 241–244
- 103 Räsänen P, Paavolainen P, Sintonen H, Koivisto A-M, Blom M, Ryyänen O-P, Roine RP. Effectiveness of hip or knee replacement surgery in terms of quality-adjusted life years and costs. *Acta Orthop* 2007; 78: 108–115
- 104 Rodgers A, Cox RG. Anesthetic management for pediatric strabismus surgery: Continuing professional development. *Can J Anaesth* 2010; 57: 602–617
- 105 Rüssmann W. Basisuntersuchungen der Strabismologie. *Ophthalmologe* 2003; 100: 416-30
- 106 Rüssmann W. Untersuchung des Binokularsehens. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg) *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2020: 232–291
- 107 Sah SP, Sharma IP, Chaudhry M, Saikia M. Health-Related Quality of Life (HRQoL) in young adults with strabismus in india. *J Clin Diagn Res* 2017; 11: NC01-NC04

- 108 Sattler CH. Erfahrungen über die Beseitigung der Amblyopie und die Wiederherstellung des binokularen Sehakts bei Schielenden. *Ophthalmologica* 1927; 63: 19–37
- 109 Schaeffel F. Vergleichende Betrachtung von Lichtempfindlichkeit, Tiefenwahrnehmung und Bewegungswahrnehmung bei Tier und Mensch. *Ophthalmologe* 2017; 114: 997–1007
- 110 Schuster AK, Elflein HM, Pokora R, Urschitz MS. Kindlicher Strabismus in Deutschland: Prävalenz und Risikogruppen: Ergebnisse der KiGGS-Studie. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2017; 60: 849–855
- 111 Schutte S, Polling JR, van der Helm FCT, Simonsz HJ. Human error in strabismus surgery: quantification with a sensitivity analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009; 247: 399–409
- 112 Scott WE, Reese PD, Hirsh CR, Flabetich CA. Surgery for large-angle congenital esotropia. Two vs three and four horizontal muscles. *Arch Ophthalmol* 1986; 104: 374–377
- 113 Seigel D. Analysis of follow-up data. *Arch Ophthalmol* 1985; 103: 647–648
- 114 Sengpiel F, Blakemore C. The neural basis of suppression and amblyopia in strabismus. *Eye (Lond)* 1996; 10: 250–258
- 115 Simonsz HJ, Eijkemans MJC. Predictive value of age, angle, and refraction on rate of reoperation and rate of spontaneous resolution in infantile esotropia. *Strabismus* 2010; 18: 87–97
- 116 Simonsz HJ, Kolling GH. Best age for surgery for infantile esotropia. *Eur J Paediatr Neurol* 2011; 15: 205–208
- 117 Simonsz HJ, Kolling GH, Unnebrink K. Final report of the early vs. late infantile strabismus surgery study (ELISSS), a controlled, prospective, multicenter study. *Strabismus* 2005; 13: 169–199
- 118 Sturm V, Menke MN, Jaggi GP, Wandernoth P, Kunz A. Horizontale Dreimuskelchirurgie bei frühkindlichem Innenschielen und dekompenziertem Mikrostrabismus. *Klin Monbl Augenheilkd* 2015; 232: 446–451

- 119 Szmyd SM, Nelson LB, Calhoun JH, Spratt C. Large bimedial rectus recessions in congenital esotropia. *Br J Ophthalmol* 1985; 69: 271–274
- 120 Talebnejad MR, Johari MK, Khalili MR, Zare M. Supramaximal recession and resection surgery in large-angle strabismus: Outcomes of large interventional case series exotropia and esotropia. *J Curr Ophthalmol* 2020; 32: 82–87
- 121 Taylor DM. How early is early surgery in the management of strabismus? *Arch Ophthalmol* 1963; 70: 752–756
- 122 Taylor DM. Congenital strabismus. The common sense approach. *Arch Ophthalmol* 1967; 4: 478–484
- 123 Thomas S, Guha S. Large-angle strabismus: can a single surgical procedure achieve a successful outcome? *Strabismus* 2010; 18: 129–136
- 124 Thompson JT, Guyton DL. Ophthalmic Prisms. *Ophthalmology* 1983; 90: 204–210
- 125 Tour RL, Asbury T. Overcorrection of esotropia. *Am J Ophthalmol* 1958; 5: 644–653
- 126 Travers TA. Suppression of vision in squint and its association with retinal correspondence and amblyopia. *Br J Ophthalmol* 1938; 22: 577–604
- 127 Von Noorden, Campos EC. Binocular vision and ocular motility. Theory and management of strabismus. St. Louis: Mosby 2002
- 128 Vroman DT, Hutchinson AK, Saunders RA, Wilson ME. Two-muscle surgery for congenital esotropia: rate of reoperation in patients with small versus large angles of deviation. *J AAPOS* 2000; 4: 267–270
- 129 Wahl G. Gesundheit von einzuschulenden Kindern in Sachsen-Anhalt. Update Nr. 1. Magdeburg: Landesamt für Verbraucherschutz Sachsen-Anhalt 2013
- 130 Weakley JDR, Stager DR, Everett ME. Seven-Millimeter bilateral medial rectus recessions in infantile esotropia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 1991; 28: 113–115

- 131 Welters ID, Graef M, Menges T, Beikirch C, Kaufmann H, Hempelmann G. Postoperative nausea and vomiting after Faden operation. *Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000; 238: 59–63
- 132 Wilder RT, Flick RP, Sprung J, Katusic SK, Barbaresi WJ, Mickelson C, Gleich SJ, Schroeder DR, Weaver AL, Warner DO. Early exposure to anesthesia and learning disabilities in a population-based birth cohort. *Anesthesiology* 2009; 110: 796–804
- 133 Wright KW, Strube YNJ. *Color Atlas of Strabismus Surgery. Strategies and Techniques*. New York, NY: Imprint Springer 2015
- 134 Wübbolt IS, Alven S von, Hülssner O, Erb C. Vergleich der manuellen und automatischen Refraktionsbestimmung mit dem subjektiven Abgleich. *Klin Monbl Augenheilkd* 2006; 223: 904–907
- 135 Zipf RF. Binocular fixation pattern. *Arch Ophthalmol* 1976; 3: 401–405

# 11. Anhang

**Tabelle A1** Kenngrößen der Gruppe horizontale Dreimuskelchirurgie

BL - Bulbuslänge; S.E. - Sphärisches Äquivalent; F - Fernschielwinkel; N - Nahschielwinkel; prä - präoperativ; post - 1./2. postoperativer Tag;  
 Ko - Kontrollzeitpunkt; A - maximaler Schielwinkel; S - manifestes Schielwinkel; BS - Klasse des Binokularsehens zum Kontrollzeitpunkt  
 (Suppression bzw. Exklusion 0, Simultansehen im Bagolini-Test 1, positiver Titmus-Fliege-Test 2, positive Titmus Ringe/Tiere 3, positiver  
 Lang-1-Test 4); FET - frühkindliche Esotropie; AET - vermutlich akkommodativ erworbene Esotropie; DEP - dekompenzierte Esophorie;  
 NSS - normosensorisches Spätschielen; DMS - dekompenzierter Mikrostrabismus; SET - sekundäre Esotropie

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operateur	BL mm	S.E. dpt	F prä	N prä	F post A	N post		F post		FKo		N Ko		BS		
											A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	
1	31	DEP	17	4	2	23,8	-0,6	30	28	4	5	0	0	4	4,5	0	0	4	0	4	
2	24	FET	21	6	2	22,9	0,8	42	40	16	12	16	12	16	17	16	17	16	17	0	
3	4	FET	18	14	1	22,5	1,6	38	40	2	5	2	5	2,5	9	2,5	9	2,5	9	0	
4	6	AET	17	4	1	20,6	6,8	33	33	10	10	10	10	2	5	2	5	2	2	1	
5	9	FET	18	6	1	-	-0,4	45	50	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	-	
6	4	FET	20	4	1	21,4	1,0	41	41	-4	-5	-4	-3	-4	0	-3	0	0	0	0	
7	5	FET	18	5	1	21,4	1,8	36	36	0	-2	0	0	9	3	9	3	9	3	0	
8	5	FET	20	5	1	23,2	1,3	44	44	3	-3	2	1	5	3	-2	0	0	0	0	
9	12	DEP	17	6	1	24,3	0,4	32	34	-2	0	0	0	1	1,5	0	0	0	0	4	
10	28	FET	19	3	1	22,9	1,8	37	37	11	10	11	10	4	1	4	0	0	0	1	
11	5	FET	17	4	1	21,3	-2,0	29	30	-11	-11	-11	-11	-1	-4	0	-4	0	-4	0	
12	5	FET	17	5	2	20,9	2,5	35	35	5	5	1	1	6	12	3	5	1	5	1	
13	4	AET	17	3	1	22,6	5,1	35	38	-4	-7	-4	-7	1	-2	1	0	1	0	1	
14	4	FET	19	3	1	22,0	1,5	38	45	2	3	2	3	6	4	5	4	0	4	0	
15	5	FET	17	7	2	22,1	0,8	30	32	-4	-9	-4	-9	5	4	5	4	0	4	0	
16	5	FET	16	6	1	22,5	4,4	33	39	5	6	3	4	-2	2	-2	2	0	2	0	
17	6	FET	17	3	2	22,0	1,6	32	39	-5	-3	-5	-3	4,5	4	0	4	3	4	3	
18	5	FET	16	3	1	23,0	0,9	35	36	-10	-11	-10	-11	2	2	2	2	0	2	0	
19	6	FET	16	4	1	21,8	3,0	32	33	10	8	10	8	4	4	4	3	1	3	1	
20	6	AET	19	14	1	19,4	7,3	36	34	0	0	0	0	8	1	8	1	1	1	1	
21	6	FET	17	4	2	20,9	4,0	34	46	-9,5	12	-7	12	-5	3	-2	4	1	-2	4	1
22	9	FET	16	4	2	23,3	-0,6	32	37	11	19	6	19	18	18	18	18	18	18	0	0

**Tabelle A1** Fortsetzung

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operator	BL mm	S.E. dpt	F prä	N prä	F post		N post		F Ko		N Ko		F Ko		N Ko		BS	
										A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
23	5	FET	17	5	2	22,4	2,1	34	35	10	12	10	12	17	20	17	20	17	20	17	20	0	0
24	24	FET	18	7	1	21,8	3,5	32	34	4	-5	0	-5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	4	FET	18	3	1	22,6	0,3	35	37	0	3	0	3	8	9	8	9	8	9	8	9	1	1
26	4	AET	18	4	1	20,0	8,9	41	43	-3	3	-3	3	2	7	2	7	2	7	2	7	1	1
27	11	NSS	19	4	1	-	1,3	34	44	0,5	6	0	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	4	4
28	10	AET	16	7	1	20,4	5,3	35	32	1	-4	3	-4	9	5	3	0	0	0	0	0	0	0
29	6	NSS	16	7	1	20,4	3,0	30	35	-3	1	-3	1	2	5,5	0	1	2	5,5	0	1	3	3
30	5	FET	17	14	1	22,7	-0,6	30	35	10	10	10	10	5	7	5	7	5	7	5	7	1	1
31	2	DMS	17	6	1	21,6	0,8	33	35	-6	-5	-6	-5	-5	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3	1	1
32	6	FET	15	3	1	21,4	2,1	30	27	7	2	3	2	1	-2,5	1	-2,5	1	-2,5	1	1	1	1
33	3	FET	19	3	1	21,2	1,9	41	35	-3	-5	0	-5	14	12	14	12	14	12	14	12	-	-
34	3	FET	16	3	1	21,5	1,3	30	27	0	0	0	0	11	12	11	12	11	12	11	12	0	0
35	11	DMS	18	4	2	21,9	0,1	36	41	2,5	4	0	4	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1	1	1
36	13	DEP	18	3	1	23,0	0,6	36	43	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	4	4
37	7	NSS	17	11	1	22,5	3,4	32	35	-	-	-	-	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3
38	4	FET	17	4	2	20,8	2,8	35	39	8	9	8	9	12	10	12	10	12	10	12	10	16	0
39	5	FET	15	5	1	21,9	1,1	33	33	10	7	10	7	5,5	2	7	5,5	2	7	5,5	2	3	0

**Tabelle A1** Fortsetzung

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operateur	BL mm	S.E. dpt	F prä	N prä	F post		N post		FKo		N Kō		FKo		N Kō		BS	
										A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
40	4	AET	16	5	1	20,6	7,4	36	41	-7	2	-7	2	-1,5	-3	0,5	-3	1	0,5	-3	1	0	1
41	4	FET	17	3	2	21,7	3,1	36	36	4	0	4	0	1	3	1	3	1	1	3	1	1	
42	23	DEP	16	8	1	23,8	-1,0	29	35	0,5	4	0	0	7	4,5	0	0	4	0	0	0	4	
43	6	FET	17	3	1	22,6	0,0	35	35	-2	-4	-2	-4	-2	-4	-2	-4	0	-2	-4	-4	0	
44	6	FET	18	3	1	22,4	-0,3	33	33	-1	-9	-1	-9	0	-5	0	-2	0	0	0	-2	0	
45	4	AET	16	4	1	20,5	4,1	30	37	-4	-3	-3,5	-4	9	10	5	10	0	5	10	0	0	
46	3	FET	19	3	1	22,8	0,6	38	40	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6	-	-6	-6	-6	-	
47	3	AET	17	6	2	20,1	6,8	33	39	-2	0	0	0	-8,5	-6,5	-8,5	-6,5	0	-8,5	-6,5	-6,5	0	
48	6	SET	15	6	1	21,3	10,3	30	30	2	-4	2	-4	-4	-8	-5	-7	0	-4	-5	-7	0	
49	5	FET	15	7	1	22,2	2,8	27	33	0	0	0	0	1	8	1	8	0	1	8	0	0	
50	8	FET	19	5	1	20,8	3,1	38	39	-0,5	-2	0	0	-10	-7,5	-10	-7,5	0	-10	-7,5	-7,5	0	
51	37	SET	16	4	2	22,7	-0,3	29	27	1	-2	0	0	-2	-3	0	0	3	-2	-3	0	3	
52	6	FET	16	3	1	20,8	5,1	29	36	-9	-9	-9	-9	2	2	0	0	0	2	2	0	0	
53	5	AET	17	4	1	20,2	5,5	34	38	-3	-3	-3	-3	0	-3	0	0	1	0	-3	0	1	
54	6	FET	18	3	1	22,6	2,6	34	46	-13	-5	-13	-5	-10	1	-10	1	0	-10	1	-10	0	

**Tabelle A2** Kenngrößen der Gruppe beidseitige Medialsrücklagerung

BL - Bulbuslänge; S.E. - Sphärisches Äquivalent; F - Fernschielwinkel; N - Nahschielwinkel; prä - präoperativ; post - 1./2. postoperativer Tag; Ko - Kontrollzeitpunkt; A - maximaler Schielwinkel; S - manifester Schielwinkel; BS - Klasse des Binokularsehens zum Kontrollzeitpunkt (Suppression bzw. Exklusion 0, Simultansehen im Bagolini - Test 1, positiver Titmus-Fliege-Test 2, positive Titmus Ringe/Tiere 3, positiver Lang-1-Test 4); FET - frühkindliche Esotropie; AET - vermutlich akkommodativ erworbene Esotropie; DEP - dekompenzierte Esophorie; NSS - normosensorisches Spätschielen; DMS - dekompenzierter Mikrostrabismus; SET - sekundärer Esotropie

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operator	BL mm	S.E. dpt	F prä	N prä	F post		N post		F Ko		N Ko		F Ko		N Ko		BS	
										A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
1	2	FET	16	3	1	21,0	0,4	35	37,5	7	-2	7	0	2	3	2	3	2	3	0	0	0	0
2	5	AET	13	3	1	18,6	10,1	34	44	1	5,5	0	5,5	1	4	1	4	1	4	1	2	3	
3	6	FET	16	5	1	23,1	1,6	44	46	3	5	3	5	2	-3	2	-3	2	2	-3	0	0	
4	5	FET	14	3	1	21,8	3,0	35	35	7	16	7	16	18	22	18	22	18	18	22	0	0	
5	6	FET	15	4	1	21,2	-2,6	38	44	-12	-18	-12	-18	-12	-9,5	-12	-9,5	-12	-12	-9,5	0	0	
6	4	FET	14	5	1	23,8	1,0	35	35	5	5	5	5	14	10	14	10	14	10	14	0	0	
7	5	DMS	16	3	1	21,4	4,5	34	45	-5	5	0	0	-12	-10	-12	-10	-12	-10	0	0	0	
8	4	FET	16	6	1	23,3	1,6	46	54	6	5	6	5	14	16	14	16	14	16	14	0	0	
9	2	FET	14	4	3	20,4	2,3	30	35	5	5	5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	-	
10	4	FET	14	21	1	23,5	2,0	32	37	0	5	0	5	4,5	-0,5	3	-0,5	3	1,5	3	1,5	0	
11	7	AET	15	4	1	20,9	4,9	33	38	14	14	14	14	16	16	16	16	12	12	16	0	0	
12	6	FET	16	3	1	22,2	1,9	40	48	14	10	14	10	14	9	14	9	14	9	14	0	0	
13	6	FET	13	3	2	22,2	3,0	27	31	10	10	10	10	14	12	14	12	14	12	14	0	0	
14	7	FET	15	3	1	22,1	4,0	31	32	16	12	16	12	14	7	14	7	14	7	14	0	0	
15	8	NSS	14	4	3	20,8	6,8	31	31	4	8	3	2	-10	0	3	0	3	0	2	0	2	
16	6	FET	16	3	2	23,0	1,8	30	42	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	0	
17	5	FET	15	3	2	21,0	5,3	31	35	5	10	5	10	6,5	11,5	6,5	11,5	6,5	11,5	6,5	11,5	0	
18	3	FET	16	7	1	20,9	4,5	30	34	2	-7	2	-7	-5	-10	-5	-10	-5	-5	-5	0	0	
19	7	DMS	14	3	1	22,6	3,0	29	44	8	5	3	1	6	7	0	7	0	7	0	2	3	
20	4	FET	14	5	1	20,2	3,6	28	32	10	10	10	10	-12	-10	-12	-10	-12	-10	-12	-10	0	

**Tabelle A2 Fortsetzung**

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operator	BL mm	S.E. dpt	F prä	N prä	F post		N post		F Ko		N Ko		F Ko		N Ko		BS	
										A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
21	6	NSS	16	4	1	21,4	1,6	28	36	-5	-4	-2	0	-4	2	-4	2	-4	2	4	2	4	
22	5	AET	14	12	1	20,3	8,1	36	40	5	0	5	0	-2	-1	-2	-1	-2	-1	0	0	0	
23	4	FET	16	6	1	21,7	2,1	37	38	2	1	2	1	1	6	1	4	1	4	1	4	1	
24	5	FET	16	3	1	22,3	1,3	40	41	14	17	14	17	17	19	17	19	17	19	0	0	0	
25	4	FET	14	3	2	20,6	4,4	28	32	16	16	16	16	13	16	13	16	13	16	-	-	-	
26	4	FET	15	4	2	21,0	7,0	30	37	6	9	6	9	7	6	6	6	6	6	1	1	1	
27	6	FET	16	10	1	21,9	0,8	27	30	-2	-2	-2	-1	5	8	-2	3	-2	3	1	1	1	
28	6	NSS	16	9	1	22,9	1,5	27	32	1	3,5	1	3,5	10	6	7	4	7	4	3	3	3	
29	5	FET	13	8	2	20,5	5,3	27	31	14	14	14	14	5	5	5	5	5	5	1	1	1	
30	3	FET	14	5	1	20,1	4,6	32	38	8	6	8	6	2	4	2	4	2	4	0	0	0	
31	2	FET	14	1	2	-	0,0	40	40	10	10	10	10	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	-	-	-	
32	6	FET	14	5	1	22,1	1,6	28	30	10	8	10	8	-7	-7	-5	-7	-5	-7	1	1	1	

**Tabelle A3** Kenngrößen der Gruppe kombinierte Konvergenzoperation

BL - Bulbuslänge; S.E. - Sphärisches Äquivalent; F - Fernschielwinkel; N - Nahschielwinkel; prä - präoperativ; post - 1./2. postoperativer Tag; Ko - Kontrollzeitpunkt; A - maximaler Schielwinkel; S - manifester Schielwinkel; BS - Klasse des Binokularsehens zum Kontrollzeitpunkt (Suppression bzw. Exklusion 0, Simultansehen im Bagolini -Test 1, positiver Titmus-Fliege-Test 2, positive Titmus Ringe /Iere 3, positiver Lang-1-Test 4); FET - frühkindliche Esotropie; AET - vermutlich akkomodativ erworbener Esotropie; DEP - dekompenzierter Esophorie; NSS - normosenorisches Spätschielen; DMS - dekompenzierter Mikrostrabismus; SET - sekundäre Esotropie

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operator	BL mm	S.E. dpt	F prä	N prä	F post		N post		F Ko		N Ko		F Ko		N Ko		BS	
										A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
1	12	NSS	13	4	2	24,9	-1,8	31	40	6	7	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	4	4
2	38	FET	15	3	1	24,1	-1,0	46	50	9	9	9	9	10	10	4,5	10	0	0	0	0	0	0
3	54	FET	15	3	1	23,0	4,1	29	34	7	6	7	6	6	6	11	6	11	6	11	6	11	0
4	6	AET	13	3	1	21,3	5,4	35	30	8	5	8	5	15,5	14,5	10	10	0	0	0	0	0	0
5	2	AET	13	4	2	21,7	3,6	40	40	15	15	15	15	14	16	14	16	14	16	14	16	-	-
6	7	DMS	14	3	2	22,0	2,9	28	34	6	6	6	6	2,5	5	1	2	1	2	1	2	1	1
7	15	FET	14	3	2	22,4	1,9	27	30	-1,5	2,5	-1,5	2,5	6	4	6	0	2	6	4	6	0	2
8	5	FET	13,5	4	1	20,8	4,0	30	31	0,5	-3	0,5	-3	7	2,5	0	0	1	7	2,5	0	0	1
9	14	DEP	14	3	1	24,1	-0,1	30	34	5	7	0	0	5	6	0	0	4	5	6	0	0	4
10	5	FET	17	3	2	23,0	-0,8	50	50	10	16	10	16	17	9	25	25	0	17	9	25	25	0
11	5	AET	12	3	2	20,6	4,8	29	40	2,5	10	0	10	2	13	2	13	1	2	13	2	13	1
12	5	FET	14	4	2	21,3	4,8	31	35	10	16	8	16	21	25	16	25	-	21	25	16	25	-
13	4	FET	14	16	2	22,7	1,4	32	46	12	12	12	12	32	33	32	33	0	32	33	32	33	0
14	48	DEP	13	3	2	23,3	1,9	32	43	7	10	7	10	6	12	6	12	3	6	12	6	12	3
15	6	AET	13	3	1	21,6	4,0	27	35	3	10	3	10	14	18	10	14	0	14	18	10	14	0
16	44	FET	12	3	2	22,6	0,4	36	36	13	13,5	12	12	13	9,5	12	8	0	13	9,5	12	8	0
17	9	FET	13	3	1	21,8	2,9	32	40	11	11	11	11	18	34	18	26	0	18	34	18	26	0
18	4	FET	13	4	1	19,7	8,4	38	41	12	14	12	14	26	22	26	22	0	26	22	26	22	0
19	6	FET	13	4	2	22,7	0,9	33	38	10	12	10	12	20	16	17	16	0	20	16	17	16	0
20	9	FET	13	4	2	23,5	-9,9	27	38	5,5	7	5,5	7	15	30	15	30	0	15	30	15	30	0

**Tabelle A3** Fortsetzung

Nr.	Alter Jahre	Diagnose	Dosis mm	NBZ Monate	Operateur	BL mm	S.E. dpt	F prä	F N prä	F post A	N post A	F post S	N post S	FKo A	NKo A	FKo S	NKo S	BS
21	9	DMS	14	3	1	23,4	1,0	32	32	2	2	0	1	15	9	0,5	1	4
22	3	FET	14	47	2	21,2	1,6	38	41	12	12	12	12	5	6	5	6	1
23	7	DMS	13	3	1	23,8	3,0	34	39	-7	4	-7	0	6	8	3,5	3,5	0
24	54	FET	14	3	1	-	0,3	33	33	5	3	5	3	14	17	14	17	0
25	5	FET	14	3	1	21,6	2,8	28	46	1	10	2	10	18	21,5	6,5	6,5	0
26	27	DMS	14	6	2	23,4	0,8	32	27	3	2,5	0	0	5	5	5	4	3
27	30	NSS	12	5	2	21,7	-1,3	30	35	0	0	0	0	0	0	0	0	4
28	11	AET	14	6	2	21,4	3,0	29	37	12	8	12	8	11	12	6	4	0
29	33	DEP	12	4	1	23,4	-1,8	29	33	0	3	0	0	3	6	0	0	4
30	6	FET	13	9	2	21,8	2,1	30	32	14	15	14	15	13	11	8	11	0
31	26	FET	16	5	1	22,8	-0,3	54	55	29	32	29	32	22	28	22	28	0
32	6	DMS	12	7	1	21,8	4,3	33	56	17	20	17	20	33	40	8	40	1
33	5	FET	13	5	3	22,5	-0,3	29	31	-7	5	-6	0,5	6	8	6	6	1
34	6	DMS	14	4	1	21,7	3,0	28	32	0	-4	0	-4	-1	2	-0,5	1	1
35	5	FET	14	4	2	22,0	6,8	29	30	3	2	3	2	7,5	5	7,5	5	3
36	16	FET	16	14	2	23,7	-1,5	49	40	2	4	2	2	2	5	0	0	4
37	3	SET	14	3	1	22,4	1,0	27	30	-12,5	-5	-12,5	-5	4	7	4	7	0
38	11	DMS	13	5	1	22,0	2,6	30	31	-3	-5	0	-5	0,5	2	0	1	2
39	6	AET	13	3	2	19,7	6,6	29	35	14	14	14	14	11	17	10	10	0
40	42	FET	15	6	2	24,2	0,1	42	42	9	10	9	10	20	17	20	17	0
41	5	FET	13	6	2	22,1	3,5	27	30	5	5	5	5	0	-3	0	0	0
42	5	FET	13	5	1	20,9	3,4	32	36	-4	-4	-3	-3	-4	1	-4	1	0
43	6	FET	13	6	2	20,1	7,1	29	38	7,5	23	7,5	23	10	27	10	27	0

## 12. Publikationsverzeichnis

Gräf M, Röhm J, Wassill H. Dreimuskelchirurgie bei großwinkliger Esotropie. *Ophthalmologie* 2022; 119: 30–37. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01318-9>

Gräf M, Röhm J, Wassill H. Horizontale Dreimuskelchirurgie bei großwinkliger Esotropie. *Z Prakt Augenheilkd* 2021; 42: 374–378

### 13. Ehrenwörtliche Erklärung

Erklärung zur Dissertation „Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **14. Danksagung**

Mein größter Dank gilt Prof. Dr. med. Michael Gräf für das Angebot dieses Themas. Seine Leidenschaft für seinen Beruf und der starke Wille, das bestmögliche Ergebnis für seine Patienten und Patientinnen zu erzielen, haben mich sehr beeindruckt. Er stand mir in allen Phasen meiner Arbeit mit seinem großen Fachwissen beratend und unterstützend zur Seite.

Des Weiteren möchte ich allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Augenklinik für Schielbehandlung und Neuroophthalmologie in Gießen für ihre Unterstützung danken. Ihre Hilfe war vielfältig, jedoch wäre es mir ohne diese niemals gelungen, mich in den Tiefen des Archivs der Augenklinik und der ganzen Augenklinik zurecht zu finden.

Ich danke Herrn Dr. med. Heiko Wassill für alle seine informativen Erklärungen im Operationssaal und jede seiner lustigen Anekdoten.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Jonas Tschammer vom Institut für Medizinische Informatik in Gießen für die Beratung und Beantwortung meiner Fragen in statistischen Belangen bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gebührt meiner Familie und meinem Partner, deren Glauben an mich und ihre Unterstützung mir die Verwirklichung dieses Projektes erst ermöglicht haben.