



## **SEE++ Benutzerhandbuch**

Revision 11

Michael Buchberger  
Thomas Kaltofen  
Siegfried Priglinger

[www.strabismus.at](http://www.strabismus.at)

Michael.Buchberger@gmx.at  
s.priglinger@outlook.com



# **SEE++ Benutzerhandbuch**

## **Zielpublikum**

---

*Dieses Handbuch ist eine Einführung in die Arbeitsweise mit dem computerunterstützten Simulationssystem SEE++ zur Simulation von Augenmotilitätsstörungen und zur Vorbereitung und Durchführung von Augenmuskeloperationen.*

*Dieses Handbuch richtet sich an Ophthalmologen, OrthoptistInnen, Pädiater, Neurologen, Fachärzte sowie interessierte Laien im Bereich Mathematik, Physik und Informatik die mit medizinischen Themengebieten vertraut sind.*

# **SEE++ Benutzerhandbuch**

## **Danksagung:**

*Von Prof. Dr. Siegfried Priglinger, vormals Leiter der Sehschule im Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Linz, wird dieses Projekt in seiner inhaltlichen Zielsetzung geführt und tatkräftig unterstützt. Die primären medizinischen Projektpartner, die ebenfalls immer mit vollem Einsatz im Projekt mitarbeiten, sind Primaria Dr. Barbara Neudorfer vom Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Linz, Univ.-Doz. OA Dr. Robert Hörantner vom Krankenhaus der Barmherzigen Schwestern Ried sowie Prof. Dr. Andrea Langmann von der Medizinischen Universität Graz. Zusätzlich konnte im Rahmen des Projektes auch die Abteilung für Neuro-Ophthalmologie, Okuloplastische- und Orbitachirurgie des Landeskrankenhauses St. Pölten unter der Leitung von Univ.-Doz. Prim. DDr. Armin Ettl als Revisionspartner gewonnen werden. Mit FH-Prof. Christine Scharinger, Leiterin des Studiengangs Orthoptik an der Fachhochschule Salzburg, konnte außerdem noch eine Unterstützerin gewonnen werden, die sich intensiv für die Integration von SEE++ in die Lehre und Ausbildung von OrthoptistInnen einsetzt. Die Ideen und Konzepte dieser Arbeit basieren teilweise auf dem biomechanischen Softwaresystem Orbit™, welches ebenfalls zur Simulation von Augenmuskeloperationen verwendet werden kann und von der Firma Eidactics angeboten wird ([www.eidactics.com](http://www.eidactics.com)).*

*Michael Buchberger, Thomas Kaltofen, Siegfried Priglinger*

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil I Einführung</b>	<b>3</b>
1 Vorwort .....	4
2 Was ist SEE++ .....	6
3 Klinischer Einsatz .....	9
4 Systemvoraussetzungen .....	10
5 Medizinische Grundlagen .....	11
Schielen .....	11
Grundlagen der Anatomie .....	14
6 SEE++ verwenden .....	21
<b>Teil II Mathematische Modelle</b>	<b>23</b>
1 Überblick .....	24
2 Geometrische Modelle .....	26
Fadenmodell .....	35
Bändermodell .....	36
Pulleymodelle .....	37
3 Kinematisches Modell .....	39
Kräftemodell .....	41
Hess-Lancaster Test .....	48
Cover Test .....	50
Simulation .....	52
<b>Teil III Einführende Beispiele</b>	<b>57</b>
1 Abduzensparese .....	59
2 Trochlearisparese .....	65
3 Supranukleäre Augenbewegungsstörung .....	71
<b>Teil IV SEE++ Referenz</b>	<b>77</b>
1 Überblick .....	79
2 Patientenverwaltung .....	80
Neuer Patient/Patientenstammdaten .....	81
Patient laden .....	82
Patient speichern .....	83
Neue Pathologie .....	84
3 Medizinische Stammdaten .....	86
Bulbusdaten .....	87
Muskeldaten .....	87
Innervationsverteilung .....	91
Motorische Fusionsbreite .....	92
Blickschema .....	93
4 Szenarien .....	100
Ansichten .....	105
Orbit-Daten importieren .....	106
Änderungsbericht .....	106

<b>5 Referenzdaten .....</b>	<b>108</b>
Exportieren .....	108
Importieren .....	109
<b>6 Ansichten .....</b>	<b>111</b>
3D-Ansicht .....	113
Diagramme .....	116
Muskelwirkungsverteilung.....	117
Muskelwirkungsrichtung.....	117
Hess-Diagramm.....	118
Schieltinkeldiagramm.....	119
Stateview er.....	120
<b>7 Symbolleisten .....</b>	<b>123</b>
Modelle .....	123
Allgemeine Funktionen .....	124
3D-Ansichtoptionen .....	128
Ansichten .....	132
<b>8 Methoden zur Motilitätsdiagnose .....</b>	<b>134</b>
Interpolation für Echtzeit-Diagnose .....	134
Cover Test .....	135
<b>9 Operationen .....</b>	<b>137</b>
Versetzen .....	137
Textuell .....	138
Vor/Rücklagern .....	140
Tangentielle Verlagerung .....	140
Messen .....	141
Triangulation.....	142
<b>10 Optionen .....</b>	<b>145</b>
Allgemeines .....	145
Diagramme .....	148
Drucker .....	151
<b>11 Datenexport .....</b>	<b>153</b>
Bilder speichern .....	153
Blickschema als Bild speichern .....	154
AVI-Film erstellen .....	155
Film für Kopfneigetest .....	159
Drucken .....	161
Seitenansicht.....	162
Bericht .....	162
<b>Index</b>	<b>165</b>

---



**Teil**



# 1 Einführung

## 1.1 Vorwort

Zunehmende Automatisierung in allen Bereichen unseres Alltages macht den Einsatz von Softwaresystemen für Verwaltung und Dienstleistungen unerlässlich. Auch vom Gesundheitswesen wird seit einigen Jahren diese Entwicklung mitgetragen. Die Einführung einer Chipkarte als Ersatz für Krankenschein und Patientendaten und die zahlreichen Neuerungen in der EDV-gestützten Krankenhausverwaltung bilden die Basis für einen effizienten und kostenminimierenden Verwaltungsapparat.

Die rasante Entwicklung von Rechnersystemen ermöglicht auch zunehmend den Einsatz von Softwaresystemen im medizinischen Bereich. Leistungsfähige Computer für Bildverarbeitung und 3D-Grafik in Kombination mit speziell entwickelten Systemen bieten schon heute eine sinnvolle Ergänzung z.B. in der medizinischen Diagnostik. Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz solcher Systeme in der Praxis ist die Zuverlässigkeit und die möglichst interpretationsfreie, echtheitsgetreue Darstellung von medizinisch relevanten Daten bzw. Ergebnissen. Denkt man beispielsweise an den Einsatz von virtueller Realität im Zusammenhang mit chirurgischen Eingriffen, so wird der Erfolg einer Operation wesentlich durch die aus einem solchen System gewonnenen Daten beeinflusst. Durch ausgereifte grafische Visualisierung kann der Chirurg präoperativ ein Krankheitsbild simulieren und danach durch interaktives "virtuelles Operieren" den Ablauf der späteren (echten) Operation planen, kontrollieren und eventuell sogar korrigieren. So kann er auf die Qualität und Effizienz des Eingriffs direkt einwirken.

Durch den in den letzten Jahren stetig steigenden Bedarf an solchen Systemen beschäftigt sich ein wesentliches Forschungsgebiet im Umfeld der Computerwissenschaften mit der "korrekten" Modellierung eines "virtuellen" Menschen. Dabei ist das Ziel, die Anatomie des menschlichen Körpers auf eine möglichst realistische Weise darzustellen, indem man beispielsweise bereits aus der Mechanik bekannte Gesetzmäßigkeiten auf die Anatomie des menschlichen Körpers anzuwenden versucht. Komplexe mathematische Modelle von Skelett, Muskeln, Gelenken und deren grafische, dreidimensionale Visualisierung bilden die Basis für die Umsetzung eines interaktiven Systems. Das Ergebnis ist ein biomechanisches Modell des menschlichen Körpers, welches wiederum in Forschung und Lehre Anwendung findet. Durch das systematische Studieren solcher Modelle, lassen sich neue Erkenntnisse ableiten, die, wiederum in das Modell integriert, eine vertiefende Forschung ermöglichen und gleichzeitig das Modell perfektionieren.

Das Projekt SEE-KID (Software Engineering Environment for Knowledge-based Interactive Eye motility Diagnostics) versucht die Aspekte der biomechanischen Modellierung mit Methoden der modernen Softwareentwicklung zu verbinden. Dieses Projekt basiert in großen Teilen auf dem Softwaresystem Orbit™ (weitere Informationen unter [www.eidactics.com](http://www.eidactics.com)) und auf anderer biomechanischer Software. Es versucht jedoch gleichzeitig die bekannte Funktionalität zu erweitern und verschiedene Modellierungsaspekte in einem Computerprogramm zu vereinen.

Wir sehen SEE++ als Ersatz oder Erweiterung von Orbit™ mit einer höheren klinischen Relevanz bei gleichzeitiger äquivalenter Unterstützung der wesentlichen Funktionen, die auch Orbit™ angeboten hat. Das SEE++ Softwaresystem differenziert zwischen dem biomechanischen Modell und der Benutzeroberfläche und bietet dadurch eine offene, flexible und portable Basis für zukünftige Erweiterungen. Des weiteren wurden das SEE-KID und das SEE-KID Active Pulley Modell so entwickelt, dass auch neueste anatomische und physiologische

Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung auf einfache Art und Weise integriert werden können. Im Vergleich zu Orbit™ verwenden diese Modelle außerdem einen anderen mathematischen Ansatz für die numerische Optimierung, der eine wesentlich zuverlässigere Lösung von nicht-linearen Problemen erlaubt. Die effiziente und zuverlässige Lösung von solchen Optimierungsproblemen stellt eine der wesentlichen Aufgaben für die Simulation von komplexen mechanischen Systemen wie dem menschlichen Auge dar.

Der direkte Partner des SEE-KID Projektes, die Sehschule des Konventhospitals der Barmherzigen Brüder in Linz, hat sich darauf spezialisiert, angeborene und erworbene Fehlstellungen der Augen (Motilitätsstörungen, Schielen mit oder ohne Nystagmus) speziell bei Kleinkindern operativ zu beheben, durch z.B. Verkürzung oder Verlagerung eines oder mehrerer Augenmuskeln. Die meisten dieser Operationen an den Augenmuskeln müssen im Vorschulalter durchgeführt werden. Um eine dauerhafte Fehlbildung des muskulär-bindegewebigen Apparats und eine daraus resultierende sensorische Anpassung zu vermeiden, müssen Kinder in Einzelfällen (z.B. Fibrose-Syndrom) schon früh in den ersten Lebensjahren operiert werden. Voraussetzung ist eine Früherfassung mit Vorbehandlung, z.B. durch Okkludieren (Verkleben des besseren Auges zur Förderung des sehschwächeren Auges).

Für den Erfolg einer Augenmuskeloperation ist einerseits ein Verständnis des zu Grunde liegenden Krankheitsmechanismus, aber auch ein Verständnis der zu Grunde liegenden anatomisch funktionellen Mechanismen notwendig. Nur damit können falsche Operationen und damit operative Fehlkorrekturen vermieden werden.

Solche modellunterstützte Augenmuskeloperationen werden am Krankenhaus der Barmherzigen Brüder in Linz seit 1978 durchgeführt. Dadurch wurde es auch möglich, neue Operationstechniken zu entwickeln.

Besonders komplizierte Operationen müssen im Vorfeld detailliert geplant und geeignete Operationsschritte ausgewählt werden. Der Ablauf einer Operation konnte bislang nur direkt am Patienten durchgeführt und perfektioniert werden. Bei besonders komplizierten Augenfehlstellungen ist selbst der erfahrene Experte auf übermittelte und eigene dokumentierte Erfahrungswerte angewiesen. Mehrfachoperationen sind daher oft notwendig.

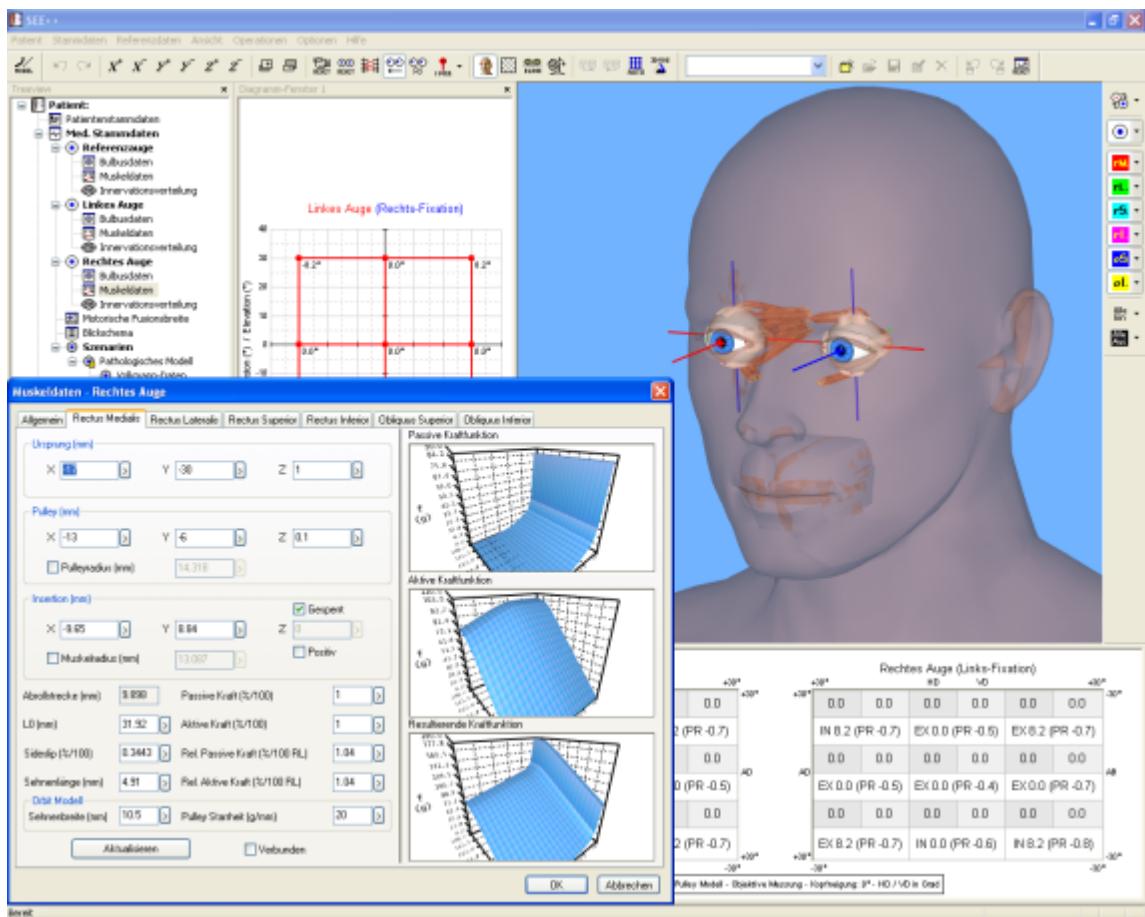
Das Ergebnis unseres Projektes ist ein Softwaresystem (SEE++), das es dem Mediziner ermöglicht, eine pathologische Augenfehlstellung am Computer an Hand von Messungen am Patienten nachzustellen und an diesem Modell fast alle in der Praxis möglichen chirurgischen Eingriffe interaktiv zu simulieren. Es erlaubt ihm, sofort durch Darstellung von Messpunkten, Drehmomentlinien (Summe der Orientierungspunkte gleicher Drehmomente), Ursprungs- und Ansatzverhältnissen auf der Augenoberfläche bzw. der Orbita (["funktionelle Topographie"](#))<sup>33</sup>, Fehlfunktionen als Abweichungen von idealen Ansatz-, Ursprungs- und Streckenänderungen zu interpretieren. Dadurch kann der Chirurg den für den Patienten optimalen Eingriff bestimmen und dessen Vorgehensweise detailliert planen.

Die simulierten Eingriffe werden am Computer dreidimensional grafisch und in Mess-Skalen zum Vergleich mit klinischen Messparametern dargestellt und auf Plausibilität geprüft. Außerdem werden dem Chirurgen oben geschilderte Anhaltspunkte und Messwerte zur Verfügung gestellt, an Hand derer die konkrete Positionsbestimmung während des operativen Eingriffs am Auge des realen Patienten ermöglicht wird.

## 1.2 Was ist SEE++

SEE++ ist ein neuartiges Simulationssystem zur Vorhersage von klinischen Operationsergebnissen, sowie zur Darstellung von pathologischen Situationen im Bereich der Strabismus Chirurgie. Das System basiert auf einem hoch entwickelten mathematischen Simulationsmodell (biomechanisches Modell), welches das Verhalten des menschlichen extraokulären Augenapparates realistisch nachbildet und somit eine experimentelle Plattform für die Simulation von Pathologien und die Evaluierung von Eingriffen bereitstellt.

SEE++ ist ein biomechanisches System für die interaktive dreidimensionale Simulation und Visualisierung von Augenmotilitätsstörungen und deren operativer Korrektur.



SEE++ bietet:

- kompakte, anschauliche und damit gut verständliche Wissensvermittlung in Lehre und Ausbildung,
- wissenschaftlich orientiertes Vorgehen für die Praxis,
- grundsätzliche Hinweise und zahlreiche Beispiele,
- Basis für eigene Überlegungen zur Diagnostik und operativen Korrektur von Augenmotilitätsstörungen.

SEE++ ist geeignet für eine Vielzahl von Anwendern:

- Ophthalmologen, Fachärzte sowie OrthoptistInnen können SEE++ bei der Unterstützung von Messungen und zur Diagnose und Archivierung von Pathologien verwenden.
- Wissenschaftler im Bereich der Ophthalmologie, Strabologie und Neurologie, Pädiater sowie Wissenschaftler im Bereich der Biophysik verwenden SEE++ als umfangreiches wissenschaftliches Werkzeug zur Untersuchung der Mechanik von Augenbewegungen.
- Lehrern bietet SEE++ durch die anschauliche Darstellung eine wesentliche Unterstützung um grundsätzliche Abläufe von Augenbewegungen besser vermitteln zu können. Studenten haben die Möglichkeit, mit SEE++ ihr Erlerntes anschaulich aufzuarbeiten, zu kontrollieren und eigene, vertiefende Ansätze interaktiv zu erarbeiten.

## SEE++ ist ein biomechanisches Modell

Der interdisziplinäre Forschungsbereich der biomechanischen Modellierung beschäftigt sich mit der computerunterstützten Modellierung von anatomischen Strukturen des menschlichen Körpers. Die hier vorgestellte Forschungsarbeit SEE-KID (Software Engineering Environment for Knowledge-based Interactive eye motility Diagnostics) fokussiert auf die virtuelle Repräsentation des extraokulären Bewegungsapparates im Sinne eines funktionalen Modells der Augenmotilität für die Applikation in der Strabologie.

Blickt man auf die Geschichte der Modellentwicklung im Bereich des Strabismus, so fällt die starke mathematische Implikation und die damit fachübergreifende Komplexität dieses Themenbereiches auf. Besonders in Lehre und Ausbildung im Gebiet der Ophthalmologie ist ein detailliertes Verständnis für die Mechanik der Augenbewegungen sowie der funktionellen Zusammenhänge der Anatomie des Bewegungsapparates im Hinblick auf Diagnose und Therapie von Augenmotilitätsstörungen von bedeutender Relevanz. Das hier vorgestellte computerunterstützte Simulationssystem SEE++ soll es dem Mediziner, im Vergleich zu einem gewähltem Normmodell, ermöglichen, pathologische Augenfehlstellungen am Computer nachzustellen, grafisch dreidimensional zu visualisieren, sowie die Auswirkungen von chirurgischen Eingriffen an den Augenmuskeln zu berechnen und interaktiv darzustellen. Auf diese Weise kann der Chirurg bereits am Computer den Trend eines muskelchirurgischen Eingriffs erfassen und damit für einen Patienten mit großer Wahrscheinlichkeit den jeweiligen optimalen Eingriff bestimmen. Durch das modellmäßige Erfassen von Augenmotilitätsstörungen und möglichst exakte Verstehen der zu Grunde liegenden Mechanismen sollen Mehrfachoperationen vermieden werden.

Die biomechanische Modellierung wird als ein Teilgebiet der Mechanik definiert. Es setzt sich mit Effekten dynamischer Kräftebeziehungen des menschlichen Körpers auseinander. Die Grundlage für den Entwurf solcher Modelle ist die Kombination von Disziplinen der Physik mit Bereichen der Biologie und Physiologie. Das Studieren mechanischer Abläufe des menschlichen Körpers mit Hilfe mathematisch-physikalischer Methoden kann auch im weitesten Sinne der neu entstandenen wissenschaftlichen Disziplin der Bioinformatik zugeordnet werden.

Die Modellierung der Wirkungsweise des okulomotorischen Systems basiert auf detaillierten Kenntnissen der anatomischen Strukturen und wurde in ersten einfachen Modellen bereits im 19. Jahrhundert beschrieben. So wurden erstmals von Volkmann in umfangreichen Messungen die Ansätze und Ursprünge aller extraokulären Muskeln bestimmt. Danach hat Krewson die prinzipielle Wirkungsweise der Augenmuskeln in einer ersten sehr vereinfachten Form durch das Fadenmodell beschrieben. Von Boeder wurde die Mathematik des Fadenmodells in eine grafisch

anschauliche Notation überführt (Muskelwirkungsverteilungsdiagramme), die auch heute noch in Klinik und Wissenschaft verwendet wird. Ein erstes Modell, welches auch bewegungshemmende Strukturen von Augenmuskeln berücksichtigte, wurde als Bändermodell 1975 von Robinson veröffentlicht. Eine Verstärkung dieser Muskelfixation führte zur Definition des verschärften Bändermodells durch Kusel und Haase 1977. Mit der Entdeckung von Pulleys als funktionelle Elemente wurde ein neues, erweitertes Modell der Augenmotilität mit dem Namen Orbit<sup>TM</sup> als erstes kommerziell verfügbares biomechanisches Simulationssystem für Augenmuskeloperationen von Joel Miller im Jahr 1994 vorgestellt (siehe [Miller 1999]), das im Vergleich zu älteren Modellen und klinischen Vergleichsdaten in seiner Ergebnistreue wesentlich realistischere Prognosen liefert.

Neueste Studien haben jedoch gezeigt, dass Pulleys nicht nur den Muskelpfad bestimmen und stabilisieren, sondern sich auch die Pulleyposition leicht mit der Blickposition ändert. Dadurch wird die Zugrichtung des Augenmuskels beeinflusst. Dies sieht man an den Krümmungen des Muskelpfades in den verschiedenen Blickpositionen. Demer et. al. demonstrierten in einer Studie, dass sich die Pulleyposition bei der Kontraktion des Augenmuskels nach hinten und bei Relaxation (Entspannung) nach vorne bewegt. Man spricht von einem "anterior – posterior shift" der Pulleys. Diese so genannte "Active-Pulley-Hypothese" wird auch durch weitere Studien unterstützt und wurde im SEE++ System in Form des Active-Pulley Modells umgesetzt. SEE++ ist somit das erste Simulationssystem, welches die "Active-Pulley-Hypothese" implementiert.

Für die Güte eines biomechanischen Modells sind die Eigenschaften der klinischen Ergebnistreue und der dynamischen Erweiterbarkeit von größter Bedeutung. Ein existierendes Modell kann erst dann als relevant berücksichtigt werden, sobald die funktionellen Eigenschaften tendenziell den klinischen Erfahrungen entsprechen. Weiters ist die Modellstruktur so zu gestalten, dass neue physiologische oder biologische Erkenntnisse, ohne das Gesamtmodell zu invalidieren, im Sinne zusätzlicher Erweiterungen berücksichtigt werden können. Um solche Strukturen in einem computergestützten Modell realisieren zu können, benötigt man zusätzliche Methoden des Software Engineering.

---

### 1.3 Klinischer Einsatz

Da dieses System primär als **Forschungsunterstützung** angesehen werden muss, ergeben sich wichtige Einschränkungen für den klinischen Einsatz in der Praxis:



1. SEE++ dient **nicht** als Ersatz für eine klinische Untersuchung oder Entscheidungsfindung.
2. Das Softwaresystem SEE++ ist **ausschließlich für unterstützende Zwecke in Diagnose und Therapie geeignet** und darf **keinesfalls** die alleinige Basis für eine ärztliche Entscheidungsfindung sein.
3. SEE++ ist **nicht primär für den klinischen Einsatz erprobt oder zertifiziert** worden und darf daher auch **nicht** als Grundlage für die Behandlung von Patienten herangezogen werden.

## 1.4 Systemvoraussetzungen

SEE++ läuft grundsätzlich auf Rechnern mit Windows® Betriebssystemen.

Aufgrund der grafisch aufwändigen Darstellung und der zusätzlich rechenintensiven mathematischen Verfahren die SEE++ verwendet, ergeben sich gewisse Minimalanforderungen an ein Computersystem, die eingehalten werden sollten um einen reibungslosen Ablauf der Software zu garantieren. Sie können die Berechnungen auch auf einen anderen Computer (z.B. auf einen Server) auslagern, wenn sie den SEE++ Calculation Server (als eigenes Produkt auf [www.see-kid.at](http://www.see-kid.at) verfügbar) einsetzen und dessen Verwendung [im Programm aktivieren](#)<sup>[145]</sup>.

### Anforderungen für SEE++:

- Betriebssystem: Windows® 2000 und höher
- Intel Pentium 4 mit min. 2 GHz (bzw. Intel Core Architektur mit min. 1.4 GHz)
- min. 512 MB RAM
- min. nVidia GeForce 4 mit 64 MB RAM bzw. min. ATI Radeon 9000 mit 64 MB RAM
- Monitor bzw. TFT-Display mit Auflösung von min. 1024x768 Pixel mit True Color

## 1.5 Medizinische Grundlagen

### 1.5.1 Schielen

Als Schielen ("Strabismus") bezeichnet man jede beständige oder nur hin und wieder auftretende Fehlstellung der Augen. Dabei stehen die Augen nicht parallel, sondern ein Auge weicht von der Blickrichtung des anderen ab. Rund 6 % unserer Bevölkerung leiden unter irgend einer Form von Schielen. Belastend wirkt dabei vor allem die oft entstellende, äußerlich sichtbare Abweichung der Augen. Schielen ist aber nicht nur ein Schönheitsfehler, sondern oft auch mit einer schweren Sehbehinderung verbunden. Je früher das Schielen im Leben des Kindes auftritt und je später es vom Augenarzt behandelt werden kann, desto schwerer wird die Sehbehinderung. Mit Beginn des Schulalters sinken die Erfolgsschancen der Behandlung erheblich. Schielende Babys und Kleinkinder bedürfen deshalb einer möglichst frühzeitigen Behandlung.

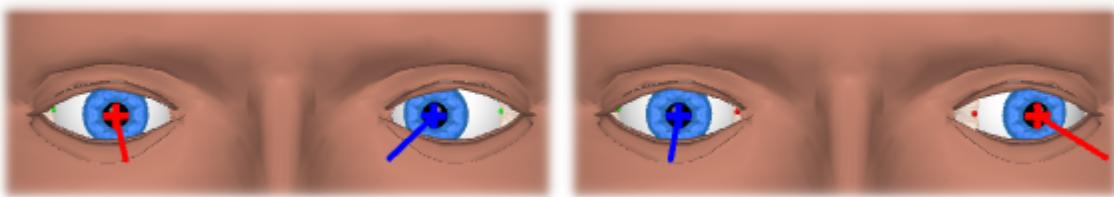
### Die Entwicklung der Sehschärfe

Säuglinge nehmen schon kurz nach der Geburt ihre Umwelt wahr, wenn auch anfänglich nur sehr verschwommen. In den ersten sechs Lebensmonaten lernen sie mit ihren Augen fixieren und die Bewegungen zu koordinieren. Während dieser Zeit des Übens sind gelegentliche Fehlstellungen der Augen noch normal (so genanntes "Babyschielen"). Wenn jedoch nach dem 6. Lebensmonat immer noch ein Auge ständig von der Blickrichtung des anderen abweicht, sollte ein Augenarzt aufgesucht werden. Grundsätzlich wäre eine Augenuntersuchung schon unmittelbar nach der Geburt sinnvoll, um eine Behinderung der Sehentwicklung, z.B. durch einen angeborenen grauen Star, schon frühzeitig in den ersten Lebenswochen beheben zu können. Bei Kleinkindern verbessert sich die Sehschärfe kontinuierlich im Laufe des Wachstums. Mit Schulbeginn ist sie meist voll ausgebildet. Die Beeinflussung einer durch Schielen bedingten Sehschwäche ist nur während dieser sensitiven Phase der Entwicklung des Sehens möglich. Bereits ab dem 7.-8. Lebensjahr sinken die Chancen auf eine Normalisierung der Sehschärfe beträchtlich, nach dem 10.-12. Lebensjahr sinken sie praktisch auf Null.

### Die verschiedenen Formen des Schielens

Beim Schielen weichen ein bzw. gelegentlich beide Auge von der gemeinsamen Blickrichtung ab. Schielt immer dasselbe Auge, weil es die schlechtere Sehschärfe oder die geringere Beweglichkeit besitzt, so spricht man von einem einseitigen ("monolateralen") Schielen. Weicht hingegen einmal das rechte und einmal das linke Auge ab, so nennt man dies ein wechselseitiges ("alternierendes") Schielen. Gelegentlich ist die Abweichung so gering (weniger als 5 Grad), dass sie bei äußerer Betrachtung kaum auffällt. In diesem Fall handelt es sich um ein Mikroschielen, das in der Regel einseitig nach innen gerichtet und so geringfügig ist, dass es die Eltern nicht erkennen oder gar niedlich finden. Ist eine Fehlstellung beliebiger Richtung praktisch immer zu beobachten, spricht man von einem manifesten Schielen. Gelegentlich lässt sich ein Schielen nur nachweisen, wenn das beidäugige Sehen durch Abdecken eines Auges gestört wird ([Cover Test](#))<sup>50</sup>. Man spricht dann von einem versteckten („latenten“) Schielen, das durch einen entsprechenden fusionellen Aufwand ausgeglichen wird. Dies führt oft zu Kopfschmerzen, Leseproblemen etc. (asthenope Beschwerden). Schielen ist nie harmlos oder nur niedlich; es "wächst sich auch nicht aus", sondern bewirkt oft eine einseitige Sehschwäche und schwere Störungen des beidäugigen und vor allem des hochwertigen dreidimensionalen Sehens, wenn die notwendige augenärztliche Behandlung verzögert wird.

Das schierende Auge kann in verschiedenen Richtungen vom nicht schiegenden Auge abweichen: nach innen (Einwärtschielen), nach außen (Auswärtschielen), nach oben oder unten (Höhenschielen). Manchmal treten Abweichungen unterschiedlicher Richtung bei einem Kind gleichzeitig auf.



**Einwärtschielen**

**Auswärtschielen**

### Wie entsteht Schielen ?

Die Ursachen von Schielen sind multifaktoriell. Die Tatsache, dass Schielen in manchen Familien gehäuft auftritt, lässt auf erbliche Faktoren schließen. Vor allem wenn ein oder beide Elternteile schielten oder wegen Schielen behandelt wurden, sollte das Kind schon im ersten Lebensjahr und danach jährlich augenärztlich untersucht werden. Weitere Faktoren, die Schielen und Sehschwäche verursachen können sind eine Erkrankung der werdenden Mutter an Röteln oder eine Frühgeburt. In vielen Fällen sind die Ursachen am Auge selbst zu suchen, wie angeborene Brechungsfehler (wie Weitsichtigkeit oder starke Hornhautverkrümmung) oder einseitige Linsentrübungen, Tumoren im Augeninnern oder Augenverletzungen.

Bei angeborenen Ursachen muss die Schielstellung nicht gleich nach der Geburt sichtbar sein. Bei angeborenen Brechungsfehlern tritt das Schielen erst auf, wenn das Kind genauer zu fixieren beginnt. Dabei benutzt das Kind oft ausschließlich das funktionell bessere Auge, wodurch das stärker fehlsichtige Auge eine Sehschwäche (Amblyopie) entwickelt, wenn es nicht durch therapeutische Maßnahmen "trainiert" wird. Mitunter tritt eine "erworbenen" Fehlstellung auch plötzlich auf, z.B. nach Kinderkrankheiten, nach hohem Fieber, nach Unfällen oder in schweren seelischen Krisen. Ein latentes Schielen ist dann aufgrund eines krankhaften Ereignisses dekompensiert.

### Gibt es beim Schielen Früh- oder Warnzeichen ?

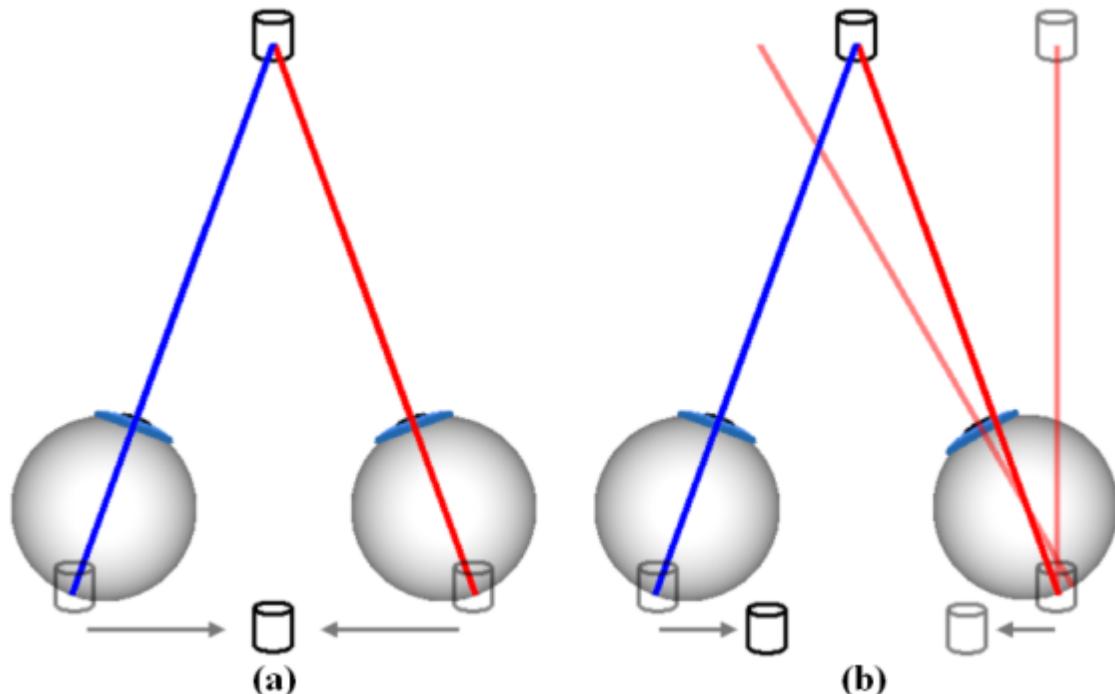
Kinder mit auffälligem Schielen haben die besten Chancen, weil sie von ihren Eltern schon aufgrund des "Schönheitsfehlers" frühzeitig dem Augenarzt vorgestellt werden. Leider sind aber kaum oder nicht sichtbare Schielfehler möglich (Mikrostrabismus). In Fällen von verstecktem (latentem) Schielen gibt es zeitweise diskrete Hinweise auf ein manifestes Schielen wie z.B. gelegentliches Zukneifen eines Auges, Lichtempfindlichkeit etc. Eine Kopfschiefhaltung findet man des öfteren auch bei Nystagmus (Augenzittern). Meistens verhalten sich die Kinder aber völlig unauffällig und die Diagnose eines Sehfehlers wird erst bei der Reihenuntersuchung im ersten Kindergartenjahr gestellt, wenn ein Auge bereits schlecht sieht und eine erfolgreiche Behandlung sehr schwierig ist.

### Wie wirkt sich das Schielen auf das Sehen aus ?

Damit wir einen Gegenstand räumlich wahrnehmen können, müssen beide Augen exakt dasselbe Objekt fixieren. Das Sehobjekt wird im gelben Fleck (Fovea), dem Zentrum des schärfsten Sehens, beider Augen abgebildet. So wird zum Beispiel ein von beiden Augen gemeinsam angesehener Würfel in beiden Augen umgekehrt (wie beim Fotoapparat) und wegen der Entfernung beider Augen (Interpupillardistanz) unterschiedlich perspektivisch abgebildet. Im

Gehirn werden beide Bilder zur Wahrnehmung eines einzigen aufrechten und dreidimensionalen Würfels verschmolzen (fusioniert) (a).

Anders ist dies bei einem Einwärtschielen des z.B. rechten Auges. Das rechte Auge sieht links am Würfel vorbei (b). Die Foveae beider Augen bilden nun verschiedene Bilder ab, die nicht mehr fusioniert werden können. Es entstehen störende (ungekreuzte) Doppelbilder, gegen die sich das kindliche Gehirn wehrt, indem es das vom schielenden Auge übermittelte Bild unterdrückt. Der Vorgang hat eine verhängnisvolle Folge: das schielende Auge wird nach einiger Zeit sehschwach ("amblyop").



Amblyopie nennt man die funktionelle Sehschwäche eines organisch sonst gesunden Auges (infolge z.B. von Schielen).

Ohne Behandlung entwickeln nahezu 90 % aller Schielkinder eine einseitige Amblyopie. Dabei spielt die Größe des Schielwinkels keine Rolle: gerade beim Mikroschielen ist manchmal die Sehschwäche besonders ausgeprägt. Wird diese Schielschwachsichtigkeit nicht rechtzeitig entdeckt und behandelt, bleibt sie lebenslang bestehen. Das Kind kann dann nie mehr lernen, richtig beidäugig oder gar dreidimensional zu sehen. Es ist mehr durch Unfälle gefährdet und außerdem bei der Berufswahl beeinträchtigt. Eine rechtzeitige Behandlung kann eine Schielamblyopie verhindern und meist großes beidäugiges Sehen bzw. auch gutes räumliches Sehen herstellen.

## Wie wird Schielen behandelt ?

Erstes Ziel der Schielbehandlung ist es, eine bestmögliche beidäugige Sehschärfe zu erreichen (Brille!). Erst dann kann eine Schieloperation bei weitgehend normalem Zusammenspiel beider Augen erfolgreich und dauerhaft sein. Augen mit fehlender Fixation (z.B. blinde Augen) halten nach einer Schieloperation meist nicht auf Dauer die Parallelstellung!

### 1) Brille

Eine nicht korrigierte Fehlsichtigkeit kann Schielen verursachen. Viele Schielkinder in Europa sind weitsichtig. Überschießende Naheinstellung (Akkommodation) kann bei diesen Kindern über den Konvergenzimpuls Schielen auslösen. Eine hyperope Brille, bestimmt unter Vollentspannung der Nahschärfeeinstellung mit Augentropfen, kann daher diese akkommodative Schielform durch Brillenverordnung "heilen" bzw. den Schielwinkel verkleinern.

## 2) Abdecken ("Okkludieren")

Das Abdecken des nicht schielenden Auges dient der Beseitigung der Amblyopie des schielenden Auges; gleichzeitig wird dabei die Augenmuskeltätigkeit des schielenden Auges gebessert. Eine manifeste Schielstellung wird dadurch jedoch nicht korrigiert, sie kann sogar zunehmen.

Nach Anweisung des Augenarztes werden Klebefpaster in einem bestimmten Wechselrhythmus auf das nicht schielende, zeitweise auch auf das schielende Auge geklebt, um das Sehen des gut sehenden Auges nicht zu gefährden. Wenn ein Kind die Heftpflasterbehandlung nicht verträgt, werden Augentropfen verordnet. Dadurch wird die Pupille des besseren Auges erweitert, dessen Scharfeinstellung ist insbesondere in der Nähe nicht mehr möglich. Das Kind ist somit gezwungen, das überwiegend schielende, sehschwache Auge zu benutzen und dieses so zu "trainieren" (Penalisation=Bestrafung).

Ist eine gewisse Sehschärfe erreicht, werden Sichtokklusionsfolien verwendet. Diese werden auf dem Brillenglas fixiert. Die Amblyopiebehandlung mit dieser Folie muss meist "ausschleichend" über Jahre bis ins Erwachsenenalter hinein zusätzlich zur Brille und auch nach erfolgreicher Operation fortgesetzt werden.

## 3) Schieloperation und Nachbehandlung

Bei Schielkindern muss deren Augenfehlstellung meist durch eine Operation an den äußeren Augenmuskeln beseitigt werden. In der Regel wird diese erst dann durchgeführt, wenn das Kind mit Vollkorrektur annähernd seitengleiches Sehen erreicht hat. Die Schieloperation verkleinert bzw. beseitigt den Schielwinkel. Das Tragen der Brille wird postoperativ nicht überflüssig. Auch ist meist noch eine Okklusion im Sinne z.B. einer Teilzeitokklusion mitunter bis zum Erwachsenenalter notwendig.

Schieloperationen sind in der Regel risikoarm und haben gute Erfolgsaussichten. Sie werden bei Kindern in Allgemeinnarkose durchgeführt, d.h. nach einer Sedierung, der "Beruhigungsspritze" bzw. Suppositorium und der Narkoseeinleitung spürt das Kind vom Eingriff nichts.

Die Operation erfolgt durch die Bindegewebe, die eröffnet werden müssen, um zu den Augenmuskeln zu gelangen.

Das operierte Auge ist postoperativ etwas gerötet. Das Kind schont meist einen Tag postoperativ die Augenbewegungen. Von der Art der Fehlstellung und der Größe eines Schielwinkels hängt es ab, ob eine Zweitoperation notwendig ist.

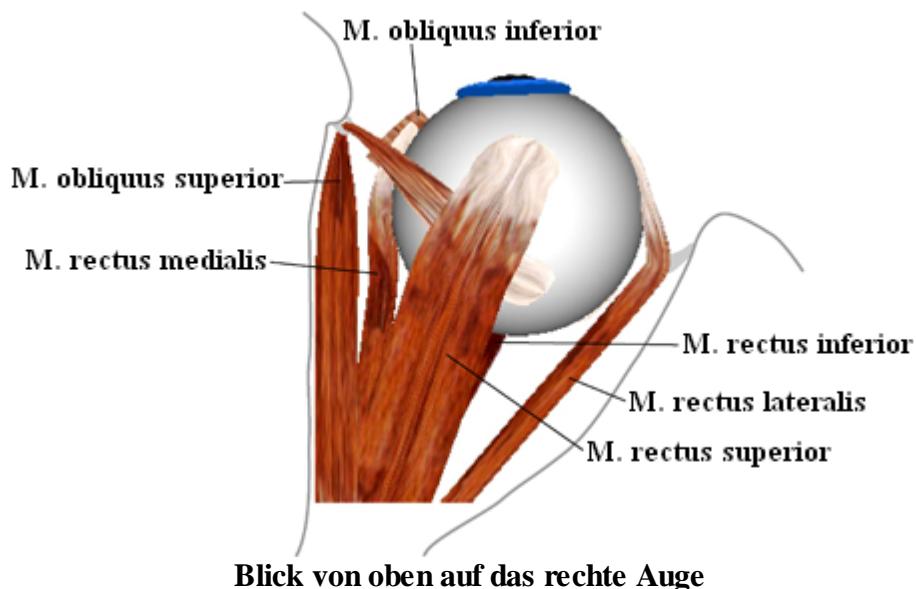
### 1.5.2 Grundlagen der Anatomie

Die Augen, der "Gesichtssinn", zählen zu den wichtigsten Sinnesorganen des menschlichen Organismus. Sie liefern uns ein ständig aktualisiertes Bild der Umwelt. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf ein rechtes Auge. Der Augapfel (lat. bulbus oculi, kurz bulbus, ø ca. 24 mm, annähernd kugelförmig lt. [Pschyrembel, 1994]) liegt geschützt in der Augenhöhle (Orbita), welche eine Vertiefung im Schädel darstellt. Der Bulbus ist zwiebelschalenartig aus drei Schichten aufgebaut [Schäffler und Schmidt, 1998]:

- sklera (Lederhaut): äußere Augenhaut,
- choroidea (Aderhaut): mittlere Augenhaut,
- retina (Netzhaut): innere Augenhaut.

Für die Bewegung des Bulbus sind die sechs extraokulären Augenmuskeln verantwortlich. Die vier geraden Augenmuskeln (*musculi recti*) und die beiden schrägen Augenmuskeln (*musculi obliqui*) entspringen in der Augenhöhle und setzen an der Lederhaut des Augapfels an. Die Abbildung zeigt den Ursprung der Muskeln in der Orbita und den Ansatz (Insertion) auf dem Bulbus. Jeder Augenmuskel wirkt auf den Augapfel in drei Komponenten ein, wobei durch einen bestimmten Muskelverlauf die Hauptwirkungsrichtung bestimmt ist. Die Hauptwirkung jedes Muskels lässt sich schon aus der Bezeichnung ableiten [Brugger, 2000].

- *musculus rectus superior* (oberer gerader Augenmuskel): nach oben,
- *musculus rectus inferior* (unterer gerader Augenmuskel): nach unten,
- *musculus rectus lateralis* (äußerer gerader Augenmuskel): seitwärts nach außen,
- *musculus rectus medialis* (innerer gerader Augenmuskel): seitwärts nach innen,
- *musculus obliquus superior* (oberer schräger Augenmuskel): nach unten und Rollung nach innen,
- *musculus obliquus inferior* (unterer schräger Augenmuskel): nach oben und Rollung nach außen.

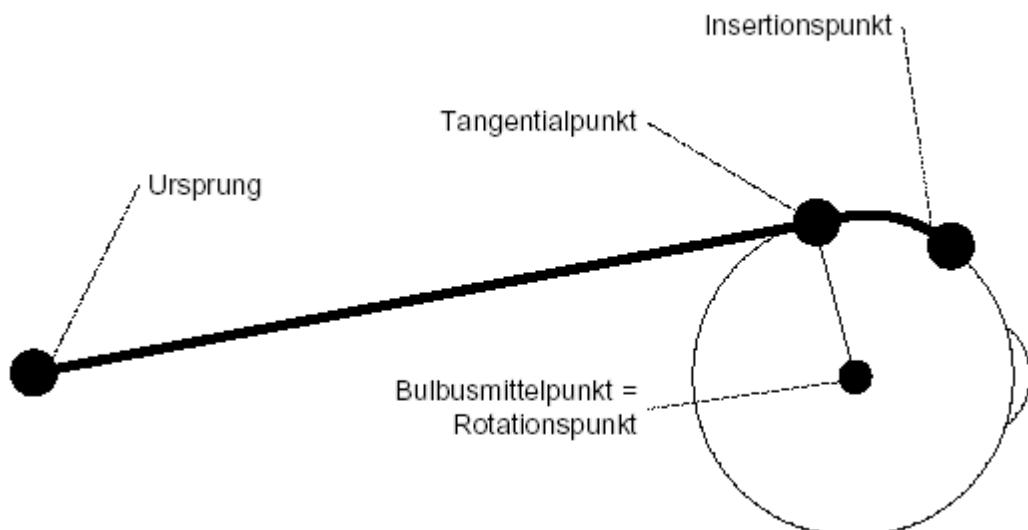


Die rechtwinklig zueinander angeordneten geraden Muskelpaare entspringen in der Spitze der Orbita. Ihre Endsehnen vereinigen sich beim anatomischen Ursprung zu einer ringförmigen Sehnenplatte (Zinn'scher Ring) und ihre Insertionen liegen vor der Äquatorialebene des Bulbus (vgl. [Günther, 1986]). Im Gegensatz dazu setzen die *musculi obliqui* hinter dem Bulbusäquator an und ziehen schräg nach vorne. Der *m. obliquus superior* ist der längste aller Augenmuskeln. Ausgehend von seinem Ursprung nahe am Zinn'schen Ring läuft er oberhalb des Bulbus in Richtung des nasalen Stirnbeins, seine Sehne durchzieht eine knorpelige Rolle (die Trochlea) und verläuft von hier aus direkt zu seiner Insertion. Der *m. obliquus inferior* entspringt am nasalen Rand des knöchernen Orbitabodens, läuft unterhalb des Bulbus um den *m. rect. inferior* herum

und setzt im hinteren Bereich des Augapfels an. Im Bereich der Überkreuzung des m. obliquus inferior und m. rect. inferior verdichtet sich der untere Halteapparat des Auges in einer sehnigen Verbindung zwischen den beiden Muskeln zum ligamentum lockwood [Günther, 1986].

Jeder Augenmuskel besteht neben dem rein muskulären Anteil auch aus einem sehnigen Anteil. Die Sehnen stellen die Verbindung des Muskels zum Ursprung auf der einen Seite, bzw. zum Insertionspunkt auf der anderen Seite her. Die Gesamtlänge (Muskel und Sehne) der Augenmuskeln ist sehr unterschiedlich. Die größten Unterschiede weisen dabei die Längen der Sehnen auf (vgl. [Kaufmann, 1995]). Der m. obliquus inferior weist mit 0 bis 2 mm die kürzeste und der m. obliquus superior mit 25 bis 32 mm die längste Sehne auf. Die eigentliche Muskellänge (ohne Sehne) liegt zwischen 30 mm (bei den mm. obliqui) bis 39 mm (beim m. rect. inferior). Durch die Lage des Insertionspunktes vor bzw. hinter dem Bulbusäquator verläuft jeder Muskel zum Teil auf der Bulbusoberfläche. Erst beim Tangentialpunkt endet der Kontakt zum Bulbus und der Muskel zieht in Richtung seines Ursprungs (vgl. Abb.). Bei jeder Bewegung des Bulbus ändert sich auch die Lage der Insertionspunkte relativ zur Orbita.

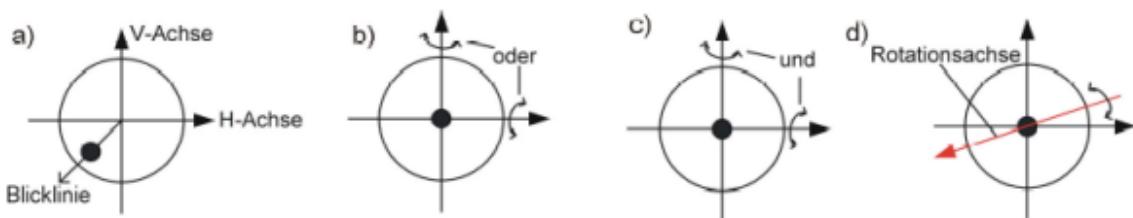
Könnten sich die einzelnen Muskeln zwischen Insertionspunkt und Ursprung bei einer Augenbewegung frei bewegen (Hypothese des Fadenmodells), hätte dies speziell in einer Tertiärposition eine Verschiebung der Muskeln auf der Bulbusoberfläche zur Folge. Dadurch würde sich der Muskelpfad und somit die Wirkungsrichtung maßgeblich mit der Augenposition verändern (Verlust der Hauptwirkung). Um dies zu verhindern, umgibt eine bindegewebssartige Hülle den Bulbus und stabilisiert die Muskeln im Bereich des Tangentialpunktes. Diese Stabilisatoren werden Pulleys genannt (vgl. [Buchberger und Mayr, 2000], [Miller und Demer, 1996]).



**Schematische Darstellung eines geraden Augenmuskels mit Ursprung, Tangential- und Insertionspunkt**

Die Bewegung des Bulbus entspricht annähernd einer Rotation eines Objektes im dreidimensionalen Raum um eine bestimmte Achse. Der Bulbusmittelpunkt kann dabei als Rotationszentrum gesehen werden. Die Blicklinie ist ein Vektor vom Bulbusmittelpunkt durch die Mitte der Pupille. Normal dazu liegen die Vertikal- und die Horizontalachse, wobei der Schnittpunkt dieser drei Achsen im Bulbusmittelpunkt liegt (vgl. Abb.). Die Medizin unterscheidet grundsätzlich drei Augenpositionen (vgl. [Kaufmann, 1995]):

- Primärposition: Das Auge blickt bei fixiertem Kopf geradeaus ins "Unendliche". Es wird angenommen, dass in dieser Position alle Muskeln am wenigsten gespannt sind (Ruhetonus). Aus dieser Lage sind alle anderen Blickpositionen mit möglichst geringem Energieaufwand erreichbar.
- Sekundärposition: Ausgehend von der Primärposition erfolgt eine Rotation um die horizontale oder vertikale Achse (Abb. b). Das Auge blickt nach links oder rechts bzw. nach oben oder unten.
- Tertiärposition: Ausgehend von der Primärposition erfolgt eine Rotation um die horizontale und vertikale Achse (Abb. c). Das Auge blickt z. B. nach links oben oder nach rechts unten. Die Kombination um zwei Achsen kann auch durch eine Rotationsachse dargestellt werden, die in der durch horizontale und vertikale Achse aufgespannten Ebene liegt (Abb. d).



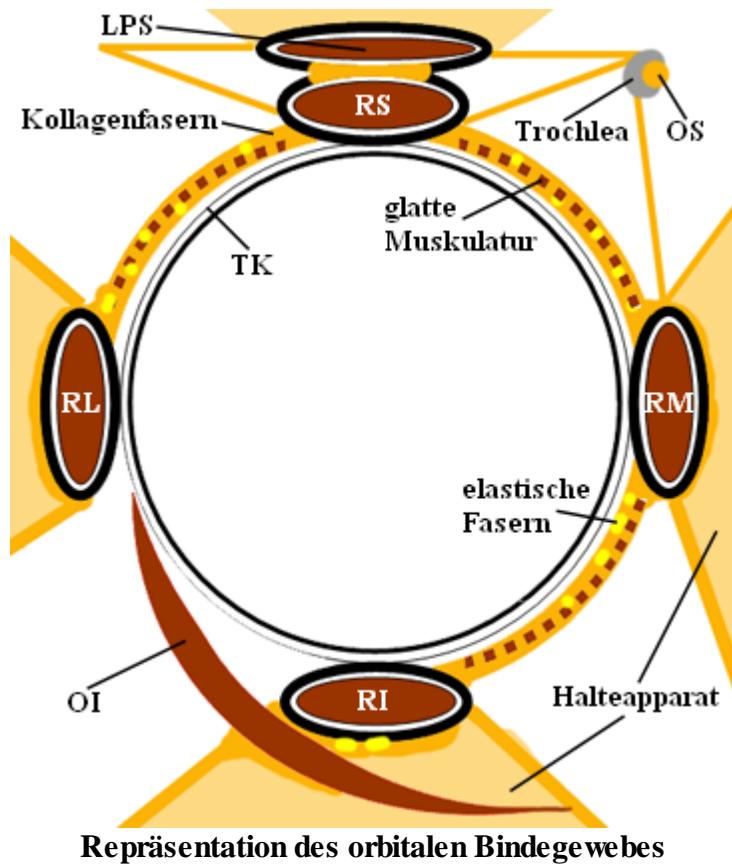
#### Blicklinie, Vertikal- und Horizontalachse; Rotationen zu anderen Blickpositionen

Beide Augen können nur in binokularer Gemeinschaft miteinander bewegt werden, das heißt die Bewegung nur eines Auges ist in der Regel nicht möglich (vgl. [Günther, 1986]). Die Augenmuskeln sind in der Lage, das Auge sehr schnell und punktgenau zu positionieren. Darüber hinaus kann das Auge ohne Ermüdung in einer bestimmten Stellung gehalten werden.

Die Rotation eines Auges um eine bestimmte Achse ergibt eine bestimmte Blickposition und somit auch eine bestimmte Blickrichtung. Die Blickrichtung bezeichnet die Orientierung des Auges, wobei die Blickposition immer mit einem Fixieren der Sehstrahlen auf einen Gegenstand einhergehen soll.

Wie schon erwähnt besitzt jeder Muskel einen Ursprungs-, Tangential- und Insertionspunkt. Die Muskelpfade vom Ursprung bis zur Insertion am Bulbus werden aber zusätzlich von einem bindegewebigen Muskelscheiden- und Halteapparat, so genannten "Pulleys" (Umlenkrollen), beeinflusst.

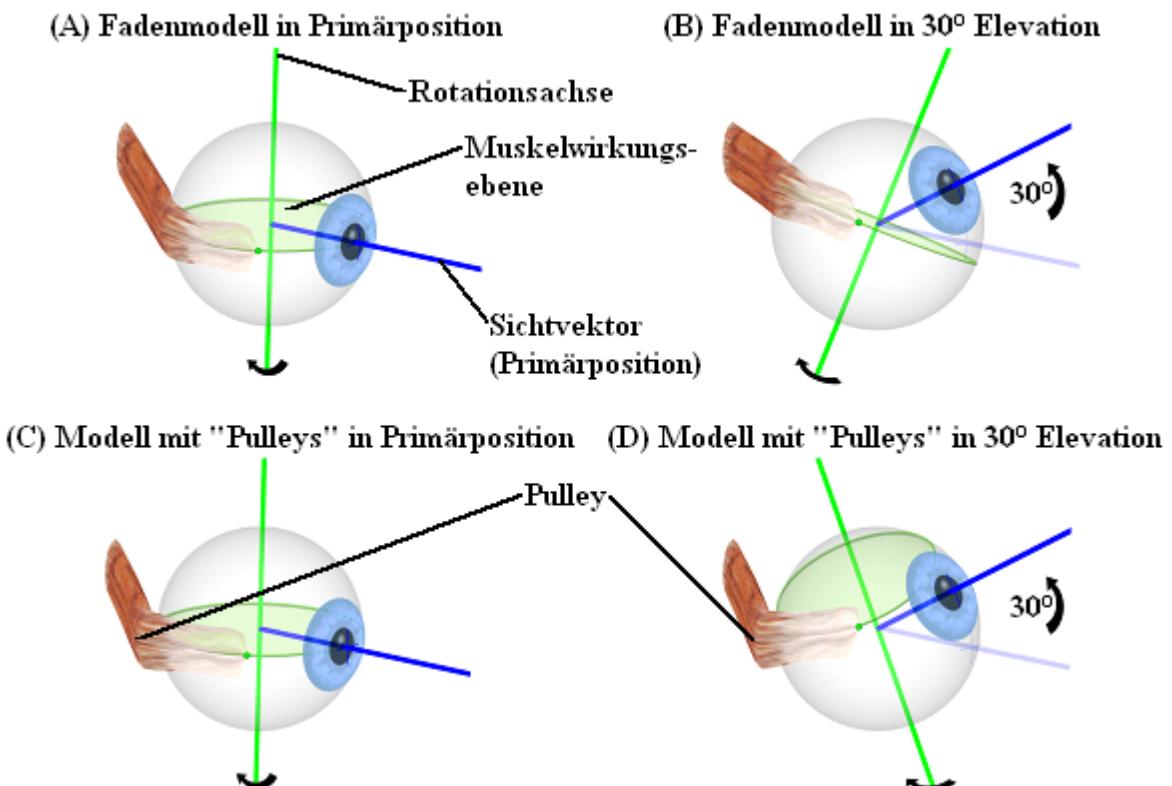
Die folgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung dieser anatomischen Elemente:



Ein "Pulley" umschließt einen Muskel als ringartiges Gebilde und ist verbunden mit der Orbitawand (retinacula) und anderen bindegewebsartigen Strukturen (Intermuscularmembranen). Glatte Muskulatur und Nerven sind in diesen Apparat eingestreut. Sehne und Muskel ziehen durch diese "Pulleys", wobei die "Pulleys" selbst relativ zum Bulbusäquator fixiert bleiben.

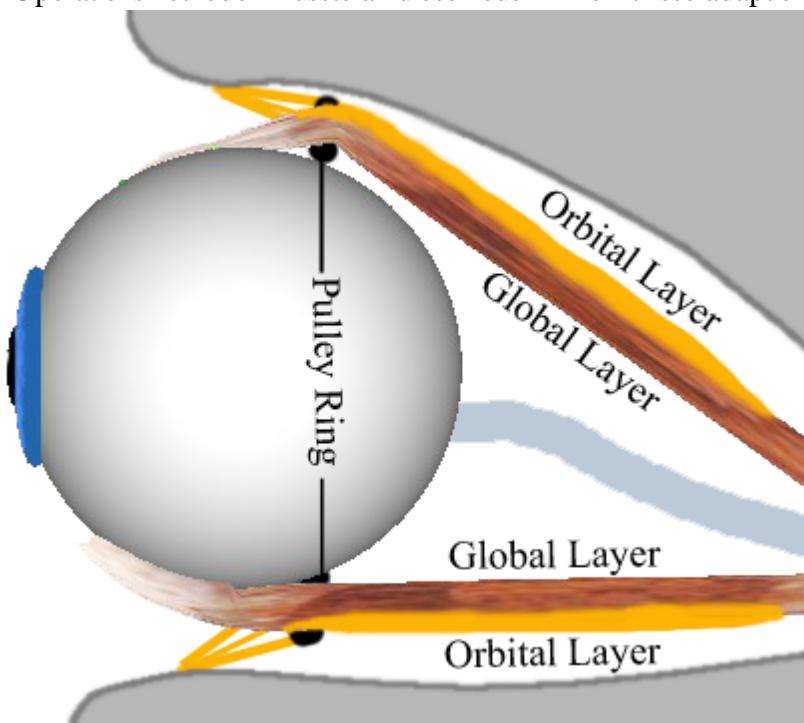
### Anatomischer Einfluss von Pulleys auf Augenbewegungen

Vor der Entdeckung von Pulleys als funktionelle Elemente (1995) beruhten alle Modelle auf der Vorstellung, dass der anatomische Ursprung eines Augenmuskels auch gleichzeitig der funktionelle Ursprung sei. Dies führte wiederum zu der Annahme, dass die Rotationsachse, um die ein Muskel den Bulbus rotiert, normal auf die Ebene beschrieben durch Tangentialpunkt, Rotationszentrum und anatomischen Ursprung steht. Mit der Entdeckung von Pulleys als funktionelle Elemente war diese Definition der Rotationsachse nicht mehr haltbar. Entsprechend dem Pulleymodell muss demnach der funktionelle Ursprung mit der Position des Pulleys zusammenfallen, da ja der Muskel an dieser Stelle durch den Halteapparat seine Zugrichtung ändert. Dies führt auch zu einer Neudefinition der Rotationsachse eines Muskels, die normal auf einer Ebene steht, die durch die Pulleyposition, den Tangentialpunkt und das Rotationszentrum gebildet wird. Das Bändermodell von Robinson (1975) sowie das so genannte verschärzte Bändermodell nach Kusel und Haase (1977) versuchten bereits die Einwirkung von Pulleys durch eine winkelreduzierende Komponente für jeden Muskel zu berücksichtigen. Im Gegensatz dazu stehen neuere Modelle wie Orbit<sup>TM</sup>, Eyelab und SEE-KID, die von vornherein schon Pulleys als anatomische Komponenten einbeziehen und somit auch bessere, der Klinik entsprechende, Ergebnisse liefern.



Unterschied von Konventionellen Modellen (oben) und Modellen mit Pulleys (unten)

Die Entdeckung von Pulleys als funktionelle Elemente erklärte, warum alle anderen Modelle vorher in den Vergleichen mit realen Daten weniger erfolgreich waren. Auch die Programmierung der Simulation von Operationsmethoden musste an diese neuen Erkenntnisse adaptiert werden.



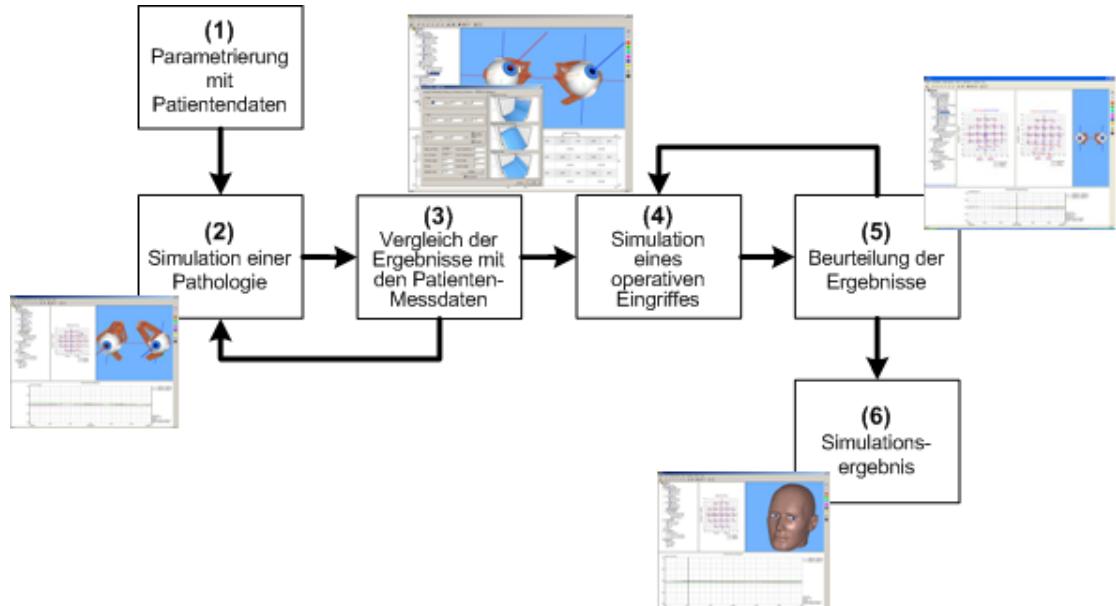
Global Layer und Orbital Layer des m. rectus superior und m. rectus inferior

Bereits frühere Studien an Säugetieren legten nahe, dass die äußeren Augenmuskeln aus zwei unterschiedlichen Schichten bestehen. Wie in der Abbildung zu sehen ist, zieht die bulbäre Schicht durchgehend vom Ursprung am Zinn'schen Ring bis zur sehnigen Insertion. Im Gegensatz dazu endet die orbitale Schicht etwas hinter der Insertion.

Verschiedene Studien von [Demer et. al., 2000] und [Clark et. al., 2000] haben gezeigt, dass diese beiden Schichten jeweils unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Während der Global Layer primär für die Bewegung des Auges in eine bestimmte Blickposition verantwortlich ist und sich bis zur Insertion erstreckt, endet der Orbital Layer im Bereich der Pulleys und bewegt diese aktiv beim Blick in eine sekundäre bzw. tertiäre Position. Durch die verschiedenen Studien konnte demonstriert werden, dass sich die Pulleyposition bei der Kontraktion des Augenmuskels nach hinten und bei Relaxation (Entspannung) nach vorne bewegt. Diese Entdeckung führte zur Formulierung der "Active-Pulley-Hypothese", welche im SEE++ System in Form des Active-Pulley Modells erstmals in einem Simulationssystem umgesetzt wurde.

## 1.6 SEE++ verwenden...

SEE++ wird in einem durchgängigen Prozess verwendet:



### 1. Parametrierung mit Patientendaten

Ziel von SEE++ ist es, eine möglichst realitätsnahe Darstellung einer patientenspezifischen Situation zu ermöglichen. In diesem ersten Schritt einer Simulationsabfolge wird daher das Modell mit Werten, die direkt am Patienten gemessen werden, parametriert. Dabei können Parameter wie Bulbusradius, Cornea, Muskelängen, Insertionen, Sehnen u.ä. modifiziert werden. Gleichzeitig werden allgemeine Daten wie Name oder Beschreibung eingegeben.

### 2. Simulation einer Pathologie

Bei der Simulation einer Pathologie werden Modellparameter so verändert, dass die resultierende Modellprognose möglichst den gemessenen Werten des Patienten entspricht. Die Modellprognose wird in SEE++ durch die Simulation eines klinischen Hess-Lancaster Tests erreicht, wobei hier die Darstellungen für Rechts- bzw. Links-Fixation verwendet wird. Durch Bestimmung der Hess-Lancaster Daten des Patienten können anschließend diese Werte mit den simulierten Daten verglichen werden, um so abzuschätzen, ob die Simulation der Pathologie des Patienten entspricht. Auch die 3D-Darstellung des Patienten bietet hinsichtlich der Beurteilung einer Simulation eine zusätzliche Unterstützung.

### 3. Vergleich der Ergebnisse mit den Patienten-Messdaten

Der Vergleich bezieht sich auf die vorher schon erwähnte Hess-Lancaster Untersuchung, wobei durch den Prozess des Vergleichens auch einen Verifikation der gestellten Diagnose unterstützt werden kann. In diesem Schritt wird also abgeschätzt, ob das Simulationsergebnis mit den gemessenen Patientendaten ausreichend übereinstimmt. Dies bietet gleichzeitig eine Basis für eine spätere simulierte Behandlung durch interaktives virtuelles Operieren der modellierten Pathologie.

## 4. Simulation eines operativen Eingriffs

Hier wird nun die eigentliche Operation simuliert. Dabei werden im 3D-Modell interaktiv mit der Maus verschiedene Modellparameter geändert. Bezugspunkte unterstützen orientierend die Dosierung des Eingriffs. Weiters stehen verschiedene Operationstechniken wie Vor/Rücklagern und tangentiales Verlagern von Muskelinsertionen zur Verfügung. Muskelkraft- bzw. innervationsbezogene Parameter werden über entsprechende Eingabemasken im Programm manuell so verändert, dass sie einem vergleichbaren Eingriff entsprechen. Es kann beispielsweise eine Muskelresektion durch die Veränderung von Sehnen- und Muskellänge durchgeführt werden. Das 3D-Modell visualisiert diese Veränderungen umgehend nach Bestätigung der eingegebenen Werte.

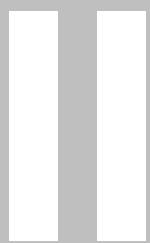
## 5. Beurteilung der Ergebnisse

Wie schon in Schritt 3 wird wieder ein Vergleich der Simulationsergebnisse durchgeführt. Anhand des binokularen Hess-Lancaster Tests kann nun beurteilt werden, wie erfolgreich ein operativer Eingriff hinsichtlich der Korrektur einer pathologischen Situation ist, und ob ggf. noch zusätzliche Änderungen (Simulationsversuche) notwendig sind.

## 6. Simulationsergebnis

Das Simulationsergebnis stellt den letzten Zustand aller Modellparameter in Abfolge der Simulation einer Pathologie und Operation mit SEE++ dar. Das System ermöglicht es, diese Ergebnisse in Form von so genannten Szenarien einem Patienten zuzuordnen und zu archivieren. Es können damit die Ergebnisse verschiedener Simulationen miteinander verglichen und z.B. Simulationsstrategien entwickelt werden. Jedes Szenario speichert einen beliebigen Schritt einer Behandlung eines Patienten und kann nachträglich in textueller oder grafischer Form wieder abgerufen werden.

**Teil**



## 2 Mathematische Modelle

### 2.1 Überblick

Ein erster "Versuch" für die Entwicklung eines mathematischen Modells des menschlichen Auges wurde von Krewson 1950 formuliert. Dieses Modell definierte ausschließlich geometrische Beziehungen und wurde um 1975 von Robinson verfeinert. Einige Jahre später wurde von Miller und Robinson 1984 ein erstes vollständiges biomechanisches Modell vorgestellt, das auch Muskelkräfte und Kinematik unterstützt. Dieses Modell trug den Namen SQUINT und wurde später noch in einer zweiten, sehr ähnlichen Version verfeinert. Basierend auf diesen bisher beschriebenen Modellen wurde von Günther 1986 ein neues biomechanisches Modell implementiert, wobei dieses Modell allerdings geometrische Formulierungen von Kusel und Haase (1977) verwendete. Dieses Modell wurde auch als Computersystem umgesetzt, die Prognoseergebnisse waren aber nicht mit klinischen Erfahrungen korrelierbar.

Miller und Demer stellten 1995 ein neues biomechanisches Modell und Computersystem Orbit<sup>TM</sup> vor (weitere Informationen unter [www.eidactics.com](http://www.eidactics.com)). Dieses System war die erste Computersimulation, die auch anatomische Elemente wie Pulleys berücksichtigte und so wesentlich bessere, klinisch vergleichbare Prognosewerte lieferte. Orbit<sup>TM</sup> war auch gleichzeitig das erste Computersystem mit grafischer Benutzeroberfläche in diesem Bereich.

Im Jahr 2000 wurde von Porrill, Warren und Dean das biomechanische Modell "Eyelab" vorgestellt. Die Implementierung diente ausschließlich für Forschungszwecke und wurde mit Matlab umgesetzt. Dieses Modell stellt keinen klinischen Test zur Verfügung und kann somit nicht für die Modellierung von pathologischen Situationen verwendet werden.

Das von SEE++ primär verwendete Modell SEE-KID basiert teilweise auf Formulierungen von "Eyelab" und "Orbit", wobei das Orbit Modell zusätzlich in unveränderter Form im SEE++ System implementiert wurde, um Vergleiche durchführen zu können. Das SEE-KID Modell wurde mit modernsten Methoden des Software-Engineering unter Verwendung von objekt- und komponentenorientierten Technologien entwickelt. Dieses Modell zeichnet sich gegenüber anderen im Speziellen dadurch aus, dass es eine abstrakte Definition eines biomechanischen Augenmodells realisiert, und somit mehrere Modelle (SEE-KID Modell, SEE-KID Active Pulley Modell, Orbit-, Faden- und Bändermodell) realisieren und miteinander vergleichen kann. Das im Rahmen des Forschungsprojektes SEE-KID formulierte biomechanische Augenmodell ist aber trotzdem eine vollständige, mathematische Lösung für das gestellte Problem und verwendet nicht-lineare Optimierungsstrategien für die Lösung des kinematischen Systems. Außerdem definiert es auch noch ein eigenständiges geometrisches Modell.

Das SEE-KID Active Pulley Modell ist ebenfalls ein eigenständiges Modell im SEE++ System, welches auf dem SEE-KID Modell basiert. Zusätzlich implementiert dieses Modell noch die von Demer et. al. formulierte "Active-Pulley-Hypothese", welche die aktive Bewegung der Pulleys der geraden Augenmuskeln in sekundären und tertiären Blickpositionen beschreibt.

Im Unterschied zu anderen Simulationssystemen bietet SEE++ eine intuitive grafische Benutzeroberfläche, die es ermöglicht, nahezu alle Funktionen des Systems (Parametrierung, Simulation, Operation) interaktiv anhand eines 3D-Modells durchzuführen.

Wie bereits erwähnt umfasst das SEE++ System verschiedene mathematische Modelle der Forschungsgeschichte und ermöglicht so eine interaktive Vergleichbarkeit von Simulationsergebnissen unter Anwendung verschiedener Berechnungen. SEE++ implementiert insgesamt fünf verschiedene Modelle, von denen zwei Modelle nur rein geometrische Eigenschaften des Augapparates simulieren.

Modelltyp	Geometrie	Muskelkräfte	Kinematik
Fadenmodell	✓	✗	✗
Bändermodell	✓	✗	✗
Orbitmodell	✓	✓	✓
SEE-KID Modell	✓	✓	✓
SEE-KID Active Pulley Modell	✓	✓	✓

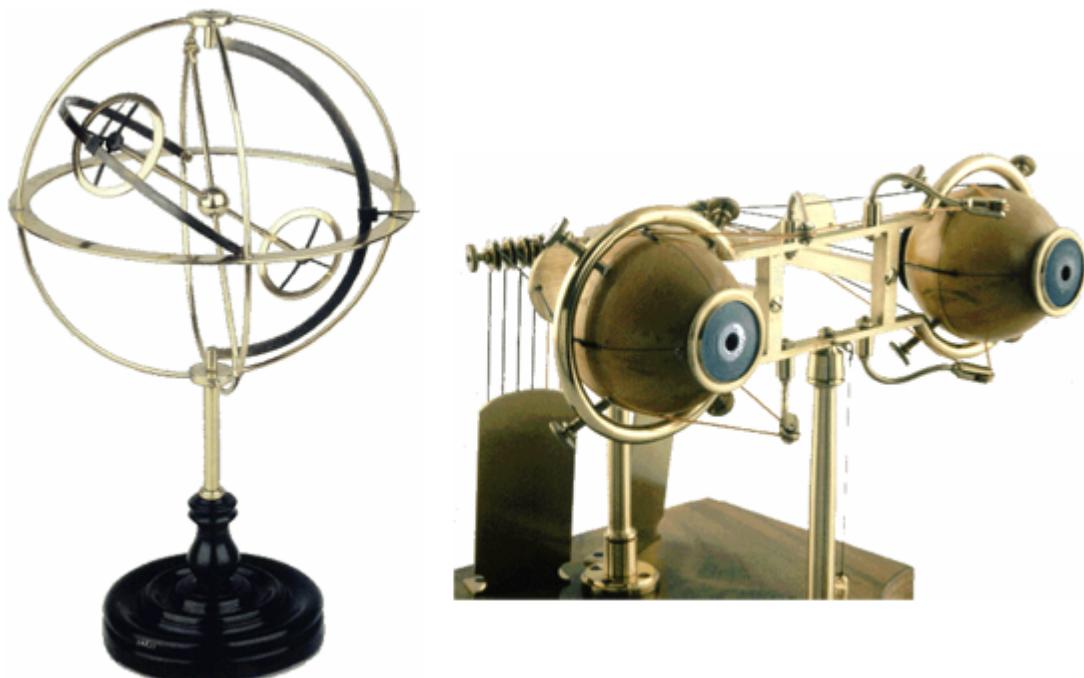
Verschiedene Modelltypen von SEE++

Dies bedeutet, dass diese rein geometrischen Modelle keine Kraftsimulation und Kinematik beinhalten, und somit nicht für die Durchführung eines Schielwinkeltests herangezogen werden können. Trotzdem bieten Faden- und Bändermodell eine ideale Einführung, um ein besseres Verständnis der dem Augapparat zugrunde liegenden geometrischen Eigenschaften zu erhalten.

## 2.2 Geometrische Modelle

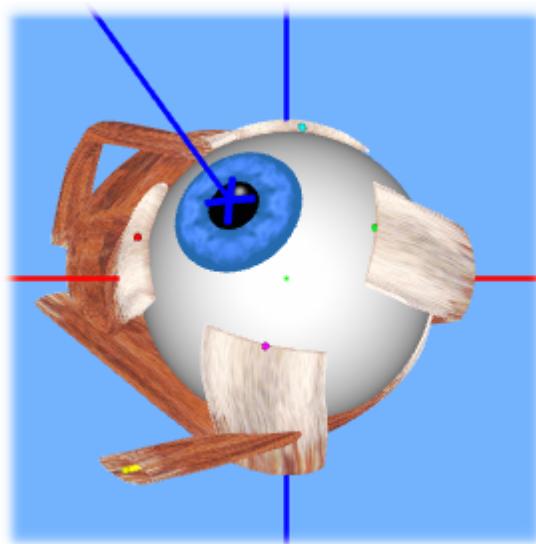
SEE++ implementiert sowohl die rein geometrischen Modelle (Faden- und Bändermodell) als auch die kinematischen Modelle mit geometrischen Komponenten (SEE-KID Modell, SEE-KID Active Pulley Modell und Orbitmodell). Dabei werden grundsätzlich Richtlinien für Koordinatensysteme und Beschreibungen von Augenpositionen und Rotationen verwendet, welche wiederum aus der Historie der Augenforschung stammen.

Einer der ersten Versuche, um ein besseres Verständnis für Augenmotorik zu erlangen, waren die so genannten Ophthalmotrope. Ruete konstruierte 1845 ein mechanisches Modell des menschlichen Auges aus Holz und Fäden, um den Augenbewegungen zu Grunde liegende Gesetzmäßigkeiten besser untersuchen zu können. F.C. Donders stellte 1848 das Donders'sche Gesetz auf: Fixiert ein Auge einen Gegenstand im Raum, so wird durch die Position des Gegenstandes auch die Augenposition definiert. Ferner wird die Verdrehung des Bulbus um die Sichtachse (Torsion) auch abhängig von dieser Augenposition eindeutig beschrieben.



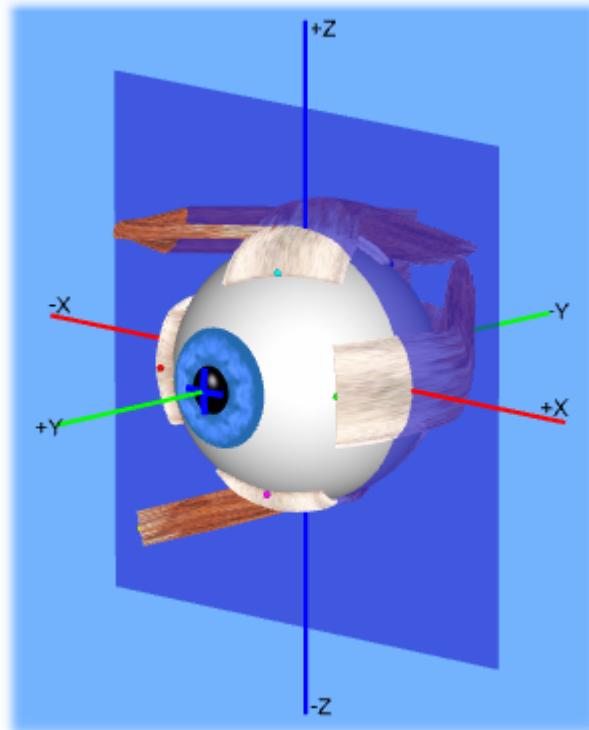
Halle's und Ruete's Ophthalmotrop [Simonsz und Tonkelaar, 1990]

Als die deutsche Ausgabe der Publikation von Donders erschien, erregte dies die Aufmerksamkeit von H. Helmholtz, der wiederum eine Erklärung für die von Donders gefundene Torsion in Abhängigkeit von der Augenposition fand. Er bezeichnete diese torsionale Verdrehung des Bulbus als "Pseudotorsion", welche als Messfehler zustande kommt, aber nicht wirklich existiert. Pseudotorsion ist jener Effekt, der bei der Messung von Augenposition in tertiären Blickrichtungen den horizontalen sowie den vertikalen Meridian durch das Auge in Bezug auf eine vertikale Linie im Umgebungsblickfeld, verdreht. Der Grund dafür ist, dass die Meridiane (Kreuz auf der Cornea in SEE++) in einem bulbusfixen Koordinatensystem definiert sind.



Pseudotorsion in tertiärer Blickposition

Nachdem Pseudotorsion durch eine unpassende Wahl des Koordinatensystems zustande kommt, hatte J.B. Listing um 1853 die Idee, ein Polarkoordinatensystem zu verwenden. Dabei entdeckte er auch, dass alle tertiären Augenpositionen, ausgehend von der Primärposition, durch die Rotation um eine bestimmte Achse erreicht werden konnten, und weiters, dass alle diese Rotationsachsen in einer Ebene enthalten sind (Listing'sche Ebene), wobei der Winkel der torsionalen Verdrehung konstant ist. Diese Entdeckung wurde dann als Listing'sches Gesetz bezeichnet. Das Listing'sche Gesetz beschreibt damit den torsionalen Winkel in einer bestimmten Augenposition immer gleich, unabhängig wie diese Blickposition erreicht wurde.



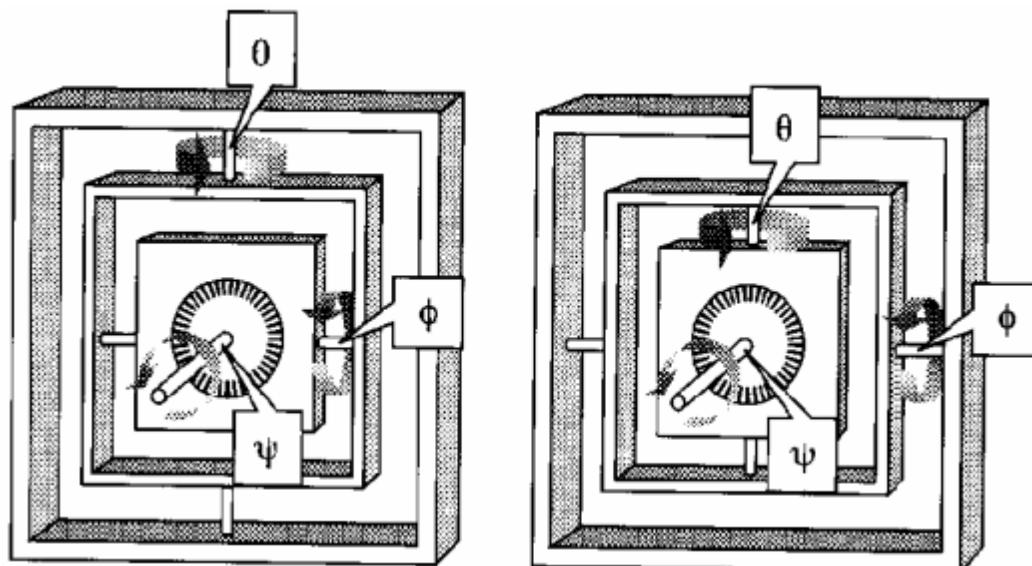
Die Listing'sche Ebene eines gesunden linken Auges

Wie bereits erwähnt kann also die Listing'sche Ebene durch die Darstellung der Endpunkte der Rotationsachsen, die eine 3D Augenposition ausgehend von der Primärposition in eine beliebige andere Augenposition beschreiben, charakterisiert werden. Bei einem gesunden Auge steht diese Ebene parallel zur X-Z Ebene des Koordinatensystems (siehe Abbildung), wobei bei einem pathologischen Auge die Ebene entsprechend der torsionellen Effekte der jeweiligen Pathologie verkippt. In der 3D-Ansicht von SEE++ kann die Listing'sche Ebene entsprechend der aktuell simulierten Pathologie eingezeichnet werden<sup>[130]</sup>.

Als Donders' Gesetz und das Listing'sche Gesetz publiziert wurden, stellte sich sofort die Frage nach einer einheitlichen Definition der Abfolge der Rotationen um die einzelnen Koordinatenachsen für die Beschreibung von Augenpositionen.

## Geometrische Beschreibung von Augenpositionen

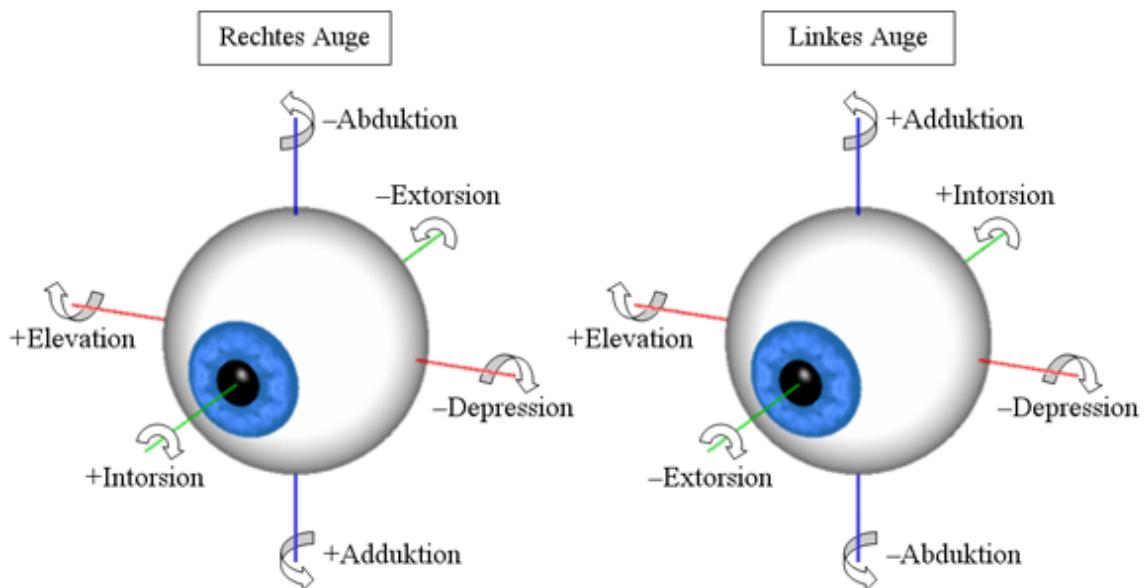
Auf Grund der Nicht-Kommutativität von Rotationen im 3D-Raum ist es notwendig, eine einheitliche Reihenfolge der Beschreibung von Augenposition zu verwenden bzw. bei einer Augenposition, beschrieben durch drei Komponentenwinkel, auch die verwendete Rotationsreihenfolge anzugeben. A. Fick definierte 1854 die so genannte Fick-Winkelreihenfolge, wobei die Rotationsreihenfolge zuerst um die vertikale Achse, dann um die horizontale und schließlich um die torsionale Achse zu erfolgen hat. Im Gegensatz dazu definierte Helmholtz die Rotationsreihenfolge zuerst um die horizontale, danach um die vertikale und torsionale Achse. Beide Systeme der Rotation beschreiben eine kardanische Aufhängung des Bulbus unter Berücksichtigung der jeweiligen Rotationsreihenfolge. Aus der Darstellung der beiden Systeme (siehe nachfolgende Abbildung) ist leicht zu erkennen, dass ein und dieselben Winkel als Definition einer Augenposition in beiden Systemen zu unterschiedlichen Stellungen des Bulbus und somit unterschiedlichen Augenpositionen führen.



Kardanische Aufhängung nach Fick (links) und Helmholtz (rechts)

Das SEE++ System verwendet generell die Rotationsdarstellung nach Fick, womit eine Augenposition in drei Winkel, zuerst um die vertikale Achse, dann um die horizontale Achse und letztlich um die torsionale Achse beschrieben wird.

Für die komplette Definition von Augenpositionen ist zusätzlich das verwendete Koordinatensystem von Bedeutung. In nachfolgender Abbildung sind die Koordinatenachsen, deren Vorzeichen und Richtungen für beide Augen dargestellt.



### Die sechs möglichen Rotationsrichtungen der Augen

Das für die Extorsion verwendete Koordinatensystem ist für beide Augen bezüglich der Ab-/Adduktions und In-/Extorsionsachse verschieden. Die Drehrichtungen um die jeweiligen Achsen können wie folgt beschrieben werden (die Nase ist in obiger Abbildung zwischen den beiden Augen anzunehmen):

#### 1. Rotation um Z-Achse (Duktion, blau)

- positiver Winkel = Adduktion (zur Nase hin)
- negativer Winkel = Abduktion (von der Nase weg)

#### 2. Rotation um X-Achse (Elevation, rot)

- positiver Winkel = Elevation (nach oben)
- negativer Winkel = Depression (nach unten)

#### 3. Rotation um Y-Achse (Torsion, grün)

- positiver Winkel = Intorsion (Einwärtsrollung)
- negativer Winkel = Extorsion (Auswärtsrollung)

Wie aus obiger Abbildung ersichtlich ist, sind die Koordinatenachsen für Ab-/Adduktion und In-/Extorsion in beiden Augen mit unterschiedlichen Vorzeichen definiert. Dies ermöglicht die einheitliche Definition der Winkelrichtung mit gleichzeitiger Bezeichnung (z.B.: Abduktion = von der Nase weg). In beiden Augen ist weiters die Rollung um die Blickachse nach innen mit einem positiven Vorzeichen definiert. Würden die beiden Achsen nicht unterschiedliche Vorzeichen aufweisen, so würde bei beidseitiger Intorsion ein Auge nach außen rollen und eines nach innen. Die Elevations-/Depressionsachse bleibt in beiden Augen gleich, da die auf- und abwärts-Bewegungen in beiden Augen die gleichen Richtungen aufweisen.

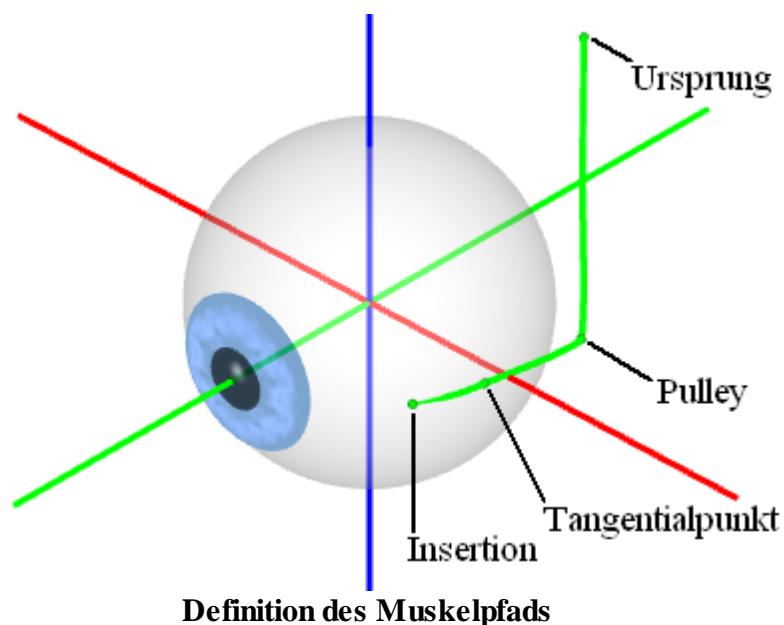
Zusätzlich anzumerken sei jene Situation der binokularen Augenbewegung, bei der bei Abduktion des einen Auges eine Adduktion des anderen Auges erfolgen muss, also die Augenpositionen hinsichtlich Ab-/Adduktion und In-/Extorsion gespiegelt werden müssen.

## Bulbus Translation

Das Auge ist in der Orbita umgeben von elastischen Fettpolstern, die, neben der eigentlichen Rotation, auch eine Translation des Bulbus bis zu einem gewissen Grad erlauben. Meist ist diese Translation vernachlässigbar gering, denkt man aber an einige pathologische Situationen der Co-Kontraktion von Muskeln (z.B. Duane Syndrom), so wird diese zusätzliche Bewegung des Bulbus zu einem wichtigen Anhaltspunkt für die Abschätzung und Korrektur einer Motilitätsstörung. Das SEE++ System berechnet auf Wunsch diese Bulbus Translation und zeigt diese in der 3D-Darstellung an, wobei eine Vorwärtsbewegung des Bulbus in Richtung der Y-Achse als Protrusion (Bulbus Translation mit positivem Vorzeichen) und eine Rückwärtsbewegung in Richtung Orbitaspitze als Retraktion (Bulbus Translation mit negativem Vorzeichen) bezeichnet wird. Die jeweiligen Werte für Protrusion und Retraktion sind im System für jede Augenposition textuell ersichtlich. In der 3D-Ansicht kann die [Bulbustranslation auch eingezeichnet werden](#)<sup>113</sup>.

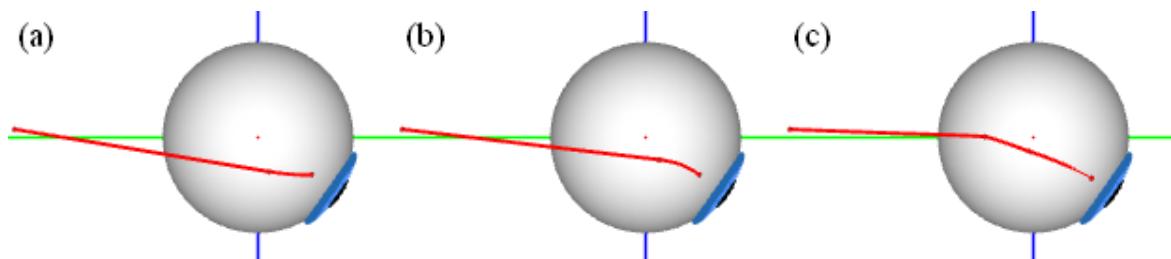
## Geometrische Beschreibung der Muskelwirkung

Um die geometrische Definition des extraokulären Augapparates zu vervollständigen, benötigt man auch die geometrische Beschreibung der am Bulbus ansetzenden Muskeln und deren Wirkungsrichtungen. Die geometrische Beschreibung eines Muskels basiert auf der Definition von wichtigen Anhaltspunkten, während die Muskelwirkungsrichtung über die Definition einer Rotationsachse, um die der Muskel den Bulbus rotieren würde, bestimmt wird. Die Beschreibung eines Muskels wird über die Formulierung eines Muskelpfads vom Ursprung bis zur Insertion aufgestellt. Dabei ist auch zu beachten, wie sich dieser Muskelpfad bei Einnahme verschiedener Blickpositionen verändert bzw. an die Position des Bulbus anpasst.



Die Abbildung zeigt den Pfad des äußeren geraden Muskels (rectus lateralis), definiert durch Muskelursprung, Pulley, Tangentialpunkt und Insertion. Der Muskelursprung liegt im hinteren Bereich der Orbitahöhle im so genannten Annulus Zinnii (Zinn'scher Ring). Der Pulley wirkt als Umlenkrolle und stabilisiert den Muskelpfad im hinteren Orbitabereich. Dieser Punkt wird im Faden- und Bändermodell nicht verwendet, da diese beiden Modelle von einer Definition des Muskelpfads ohne Pulley ausgehen. Der Tangentialpunkt markiert jenen Bereich, an dem der Muskelpfad den Bulbus zu allererst berührt. Die Strecke zwischen Insertion und Tangentialpunkt wird als Abrollstrecke bezeichnet.

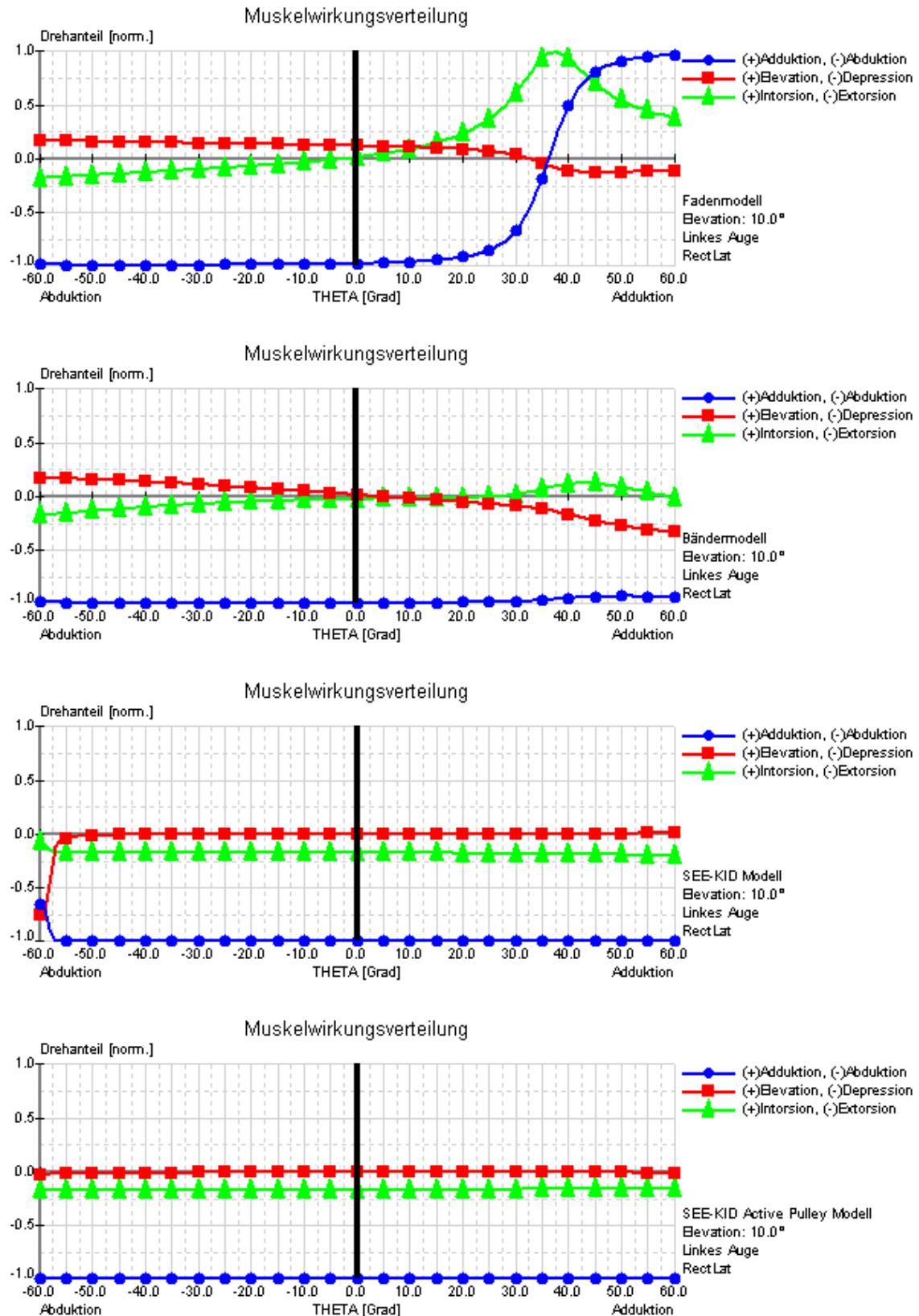
Die unterschiedlichen Reaktionen des Muskelpfads auf Veränderungen der Blickposition werden von verschiedenen Modellen unterschiedlich repräsentiert. So bestehen wesentliche Unterschiede in der Definition des Muskelpfads zwischen Faden-, Bänder-, Orbit- und SEE-KID Modell. Faden- und Bändermodell verwenden für diese Definition ausschließlich Muskelursprung, Tangentialpunkt und Insertionspunkt, wogegen SEE-KID Modell und Orbitmodell den zusätzlichen Punkt des Pulleys berücksichtigen. Im SEE-KID Active Pulley Modell wird der Pulley schließlich sogar bei Bewegungen des Bulbus mitbewegt.



**Vergleich von (a) Faden-, (b) Bänder- und (c) SEE-KID Modell**

Vergleicht man die Muskelpfaddarstellung dieser Modelle (siehe Abbildung), so fällt die unterschiedliche Darstellung der Bewegung des Tangentialpunktes auf. Im Fadenmodell (a) sowie im Bändermodell (b) wird der Tangentialpunkt, und somit auch der gesamte hintere Muskelpfad mit dem Bulbus nach unten gezogen. Dies verändert auch ganz wesentlich die Zugrichtung des Muskels in anderen Blickpositionen. Besser prognostiziert hier das SEE-KID Modell (c). Durch Einführung des Pulleys wird eine Stabilisierung der Wirkungsrichtung des Muskels erreicht, und damit eine wesentlich realistischere Prognose.

Die Beschreibung der Rotationsachse eines Muskels, und somit auch der Wirkung des Muskels auf den Bulbus, wird vom Muskelpfad abgeleitet. Während die Rotationsachse im Faden- und Bändermodell normal auf die Ebene von Insertion, Tangentialpunkt und Ursprung steht, wird im Orbitmodell, SEE-KID und SEE-KID Active Pulley Modell zusätzlich der Pulley-Punkt berücksichtigt. Die Wirkungsrichtung (Rotationsachse) eines Muskels lässt sich auch in allen drei Komponenten (x,y,z) aufgeschlüsselt als Diagramm darstellen, um eine bessere Abschätzung der verursachten Rotation zu gewinnen. Die x-Komponente der Rotationsachse repräsentiert den Anteil der Elevation/Depression, die ein Muskel auf den Bulbus ausübt, die y-Komponente gibt Auskunft über Intorsion/Extorsion und die z-Komponente über Abduktion/Adduktion.



**Muskelwirkungsverteilung von Faden-, Bänder-, SEE-KID und SEE-KID Active Pulley Modell des m. rectus lateralis**

Die Muskelwirkungsverteilung stellt die relativen Drehanteile für ausgewählte Augenmuskeln über den horizontalen Blickbereich (siehe Abbildung) in einer bestimmten Elevations-, Depressionsebene dar. Die Drehanteile werden in normierten Werten zwischen -1 und +1 für Ab-/Adduction, Elevation/Depression und In-/Extorsion angegeben. Die Abbildung zeigt die unterschiedliche Wirkungsverteilung des m. rectus lateralis im Faden-, Bänder-, SEE-KID und SEE-KID Active Pulley Modell bei einer Elevation von 10 Grad über dem horizontalen Blickfeld (0.00-Linie in Abbildung) bei bis 60 Grad Ab- und Adduktion eines linken Auges.

Klar ersichtlich wird hier die physiologisch fehlerhafte Prognose des Fadenmodells, bei dem der m. rectus lateralis seine abduzierende Hauptwirkung, ab ca. 36 Grad Adduktion, in eine stark adduzierende Wirkung verändert. Der Vergleich mit dem Bändermodell zeigt für exakt dasselbe Szenario durch Beibehaltung der Hauptwirkung des m. rectus lateralis eine wesentlich physiologischere Wirkungsverteilung. Diese Unterschiede entstehen durch die differenzierte mathematische Modellierung der anatomischen Strukturen. Während im Fadenmodell der Muskelpfad im Kontaktbereich mit dem Bulbus durch den kürzesten Weg zwischen Insertion und Ursprung definiert wurde, enthält das Bändermodell eine winkelreduzierende Komponente, die den Muskelpfad durch die Relativbewegung des Tangentialpunktes in Abhängigkeit von der Blickposition beschreibt. Dies ermöglicht die Simulation eines stabilisierenden Bindegewebs- und Halteapparates, um die Bewegung der Muskeln bei steigendem Blickwinkel zu limitieren. Resultierend zeigt sich eine Biegung des Muskelverlaufs zwischen Insertion und Tangentialpunkt, die tendenziell den anatomischen Gegebenheiten wesentlich besser, jedoch nicht optimal, entspricht.

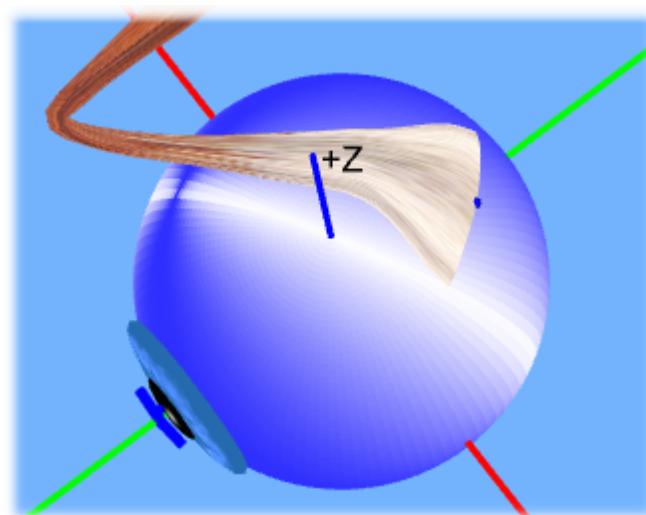
Erst durch die Einführung eines Modells, welches auch Pulleys berücksichtigt, können detailliertere Simulationen und pathologische Fallstudien durchgeführt werden. Die mathematische Basis für so ein Modell bildet die Einführung eines zusätzlichen funktionellen Ursprungs (Pulley) unmittelbar hinter dem anatomischen Äquator des Bulbus. Dadurch erfolgt eine Stabilisierung des Muskelpfads im hinteren Orbitabereich, wobei die Definition der Muskelwirkungsrichtung vom funktionellen Ursprung ausgeht. Der anatomische Ursprung ist für die blickpositionsabhängige Wahl der Wirkungsrichtung von mathematisch geringer Bedeutung. Die Simulation von Pulleys im SEE-KID Modell (und auch im Orbitmodell) zeigt in der Muskelwirkungsverteilung eine wesentlich bessere Beibehaltung der Muskelhauptwirkung, jedoch gibt es bei ca. 55 Grad immer noch eine leichte Abweichung der Muskelhauptwirkung. Erst mit der Einführung von "aktiven Pulleys", also Pulleys, die sich entsprechend der gewählten Blickposition mitbewegen (SEE-KID Active Pulley Modell), zeigt die Muskelwirkungsverteilung im gesamten Blickfeld von -60 bis +60 Grad eine vollständige Beibehaltung der Muskelhauptwirkung. Somit ist das SEE-KID Active Pulley Modell als (geometrisches) Modell derzeit am besten geeignet.

## Funktionelle Topographie

Die funktionelle Topographie erlaubt es, die Muskelwirkungsverteilung für alle möglichen Insertionen eines Muskels als farbcodierte 3D Darstellung auf den Bulbus zu projizieren. Dabei wird die Insertion eines gewählten Muskels "virtuell" an verschiedene Stellen auf dem Bulbus bewegt und bei jeder Insertionsposition werden die verschiedenen Drehanteile (Ab-/Adduktion, Elevation/Depression, In-/Extorsion) als farbcodierte Helligkeitswerte (dunklere Helligkeitswerte entsprechen einem hohen Drehanteil bei Insertion des Muskels an der entsprechenden Stelle) auf dem Bulbus eingezeichnet. Die Zuordnung der Farben zu den entsprechenden Drehanteilen ist dabei gleich wie beim Muskelwirkungsverteilungsdigramm, also blau für die Duktion, rot für die

Elevation/Depression und grün für die Torsion. Bei gleichzeitiger Anzeige von mehreren Drehanteilen werden die Farben kombiniert und es ergeben sich entsprechende Mischfarben. Mit Hilfe dieser Farbcodierung ist es nun möglich, für einen bestimmten Muskel eine "ideale" Muskelansatzlinie zu finden, bei der ein bestimmter Drehanteil entweder minimal (weißer bzw. heller Bereich am Bulbus) oder maximal (dunkler Bereich in der entsprechenden Farbe am Bulbus) sein soll. Durch die kombinierte Darstellung von mehreren Drehanteilen können auch Schnittpunkte gefunden werden, bei denen mehrere Komponenten gleichzeitig minimal oder maximal werden. Diese "idealen" Ansatzlinien und Schnittpunkte in Kombination mit den Polen und den Koordinatenachsen bieten eine wertvolle Hilfestellung bei der Planung von operativen Eingriffen.

In der nachfolgenden Abbildung sieht man die Verteilung der horizontalen Drehanteile (blau) des linken m. obliquus superior in der Primärposition. Dunkelblaue Bereiche stellen mögliche Insertionspositionen dar, bei denen der Muskel das Auge stark in die Ab-/Adduktion ziehen würde, hellblaue oder weiße Regionen hingegen repräsentieren Bereiche, in denen der Muskel nur sehr wenig oder gar nicht in die Ab-/Adduktion ziehen würde. Bei der funktionellen Topographie kann, im Gegensatz zum Muskelwirkungsverteilungsdiagramm (MWVD - siehe [Definition der Muskelwirkungsverteilung](#)<sup>[33]</sup>), die Richtung (also ob ein Muskel bei Insertion in einem z.B. blauen Bereich in Adduktion oder in Abduktion ziehen würde) nicht abgelesen werden. Die funktionelle Topographie kann in SEE++ über die [Symbolleiste für die 3D-Ansichtsoptionen](#)<sup>[129]</sup> eingeblendet werden.



**Funktionelle Topographie des m. obliquus superior (Ab-/Adduktionskomponente, horizontal)**

## Geometrische Vermessung des Auges

Um 1869 wurde von A.W. Volkmann eine statistische Analyse von mehreren Patienten durchgeführt. Diese Ergebnisse wurden dann als Daten für ein so genanntes "Normauge", also ein durchschnittliches Auge eines Menschen, publiziert. Auf den Daten von Volkmann basierend wurden dann auch das Faden- und Bändermodell formuliert. Diese geometrischen Grunddaten wurden dann später von Robinson und Miller noch erweitert, verändert bzw. durch Pulleys ergänzt.

Bulbusradius:  
Hornhautradius:

12.43 mm  
5.50 mm

	<b>Ursprung (x / y / z) in mm</b>	<b>Insertion (x / y / z) in mm</b>
<b>rectus medialis</b>	-17.00 / -30.00 / 0.60	-9.15 / 8.42 / 0.00
<b>rectus lateralis</b>	-13.00 / -34.00 / 0.60	10.44 / 6.75 / 0.00
<b>rectus superior</b>	-16.00 / -31.78 / 3.80	0.00 / 7.33 / 10.05
<b>rectus inferior</b>	-16.00 / -31.70 / -2.40	0.00 / 7.65 / -9.80
<b>obliquus superior</b>	-15.27 / 8.24 / 12.25	-0.07 / -8.05 / 9.48
<b>obliquus inferior</b>	-11.10 / 11.34 / -15.46	6.73 / -10.46 / 0.00

### Geometrische Daten nach Volkmann

Diese geometrischen Daten sind in dem bereits definierten Koordinatensystem (siehe [Geometrische Beschreibung von Augenpositionen](#)<sup>29</sup>) anzuwenden. SEE++ bietet auch ein Standard-Szenario, um auf diese Daten von Volkmann zurückzugreifen.

Die Entdeckung von Pulleys als funktionelle Elemente 1989 (Miller und Demer) revidierte diese Daten:

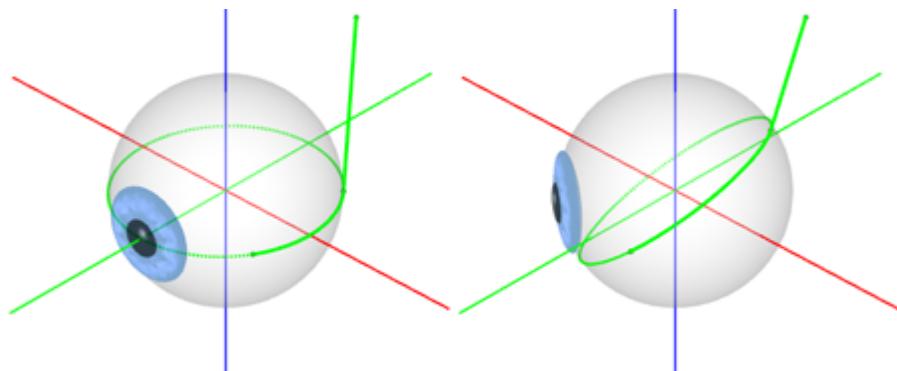
<b>Bulbusradius:</b>	11.99 mm	
<b>Hornhautradius:</b>	5.50 mm	
<b>Ursprung (x/y/z) mm      Insertion (x/y/z) mm      Pulley (x/y/z) mm</b>		
<b>rectus medialis</b>	-17.00/-30.00/1.00	-9.65/8.84/0.00
<b>rectus lateralis</b>	-13.00/-34.00/-1.00	10.08/6.50/0.00
<b>rectus superior</b>	-15.00/-31.76/3.60	2.76/6.46/10.25
<b>rectus inferior</b>	-17.00/-31.76/-2.40	1.76/6.85/-10.22
<b>obliquus superior</b>	-18.00/-31.50/5.00	2.90/-8.00/8.82
<b>obliquus inferior</b>	-13.00/10.00/-15.46	8.00/-9.18/0.00

### Geometrische Daten nach Miller und Demer

Die Muskelinsertionen sowie die Pulleypositionen wurden hier dreidimensional vermessen. Dies bedeutet, dass mit der geometrischen Abstraktion, den Bulbus als kugelförmiges Objekt anzunehmen, jeder Muskel mit seiner Insertion nicht exakt auf dem Bulbus liegt, weil dieser in der Realität ellipsoid geformt ist. Dies bedeutet gleichzeitig einen "Kompromiss" in der Wahl des Bulbusradius, der sich als kleinster Radius aller sechs Muskeln definiert. Der muskelbezogene Bulbusradius, sowie der "eigentliche" Bulbusradius lassen sich über Parameter in SEE++ jederzeit ändern. Der wesentliche mathematische Unterschied dieser Daten besteht darin, dass nun jeder Muskel seinen eigenen "virtuellen Bulbus" rotiert, was sich wiederum auf den Hebelarm und das Kraftverhalten auswirken kann.

## 2.2.1 Fadenmodell

Das Fadenmodell ist die einfachste Repräsentation, um die geometrische Wirkung der Augenmuskulatur zu beschreiben. Es wurde von Krewson 1950 formuliert. Entsprechend dem Fadenmodell wird ein Muskel als dünner Faden mit einer Insertion auf dem Bulbus und einem Ursprung in der Orbitahöhle angenommen. Krewson nahm an, dass die Fäden immer straff gezogen sind, und somit der Muskelpfad als kürzester Weg zwischen Ursprung und Insertion verläuft.



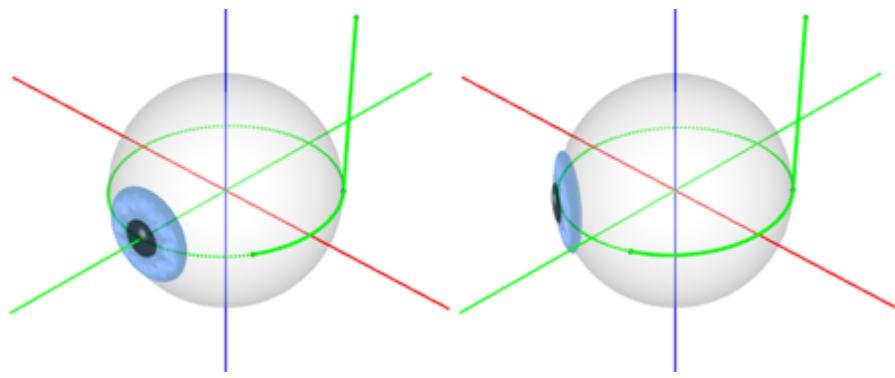
**Muskelpfad des Fadenmodells in Primär (links) und Sekundärposition (rechts)**

Da der Muskelpfad in diesem Modell den kürzesten Weg von Ursprung zu Insertion beschreibt, bildet jener Kreis, der die Muskelwirkung auf dem Bulbus beschreibt, immer einen Großkreis (Muskelwirkungskreis, siehe Abbildung). Dadurch ist die Berechnung des Tangentialpunktes wesentlich vereinfacht.

Modellprognosen, die mit dem Fadenmodell erstellt wurden, entsprechen nur sehr bedingt klinischen Erwartungen, speziell in Sekundär- und Tertiärpositionen. Nur in Primärposition liefert das Fadenmodell akzeptable Prognosewerte für Muskelpfad und Muskelwirkung. Die linke Darstellung der Abbildung zeigt ein linkes Auge mit dem m. rectus lateralis in Primärposition, wobei die rechte Darstellung eine Adduktion um 35° (sekundäre Blickposition) darstellt. Es ist leicht zu erkennen, dass der m. rectus lateralis bei dieser Adduktion seinen Muskelpfad mit der Blickrichtung nach oben "verschiebt", was keiner klinischen Beobachtung entspricht. Diese Verschiebung wirkt sich in einer drastischen Änderung der Muskelzugrichtung und somit in einer abnormalen Rotation des Auges aus (der m. rectus lateralis wird zum Heber!). Der m. rectus lateralis kann in dieser Augenposition seine nach außen drehende Hauptwirkung nicht aufrecht erhalten, er "verrutscht" sozusagen mit der Einwärtsdrehung des Bulbus.

## 2.2.2 Bändermodell

Basierend auf dem Fadenmodell formulierte Robinson 1975 das so genannte Bändermodell. Dieses Modell reduziert die Verschiebung des Muskelpfads auf dem Bulbus durch die Einführung einer Winkelreduzierung in Sekundär- und Tertiärpositionen. Die Bewegung des Tangentialpunktes auf dem Bulbus wird durch einen linear von der Augenposition abhängigen Wert beschrieben. Durch diese Änderung fallen die durch den Muskelpfad bezeichneten Muskelwirkungskreise nicht mehr mit denen vom Fadenmodell zusammen. Lediglich in Primärposition ist auch im Bändermodell der Muskelwirkungskreis ein Großkreis, da die Winkelreduzierung nur bei Blickpositionen abseits der Primärposition greift. In allen anderen Blickpositionen ist der Muskelwirkungskreis ein Kleinkreis auf dem Bulbus, dessen Mittelpunkt nicht mehr mit dem Rotationszentrum des Bulbus zusammenfällt. Die Muskelwirkung wird nun auch über den Tangentialpunkt beschrieben, was zu einer deutlichen Veränderung der Modellprognosen führt.

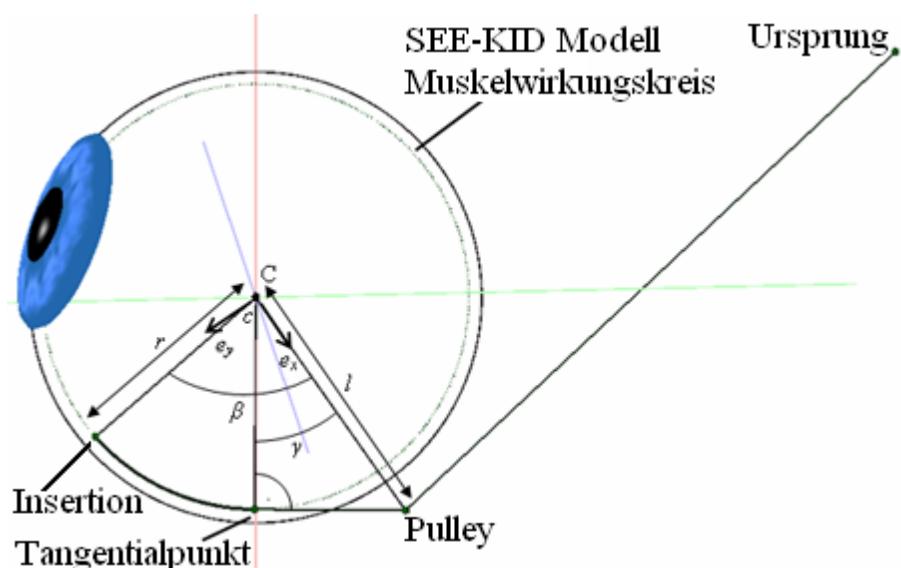


**Muskelpfad des Bändermodells in Primär (links) und Sekundärposition (rechts)**

Die Begrenzung der Bewegung des Tangentialpunktes reduziert die Muskelverschiebung in Sekundär- und Tertiärpositionen. Die Abbildung zeigt diesen Effekt anhand des m. rectus lateralis eines linken Auges in Primärposition und nach einer Blickpositionsveränderung um 35° Adduktion. Trotzdem sind die Modellprognosen im Vergleich zu klinischen Messungen nicht zufriedenstellend.

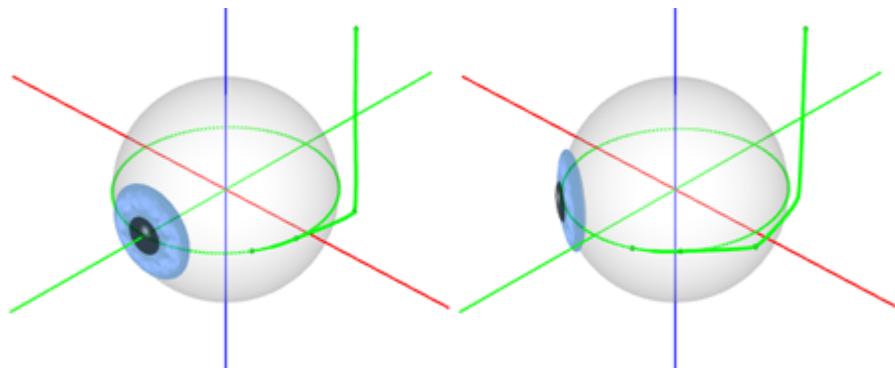
### 2.2.3 Pulleymodelle

Das SEE++ System implementiert 3 Modelle, die Pulleys berücksichtigen, nämlich das SEE-KID Modell, das SEE-KID Active Pulley Modell und das Orbitmodell. Diese Modelle definieren einen Pulley als zusätzlichen Punkt für die geometrische Definition des Muskelpfads. Die Pulleys als funktionelle Elemente wurden von Miller und Demer 1989 entdeckt und mit Hilfe von MRT (Magnetresonanztomographie) und histologischen Untersuchungen dreidimensional vermessen. Durch die zusätzliche Einführung eines Pulleys bewegt sich ein Muskel während der Änderung einer Blickposition im hinteren Orbitabereich kaum. Der funktionelle Ursprung, d.h. jener Punkt, der für die Berechnung der Kraftwirkungsrichtung eines Muskels herangezogen wird, ist nunmehr nicht der anatomische Ursprung, sondern der Pulley. Dies bewirkt eine starke Stabilisierung des Muskels im Verlauf vom Pulley bis zur Insertion mit der Auswirkung, dass der Muskel in extremen Blickpositionen seine grundsätzliche Hauptwirkungsrichtung beibehalten kann.



**Muskelpfad bei Anwendung des SEE-KID Modells**

Die Modelle, die Pulleys berücksichtigen, liefern die bisher besten Prognoseergebnisse in geometrischer Hinsicht mit klinischen Vergleichsdaten. Die Erkenntnis, dass ein Pulley als Halteapparat als zusätzliche anatomische Struktur des Auges gesehen werden kann, löste auch viele offene Fragen in klinischer, operativer Hinsicht. Des Weiteren sind Pulleys elastisch an die Orbitawand gekoppelt, sie können sich also in weiten Tertiärpositionen etwas verschieben und beeinflussen und korrigieren somit wiederum den Muskelverlauf (Grundlage der "funktionellen Topographie"<sup>[33]</sup>). Auch diese Eigenschaft trägt wesentlich zur mechanischen Stabilisierung der Wirkungsrichtungen und somit des gesamten okulomotorischen Apparats bei.

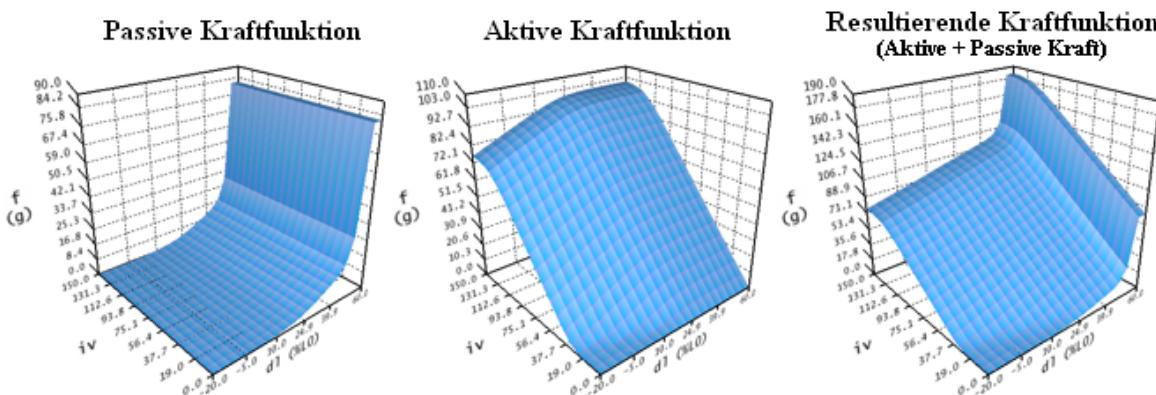


**Muskelpfad des SEE-KID Active Pulley Modells in Primär (links) und Sekundärposition (rechts)**

Das SEE-KID Active Pulley Modell unterscheidet sich vom SEE-KID Modell und vom Orbitmodell dadurch, dass bei diesem Modell die Pulleys nicht als fixe, statische Elemente simuliert werden, sondern sich aktiv mit dem Auge mitbewegen. So bewegt sich zum Beispiel der Pulley des m. rectus lateralis nach vorne, wenn das Auge in Adduktion blickt (siehe Abbildung) und nach hinten, wenn das Auge sich in Richtung Abduktion bewegt. Durch diese Bewegung wird die Hauptwirkungsrichtung des Muskels auch in extremen Blickpositionen optimal erhalten.

## 2.3 Kinematisches Modell

Um ein mechanisches System vollständig simulieren zu können, wird neben geometrischen Strukturen auch die Simulation von Kräften benötigt. Die Kraftentwicklung der extraokulären Muskeln wird durch ein isoliertes Kräftemodell beschrieben, welches für jeden Muskel spezifische Verhaltensmuster vorgibt. Die Struktur des Modells orientiert sich an bereits existierenden Modelltypen für die Skelettmuskulatur. Hierbei wird die Muskelfunktion in passive und aktive Kraftentwicklung eingeteilt. Passive Kräfte entwickeln sich durch Dehnung und Kompression des Muskels, während aktive Kräfte immer ein neurophysiologisches Aktivierungspotential voraussetzen. Die resultierende Funktion aus aktiver und passiver Kraftfunktion simuliert dann die tatsächliche Wirkungsweise des Muskels.

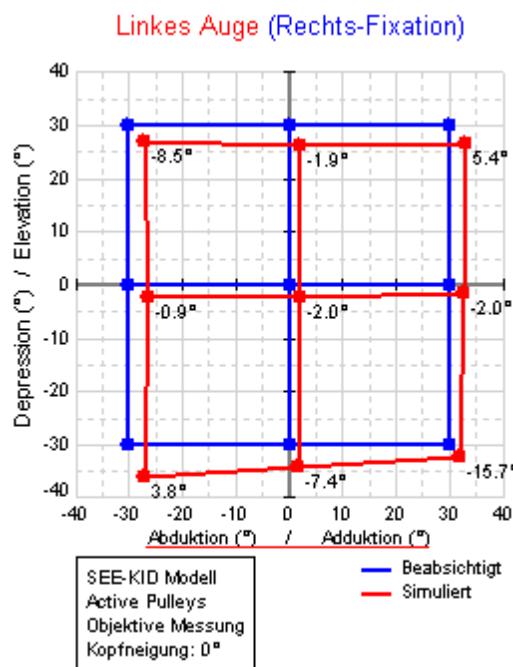


**Muskelkräftesimulation des m. rectus lateralis (basierend auf Orbit<sup>TM</sup>, siehe [Miller, 1999])**

Die in dieser Abbildung dargestellten Funktionen beschreiben die statische Kraftentwicklung eines Muskels bezüglich eines definierten Kraft-Längen-Innervationsverhaltens. Während die passive Kraftentwicklung ( $f$  in Gramm) ausschließlich in Abhängigkeit der Längenänderung eines Muskels ( $dl$  in Prozent von  $L_0$ ) definiert ist, ist die aktive Kraftfunktion ( $f$  in Gramm) zusätzlich von der Innervation ( $iv$ ) bestimmt. Alle weiteren extraokulären Muskeln sind relativ zu den in dieser Abbildung dargestellten Daten realisiert. Die zugrunde liegenden Daten wurden in Anlehnung an Untersuchungen von Miller und Robinson definiert.

Die bisher beschriebenen Modelle der Geometrie und Kraftsimulation werden nun durch die Einführung eines kinematischen Modells miteinander verknüpft. Das kinematische Modell ist für die Übertragung der Kräfte auf das geometrische Modell zuständig. Hierzu wird für jeden Muskel der Rotationswinkel um die geometrische Achse mit der prognostizierten Kraftentwicklung in Relation gesetzt. Das Ergebnis ist dann eine resultierende Rotationsachse mit zugehörigem Rotationswinkel, der eine aktuelle mechanische Wirkungsweise aller sechs Augenmuskeln in einer bestimmten Blickposition beschreibt. Führt man nun eine Rotation des Bulbus in die prognostizierte Richtung aus, verändern sich wiederum die Komponenten der Geometrie und der Muskelkräfte. Durch die geometrische Änderung ergibt sich dadurch eine Veränderung der Muskelwirkungsverteilung und durch die passive Längenänderung der Muskeln verändern sich die Muskelkraftfunktionen und ergeben transitiv eine neue Kräfteverteilung. Dieser Prozess setzt sich solange fort, bis eine stabile Augenposition erreicht werden kann. Eine solche stabile Augenposition ist durch ein Kräftegleichgewicht aller sechs beteiligten Muskeln charakterisiert.

Mit Hilfe dieser Simulationstechnik lassen sich die Probleme der Vorwärts- und Rückwärtskinematik lösen. Die Vorwärtskinematik findet bei gegebenen Innervationen für alle sechs Augenmuskeln die resultierende Blickrichtung, wobei die Rückwärtskinematik aus einer gegebenen Blickrichtung wiederum die Innervationen für alle sechs Augenmuskeln ableitet. Kombiniert man nun diese beiden Methoden, so lässt sich ein Test für die binokulare Prüfung von Augenbewegungsstörungen simulieren. Das SEE++ System bildet als eine Möglichkeit den Hess-Lancaster Test ab, in dem es, neben den pathologischen Abweichungen eines Auges, die Normblickpositionen des anderen Auges in anderer Farbdarstellung zeigt.



**Hess-Test mit Normblickpositionen eines nicht betroffenen (rechten) Auges (dunkel bzw. blau) und Augenstellungen eines pathologischen linken Auges (hell bzw. rot).**

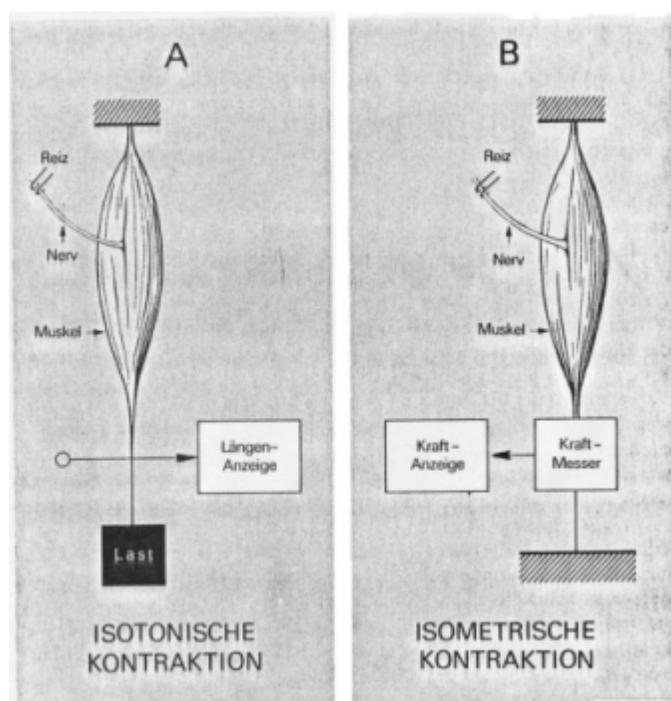
Bei jeder Blickposition eines Auges wird das Innervationsmuster aller Augenmuskeln bei der Fixation mit dem nicht betroffenen Auge bestimmt und an das pathologische Auge weitergegeben (Hering'sches Gesetz), um dessen Blickposition zu bestimmen. Die Innervationen sind nur für die agonistischen Muskeln definiert, die antagonistische Innervation wird durch Anwendung einer reziproken Innervationsfunktion berechnet (Sherrington'sches Gesetz). Das Resultat des Tests lässt sich durch den Vergleich der Normblickpositionen und pathologischen Blickpositionen des geprüften Auges leicht ablesen: Leichte Diplopie in Primärposition, Überfunktion des linken Auges in Depression und Abduktion des rechten Auges, etc.

Auf Basis dieser Modelle und deren Parameter wird nun eine pathologische Situation bzw. ein operativer Eingriff simuliert. Die Veränderungen in der Geometrie wirken sich direkt auf das verwendete geometrische Modell aus, indem beispielsweise bei der Versetzung einer Insertion die neuen Insertionskoordinaten direkt übernommen werden und somit eine neue Zugrichtung des Muskels definiert wird. Wie diese Zugrichtung nun im Detail aussieht, ist von der Unterschiedlichkeit der verwendeten Modelle abhängig. So liefert beispielsweise das Fadenmodell eine anatomisch gesehen wesentlich "schlechtere" Darstellung als beispielsweise das Bändermodell von Robinson.

### 2.3.1 Kräftemodell

Ziel des Kräftemodells ist es, das Verhalten eines Muskels in Abhängigkeit von seiner Länge und Innervation zu simulieren. Dies wird durch die Definition von drei Kraftfunktionen (Aktive, Passive und Totale Kraft) erreicht. Um das Verhalten eines Muskels zu beeinflussen, um beispielsweise Muskelähmungen (Paresen) oder Überfunktionen zu erzeugen, stellt das Kräftemodell verschiedene Parameter zur Verfügung, die wiederum die Form der Simulationskurven auf bestimmte Art und Weise verändern und so die gewünschte Situation abbilden.

Bei der Untersuchung von Muskelkräften unterscheidet man zwei Arten der Kontraktion eines Muskels: Die isotonische Kontraktion und die isometrische Kontraktion. Eine isotonische Kontraktion ist die Messung der Muskellänge bzw. der Muskelverkürzung infolge einer Aktivierung bei konstanter Last (siehe Abbildung A). Im Fall der isometrischen Kontraktion wird die Kraft bzw. die Kraftänderung des Muskels bei konstant gehaltener Länge gemessen (siehe Abbildung B). Der Kontraktionsmechanismus findet auf molekularer Ebene statt und wird durch die so genannte Filament-Gleit-Theorie beschrieben. Dabei verbinden sich Aktin- und Myosinfilamente über so genannte Brückenbildungen und ermöglichen so eine aktivierungsgesteuerte Verkürzung und somit die Entwicklung der Kraft eines Muskels.

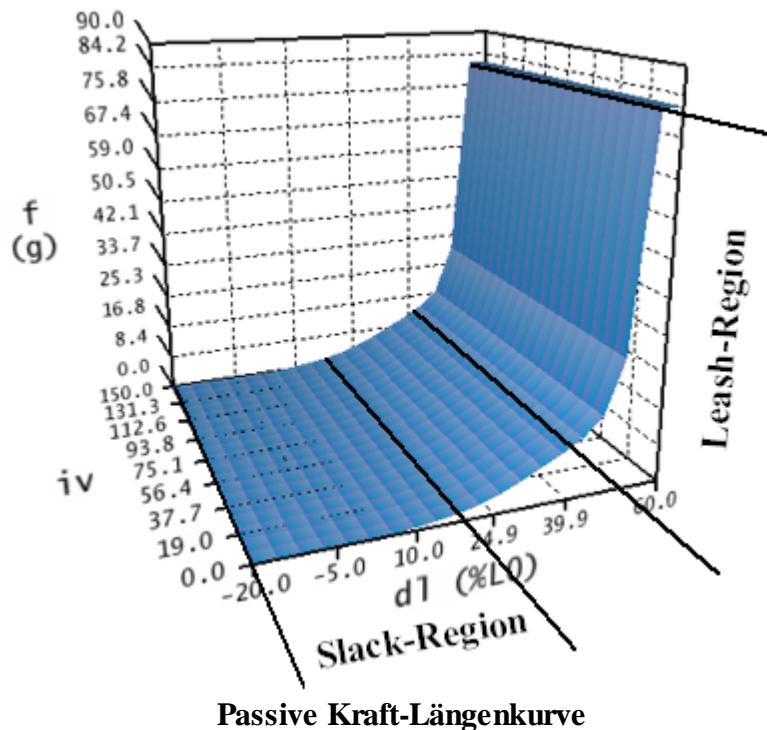


**Unterschiedliche Arten der Muskelkontraktionsmessung**

Generell wird zwischen statischen und dynamischen Eigenschaften eines Muskels unterschieden. Statisches Kraftverhalten wird auch als Kraft-Längenverhalten bezeichnet, wobei man als Ausgangspunkt eine isometrische Kraftmessung durchführt und die erzeugte Kraft in Abhängigkeit der eingestellten (fixen) Länge aufzeichnet. Dynamische Eigenschaften eines Muskels beziehen sich auf Kontraktionsgeschwindigkeiten und werden mit Hilfe von isotonischen Messungen analysiert. SEE++ stellt zur Zeit ein ausschließlich statisches Modell der Kraftentwicklung dar und konzentriert sich auf die Modellierung von Kraft-Längen-Innervationsbeziehungen.

Bei der Darstellung der statischen Eigenschaften eines Muskels unterscheidet man wiederum zwischen aktiven (kontraktilem) und passiven (elastischen) Muskelkräften. Aktive Muskelkräfte entstehen durch Aktivierung (Innervation) eines Muskels über das Gehirn, während passive Kräfte die elastischen Dehnungseigenschaften eines Muskels darstellen, die entgegengesetzt zur aktiven Kraft wirken. Führt man nun eine Vielzahl von isometrischen Kraftmessungen bei unterschiedlich eingestellter Länge durch, so ergibt sich eine Kraft-Längenkurve des Muskelverhaltens. Setzt man diese noch in Relation mit dem Aktivierungspotential des Muskels, so erhält man eine dreidimensionale Kraft-Längen-Aktivierungsfunktion. Diese Funktion kann man wiederum in ihre aktiven und passiven Kräfte zerlegen. Man erhält eine aktive und eine passive Kraftkurve, die zusammen der totalen Kraftkurve eines Muskels entsprechen.

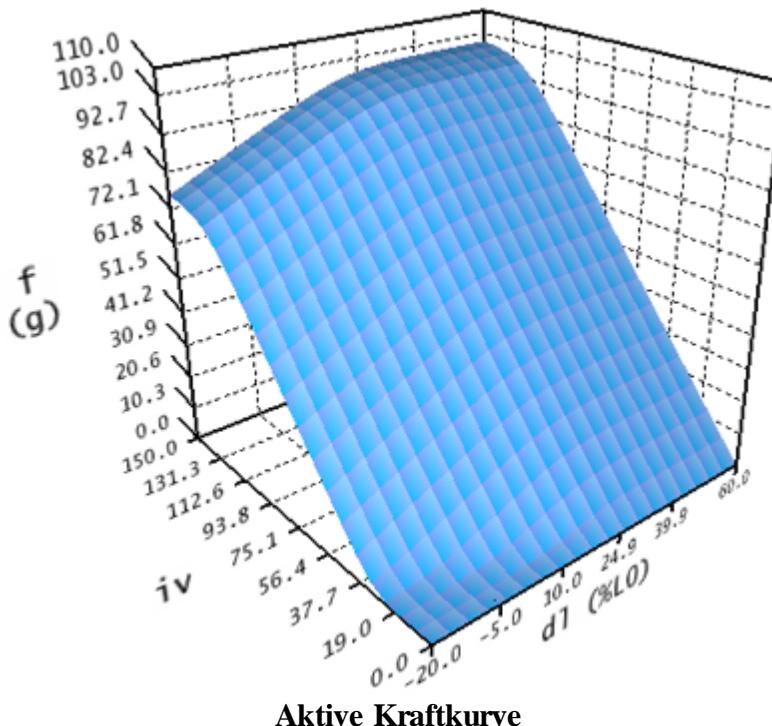
Die passive Kraftkurve beschreibt die elastischen Kräfte, die der Muskel ausübt, wenn er entsprechend gedehnt oder gestaucht wird. Wenn ein frei liegender, nicht verbundener Muskel ausreichend gedehnt wird, dann wird sich ab einer gewissen Dehnungslänge dieser Muskel nicht mehr wie eine nicht-lineare Feder verhalten, sondern wird sehr schnell steif und nicht mehr weiter dehnbar. Dies wird als so genannte "Leash-Region" bezeichnet und macht sich in einem drastischen Anstieg der passiven Kraft bei erhöhter Dehnungslänge bemerkbar. Umgekehrt, wird ein Muskel in seiner Länge stark zusammengeschoben (gekürzt), so wird er schlaff und kann keine Kraft mehr ausüben. Dies wird auch als so genannte "Slack-Region" bezeichnet.



Wie in der Abbildung ersichtlich, hängt die passive Kraft-Längenkurve nicht von der Aktivierung (iv) eines Muskels ab, da ja ausschließlich passive, elastische Kräfte modelliert werden. Deshalb hat diese Kurve auch in der Längen-Innervationsebene für alle Innervationen die gleiche Form. Die passive Kraftkurve berechnet sich in drei Intervallen ( $dl < 17\%$ ;  $17\% \leq dl \leq 40\%$ ;  $dl > 40\%$ ), bezogen auf die Längenachse. Als Einheit wird hier Längenänderung in Prozent, bezogen auf die Länge des Muskels im relaxierten Zustand ( $L_0$ ) angegeben. In der ersten Region ( $dl <$

17%) wurde die Muskelkraft manuell langsam auf Null reduziert, während in der dritten Region ( $dl > 40\%$ ) die Kraft bis zu einem Maximum extrapoliert wurde, um den raschen Anstieg der Steifheit des Muskels in der "Leash-Region" zu simulieren. Dazwischen ( $17\% \leq dl \leq 40\%$ ) wird die Elastizität mit einer nicht-linearen Federgleichung berechnet.

Die aktive Kraftkurve beschreibt nun die resultierende kontraktile Kraft in Abhängigkeit von Innervation und Länge eines Muskels.



Diese Kurve wird auch in drei Abschnitte eingeteilt. Der erste Abschnitt wird innerhalb des Intervalls  $-20\% \leq dl \leq 45\%$  und  $0 \leq iv \leq 100$  berechnet. Der zweite Abschnitt im Bereich  $-20\% \leq dl \leq 45\%$  und  $iv > 100$  wurde mit Werten aus dem ersten Intervall extrapoliert. Der dritte Abschnitt für  $dl > 45\%$  wird konstant wie  $dl = 45\%$  behandelt.

Die totale Kraftfunktion wird nun aus der Summe von passiver und aktiver Kraftfunktion berechnet.

Um das Verhalten der Augenmuskeln im Kräftmodell von SEE++ zu verändern, gibt es eine Reihe von Parametern, die ermöglichen, diese Kurven zu manipulieren. Drei globale Parameter werden auf alle sechs Muskeln angewandt und spezifizieren den Aufbau der Kurven im Bereich des Übergang von Slack- nach Leash-Region.

- Starrheit ( $\text{g}/\% \Delta L_0$ ) definiert den Anstieg der Kurve in Richtung der Leash-Region, um so das Verhalten der Muskulatur bei Überdehnung zu approximieren. Als Einheit für den Anstieg werden  $\text{g}$  pro  $\%$  auf Basis der relaxierten Muskellänge ( $L_0$ ) verwendet. Wertveränderungen sollten nur in sehr kleinen Bereichen  $0 \leq x \leq 0.9$  vorgenommen werden.
- Kraftübergangsskalierung ( $\text{g}$ ) gibt die Form der Kurve im Übergang zur Slack-Region an. Die Einheit in Gramm gibt an, um wieviel die Kurve im Anstieg zum berechneten (zweiten) Intervall gedämpft wird. Je kleiner dieser Wert ist, umso länger bleibt die Kraft bei

Dehnung des Muskels Null. Dies entspricht auch einer punktuellen Ausdehnung der Slack-Region.

- Kraftverschiebungsverhältnis (% á L<sub>0</sub>) verschiebt den berechneten (zweiten) Abschnitt jeder Kurve auf der Längenänderungsachse (dl). Die Verschiebung wird in Prozent von der relaxierten Muskellänge (L<sub>0</sub>) angegeben.

Diese beschriebenen Parameter dienen hauptsächlich für den experimentellen Einsatz im Umgang mit dem Kräftemodell von SEE++. Man sollte diese Werte nur mit größter Sorgfalt verändern, da das Simulationsergebnis stark von diesen Veränderungen beeinflusst wird.

## Muskelspezifische Parameter

Im SEE++ System werden alle sechs Augenmuskeln nach dem beschriebenen Kräftemodell simuliert. Die Unterschiedlichkeit in der Kraftentwicklung wird durch zwei Skalierungsfaktoren (einen für die passive und einen für die aktive Kraft) definiert, welche die Kraftkurven in Relation zum m. rectus lateralis abändern. Folgende Parameter stehen für jeden Muskel zur Verfügung:

- passive Kraft (%/100) skaliert die passive Kraftkurve, um so die elastischen Eigenschaften eines Muskels zu beeinflussen. Eine Verminderung dieses Wertes führt beispielsweise zu einer reduzierten elastischen Kraft, die der Muskel bei Dehnung ausüben kann.
- aktive Kraft (%/100) skaliert die aktive Kraftkurve und simuliert eine Über- oder Unterfunktion des Muskels bezogen auf eine Aktivierung vom Gehirn ausgehend. Ein Wert von 0 würde einer totalen Muskelparese (Totalausfall der kontraktilen Leistung) eines Muskels entsprechen.
- relative passive Kraft (%/100 RL) skaliert die passive Kraftfunktion in Bezug auf den m. rectus lateralis. Verändert man diesen Wert, so stärkt bzw. schwächt man einen Muskel relativ zum m. rectus lateralis; um die passive Kraft relativ zum aktuellen Muskel zu verändern, sollte man den Parameter "passive Kraft" direkt verwenden.
- relative aktive Kraft (%/100 RL) skaliert die aktive Kraftfunktion in Bezug auf den m. rectus lateralis. Verändert man diesen Wert, so stärkt bzw. schwächt man einen Muskel relativ zum m. rectus lateralis; um die aktive Kraft relativ zum aktuellen Muskel zu verändern, sollte man den Parameter "aktive Kraft" direkt verwenden.

Bei der Simulation von operativen Eingriffen ist auch die Muskellänge von großer Bedeutung. Die Länge von Muskel und Sehne verändert auch die Art und Weise, wie die Kraftkurven dann vom Simulationssystem "interpretiert werden". Die Veränderung der Muskellänge (dl) wird in den Kraftkurven in Prozenten dargestellt. Als Beispiel sei ein Gummiband mit 10 mm Länge angegeben (relaxierte Länge L<sub>0</sub>=10 mm). Nimmt man nun dieses Gummiband und dehnt es um 10 mm, so erhält man eine Pfadlänge von insgesamt 20 mm und eine relative Dehnung von 100%. Halbiert man nun dieses Band auf 5 mm relaxierte Länge und dehnt man wiederum um 10 mm, so erhält man nun eine relative Dehnung von 200%. Dies würde einer ganz anderen resultierenden Kraft im Kräftemodell entsprechen und zeigt, wie durch Veränderung der Muskellänge das Kraftverhalten eines Muskels beeinflusst werden kann.

Das Muskelmodell von SEE+ stellt dazu folgende Parameter zu Verfügung:

- Muskellänge (L<sub>0</sub>) in mm gibt die Länge eines Muskels im relaxierten Zustand, ohne Sehne, an.
- Sehnenlänge in mm gibt die zusätzliche Länge der Sehne an.

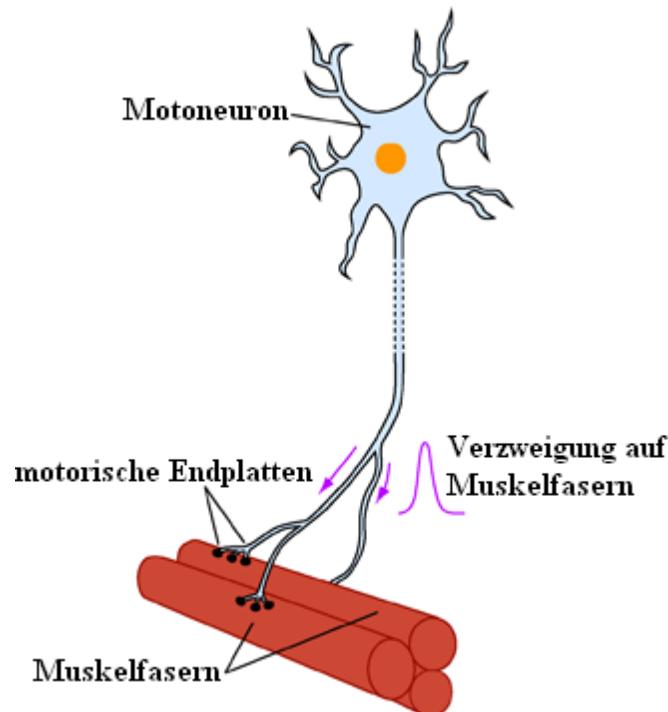
- Sehnenbreite in mm gibt die Breite der Sehne an der Insertion an, und wird für die Verteilung der Kraft über die Muskelbreite verwendet.

Simuliert man beispielsweise eine Resektion des m. rectus lateralis um 5 mm, so verändert man Muskel- bzw. Sehnenlänge entsprechend. Trennt man die Insertion des m. rectus lateralis ab, schneidet dann 5 mm ab und refixiert den Muskel wieder, so verliert man üblicherweise beim Abtrennen 1 mm und beim Refixieren erneut 1 mm an Muskel- bzw. Sehnenlänge (je nach Operationstechnik können diese Werte variieren und müssen individuell korrigiert werden). SEE++ kann diesen Gegebenheiten natürlich nicht automatisch folgen, somit ist es notwendig in diesem Fall den Muskel um insgesamt 7 mm zu kürzen. Man würde also die Sehnenlänge des m. rectus lateralis von 7.71 auf 0.71 mm verändern. Führt man eine größere Resektion durch, so verliert man die Sehne eines Muskels (Sehnenlänge = 0) und muss die restliche Verkürzung an der Muskellänge vornehmen, also in Summe beide Parameter anpassen. Mit Hilfe der Operationsmethode "Resektion", die man im Dialog "[Textuell Operieren](#)"<sup>[138]</sup> durchführen kann, wird diese Verkürzung der Sehne auf 0 mm und anschließende Verkürzung der Muskellänge bei einer größeren Resektion automatisch vorgenommen.

Ein weiterer Parameter, der nur im Orbit-Kräftemodell Anwendung findet, ist die Starrheit des Pulley. Hier wird die passive Bewegung des Pulleys eines Muskels in g/mm limitiert. Veränderungen dieses Wertes, und somit der Bewegung des Pulleys bei Blickpositionsänderungen wirken sich auf die Zugrichtung und somit translativ auf das Kräfteverhalten des Muskels aus.

## Innervation der Augenmuskeln

Die Augenmuskeln werden von drei Hirnnerven innerviert. Der Nervus Oculomotorius (III. Hirnnerv) versorgt den m. rectus medialis, den m. rectus superior, den m. rectus inferior und den m. obliquus inferior (außerdem den m. levator palpebrae sowie - mit seinem parasympathischen Anteil - den m. ciliaris und den m. sphincter pupillae). Der Nervus Trochlearis (IV. Hirnnerv) versorgt den m. obliquus superior, der Nervus Abducens (VI. Hirnnerv) den m. rectus lateralis. Jeden Augenmuskel innervieren etwa 1000 Motoneuronen. Die einzelnen Motoneurone verzweigen sich im Augenmuskel und versorgen jeweils ca. 4 bis 40 Muskelfasern. Als motorische Einheit bezeichnet man die Gesamtheit jener Muskelfasern, welche an ein und dasselbe Motoneuron angeschlossen ist.



**Eine motorische Einheit eines Muskels besteht aus einem Motoneuron mit allen von diesem Neuron innervierten Muskelfasern**

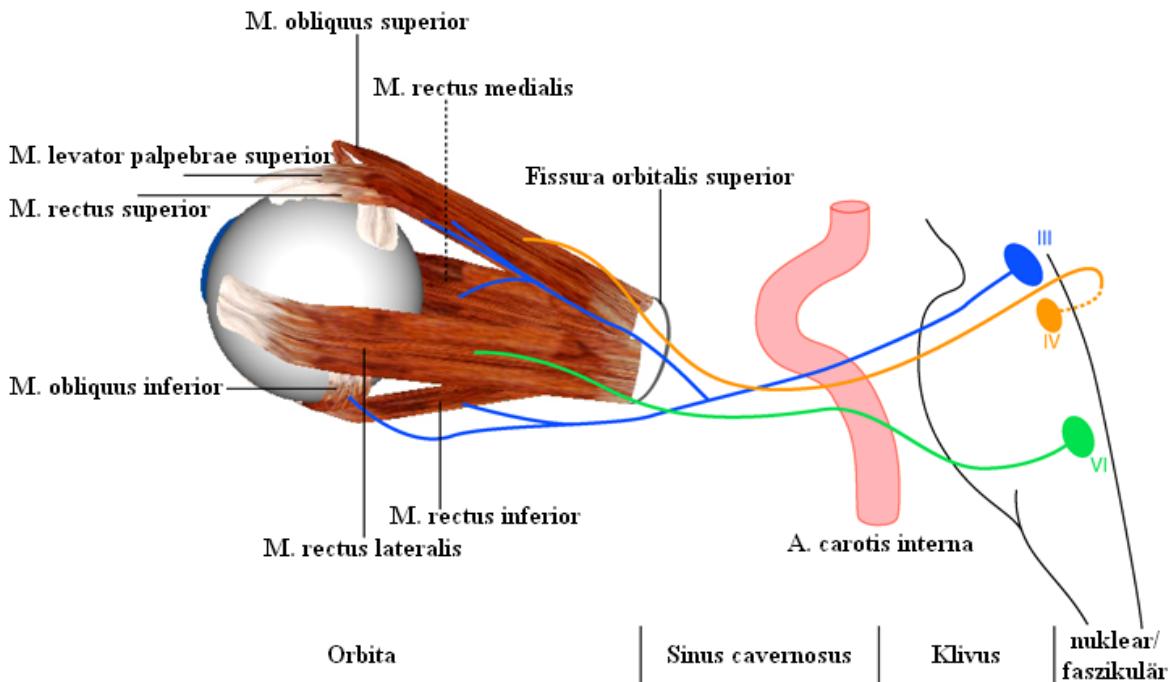
Das Gehirn nützt zwei verschiedene Möglichkeiten, um die Zugkraft eines Muskels zu steigern:

1. rekrutiert es motorische Einheiten, die zuvor noch geruht hatten, und
2. verstärkt es die Aktivitäten derjenigen motorischen Einheiten, die zwar bereits tätig, aber noch nicht ausgelastet waren.

## Motorische Kerne

Die Zellkörper der Motoneuronen liegen in Gruppen vereinigt und bilden die sogenannten Kerne innerhalb des Hirnstamms. Das Kerngebiet der beiden Okulomotoriusnerven liegt paarweise angeordnet im Mittelhirn. Die Anordnung der Teilkerne, die den einzelnen Augenmuskeln zugeordnet sind, ist außerordentlich kompliziert und wurde erst in den letzten Jahren genauer untersucht. Die Zellkörper für den m. rectus medialis, den m. rectus inferior und den m. obliquus inferior liegen ipsilateral (das heißt für das rechte Auge auf der rechten Kernseite). Nur die Zellkörper für den m. rectus superior liegen kontralateral (das heißt für das rechte Auge auf der linken Seite des paarweise angeordneten III. Kernes). Die Nervenfasern für den m. rectus superior kreuzen noch im Okulomotoriuskerngebiet zur anderen Seite. Die Zellkörper für den m. levator palpebrae liegen nahe an der Mittellinie, sowohl ipsilateral als auch kontralateral.

Die beiden Trochleariskerne liegen ebenfalls im Mittelhirn, dicht unterhalb des Okulomotoriuskerngebiets. Die Motoneuronen des Nervus Trochlearis entspringen jeweils kontralateral und kreuzen hinter dem Aquädukt, unterhalb der Vierhügelplatte, zur anderen Seite. Die Abducenskerne liegen in der Brücke und sind mit dem jeweilig ipsilateralen m. rectus lateralis verbunden.



### Lage der okulomotorischen Kerne und Verlauf der okulomotorischen Hirnnerven

Das SEE++ System enthält keine eigene Simulation des Hirnstamms bzw. supranukleärer Strukturen. Es realisiert aber, auf Basis jedes Auges, eine so genannte Innervationsverteilung, in der, abhängig vom gewählten Auge, die prozentuale Aufteilung der Innervation von den okulomotorischen Kernen auf die jeweiligen Muskeln eingestellt werden kann. Wird eine solche Innervationsverteilung abgeändert, so werden alle Innervationen bezogen auf den betroffenen Muskel für das betroffene Auge prozentual skaliert.

Innervationsverteilung - Linkes Auge						
Innervationsverteilung der Nerven auf die Muskeln in Prozent bezogen auf ihren gesamten Stimulus:						
	RectMed	RectLat	RectSup	RectInf	ObliqSup	ObliqInf
Oculo/RM	100 >	0 >	0 >	0 >	0 >	0 >
Abducens	0 >	100 >	0 >	0 >	0 >	0 >
Oculo/RS	0 >	0 >	100 >	0 >	0 >	0 >
Oculo/RI	0 >	0 >	0 >	100 >	0 >	0 >
Trochlear	0 >	0 >	0 >	0 >	100 >	0 >
Oculo/OI	0 >	0 >	0 >	0 >	0 >	100 >

OK      Abbrechen

Innervationsverteilung am Beispiel des linken Auges (basierend auf Orbit™, siehe [Miller, 1999])

Modifiziert man diese Verteilung der Innervationen, so kann man inter- bzw. supranukleäre Blicklähmungen aber auch beispielsweise Retraktionssyndrome nachbilden. Eine supranukleäre Blicklähmung bei Rechtsblick würde man durch Adaptierung der Innervationsverteilung des Nervus Abducens auf den m. rectus lateralis am rechten Auge, und des Nervus Oculomotorius

auf den m. rectus medialis am linken Auge simulieren. Bei einer "einfachen" internukleären Blicklähmung wäre nur ein Auge (Sakkaden) betroffen und somit auch nur die Innervationsverteilung eines Auges zu ändern.

SEE++ verwendet ein so genanntes unsichtbares Referenzauge, welches als Basis für die Berechnungen herangezogen wird. Ändert man nun die Innervationsverteilung dieses Referenzauges, so würde man die Veränderung nur auf das beim Blicktest wechselseitig folgende Auge beziehen. Dies ermöglicht beispielsweise die Simulation einer Läsion, die ausschließlich über das folgenden Auge sichtbar wird.

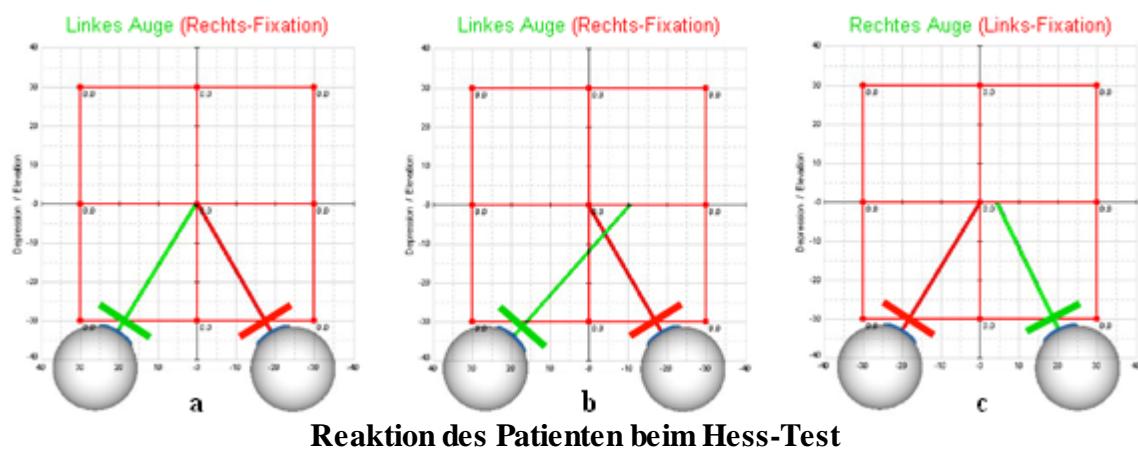
### 2.3.2 Hess-Lancaster Test

Der Hess-Lancaster Test oder Hess-Test ist ein Test für Binokularfunktionen mit für beide Augen getrennten Bildern. Dieser klinische Test wird vom SEE++ System mit dem "virtuellen Patienten" nachgebildet, um Vergleiche zwischen real am Patienten gemessenen Daten durchführen zu können.

Bei der klinischen Untersuchung wird wie folgt vorgegangen:

1. Der Patient trägt Rot-Grün-Gläser mit dem Rotfilter initial vor z.B. dem rechten Auge (fixierendes Auge).
2. Der Patient hält einen projizierbaren, grünen Lichtzeiger, der Untersucher einen roten Lichtzeiger.
3. Der Untersucher projiziert das rote Licht auf einen Schirm und fordert den Patienten auf, sein grünes Licht (folgendes Auge) zu überlagern. Unter normalen Umständen sollten beide Lichter in allen neun Hauptblickrichtungen überlagert werden (siehe Abbildung a).
4. Nun wird der Rotfilter auf das andere Auge gegeben und der Vorgang mit dem anderen, damit fixierenden Auge wiederholt.

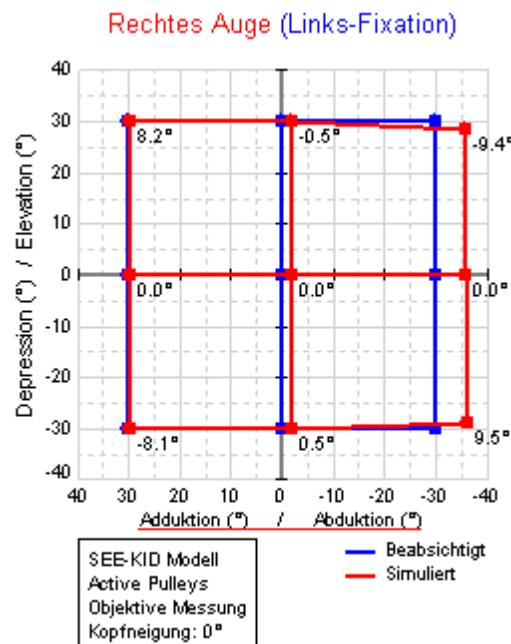
Wenn der Patient jetzt mit dem linken "normalen" Auge fixiert, ist zur Fixationsaufnahme nur eine "normale" Innervation erforderlich. Ist aber zum Beispiel der rechte m. rectus medialis paretisch, dann wird der grüne Projektionsstab des Patienten auf einen Punkt zeigen, der die korrekte Ausrichtung nicht erreicht (siehe Abbildung c).



Eine andere mögliche Abweichung tritt auf, wenn der Patient beispielsweise eine Abduzensparese auf dem rechten Auge hat und mit demselben Auge (roter Filter) fixiert. Dann

wird der "normale" m. rectus medialis des linken Auges exzessiv innerviert (Hering'sches Gesetz) und als Folge hiervon wird der grüne Zeiger des Patienten auf einen Punkt des Schirmes zeigen, der über die korrekte Ausrichtung hinaus geht (siehe Abbildung b). Nachdem der Test ausgeführt wurde, werden die relativen Positionen durch gerade Linien verbunden.

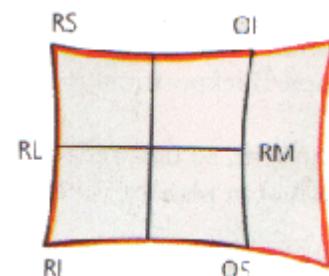
Das Ergebnis des Hess-Tests sind im Normalfall zwei Diagramme (Links- und Rechts-Fixation) mit den jeweils eingetragenen Blickrichtungspunkten, die wiederum die Abweichung und den Schielwinkel darstellen (siehe untenstehende Abbildung).



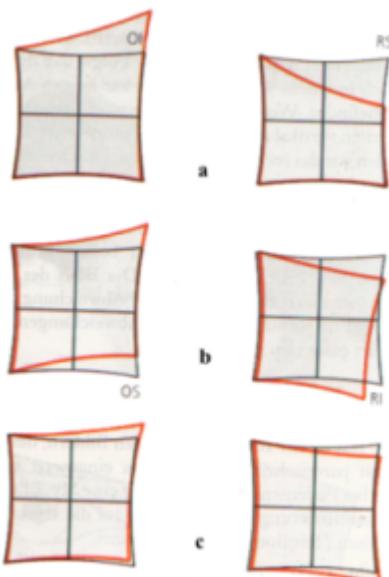
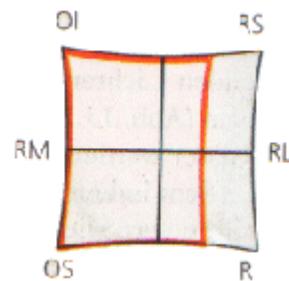
### Beispiel einer Links-Fixation beim Hess-Test

In diesem Diagramm stellen die blauen Punkte die vom Patienten zu fixierenden (beabsichtigten) Blickpositionen, und die roten Punkte die vom Patienten mit dem folgenden Auge erreichten Blickpositionen dar. Man kann an allen blauen bzw. roten Punkten dann die jeweilige Abweichung der binokularen Koordination feststellen. Gleichzeitig wird neben jedem roten (folgenden) Blickpositionspunkt die Torsion des folgenden Auges textuell angegeben, um auch eine Information über die Verrollung der Augen zu bekommen. Überblicksmäßig kann die Interpretation des Diagramms am Beispiel einer Parese des m. rectus medialis am rechten Auge folgendermaßen aussehen:

1. Die beiden Diagramme (Links-Fixation und Rechts-Fixation) werden verglichen.
2. Das kleinere Diagramm zeigt das Auge mit dem paretischen Muskel an.
3. Das größere Diagramm entspricht dem Auge mit dem überaktiven Muskel.



4. Das kleinere Diagramm zeigt seine größte Einschränkung in der Hauptwirkungsrichtung des paretischen Muskels (in der Abbildung der m. rectus medialis des rechten Auges)
5. Das größere Diagramm zeigt seine größte Expansion in der Hauptwirkungsrichtung des synergistischen Muskels (in der Abbildung der m. rectus lateralis des linken Auges).



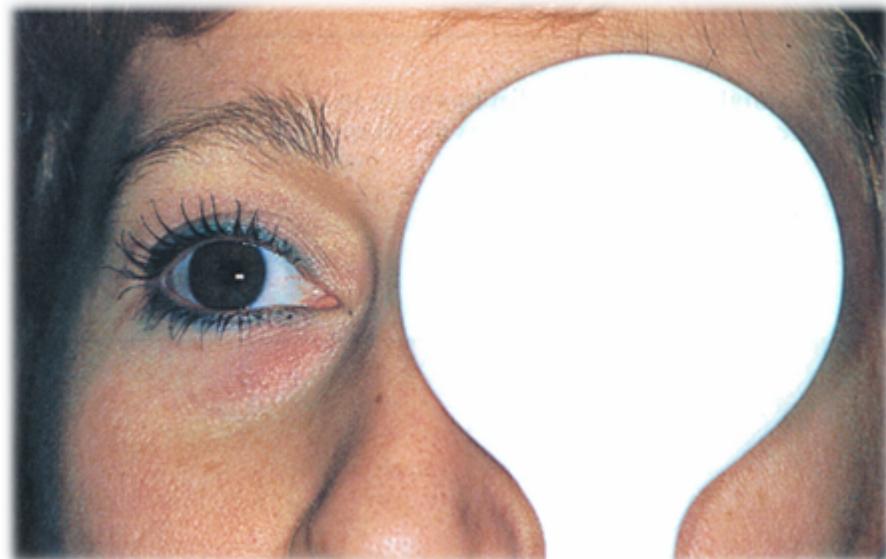
Veränderungen im Diagramm sind eine prognostische Hilfe. Beispielsweise wird eine Lähmung des m. rectus superior des rechten Auges eine verminderte Aktion des betroffenen Muskels und eine vermehrte des Synergisten (m. obliquus inferior des linken Auges) zeigen (siehe Abbildung a). Als Folge dieser großen Inkongruenz beider Diagramme ist die Diagnose direkt möglich. Wenn sich aber der paretische Muskel erholt hat, zeigen beide Diagramme wieder Normalwerte an. Bleibt die Parese jedoch bestehen, ändern sich die Formen beider Diagramme, und es entwickelt sich eine sekundäre Kontraktur des ipsilateralen Antagonisten (m. rectus inferior des rechten Auges), die sich auf dem Diagramm als Überaktion zeigt.

Dies kann zu einer sekundären (Hemmungs-)Lähmung des m. obliquus superior des linken Auges führen, was auf dem Diagramm als verminderte Aktion deutlich wird (siehe Abbildung b) und den falschen Eindruck erwecken könnte, dass der m. obliquus superior des linken Auges der ursprünglich gelähmte Muskel gewesen sei. Im Verlauf der Zeit werden die beiden Diagramme immer konkomitante, bis es unmöglich werden kann, zu bestimmen, welcher der primäre paretische Muskel gewesen ist (siehe Abbildung c).

Das SEE++ System enthält keine Simulation von Genesungsprozessen oder Heilungsverläufen. Es bietet aber trotzdem die Möglichkeit, solche Verläufe, genauso wie operative Eingriffe, in Form von Szenarien zu speichern und die Veränderungen durch die geeignete Wahl von Parametern im Kräftemodell nachzubilden.

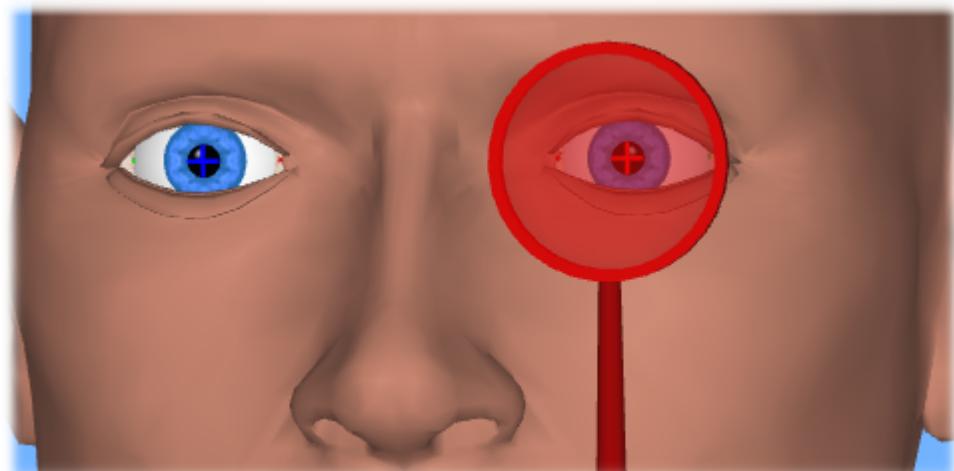
### 2.3.3 Cover Test

Der Cover Test oder Abdecktest wird zur objektiven Bestimmung der Art und des Ausmaßes einer Augenmuskelstörung durch Fixierenlassen eines nahen und eines fernen Punktes unter intermittierender oder abwechselnder Abdeckung der Augen durch ein Mattglas (oder die Hand) und durch Beobachtung der Einstellbewegungen des Auges nach Sichtfreigabe. Mit dem Cover Test können horizontale und vertikale Abweichungen festgestellt und gemessen werden, für die Messung von torsionellen Abweichungen ist er jedoch nicht geeignet. Torsionelle Bewegungen können nur an der Verdrehung von Bulbusgefäßen abgeschätzt werden.



**Abdecken des linken Auges mit einem undurchsichtigen Cover [Yanoff und Duker, 2003]**

Der erste Schritt bei der Ausführung des Cover Tests ist die Abdeckung eines Auges und die Beobachtung sowie anschließende Beurteilung der Bewegung des nicht abgedeckten Auges. Kommt es beim Abdecken des einen Auges zu einer Einstellbewegung des nicht abgedeckten Auges, so hat dieses vorher nicht an der Fixation teilgenommen, es hat also in der Regel geschielt. Mit dieser Untersuchungsmethode kann ein manifester Strabismus diagnostiziert werden. Bei der Untersuchung beider Augen ist darauf zu achten, das zwischenzeitlich beide Augen kurz aufgedeckt werden, um Fusion zu ermöglichen. Erst dann wird der Abdecktest am zweiten Auge durchgeführt. Man spricht vom unilateralen Abdecktest.



**Simulation des Cover Tests mit SEE++**

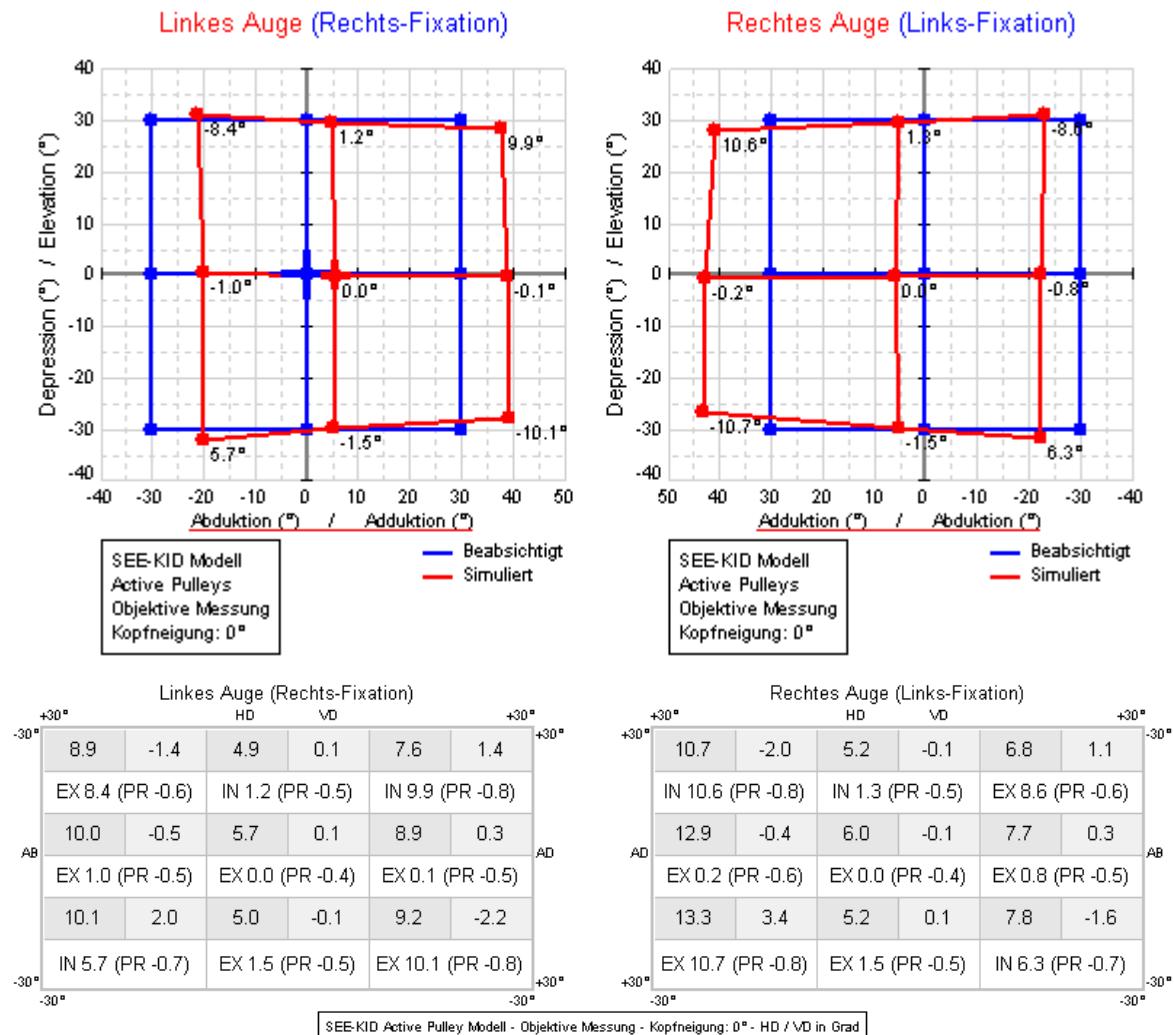
Wenn beim unilateralen Abdecktest keine Einstellbewegung eines Auges feststellbar ist (zentrale Fixation ist Voraussetzung), folgt der wechselseitige (alternierende) Abdecktest, bei dem die Abdeckscheibe (ohne zwischenzeitliche Pause) von einem Auge vor das andere Auge geführt wird. Sind hierbei Einstellbewegungen feststellbar, so liegt eine Phorie (latentes Schielen) vor. Die Diagnose einer Phorie wird durch den Aufdecktest bestätigt, bei dem ein zuvor abgedecktes

Auge wieder freigegeben wird. Hier wird nun die Bewegung des freigegebenen Auges beobachtet. Führt dieses eine Bewegung aus, so liegt ein latentes Schielen vor. Latentes Schielen ist ohne Abdeckung nicht erkennbar.

SEE++ kann sowohl den unilateralen als auch den alternierenden Cover Test mit Hilfe des biomechanischen Modells simulieren. Außerdem ist die Simulation von manifestem und latentem Strabismus möglich, es muss jedoch vom Benutzer vorab festgelegt werden, welche Schielform das System simulieren soll. Schließlich kann noch das bevorzugt fixierende Auge festgelegt werden, das bestimmt, welches Auge vom SEE++ System als fixierendes Auge gesetzt wird nachdem das Cover von einem Auge entfernt wurde oder wenn kein Auge abgedeckt ist.

### 2.3.4 Simulation

SEE++ simuliert mit Hilfe des biomechanischen Modells den binokularen Hess-Lancaster Test. Die Ergebnisse des Tests können in Form von Hess-Diagrammen (Links- und Rechts-Fixation) und in Form einer textuellen Darstellung (Schielwinkeldiagramm) ausgegeben werden.



Hess-Diagramme und Schielwinkeldiagramm (Rechts- und Links-Fixation)

Der Unterschied der beiden Darstellungen liegt in der Angabe der Abweichungswerte. Während das Hess-Diagramm einen visuellen Eindruck der pathologischen Situation vermittelt und für beliebig viele Blickpositionen errechnet werden kann, wird das Schielwinkeldiagramm als textuelle Darstellung der Abweichungswerte in den neun Hauptblickrichtungen angegeben.

Im Schielwinkeldiagramm werden für jede Blickrichtung in der Rechts- und Links-Fixation die jeweiligen Abweichungen eingetragen, wobei hier HD für Horizontalabweichung und VD für Vertikalabweichung steht. In den jeweils weißen Feldern wird die Exzyklo- bzw. Inzyklotorsionsabweichung (EX bzw. IN) und die Protrusion in mm (PR; negative Protrusion = Retraktion) angegeben. Alle Angaben außer der Protrusion sind in Grad, wobei für HD und VD eingestellt werden kann, ob die Werte in Grad oder in Prismendioptrien (PD) angegeben werden sollen.

Die Vorzeichen für die horizontale Abweichung sind wie folgt definiert:

- +HD: Zur Nase hin (Adduktion)
- -HD: Von der Nase weg (Abduktion)

Die Vorzeichen für die vertikale Abweichung sind für Rechts- und Links-Fixation verschieden definiert:

#### **Rechts-Fixation**

- +VD: Abweichung des linken Auges nach unten (Depression)
- -VD: Abweichung des linken Auges nach oben (Elevation)

#### **Links-Fixation**

- +VD: Abweichung des rechten Auges nach oben (Elevation)
- -VD: Abweichung des rechten Auges nach unten (Depression)

### **Verschiedene Arten von Torsion (Zyklorotation)**

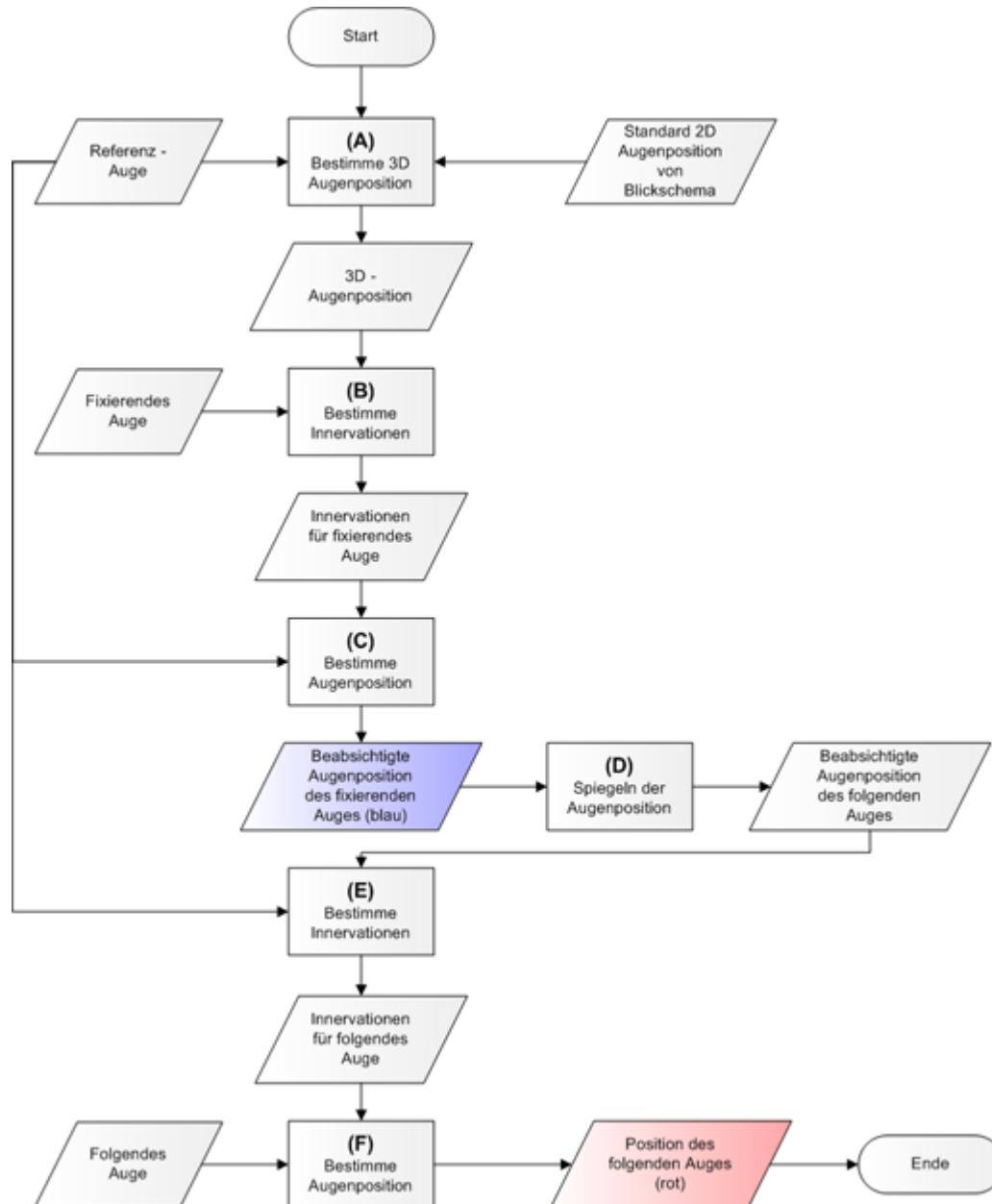
Die in den Hess-Diagrammen und im Schielwinkeldiagramm von SEE++ angegebenen Torsionen sind abhängig von der im Programm gewählten Art der Torsionsmessung. Standardmäßig werden die Torsionen so in den Diagrammen eingezeichnet, wie sie bei einer objektiven Messung am Patienten in der Klinik gemessen werden. Objektive Messung bedeutet in diesem Fall, dass die Augenposition inklusive Torsion direkt am Patienten gemessen wird (z.B. mit einem VOG (Video-Okulographie) System oder mit Search Coils) ohne dass der Patient irgendwelche Angaben machen muss. Wird in SEE++ nun auf subjektive Torsionsmessung umgestellt, dann werden die Torsionen so ausgegeben, wie sie der Patient bei einem subjektiven Test (z.B. Tangentenskala, Harms-Wand) angibt. Diese Torsionswerte entsprechen dann der Differenz, die der Patient zwischen dem einen und dem anderen Auge wahrnimmt (Zyklodeviation), da die "normale" Listing'sche Torsion (z.B. 8.2 Grad bei Blick in 30 Grad Adduktion und 30 Grad Elevation), die auch bei einem gesunden Auge vorhanden ist (siehe [Listing'sches Gesetz](#)<sup>[27]</sup>), subjektiv vom Patienten nicht wahrgenommen wird. Um in der Klinik gemessene Torsionswerte mit simulierten Torsionen zu vergleichen muss also die entsprechende Torsionsmessung im Programm ausgewählt werden.

Neben der Listing'schen Torsion berechnet SEE++ auch noch die Gegenrollung, welche bei einer Neigung des Kopfes in Richtung der linken oder rechten Schulter entsteht (VOR - vestibulookulären Reflex). Dazu wird auf Basis der aktuellen Neigung des Kopfes des "virtuellen" Patienten die entsprechende Gegenrollung berechnet und mit der Listing'schen Torsion bzw. mit

der Zyklodeviation (abhängig von der gewählten Torsionsmessung) kombiniert. Die so berechnete kombinierte Torsion wird dann in den verschiedenen Diagrammen angezeigt. Im [Stateviewer](#)<sup>[120]</sup> haben sie außerdem die Möglichkeit, die Komponenten, aus denen sich die in den Diagrammen angezeigte Torsion zusammensetzt, einzeln abzulesen.

## Simulationsablauf

Manchmal ist es von Vorteil, über die internen Abläufe der Simulation von SEE++ Bescheid zu wissen, wenn man ein Simulationsergebnis interpretiert. Die folgende Abbildung zeigt den schematischen Ablauf der Simulation für den Hess-Lancaster Test, den SEE++ für jede Blickposition aus dem zu fixierenden Blickschema durchführt.



Simulationsablauf beim Hess-Lancaster Test (basierend auf Orbit™, siehe [Miller, 1999])

Ziel ist die Ermittlung der Abweichungen des folgenden Auges von den Fixationspositionen des fixierenden Auges. Dabei können fixierendes und folgendes Auge jeweils vertauscht werden, das heißt entweder ist das rechte Auge fixierend und das linke Auge folgend oder das linke Auge ist fixierend und das rechte Auge folgend. Dies ermöglicht die Berechnung der Rechts- bzw. Links-Fixation.

- (A) Ausgehend von einem gesunden Referenzauge und einer vorgegebenen Fixationsposition wird eine vollständige 3D-Augenposition ermittelt.

Bei der Vorgabe einer Fixationsposition kann natürlich nur Ab-/Adduktion und Elevation bzw. Depression angegeben werden. Die Spezifikation einer Torsion ist nicht möglich, da ein Patient auch üblicherweise nicht bewusst einen bestimmten Torsionswinkel einstellen kann. Dies erfordert die Bestimmung der vollständigen Position des fixierenden Auges und wird errechnet, indem mit Hilfe eines Referenzauges solange Innervationen für Augenpositionen mit Listing'scher Torsion generiert werden, bis die Position des fixierenden Auges mit diesen Innervationen und der gewünschten 2D-Augenposition korreliert.

- (B) Aus der ermittelten 3D-Augenposition und dem fixierenden Auge wird das Innervationsmuster für alle sechs Augenmuskeln berechnet, welches notwendig ist, um das fixierende Auge in die gewünschte Position zu bringen.
- (C) Diese Innervationen werden danach in das Referenzauge gegeben, um dessen Augenposition zu ermitteln. Dies bedeutet, wenn das fixierende Auge pathologisch ist, dass die Ermittlung der Position des Referenzauges eine andere Augenposition ergibt als zuvor. Das Ergebnis dieser Berechnung ist dann die beabsichtigte Fixationsposition des fixierenden Auges.
- (D) In diesem Schritt wird die beabsichtigte Fixationsposition des fixierenden Auges gespiegelt, um die beabsichtigte Position des folgenden Auges zu erhalten. Da man Innervationen nicht spiegeln kann (der kontralaterale Synergist des rechten m.rectus lateralis ist der linke m.rectus medialis und funktioniert möglicherweise nicht identisch), ist dieser "Umweg" über das Spiegeln der Augenposition notwendig. Dies ist möglich, da Ab-/Adduktion und Torsion zwischen den beiden Augen unterschiedliche Vorzeichen besitzen, um dieselbe Richtung anzugeben.
- (E) Nun werden aus der gespiegelten Augenposition die Innervationen des Referenzauges ermittelt, um anschließend die Position des folgenden Auges zu berechnen.
- (F) Die Innervationen des Referenzauges bestimmen nun die Position des folgenden Auges, jene Position, die im Hess-Diagramm als roter Punkt aufscheinen wird.

## Literatur

- [Brugger, 2000] P.C. Brugger. *Der 3D Anatomie Atlas*. Weltbild Verlag GmbH, Augsburg, Deutsche Erstausgabe, 2000.
- [Buchberger und Mayr, 2000] M. Buchberger und H. Mayr. SEE-KID: Software Engineering Environment for Knowledge-based Interactive Eye Motility Diagnostics (in Englisch). In *Proceedings of International Symposium on Telemedicine, Gothenburg, Sweden*, 2000.
- [Clark et. al., 2000] R.A. Clark, Miller J.M. und J.L. Demer. Three-dimensional location of human rectus pulleys by path inflections in secondary gaze positions. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41(12): 3787–3797, November 2000.
- [Demer et. al., 2000] J.L. Demer, S.Y. Oh und V. Poukens. Evidence for Active Control of Rectus Extraocular Muscle Pulleys. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41(6):1280–1290, May 2000.
- [Günther, 1986] S. Günther. *Die modellmäßige Beschreibung der Augenmuskelwirkung*. Diplomarbeit, Universität Hamburg, Universitätskrankenhaus-Eppendorf, Abteilung für medizinische Optik, 1986.
- [Kaufmann, 1995] H. Kaufmann. *Strabismus*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 1995.
- [Miller 1999] J.M. Miller. Orbit™ 1.8 Gaze Mechanics Simulation Users Manual. Eidactics, Suite 404, 1450 Greenwich Street, San Francisco, CA 94109, USA.
- [Miller und Demer, 1996] J.M. Miller und J.L. Demer. Uses of Biomechanical Modeling (in Englisch). In *Proceedings of CLADE, Buenos Aires*, 1996.
- [Miller und Demer, 1999] J.M. Miller und J.L. Demer. Clinical Applications of Computer Models for Strabismus. In eds Rosenbaum, A and Santiago, AP, *Clinical Strabismus Management*. Philadelphia, W. B. Saunders.
- [Pschyrembel, 1994] Pschyrembel. *Klinisches Wörterbuch*. Nikol Verlagsgruppe, Hamburg, 257. Auflage, 1994.
- [Schäffler und Schmidt, 1998] A. Schäffler und S. Schmidt. *Biologie, Anatomie und Physiologie*. Urban und Fischer Verlag, München, 3., erweiterte Auflage, 1998.
- [Yanoff und Duker, 2003] M. Yanoff und J.S. Duker. *Ophthalmology*. Mosby, London, 2. Auflage, 2003.

**Teil**



### 3 Einführende Beispiele

Dieser Abschnitt umfasst drei verschiedene Beispiele, die mit Hilfe von SEE++ modelliert wurden:

1. Abduzensparese - als Beispiel für eine einseitige Muskelparese eines geraden Augenmuskels
2. Trochlearisparese - als Beispiel für eine Parese eines schrägen Augenmuskels
3. Supranukleäre Augenbewegungsstörung - als Demonstration für innervationell bedingte Blicklähmungen

Diese Beispiele sind als Einführung in das System konzipiert und sollten, auch ohne mit dem Programm bestens vertraut zu sein, nachvollzogen werden können.

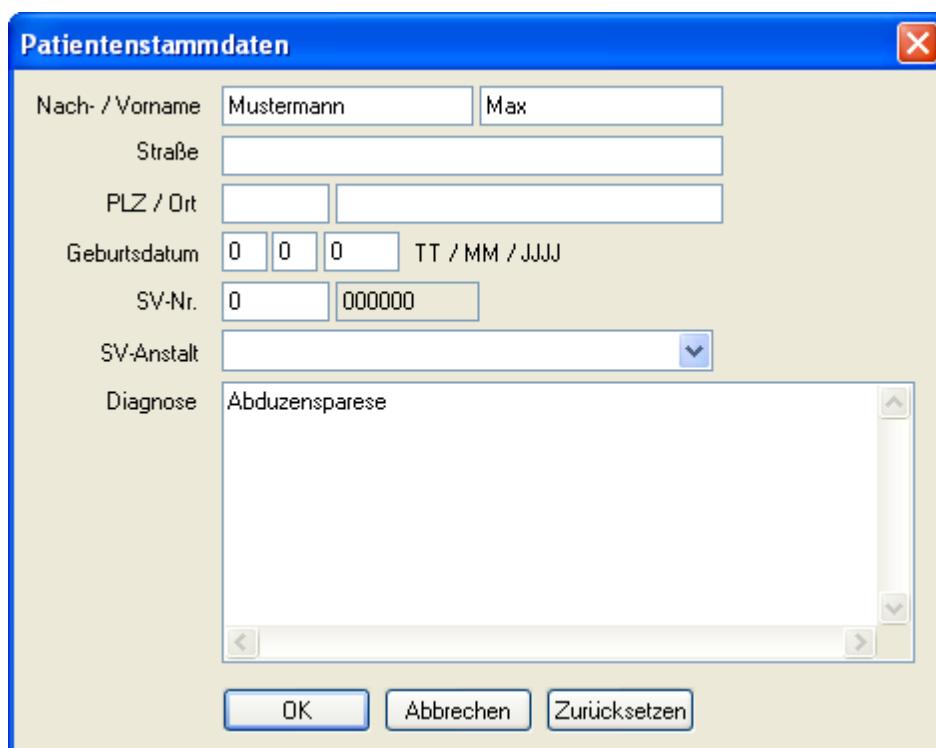
### 3.1 Abduzensparese

Für das erste Beispiel soll eine Abduzensparese am rechten Auge simuliert werden. Die Abduzensparese ist eine inkomitante Schielform, das heißt der Schielwinkel nimmt in die Hauptfunktionsrichtung des betroffenen Muskels - m. rectus lateralis - in Richtung Abduktion zu. Klinisch zeigt der Patient zunehmend Doppelbilder (ungekreuzt) in Richtung Abduktion, also bei Rechtsblick. Mögliche Ursachen für das Auftreten einer Abduzensparese sind zum Beispiel Traumata des peripheren Nerven (das ist der gesamte Nerv exklusive dem Kern) ausgelöst unter anderem durch eine Schädelbasisfraktur. Dadurch kann eine Schädigung des Nervs in seinem Verlauf vom Kerngebiet weg (im Hirnstamm) bis zur Insertion hin statt finden. Bei einer Schädigung direkt im Bereich des Kerngebiets besteht die Möglichkeit, dass auch die in der Nachbarschaft liegenden Interneurone (Verbindungen vom Kern des Nervus Abducens zum konjugierten Muskel der anderen Seite → m. rectus medialis) verletzt werden. Dieser Fall soll in diesem Beispiel nicht angenommen werden.

#### Simulation der Pathologie

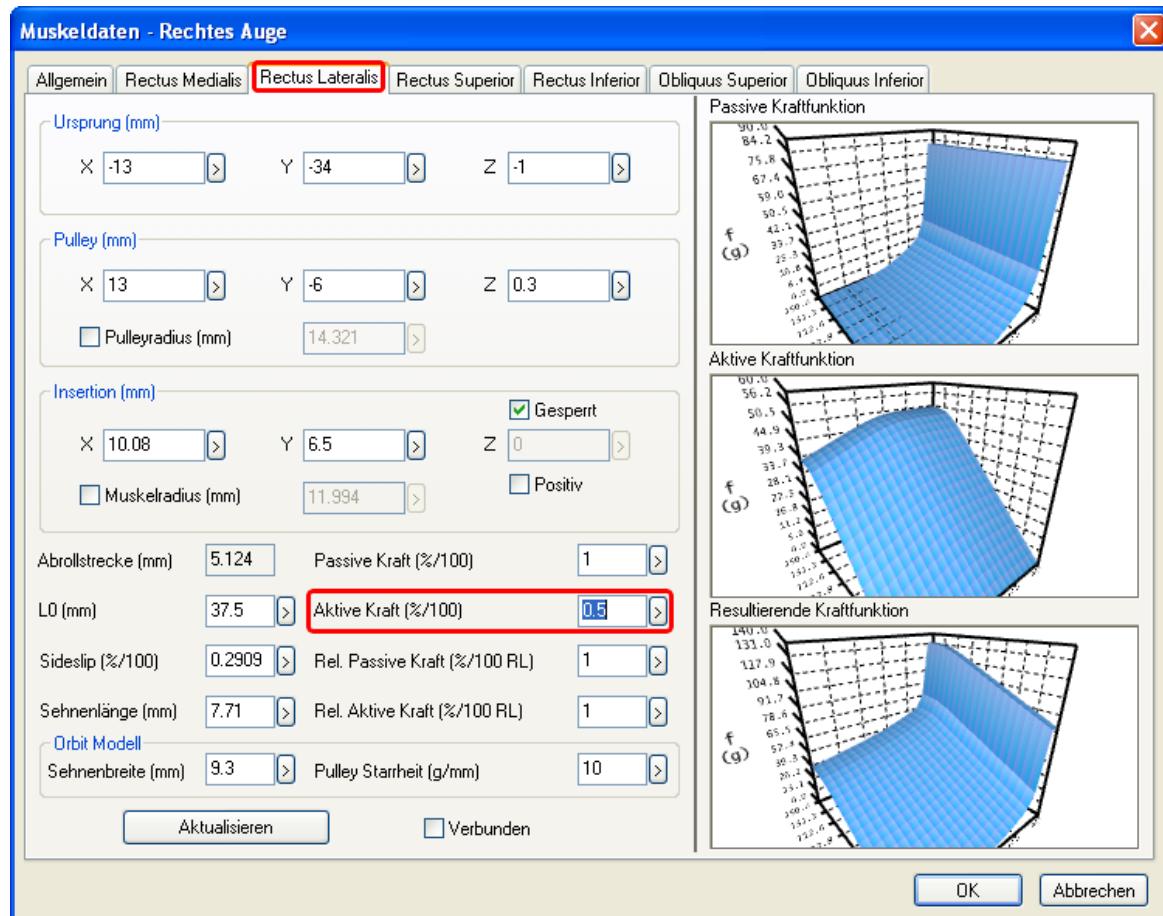
In Folge der Nervenschädigung wird die kontraktile Kraft des Muskels vermindert. Dies soll die Grundlage für die Simulation darstellen.

Als erster Schritt wird ein neuer Patient angelegt. Dazu dient der Menüpunkt "Patient" - "Neuer Patient", welcher folgenden Dialog anzeigt:



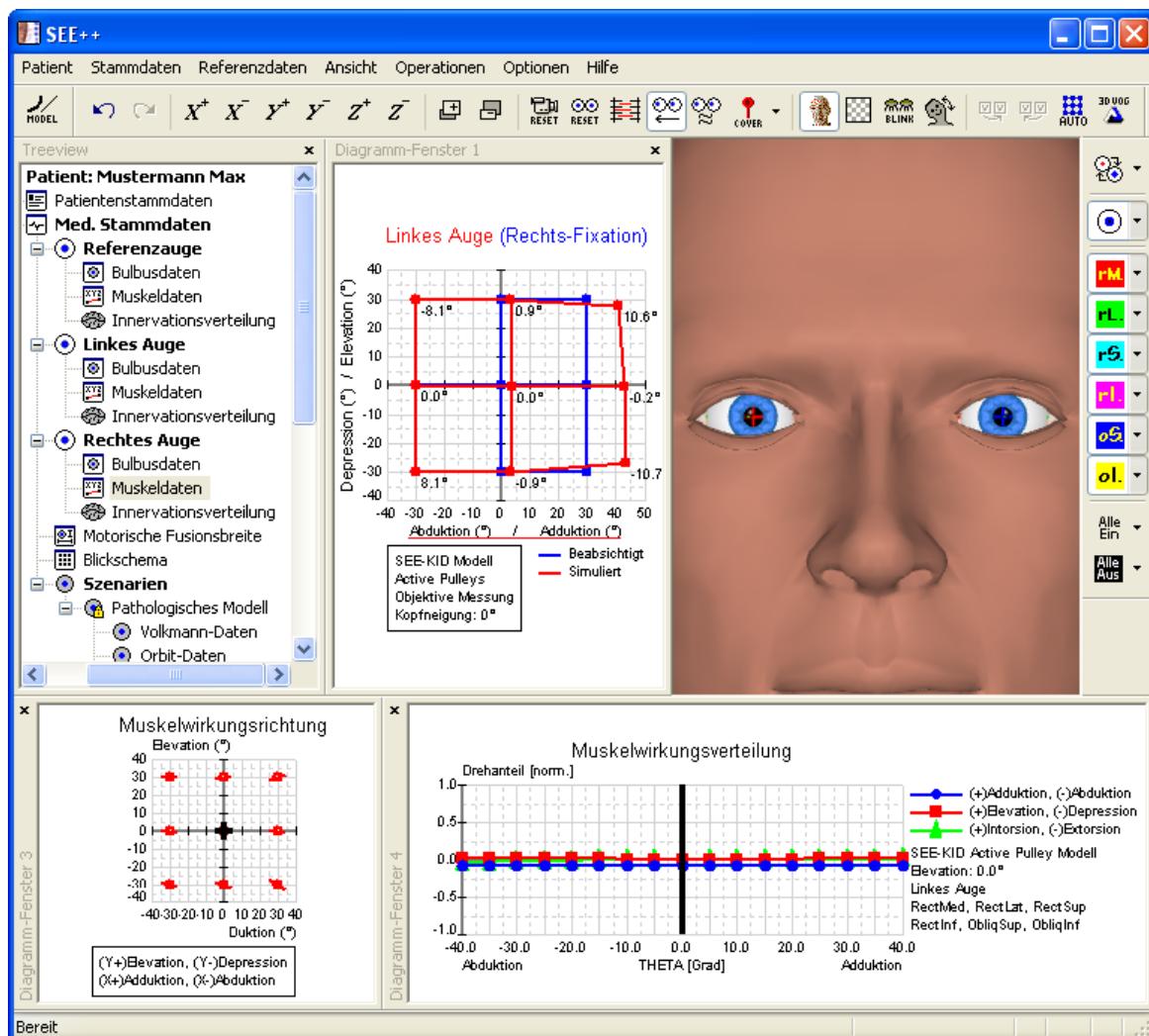
In diesem Dialog können Daten über den Patienten eingegeben werden. Nach dem Klicken auf den "OK" Button ist der neue Patient angelegt und es kann mit der Simulation begonnen werden. Um die Abduzensparese erfolgreich simulieren zu können, muss die aktive Kraft des m. rectus lateralis des rechten Auges vermindert werden. Diese Kraftverminderung kann in SEE++ im Muskeldaten-Dialog durchgeführt werden, welcher entweder durch den Menüpunkt "Stammdaten" - "Rechtes Auge" - "Muskeln", oder durch den Baum im linken Teil des

Programmfensters über den Punkt "Muskeleinstellungen" in der Sektion für das rechte Auge aufgerufen wird. In dem erscheinenden Fenster gibt es jetzt im oberen Bereich mehrere "Karteikarten", nämlich eine mit allgemeinen Parametern und eine für jeden Muskel. Durch einen Klick auf die Karteikarte "Rectus Lateralis" sieht der Dialog nun so aus:

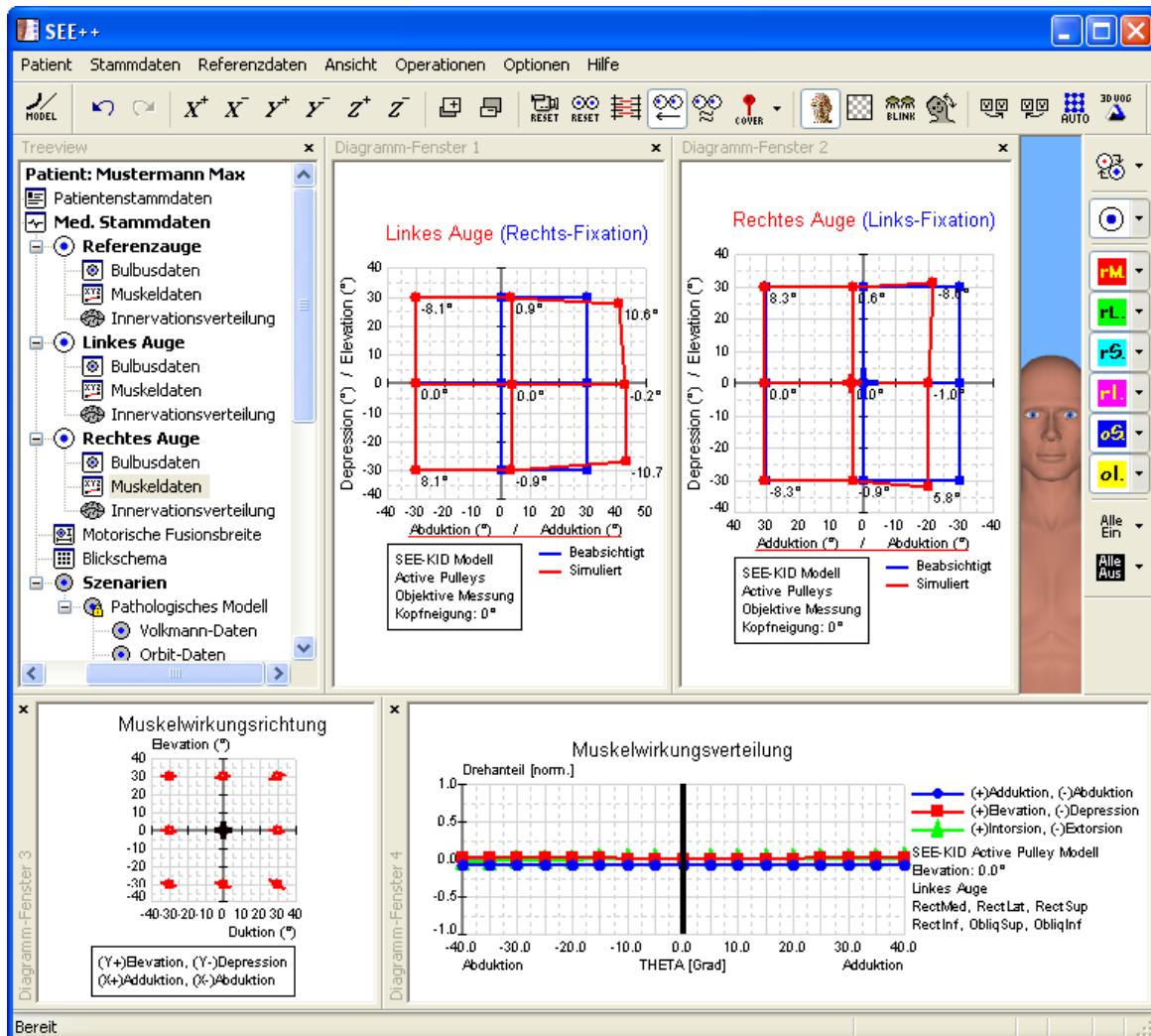


In dem Feld "**Aktive Kraft**" kann jetzt der Muskel geschwächt werden indem statt 1 %/100 dort **0.5 %/100** eingetragen wird und der Dialog mit einem Klick auf "OK" geschlossen wird.

Nun wird das Hess-Diagramm neu berechnet, welches die Änderung im Muskeldaten-Dialog sofort berücksichtigt. Standardmäßig wird das Hess-Diagramm für das linke Auge bei Rechts-Fixation im Diagramm-Fenster 1 angezeigt. Nachdem die Berechnung des Hess-Diagramms erfolgreich abgeschlossen wurde sieht man folgendes:



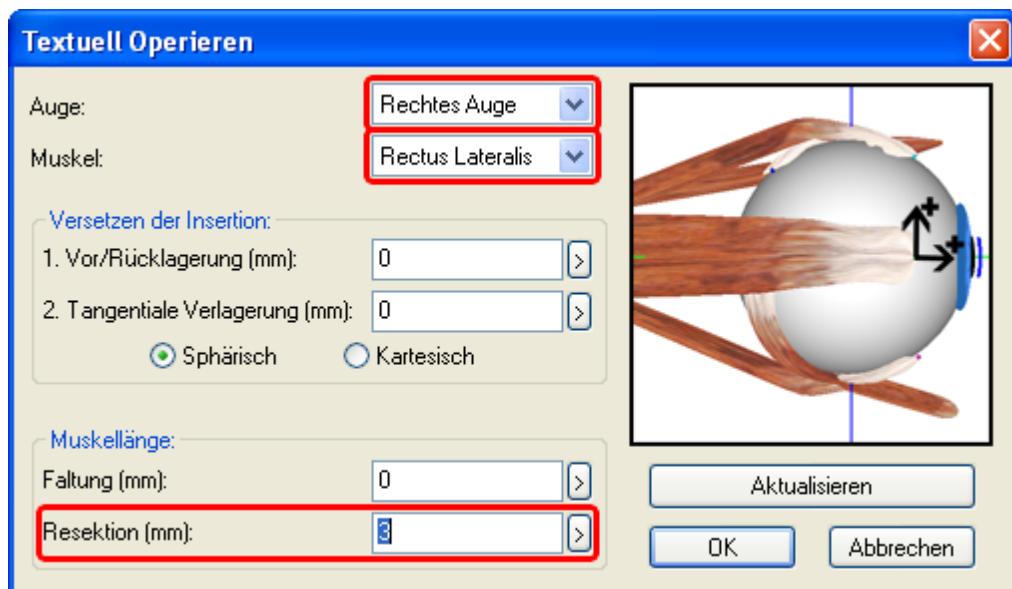
In dem berechneten Hess-Diagramm sieht man nun deutlich die überschießende Reaktion des **folgenden linken Auges** bei **Rechts-Fixation** in die Adduktion. Um das zweite Hess-Diagramm für das rechte Auge bei Links-Fixation anzuzeigen, genügt ein Klick auf das Menü "Ansicht" - "Diagramm-Fenster 2". Im nun eingeblendeneten Diagramm-Fenster 2 wird standardmäßig das Hess-Diagramm für das rechte Auge bei Links-Fixation angezeigt. Sollte dies nicht der Fall sein, dann klicken sie mit der rechten Maustaste in eines der Diagramm-Fenster und wählen sie in dem Menü das gewünschte Diagramm aus, indem sie es mit der linken Maustaste anklicken. Wenn man nun die Größe der beiden Diagramme entsprechend anpasst, indem man mit der Maus auf die Trennlinie zwischen den Diagrammen klickt und sie mit der gedrückten linken Maustaste verschiebt, so erhält man folgendes Bild:



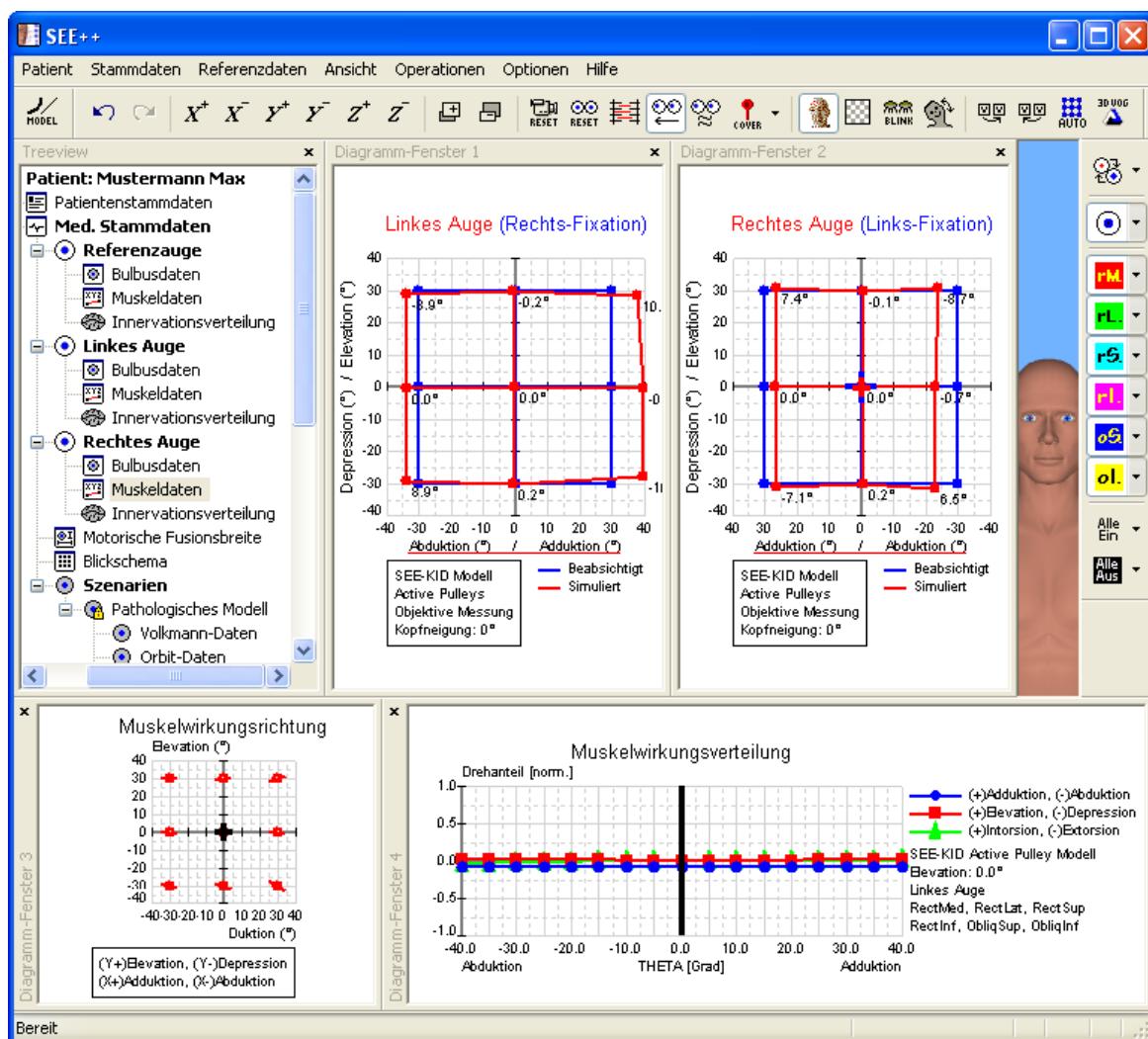
Im Hess-Diagramm für das **rechte Auge** bei **Links-Fixation** sieht man nun deutlich eine Einschränkung der Abduktion des **rechten Auges**. Anhand der Ergebnisse der Simulation, die in den Hess-Diagrammen dargestellt werden, kann die Simulation der Abduzensparese als abgeschlossen angesehen werden.

## Operative Korrektur

Für die operative Korrektur der simulierten Abduzensparese ist eine Stärkung des paretischen Muskels notwendig. Die Operation erfolgt durch Verkürzung (Resektion) des betroffenen m. rectus lateralis. Bei einer Resektion wird die Insertion eines Muskels vom Bulbus abgetrennt, ein Stück der Sehne wird abgeschnitten und anschließend wird der somit verkürzte Muskel wieder an der selben Stelle am Bulbus fixiert. Um in SEE++ einen Muskel zu verkürzen wird der Dialog "Textuell Operieren" verwendet, der mit dem Menüpunkt "*Operationen*" - "*Textuell Operieren*" aufgerufen wird. Nachdem der Dialog geöffnet wurde, werden zunächst das gewünschte Auge und der gewünschte Muskel ausgewählt, in diesem Fall das rechte Auge und der m. rectus lateralis. Nun wird eine Resektion des gewählten Muskels von 3 mm durchgeführt indem im Feld "**Resektion (mm)**" der entsprechende Wert eingetragen wird. Das folgende Bild zeigt den Dialog mit der eingetragenen Resektion:



Nachdem der Dialog mit einem Klick auf den Button "OK" geschlossen wurde, führt das Programm eine Neuberechnung der beiden Hess-Diagramme durch. Ist die Berechnung fertig gestellt, so ergibt sich folgendes Bild:



Wenn man sich nun die beiden Hess-Diagramme ansieht, so kann man erkennen, dass das Ziel der operativen Korrektur, nämlich die doppelbildfreie Zone in die Primärposition zu bekommen, ohne dabei wesentlich die Adduktion zu Schwächen, erreicht wurde. Eine vollständige "Heilung" der Parese durch Änderung der innervationellen Komponente im Modell ist klinisch allerdings nicht möglich, da ein operativer Eingriff an der Innervation des Muskels nichts verändern kann.

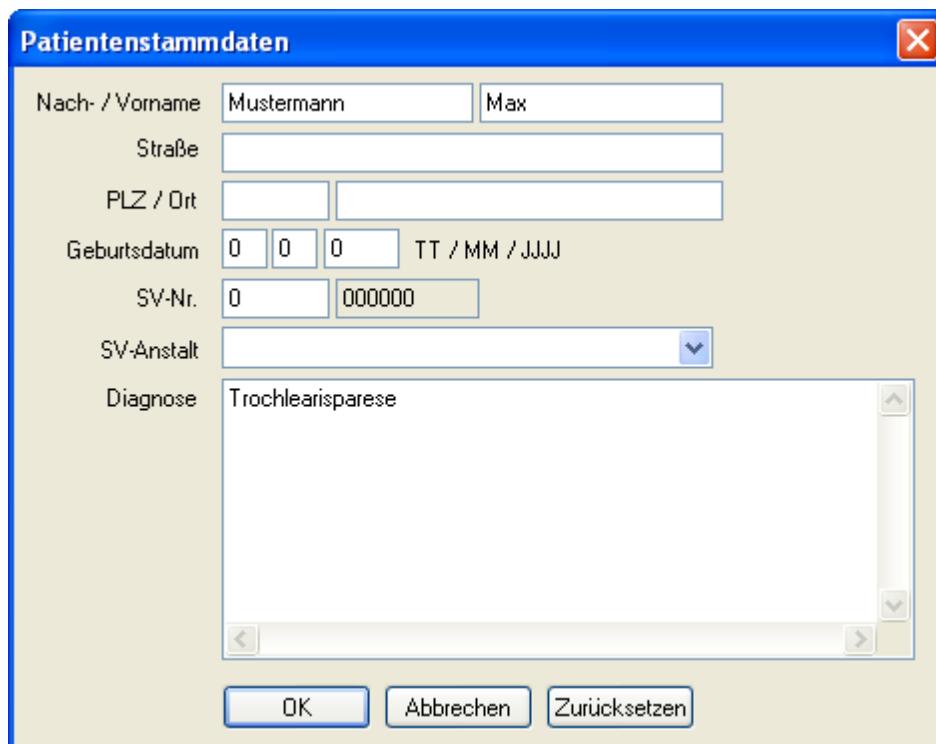
## 3.2 Trochlearisparese

Im zweiten Beispiel soll eine m. obliquus superior Parese am rechten Auge simuliert werden. Auch dies ist ebenso wie die Abduzensparese eine inkomitante Schielform, das heißt der Schielwinkel nimmt in der Hauptfunktionsrichtung des betroffenen Muskels zu. Die vertikale Höhenabweichung nimmt entsprechend in Richtung Adduktion und Depression zu, ebenso nimmt in Abduktion die Auswärtsrollung (Extorsion) zu. Die horizontale Komponente wird im Sinne einer mehr oder weniger konvergenten Abweichung (Einwärts-schielstellung) beeinflusst (horizontale Inkomitanz, A-Phänomen). Auch hier kann die Ursache ähnlich der Abduzensparese unter anderem ein Schädel-Hirn-Trauma sein. Der ebenfalls lange Weg des Nervus Trochlearis ist wie der Verlauf des Nervus Abducens für eine traumatische Verletzung sehr anfällig. Klinisch nimmt der Patient in der Regel eine Kopfzwangshaltung (Linksneigung) zum Ausgleich der Auswärtsrollung (Extorsion) und zur Aufrechterhaltung des binokularen Sehens ein. Höhenverschobene und auswärtsverkippte Doppelbilder nehmen im Abwärtsblick und in Konvergenz zu (Hauptfunktionsbereich des Muskels).

### Simulation der Pathologie

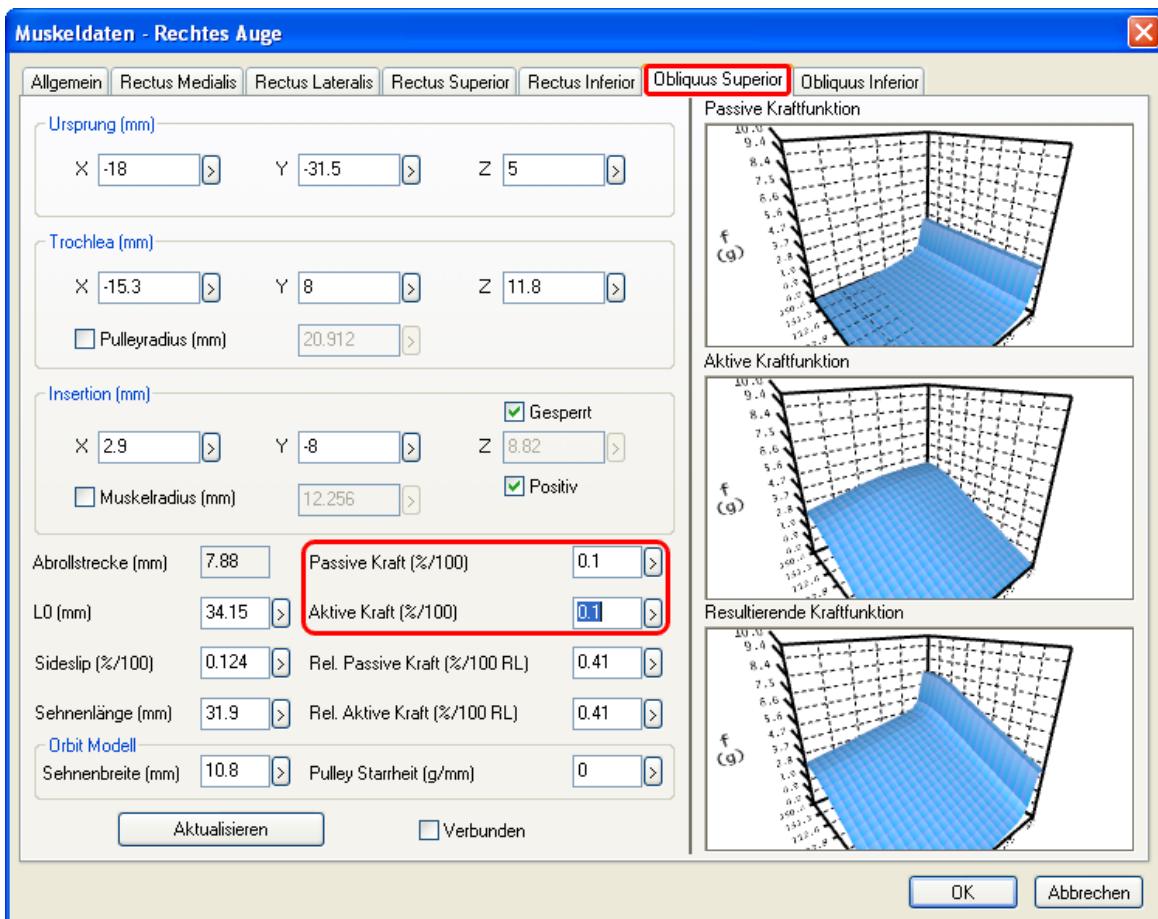
Ähnlich der Simulation der [bereits beschriebenen Abduzensparese](#)<sup>59</sup> ist auch hier in Folge der Nervenschädigung die kontraktile Kraft des Muskels zu vermindern sowie zusätzlich die elastischen Elemente zu verändern. Dies soll die Grundlage für die Simulation darstellen.

Als erster Schritt wird ein neuer Patient angelegt. Dazu dient der Menüpunkt "Patient" - "Neuer Patient", welcher folgenden Dialog anzeigt:



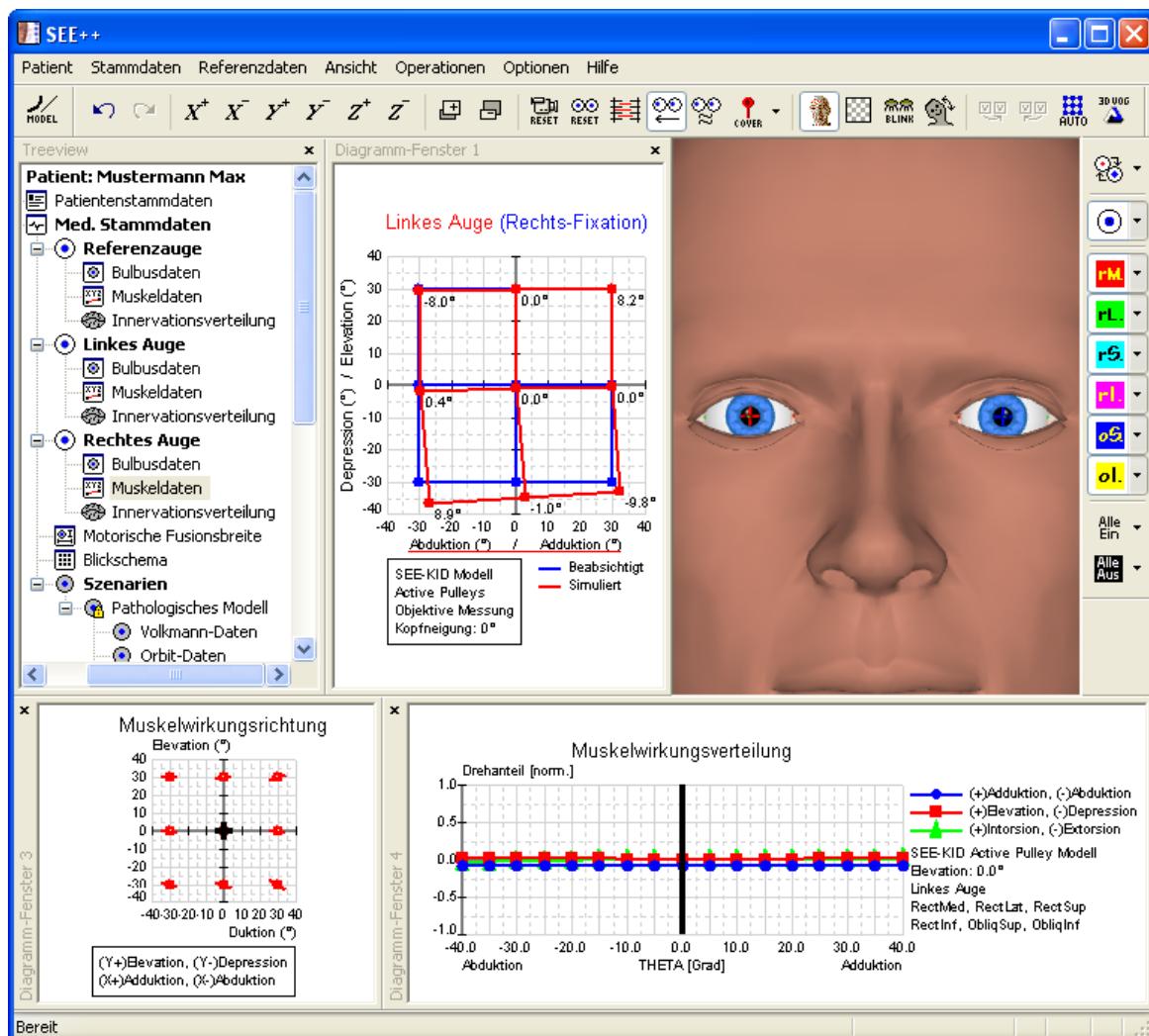
In diesem Dialog können Daten über den Patienten eingegeben werden. Nach dem Klicken auf den "OK" Button ist der neue Patient angelegt und es kann mit der Simulation begonnen werden. Um die Trochlearisparese erfolgreich simulieren zu können, muss die Kraft des m. obliquus superior des rechten Auges vermindert werden. Diese Kraftverminderung kann in SEE++ im

Muskeldaten-Dialog durchgeführt werden, welcher entweder durch den Menüpunkt "Stammdaten" - "Rechtes Auge" - "Muskeln", oder durch den Baum im linken Teil des Programmfensters über den Punkt "Muskeldaten" in der Sektion für das rechte Auge aufgerufen wird. In dem erscheinenden Fenster gibt es jetzt im oberen Bereich mehrere "Karteikarten", nämlich eine mit allgemeinen Parametern und eine für jeden Muskel. Durch einen Klick auf die Karteikarte "Obliquus Superior" sieht der Dialog nun so aus:

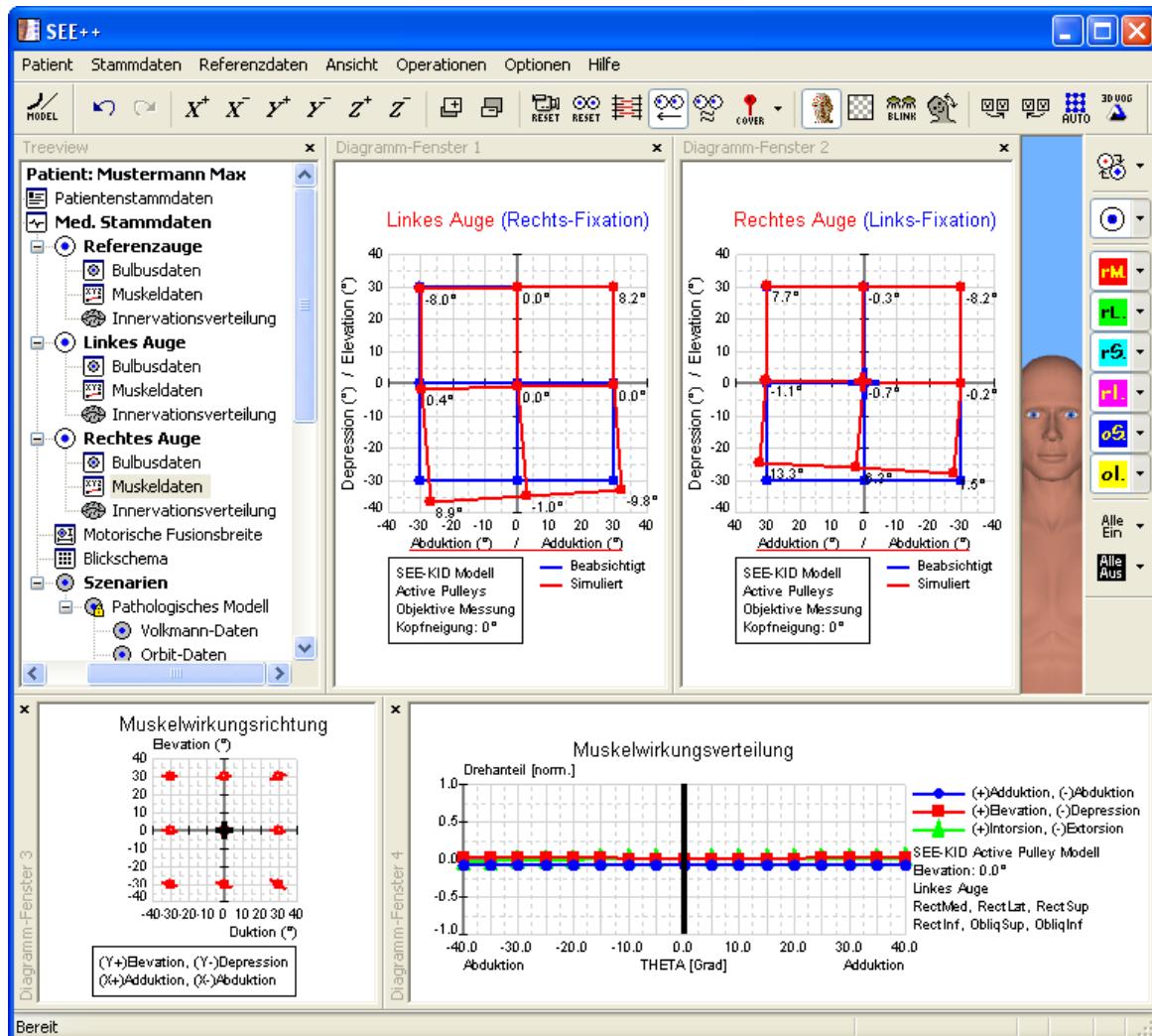


In den Feldern "Passive Kraft" und "Aktive Kraft" kann jetzt die jeweilige Kraftkomponente des Muskels geschwächt werden indem statt 1 %/100 dort jeweils **0.1 %/100** eingetragen wird und der Dialog mit einem Klick auf "OK" geschlossen wird.

Nun wird das Hess-Diagramm neu berechnet, welches die Änderungen im Muskeldaten-Dialog sofort berücksichtigt. Standardmäßig wird das Hess-Diagramm für das linke Auge bei Rechts-Fixation im Diagramm-Fenster 1 angezeigt. Nachdem die Berechnung des Hess-Diagramms erfolgreich abgeschlossen wurde sieht man folgendes:



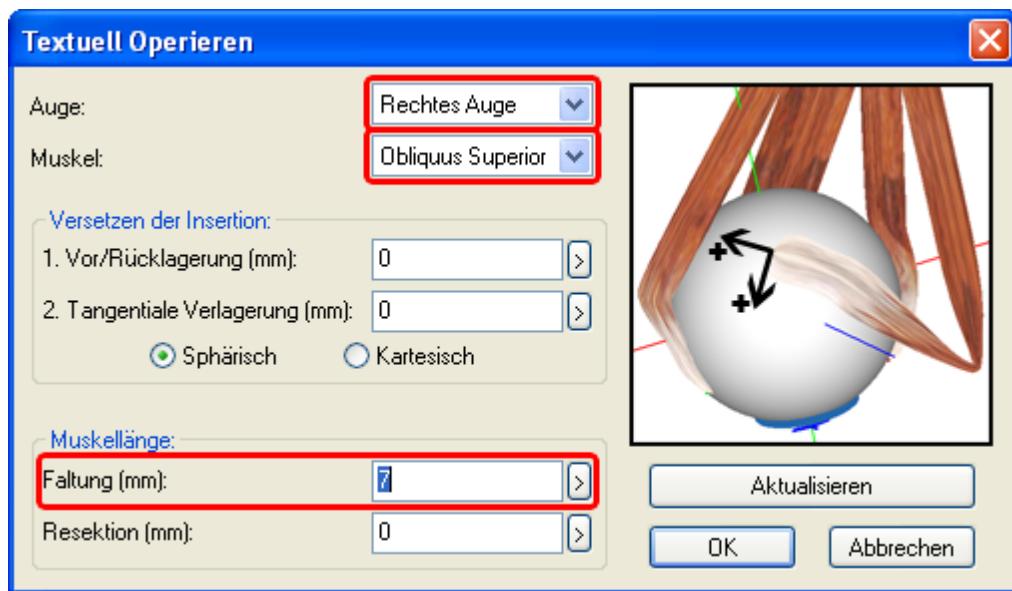
In dem berechneten Hess-Diagramm sieht man nun deutlich die überschießende Reaktion des m. rectus inferior des **linken Auges** bei **Rechts-Fixation**. Um das zweite Hess-Diagramm für das rechte Auge bei Links-Fixation anzuzeigen, genügt ein Klick auf das Menü "Ansicht" - "Diagramm-Fenster 2". Im nun eingeblendeten Diagramm-Fenster 2 wird standardmäßig das Hess-Diagramm für das rechte Auge bei Links-Fixation angezeigt. Sollte dies nicht der Fall sein, dann klicken sie mit der rechten Maustaste in eines der Diagramm-Fenster und wählen sie in dem Menü das gewünschte Diagramm aus, indem sie es mit der linken Maustaste anklicken. Wenn man nun die Größe der beiden Diagramme entsprechend anpasst, indem man mit der Maus auf die Trennlinie zwischen den Diagrammen klickt und sie mit der gedrückten linken Maustaste verschiebt, so erhält man folgendes Bild:



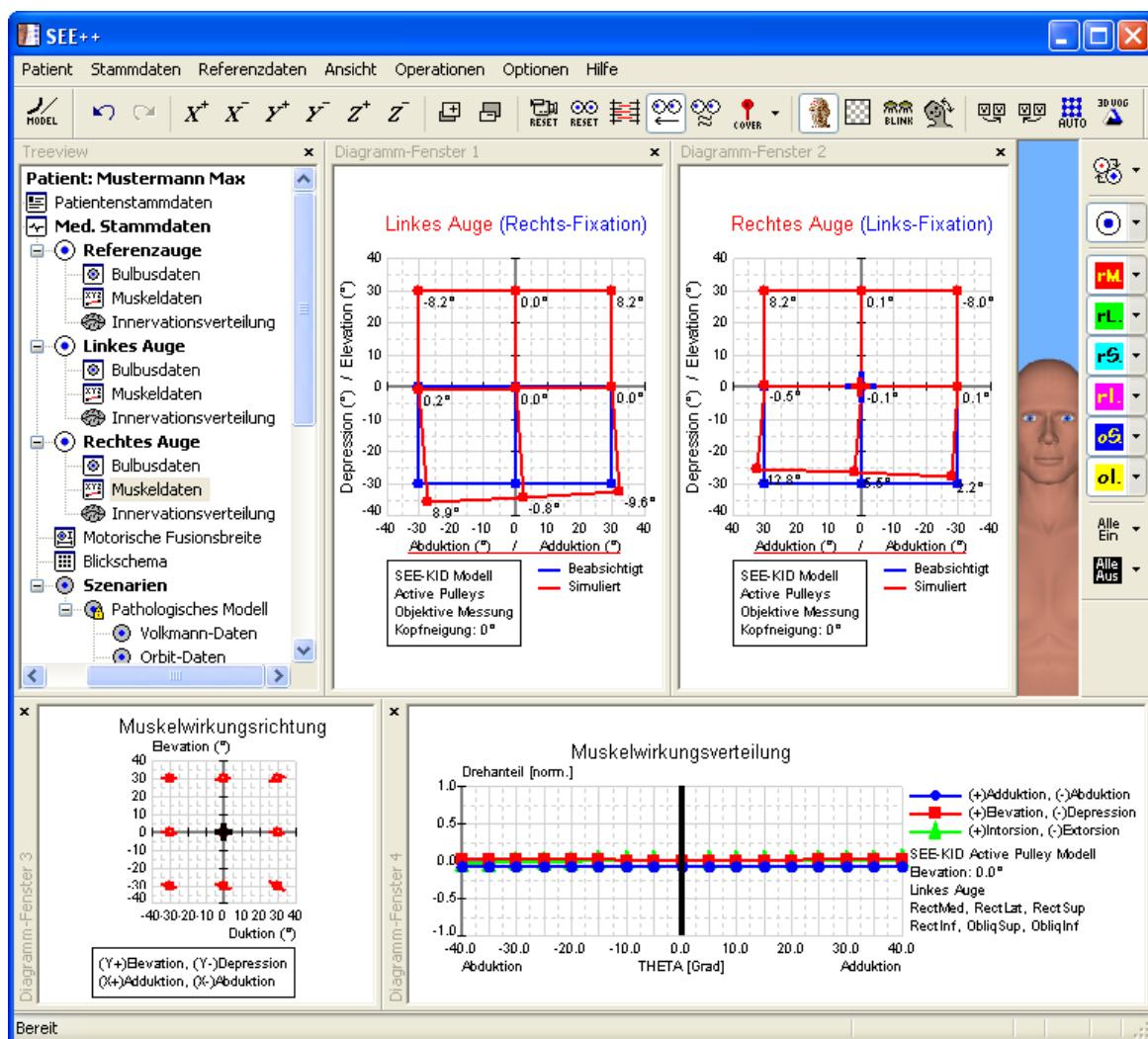
Im Hess-Diagramm für das **rechte Auge** bei **Links-Fixation** sieht man nun deutlich die nach unten in Adduktion zunehmende inkomitante Einschränkung des oberen schrägen Muskels des **rechten Auges**. Anhand der Ergebnisse der Simulation, die in den Hess-Diagrammen dargestellt werden, kann die Simulation der Trochlearisparese als abgeschlossen angesehen werden.

## Operative Korrektur

Für die operative Korrektur der simulierten Trochlearisparese ist eine Stärkung des paretischen Muskels notwendig. Die Operation erfolgt durch Faltung des betroffenen m. obliquus superior. Um in SEE++ einen Muskel zu falten wird der Dialog "Textuell Operieren" verwendet, der mit dem Menüpunkt "*Operationen*" - "*Textuell Operieren*" aufgerufen wird. Nachdem der Dialog geöffnet wurde, werden zunächst das gewünschte Auge und der gewünschte Muskel ausgewählt, in diesem Fall das rechte Auge und der m. obliquus superior. Nun wird eine Faltung des gewählten Muskels von 7 mm durchgeführt indem im Feld "**Faltung (mm)**" der entsprechende Wert eingetragen wird. Das folgende Bild zeigt den Dialog mit der eingetragenen Faltung:



Nachdem der Dialog mit einem Klick auf den Button "OK" geschlossen wurde, führt das Programm eine Berechnung der beiden Hess-Diagramme durch. Ist die Berechnung fertig gestellt, so ergibt sich folgendes Bild:



Wenn man sich nun die beiden Hess-Diagramme ansieht, so kann man erkennen, dass das Ziel der operativen Korrektur, die doppelbildfreie Zone in die Primärposition zu bekommen, erreicht wurde. Außerdem wurde die nach unten in Adduktion zunehmende inkomitante Einschränkung des oberen schrägen Muskels des rechten Auges durch die Faltung leicht reduziert. Eine vollständige "Heilung" der Parese, also auch in extremer Adduktion und Depression, durch Änderung der innervationellen Komponente im Modell ist klinisch nicht möglich, da ein operativer Eingriff an der Innervation des Muskels nichts verändern kann.

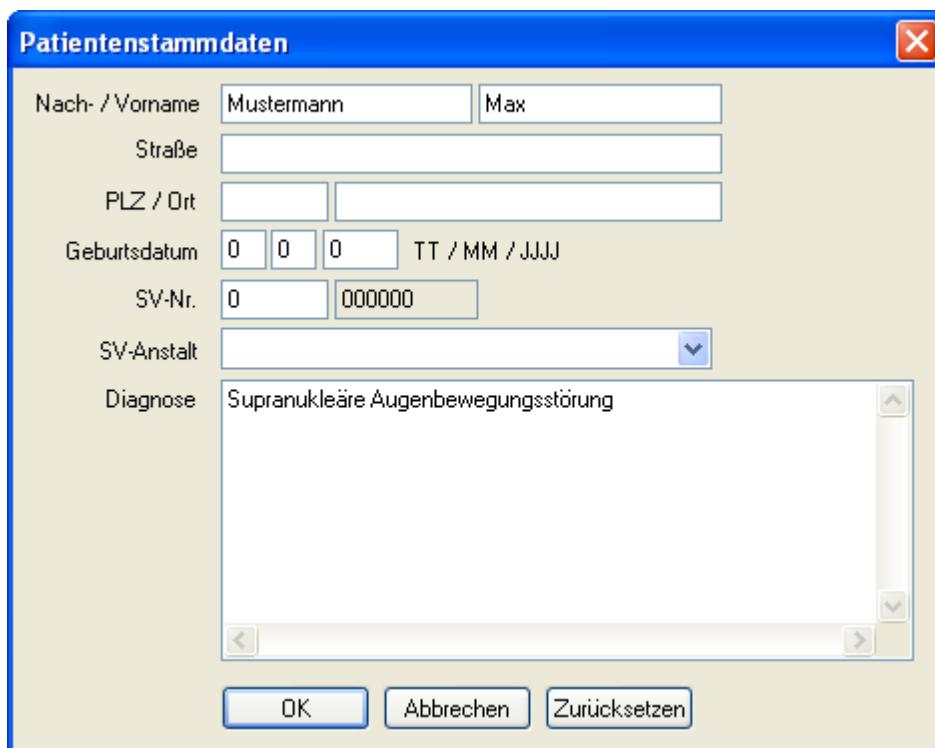
### 3.3 Supranukleäre Augenbewegungsstörung

Das dritte Beispiel beschreibt eine rechtsseitige Blicklähmung. Die Schädigung soll kortikal an der Großhirnrinde oberhalb der Augenmuskelkerne liegen. Häufig sind Schlaganfälle Ursache für Blicklähmungen. Durch lokale Minderdurchblutung einer Großhirnhemisphäre, linksseitig bei Blicklähmung nach rechts, werden die Blickwendungsimpulse auf die Gegenseite (in dieser Simulation nach rechts) gelähmt.

#### Simulation der Pathologie

Im Gegensatz zur peripheren Nervenschädigung ist bei der supranukleären Augenbewegungsstörung der zentrale Nervenimpuls auf beide Augen gestört. Die Simulation einer supranukleären Augenbewegungsstörung muss man daher mit Hilfe der Funktion Innervationsverteilung von beiden Augen in SEE++ durchführen.

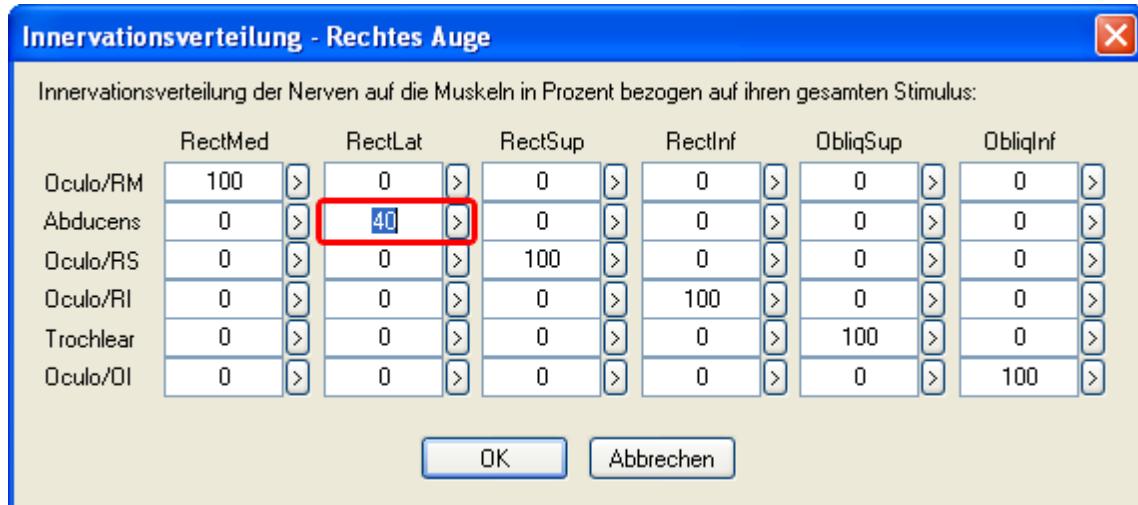
Als erster Schritt der Simulation wird ein neuer Patient angelegt. Dazu dient der Menüpunkt "Patient" - "Neuer Patient", welcher folgenden Dialog anzeigt:



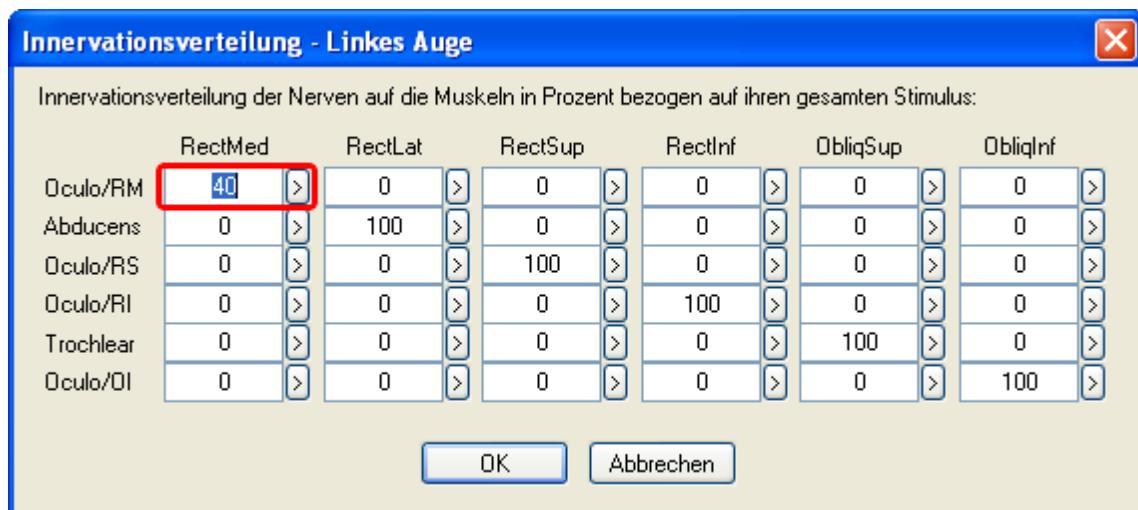
In diesem Dialog können Daten über den Patienten eingegeben werden. Nach dem Klicken auf den "OK" Button ist der neue Patient angelegt und es kann mit der Simulation begonnen werden. Da eine Rechtsblicklähmung simuliert werden soll, muss die Innervation für den m. rectus lateralis des rechten Auges um 40 % reduziert werden und gleichzeitig die Innervation des m. rectus medialis des linken Auges ebenfalls um 40 % herabgesetzt werden. Diese Veränderung der Innervation kann in SEE++ im Innervationsverteilungsdialog durchgeführt werden, welcher entweder durch den Menüpunkt "Stammdaten" - "Rechtes Auge" bzw. "Linkes Auge" - "Innervationsverteilung", oder durch den Baum im linken Teil des Programmfensters über den Punkt "Innervationsverteilung" in der Sektion für das rechte bzw. linke Auge aufgerufen wird.

Als erstes wird die Innervation für den m. rectus lateralis (**Abducens**) des rechten Auges geändert, indem man den Innervationsverteilungsdialog, wie gerade beschrieben, aufruft. Im

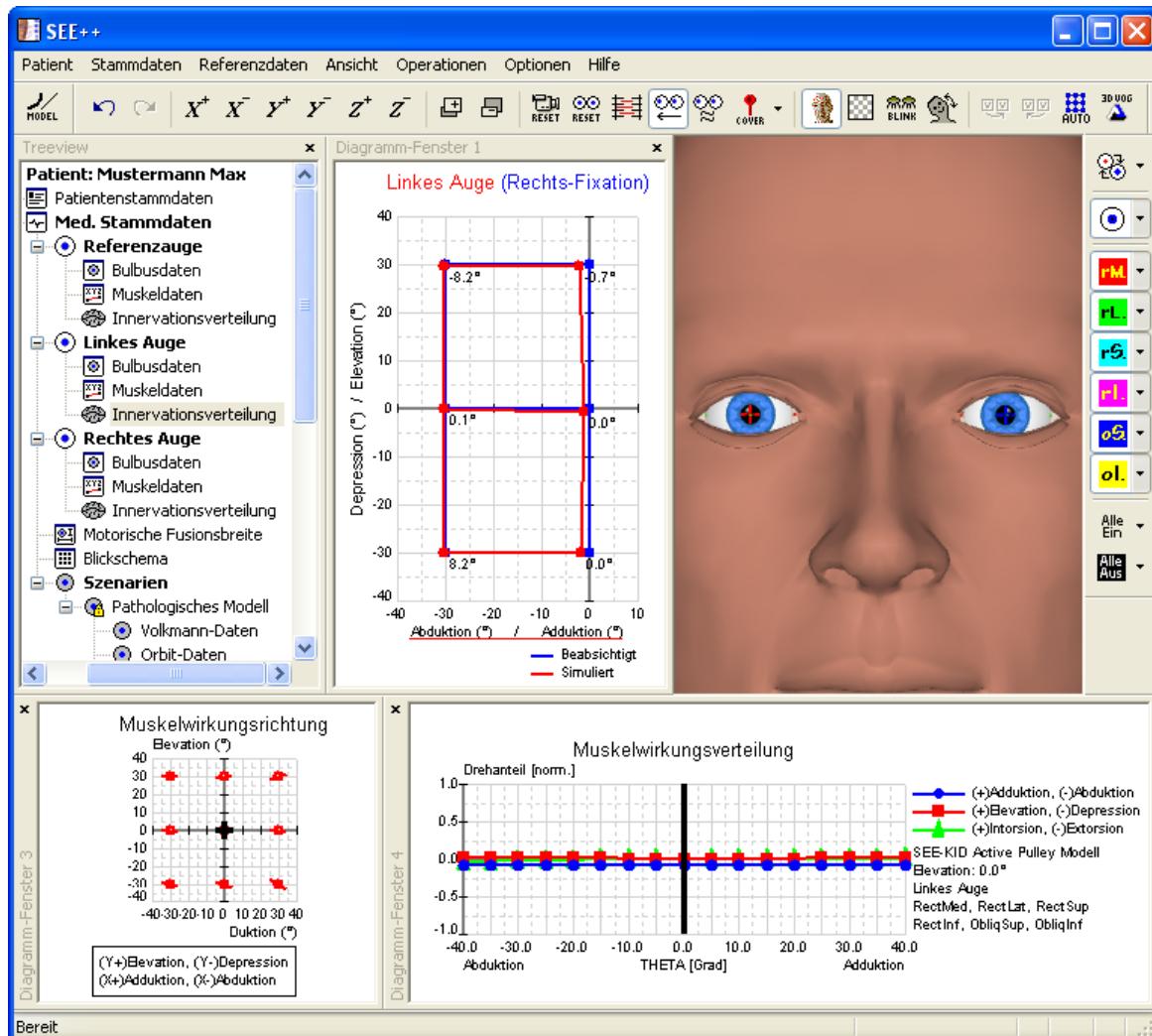
Dialog ändert man dann die Innervation für den m. rectus lateralis von 100 % auf **40 %**, so wie dieses Bild zeigt:



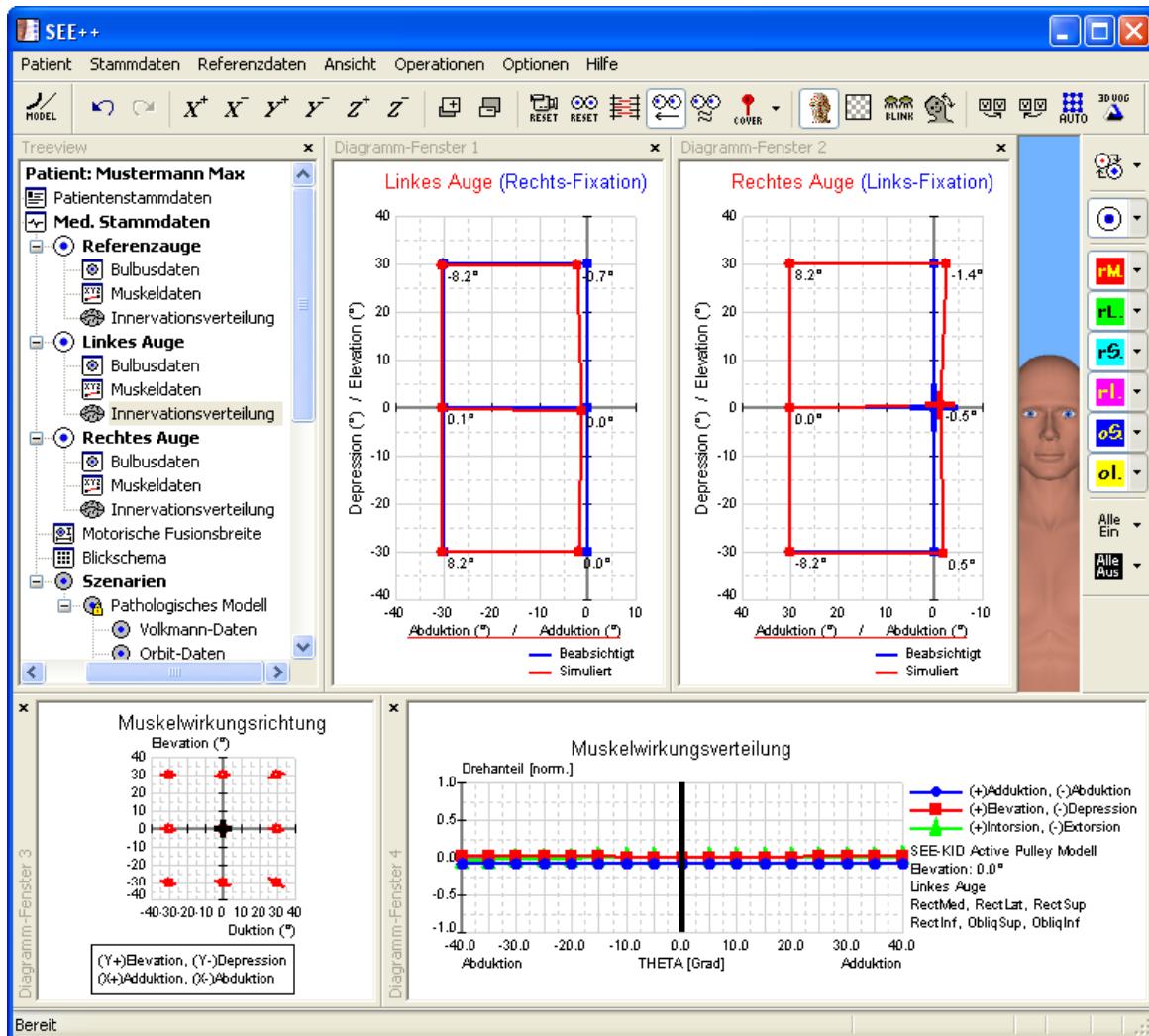
Nachdem der Innervationsverteilungsdialog für das rechte Auge mit einem Klick auf den "OK" Button geschlossen wurde, muss noch die Innervation für den m. rectus medialis des linken Auges reduziert werden. Dazu wird wieder der Innervationsverteilungsdialog (diesmal jedoch der für das linke Auge) verwendet, in dem dann die Änderung der Innervation für den m. rectus medialis (**Oculo/RM**) von 100 % auf **40 %** entsprechend dem folgenden Bild durchgeführt wird:



Nach einem Klick auf den "OK" Button kann man sich nun das Hess-Diagramm berechnen lassen, welches die Änderung im Innervationsverteilungsdialog sofort berücksichtigt. Standardmäßig wird das Hess-Diagramm für das linke Auge bei Rechts-Fixation im Diagramm-Fenster 1 angezeigt. Nachdem die Berechnung des Hess-Diagramms erfolgreich abgeschlossen wurde sieht man folgendes:



Um das zweite Hess-Diagramm für das rechte Auge bei Links-Fixation anzuzeigen, genügt ein Klick auf das Menü "Ansicht" - "Diagramm-Fenster 2". Im nun eingeblendeten Diagramm-Fenster 2 wird standardmäßig das Hess-Diagramm für das rechte Auge bei Links-Fixation angezeigt. Sollte dies nicht der Fall sein, dann klicken sie mit der rechten Maustaste in eines der Diagramm-Fenster und wählen sie in dem Menü das gewünschte Diagramm aus, indem sie es mit der linken Maustaste anklicken. Wenn man nun die Größe der beiden Diagramme entsprechend anpasst, indem man mit der Maus auf die Trennlinie zwischen den Diagrammen klickt und sie mit der gedrückten linken Maustaste verschiebt, so erhält man folgendes Bild:



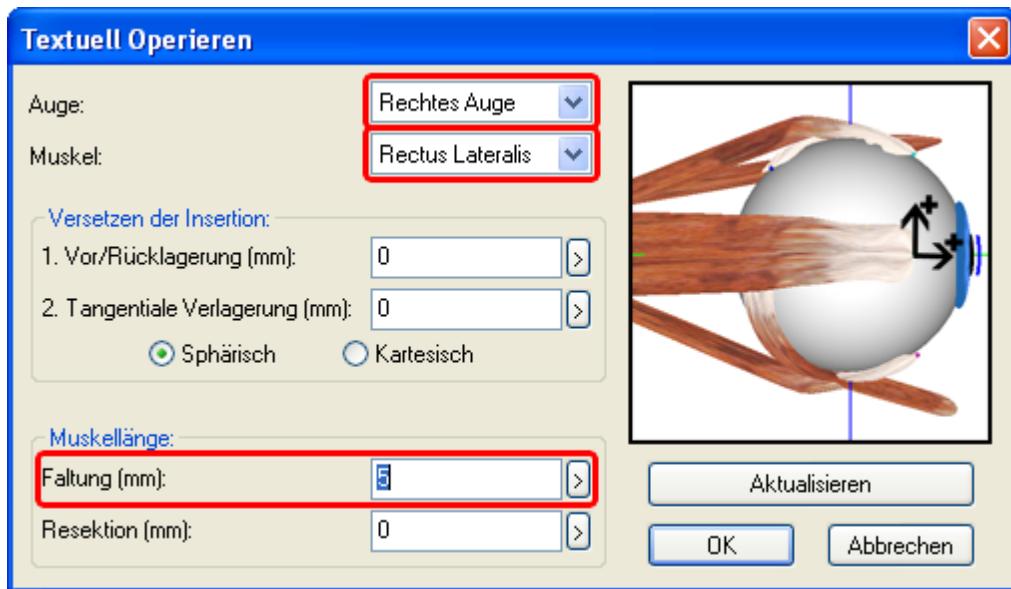
Aus den Hess-Diagrammen bei Rechts- und Links-Fixation ist das nicht mehr vorhandene rechte Blickfeld deutlich erkennbar (fehlende konjugierte Blickbewegung nach rechts). Anhand der Ergebnisse der Simulation, die in den Hess-Diagrammen dargestellt werden, kann die Simulation der supranukleären Augenbewegungsstörung als abgeschlossen angesehen werden.

## Operative Korrektur

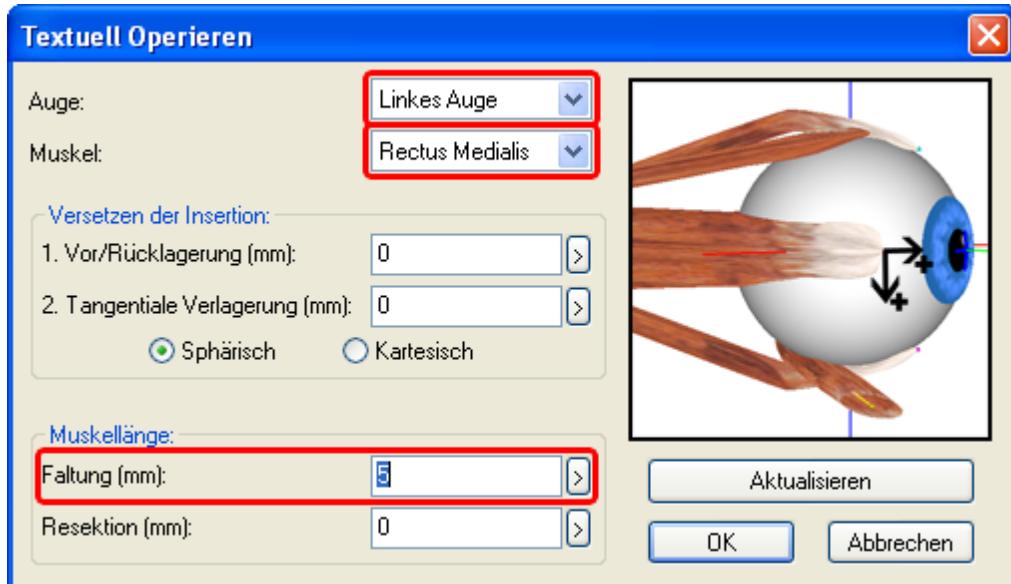
Um das nach links verlagerte Blickfeld beider Augen besser nützen zu können und wenn eine Kopfzwangshaltung (Rechts-Drehung) eingenommen wird, soll der Versuch einer (unvollständigen) Kestenbaum'schen Operation gemacht werden. Das auf Grund der Rechtsblicklähmung nach links verlagerte Blickfeld beider Augen soll in die Primärposition verlagert werden. Dazu müssen beide Augen nach rechts "operiert" werden, das heißt am rechten Auge muss der m. rectus lateralis gestärkt werden, umgekehrt am linken Auge muss der m. rectus medialis gestärkt werden.

Als erstes soll der m. rectus lateralis des rechten Auges gefaltet werden. Um in SEE++ einen Muskel zu falten wird der Dialog "Textuell Operieren" verwendet, der mit dem Menüpunkt "Operationen" - "Textuell Operieren" aufgerufen wird. Nachdem der Dialog geöffnet wurde, werden zunächst das gewünschte Auge und der gewünschte Muskel ausgewählt, in diesem Fall das rechte Auge und der m. rectus lateralis. Nun wird eine Faltung des gewählten Muskels von 5

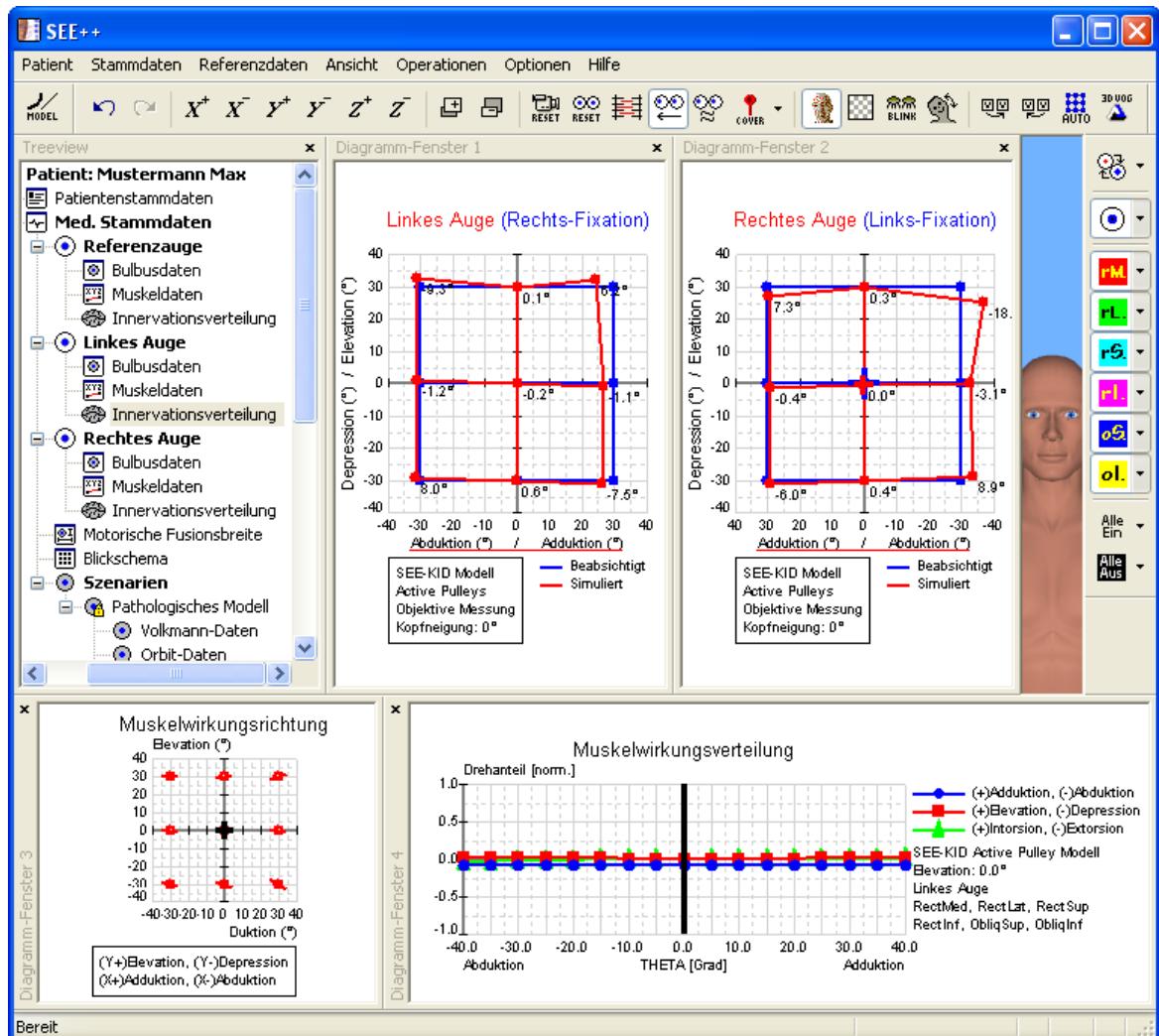
mm durchgeführt indem im Feld "Faltung (mm)" der entsprechende Wert eingetragen wird. Das folgende Bild zeigt den Dialog mit der eingetragenen Faltung:



Mit einem Klick auf "Aktualisieren" wird die eingetragene Faltung übernommen ohne den Dialog zu schließen. Als nächstes wird nun der m. rectus medialis des linken Auges ebenfalls gefaltet. Dazu wird das linke Auge sowie der m. rectus medialis im Dialog ausgewählt und die Faltung von 5 mm im Feld "Faltung (mm)" eingetragen. Das nachfolgende Bild zeigt den Dialog:



Nach dem Klicken des "OK" Buttons sind somit beide Muskeln um 5 mm gefaltet und der Dialog wird geschlossen. Nun führt das Programm eine Berechnung der beiden Hess-Diagramme durch und wenn die Berechnung fertig gestellt ist ergibt sich folgendes Bild:



Wenn man sich nun die beiden Hess-Diagramme ansieht, so kann man erkennen, dass das Ziel der operativen Korrektur im Sinne der angenommenen Pathologie erreicht wurde.

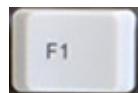
**Teil**



**IV**

## 4 SEE++ Referenz

Dieser Teil des Handbuchs beschreibt alle in SEE++ verfügbaren Funktionen. Innerhalb des Programmes können sie diese Hilfe jederzeit durch Klicken auf einen "Hilfe"-Button bzw.



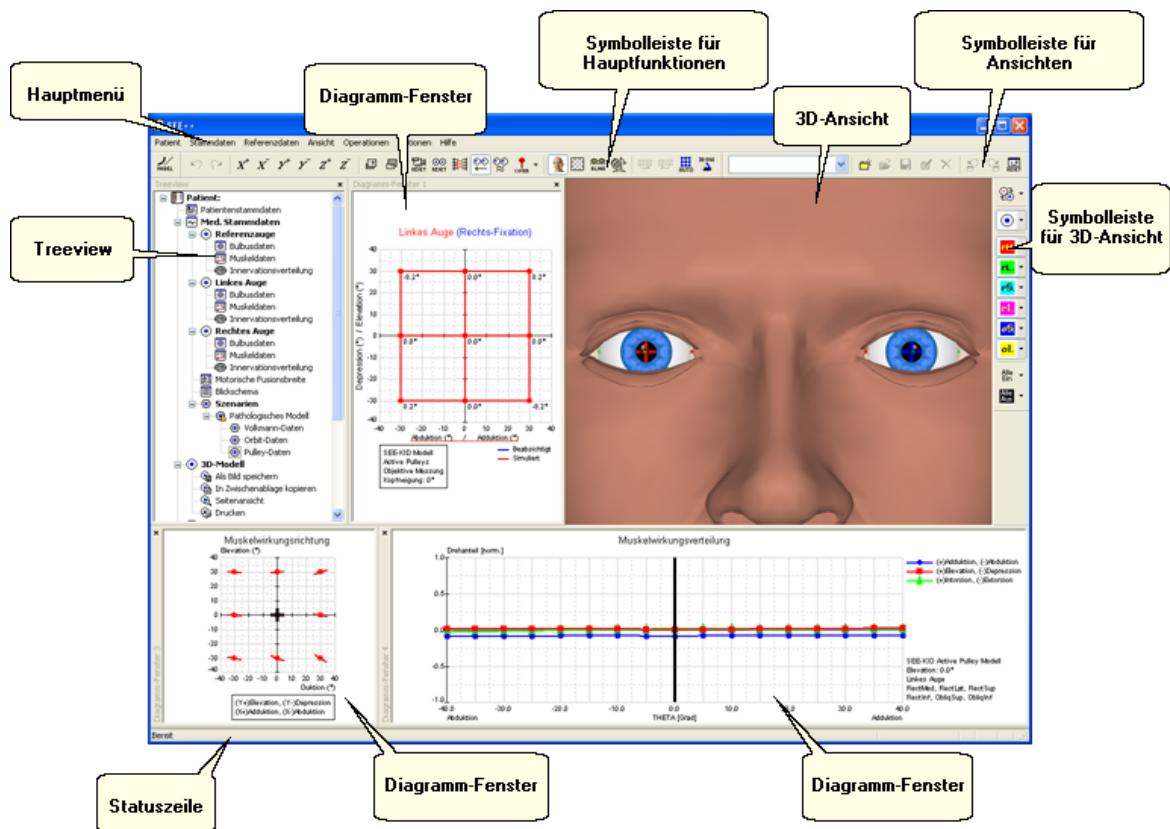
die Taste erreichen.

Im Text werden folgende, grundsätzliche Zeichen zur Erklärung verwendet:

A blue circular icon with a white "i" symbol inside.	Dieses Symbol steht für eine wichtige <b>Information</b> zum aktuellen Thema und sollte beachtet werden. Diese Informationen geben meist Tipps, wie man mit dem System besser arbeiten kann.
A red triangular warning sign with a white exclamation mark inside.	Dieses Symbol kündigt eine unbedingt zu beachtende Information an.
A grey rectangular button with a white border, containing the text "F1" in a small black font.	Tastenkürzel bzw. spezielle, mit der Tastatur durchzuführende Bedienungshinweise werden mit den jeweiligen Symbolen der Tasten dargestellt.

## 4.1 Überblick

Wenn SEE++ gestartet wird, erscheint folgende Ansicht des Hauptfensters:



Beim ersten Start des Programmes wird diese Standardansicht angezeigt. Sämtliche Funktionen des Programmes sind im **Hauptmenü** strukturiert abrufbar. Gleichzeitig bietet die Baumdarstellung in der **Treeview** dieselben Funktionen übersichtlich durch direkte Anwahl an. Das SEE++ System besitzt vier verschiedene **Diagramm-Fenster**<sup>[111]</sup>, in die je nach Wahl jedes Diagramm eingeblendet werden kann. Die einzelnen **Diagramm-Fenster**<sup>[111]</sup> können mit Hilfe des Menüs **"Ansicht"**<sup>[111]</sup> im Hauptmenü ein- und ausgeblendet werden. Ein fixer Bestandteil des Systems ist die **3D-Ansicht**<sup>[113]</sup>, in der die aktuelle Simulation mit Hilfe eines "virtuellen Patienten" dargestellt wird. Um diese **3D-Ansicht**<sup>[113]</sup> zu konfigurieren, d.h. Muskeln, Bulbus, Orientierungspunkte, etc. ein- bzw. auszublenden, verwenden sie die **"Symbolleiste für die 3D-Ansicht"**<sup>[128]</sup>. Die **"Symbolleiste für die Hauptfunktionen"**<sup>[124]</sup> ermöglicht schnellen, direkten Zugriff auf die wichtigsten Bereiche des Hauptmenüs bzw. der Treeview und ermöglicht das **Umschalten des aktuellen Modells**<sup>[123]</sup>. Die **"Symbolleiste für Ansichten"**<sup>[132]</sup> ermöglicht das Verwalten von verschiedenen Ansichten. In der Statuszeile werden jeweils zusätzliche Informationen angezeigt, die abhängig sind von der aktuellen Position des Mauszeigers. Sind keine Informationen verfügbar, so steht lediglich "Bereit" in der Statuszeile.



Sollte auf Grund ihrer Systemeinstellungen die Sprache des Systems auf Englisch voreingestellt sein, benutzen sie bitte den Dialog **"Allgemeine Optionen"**<sup>[145]</sup>, um die Spracheinstellungen auf Deutsch umzustellen. Verwenden sie ebenfalls diesen Dialog, um die Grafikbeschleunigung für OpenGL™ zu aktivieren, und somit eine bessere Darstellungsqualität und Performance zu erreichen.

## 4.2 Patientenverwaltung



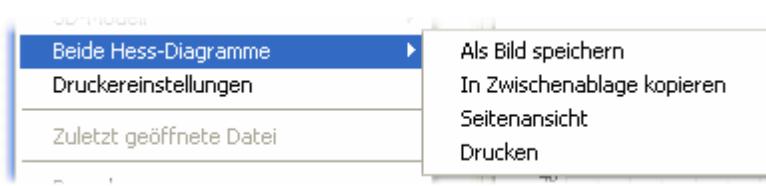
Die Patientenverwaltung kann im Hauptmenü über den Menüpunkt "Patient" verwendet werden. In SEE++ wird als Patient ein gesamter Datensatz bestehend aus [Personendaten](#)<sup>81</sup> (Name, Geb. Datum, Diagnose, ...) und [medizinischen Stammdaten](#)<sup>86</sup> (Bulbusdaten, Muskeldaten, Innervationsverteilung, motorische Fusionsbreite und [Blickschema](#)<sup>93</sup>), gegliedert in verschiedenen [Szenarien](#)<sup>100</sup>, gespeichert. Diese Dateneinheit speichert alle benötigten Werte für einen kompletten [Simulationsdurchlauf](#)<sup>21</sup> in einer Datei auf dem Datenträger. Diese Dateien haben die Endung ".eye" und können auch über das Windows®-System durch einen Doppelklick mit SEE++ geöffnet werden.

Um einen neuen Patienten im System anzulegen, wählen sie den Menüpunkt "[Patient->Neuer Patient](#)"<sup>81</sup>. Um die aktuellen Daten in eine neue Datei zu speichern wählen sie "[Patient->Patient speichern unter...](#)"<sup>83</sup> bzw. um die Daten in die aktuelle Datei zu speichern wählen sie den Menüpunkt "[Patient->Patient speichern](#)"<sup>83</sup>. Der Menüpunkt "[Patient->Patient laden](#)"<sup>82</sup> öffnet eine ".eye" oder ".sye" Datei und stellt alle Daten im Programm auf den zuletzt in dieser Datei gespeicherten Zustand. Wenn sie einen neuen Patienten anlegen oder einen Patienten laden und sie haben die aktuellen Daten noch nicht gespeichert, dann gibt SEE++ eine Warnung aus. Mit dem Menüpunkt "[Patient->Neue Pathologie...](#)"<sup>84</sup> können sie eine neue Pathologie für den aktuellen Patienten generieren.



Weiters finden sie unter dem Menüpunkt "Patient->3D-Modell" ein Untermenü mit verschiedenen Funktionen um das 3D-Modell zu exportieren. Sie können entweder die aktuelle 3D-

Ansicht [als Bild speichern](#)<sup>153</sup>, sie in die Zwischenablage kopieren oder sie [ausdrucken](#)<sup>161</sup>. Die [Seitenansicht](#)<sup>162</sup> ermöglicht ihnen, das zu druckende Bild vor dem Ausdruck zu kontrollieren. Die speziellen Funktionen "[Film erstellen](#)"<sup>155</sup> und "[Film für Kopfniegetest erstellen](#)"<sup>159</sup> ermöglichen das Generieren von Filmdateien. So können sie beispielsweise pathologische Situationen für Präsentationszwecke in einem Film speichern, um die gewünschte Situation besser visualisieren zu können. Die Option "Film erstellen" steht nur bei einer gültigen Simulation zu Verfügung, das heißt es muss mindestens ein Hess-Diagramm (Links- oder Rechts-Fixation) vollständig berechnet angezeigt werden. Mit der Funktion "[Blickschema als Bild speichern](#)"<sup>154</sup> können sie eine Datei erstellen, in der eine Ansicht des 3D-Modells in allen 9 Blickpositionen des Standardblickschemas enthalten ist.



Zusätzlich zu den Exportmöglichkeiten für das 3D-Modell finden sie in dem Untermenü "Patient->Beide Hess-Diagramme"

verschiedene Funktionen um beide Hess-Diagramme (Links- und Rechts-Fixation) gemeinsam zu exportieren. Diese Funktionen stehen allerdings nur dann zur Verfügung, wenn im Programm beide Hess-Diagramme angezeigt werden. Sie können die Hess-Diagramme [als Bild speichern](#)<sup>153</sup>, sie in die Zwischenablage kopieren oder sie [ausdrucken](#)<sup>161</sup>, sowie das zu druckende Bild in der Seitenansicht kontrollieren. Um die standardmäßige Anordnung der beiden Hess-Diagramme (linkes Auge (Rechts-Fixation) auf der linken Seite und rechtes Auge (Links-Fixation) auf der rechten Seite) zu vertauschen, wählen sie die Option "Diagramme für Export vertauschen" in den [Diagramm-Optionen](#)<sup>150</sup>.

Die [Druckereinstellungen](#)<sup>151</sup> konfigurieren den zu verwendenden Drucker, falls mehrere im System installiert sind. Nach dem Menüpunkt Druckereinstellungen finden sie eine Liste der zuletzt geöffneten Dateien (bis zu vier Dateien werden angezeigt) oder den Text "Zuletzt geöffnete Datei" falls noch keine Datei geladen wurde. Wenn sie eine dieser Dateien anwählen, dann wird versucht die gewählte Datei zu laden. Sollte die Datei auf dem Datenträger nicht mehr existieren, dann wird der Eintrag automatisch aus dem Menü entfernt. Der letzte Menüpunkt beendet SEE++. Sollten sie die aktuellen Daten noch nicht in einer Datei abgespeichert haben, dann gibt SEE++ eine Warnung aus.

#### 4.2.1 Neuer Patient/Patientenstammdaten

Den Dialog für die Patientenstammdaten sehen sie immer, wenn sie einen neuen Patienten anlegen. Ansonsten erreichen sie den Dialog über das Hauptmenü unter "Stammdaten->Patientenstammdaten" oder über die Treeview unter "Patientenstammdaten". Füllen sie die jeweiligen Felder aus bzw. ergänzen sie fehlende Informationen.



Das Feld Diagnose ermöglicht die textuelle Eingabe von patientenspezifischen Informationen, um ein späteres Wiederauffinden zu erleichtern.

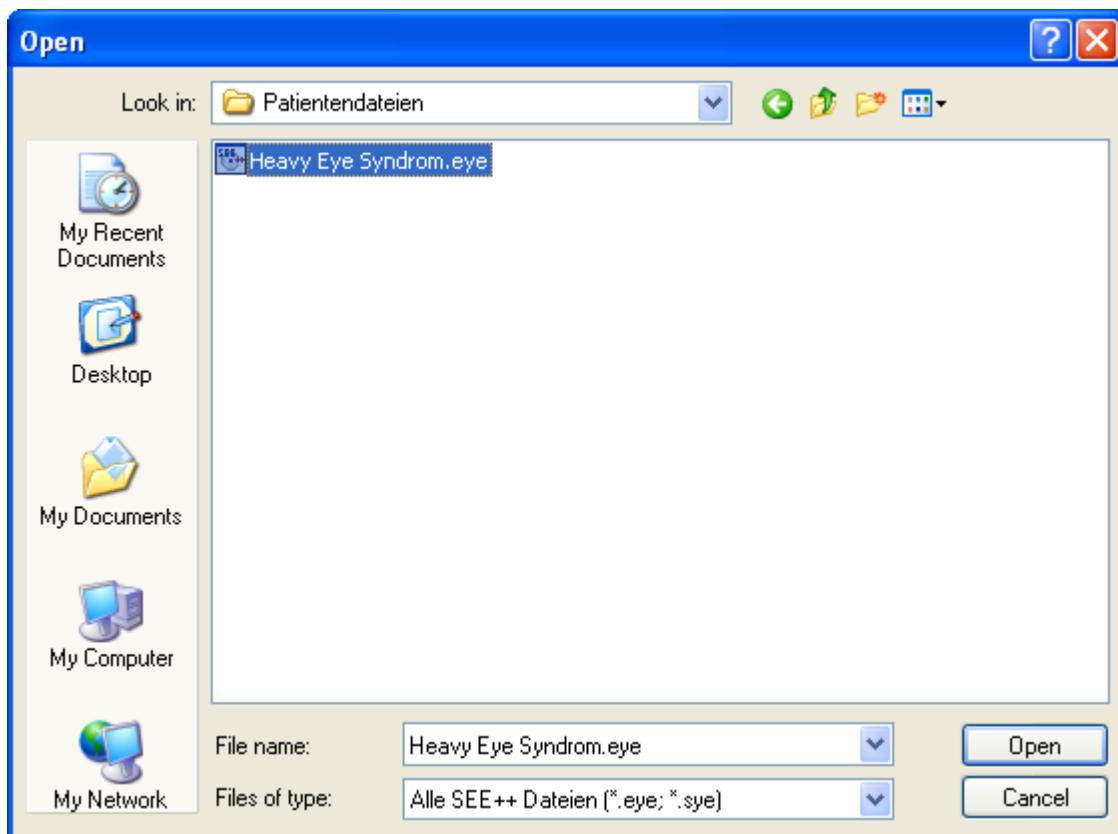
Mit dem Button "OK" wird die Eingabe bestätigt und ein neuer Patient angelegt bzw. bei bereits bestehenden Daten, die Änderung übernommen. Wird ein neuer Patient angelegt, so werden sämtliche Modelldaten auf Standardwerte zurückgesetzt. Der Button "Zurücksetzen" ermöglicht das Löschen aller in diesem Dialog angezeigten Felder. Wird der Button "Abbrechen" betätigt, so werden alle Daten verworfen und kein neuer Patient angelegt bzw. die gemachten Änderungen nicht übernommen.



Führen sie die Funktion "Neuer Patient" nur dann aus, wenn sie alle bestehenden Änderungen bereits gespeichert haben, oder den aktuell bearbeiteten Patienten verwerfen wollen.

#### 4.2.2 Patient laden

Mit der Funktion "Patient laden" wird ein bereits gespeicherter Patient wieder in das Programm geladen. Navigieren sie in das Verzeichnis, in dem sie ihre Patientendaten abgelegt haben und klicken sie auf die gewünschte Patientendatei (.eye- oder .sye-Dateien).



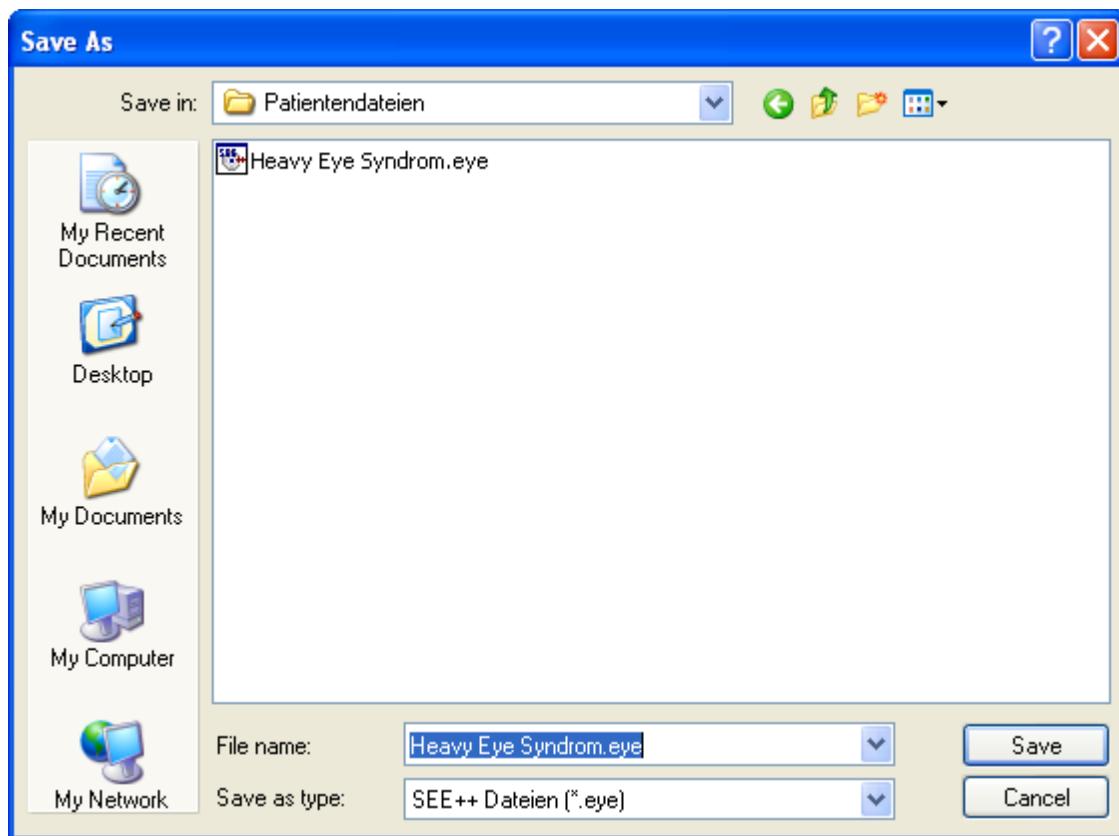
Bestätigen sie anschließend diesen Dialog mit "Open" bzw. "Öffnen", um die Datei in das Programm zu laden. Wenn sie den Button "Cancel" bzw. "Abbrechen" betätigen, wird kein Patient geladen, und die Daten vor Aufruf der Funktion "Patient laden" bleiben erhalten.



Beim Laden eines Patienten wird der zuvor aktive Patient verworfen. Stellen sie daher sicher, dass sie den vorher aktiven Patienten speichern, bevor sie eine neue Patientendatei laden.

#### 4.2.3 Patient speichern

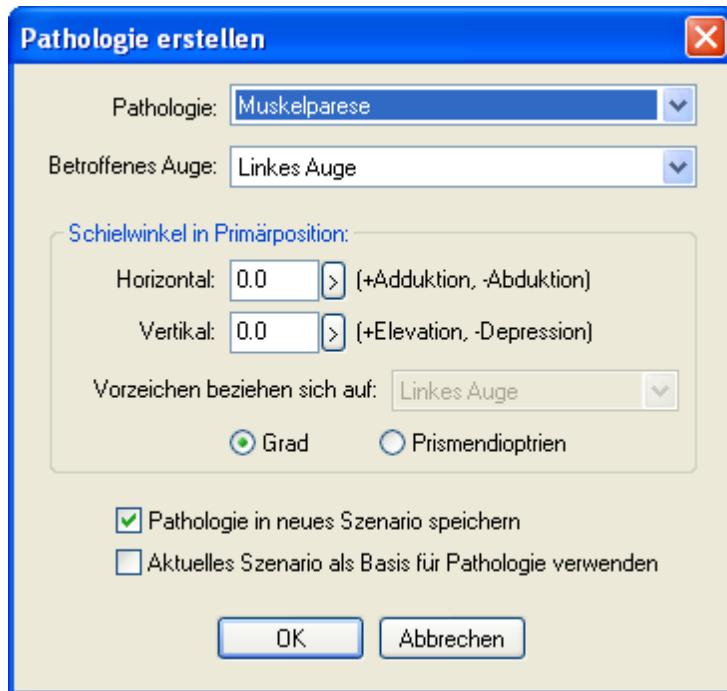
Diese Menüfunktion wird verwendet, um die aktuellen Patientendaten als Datei zu speichern. Navigieren sie in das Verzeichnis, in dem sie ihre Patientendaten ablegen möchten und geben sie der Datei einen entsprechenden Namen. Achten sie darauf, dass sie keinen Namen vergeben, der bereits in dem aktuellen Verzeichnis existiert, um keine Daten zu überschreiben.



Bestätigen sie den Dialog mit dem Button "Save" bzw. "Speichern", um die aktuellen Daten als Patientendatei abzulegen. Wenn sie den Button "Cancel" bzw. "Abbrechen" betätigen, so wird der aktuelle Patient nicht gespeichert, die Daten vor Aufruf dieser Funktion bleiben aber alle erhalten.

#### 4.2.4 Neue Pathologie

Mit dieser Funktion können sie eine neue Pathologie für den aktuellen Patienten generieren. Wählen sie als erstes die Art von Pathologie, die sie erstellen wollen, sowie das betroffene Auge. Dann geben sie den gemessenen horizontalen und vertikalen Schielwinkel in Primärposition ein. Wenn sie eine Pathologie generieren, bei der beide Augen betroffen sind, dann müssen sie für den eingegebenen Schielwinkel auch noch angeben, auf welches Auge sich die Vorzeichen des Schielwinkels beziehen. Der Schielwinkel kann entweder in Grad oder in Prismendioptrien eingegeben werden.



Mit der Option "Pathologie in neues Szenario speichern" können sie festlegen, dass die neu erstellte Pathologie automatisch in einem neuen Szenario abgelegt wird. Der Name des Szenarios wird dabei auf Basis der gewählten Pathologie ebenfalls automatisch festgelegt. Die zweite Option "Aktuelles Szenario als Basis für Pathologie verwenden" ermöglicht es, die zu erzeugende Pathologie auf Basis der aktuellen medizinischen Stammdaten des momentan gewählten Szenarios zu generieren. Wenn diese Option nicht gewählt ist, dann wird die Pathologie auf Basis der in dem Szenario "Pathologisches Modell" abgelegten Standard-Daten eines gesunden menschlichen Auges generiert.

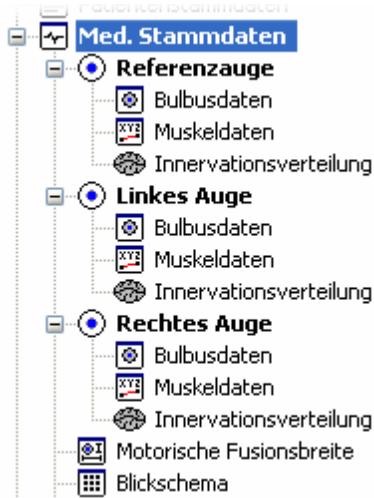
Das Generieren einer Pathologie kann je nach Rechenleistung des verwendeten Computers einige Zeit in Anspruch nehmen. Sollte die Pathologie mit den gewählten Parametern nicht generiert werden können, dann gibt SEE++ eine entsprechende Fehlermeldung aus. Wenn sie wissen möchten, welche Parameter SEE++ verändert hat, um die gewünschte Pathologie zu generieren, dann können sie sich den [Änderungsbericht](#)  ansehen.

Während der Generierung einer Pathologie wird ein Dialog mit dem aktuellen Rechenfortschritt und einem Button "Abbrechen" angezeigt. Mit einem Klick auf diesen Button können sie jederzeit die Erstellung der Pathologie abbrechen.

## 4.3 Medizinische Stammdaten

Die medizinischen Stammdaten umfassen sämtliche Daten, die für eine Modellierung und Simulation eines "virtuellen Patienten" notwendig sind. Außerdem dient ein Teil der Parameter der medizinischen Stammdaten dazu, um eine pathologische Situation zu beschreiben oder einen operativen Eingriff zu simulieren.

Die medizinischen Stammdaten umfassen Daten für das linke, rechte und das "[Referenzauge](#)"<sup>52</sup>.



Alle diese Datenkonstrukte enthalten folgende Grundfunktionen:

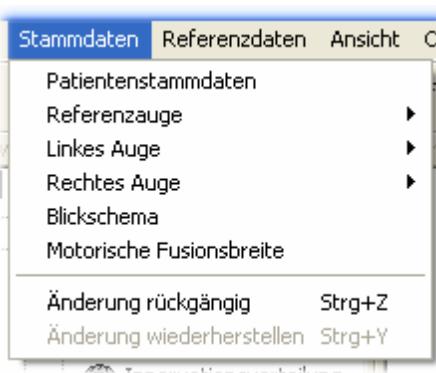
- [Bulbusdaten](#)<sup>87</sup>
- [Muskeldaten](#)<sup>87</sup>
- [Innervationsverteilung](#)<sup>91</sup>

Zusätzlich wird für den Ablauf einer Simulation ein so genanntes [Blickschema](#)<sup>93</sup> für die Rechts- bzw. Links-Fixation definiert, um die Fixationspositionen für den [Hess-Lancaster Test](#)<sup>48</sup> festlegen zu können. Außerdem kann die [motorische Fusionsbreite](#)<sup>92</sup> definiert werden, die für die Simulation des [Cover Tests](#)<sup>135</sup> verwendet wird.

Veränderungen der medizinischen Stammdaten können als eigene [Szenarien](#)<sup>100</sup> abgelegt werden, die wiederum in einer Patientendatei abgespeichert werden können.



Vergessen sie nicht, alle Änderungen, die später beim Laden eines Patienten wieder nachvollziehbar sein sollen auch in einem Szenario abzuspeichern. Änderungen an medizinischen Stammdaten, die nicht in einem Szenario abgelegt sind, werden beim Speichern eines Patienten automatisch in einem Szenario mit dem Namen "Nicht gespeicherte Daten" abgelegt.



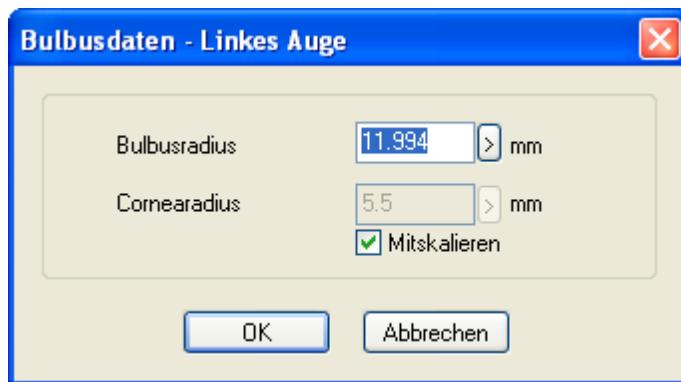
Sie können auf die verschiedenen Dialoge der medizinischen Stammdaten entweder über die Treeview oder über das Menü "Stammdaten" zugreifen. Außerdem können sie über die Funktion "Änderung rückgängig" bis zu 20 Änderungen an den medizinischen Stammdaten (Bulbusdaten, Muskeldaten, Innervationsverteilung, motorische Fusionsbreite) wieder rückgängig machen. Wenn sie eine rückgängig gemachte Änderung wiederherstellen wollen, dann können sie dies über die Funktion "Änderung wiederherstellen" erreichen.

Nach einem Klick auf "Änderung rückgängig" bzw. "Änderung wiederherstellen" sehen sie einen Dialog mit den entsprechenden Änderungen. Wenn sie den Dialog mit "OK" bestätigen wird die Änderung durchgeführt. Sie können diesen Dialog in den [allgemeinen Optionen](#)<sup>145</sup> auch abschalten, dann werden die Änderungen ohne Nachfrage sofort durchgeführt.

### 4.3.1 Bulbusdaten

Der Bulbusdaten-Dialog existiert für jedes der von [SEE++ simulierten Augen](#)<sup>41</sup>. In dieser Erklärung wird das linke Auge als Beispiel verwendet. Alle Angaben gelten natürlich analog für das rechte Auge und das Referenzauge.

Den Bulbusdaten-Dialog erreichen sie über das Hauptmenü unter "Stammdaten->Linkes Auge->Bulbus" oder über die Treeview unter "Med. Stammdaten->Linkes Auge->Bulbusdaten".



In diesem Dialog können der "Bulbusradius" und der "Cornearadius" verändert werden, wobei die Standardwerte vom [selektierten geometrischen Modell](#)<sup>34</sup> abhängig sind. Der Bulbusradius wirkt sich wesentlich auf das Simulationsergebnis aus, da ein größerer oder kleinerer Radius zu einer anderen Kraftrichtung der Muskeln am Bulbus führt. Wird dieser Wert verändert, so werden zusätzlich alle Insertionspunkte und [Pulleys](#)<sup>37</sup> (funktionellen Ursprünge) aller Muskeln des entsprechenden Auges mit angepasst. Veränderungen des Cornearadius wirken sich nur auf die Darstellung sowie auf den Bereich, in dem sich die Insertionen der Muskeln befinden dürfen, aus, nicht aber auf das Simulationsergebnis. Wenn die Option "Mitskalieren" aktiviert ist, dann wird der Cornearadius automatisch an die Größe des eingegebenen Bulbusradius angepasst.



Durch die Einschränkung, dass Muskelinsertionen bei der "virtuellen Operation" nicht in die Pupille verlagert werden dürfen, kann möglicherweise eine Änderung nicht wie gewünscht durchgeführt werden.

### 4.3.2 Muskeldaten

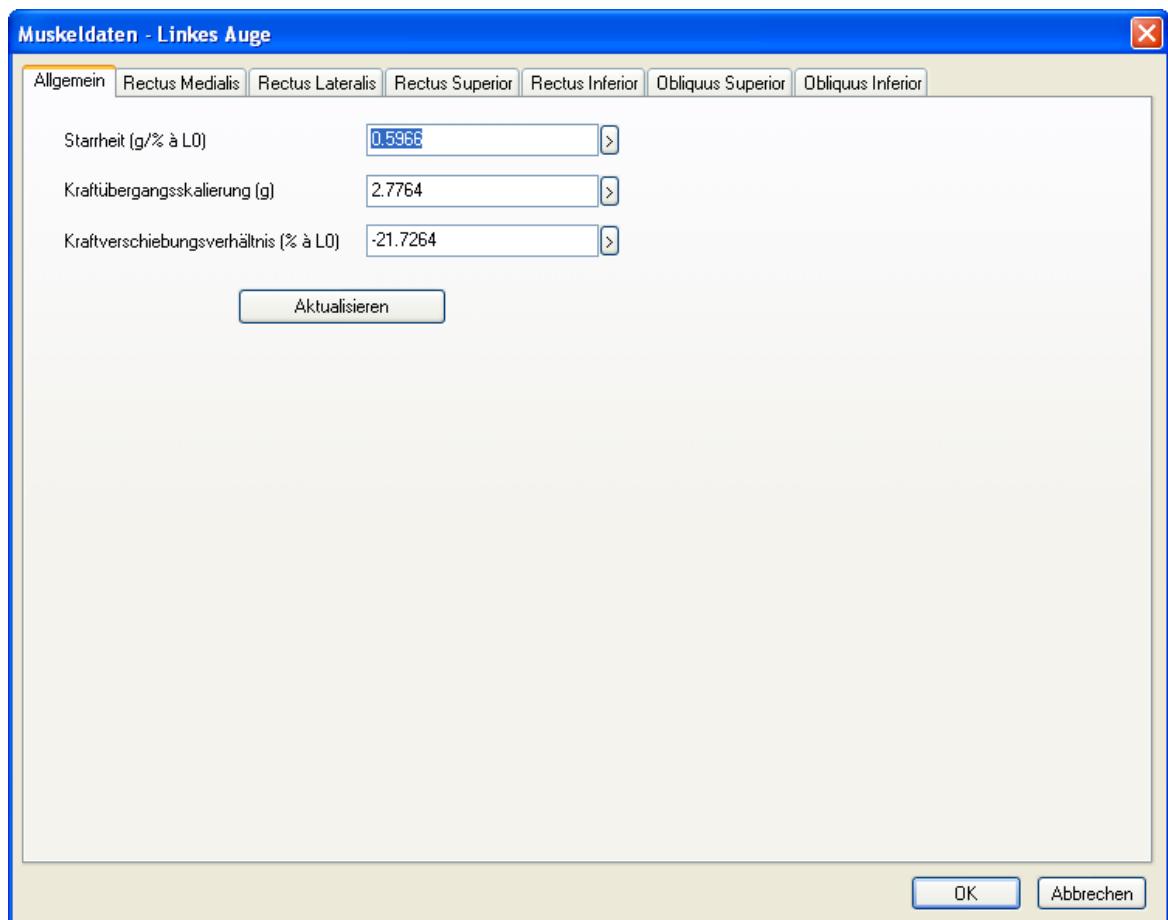
Der Muskeldaten-Dialog ist eines der zentralsten Elemente des SEE++ Systems. Hier kann das Kräftemodell pathologischen Gegebenheiten hinsichtlich einzelner Augenmuskeln angepasst werden. Alle Daten dieses Dialogs verändern die Kraftentwicklung aller oder nur bestimmter Muskeln. Somit können Muskelparese, Überfunktionen oder Fibrosen simuliert werden.

Die Muskeldaten sind wiederum für alle von [SEE++ simulierten Augen](#)<sup>41</sup> (linkes Auge, rechtes Auge und Referenzauge) vorhanden. In dieser Erklärung wird exemplarisch wieder auf das linke Auge Bezug genommen.

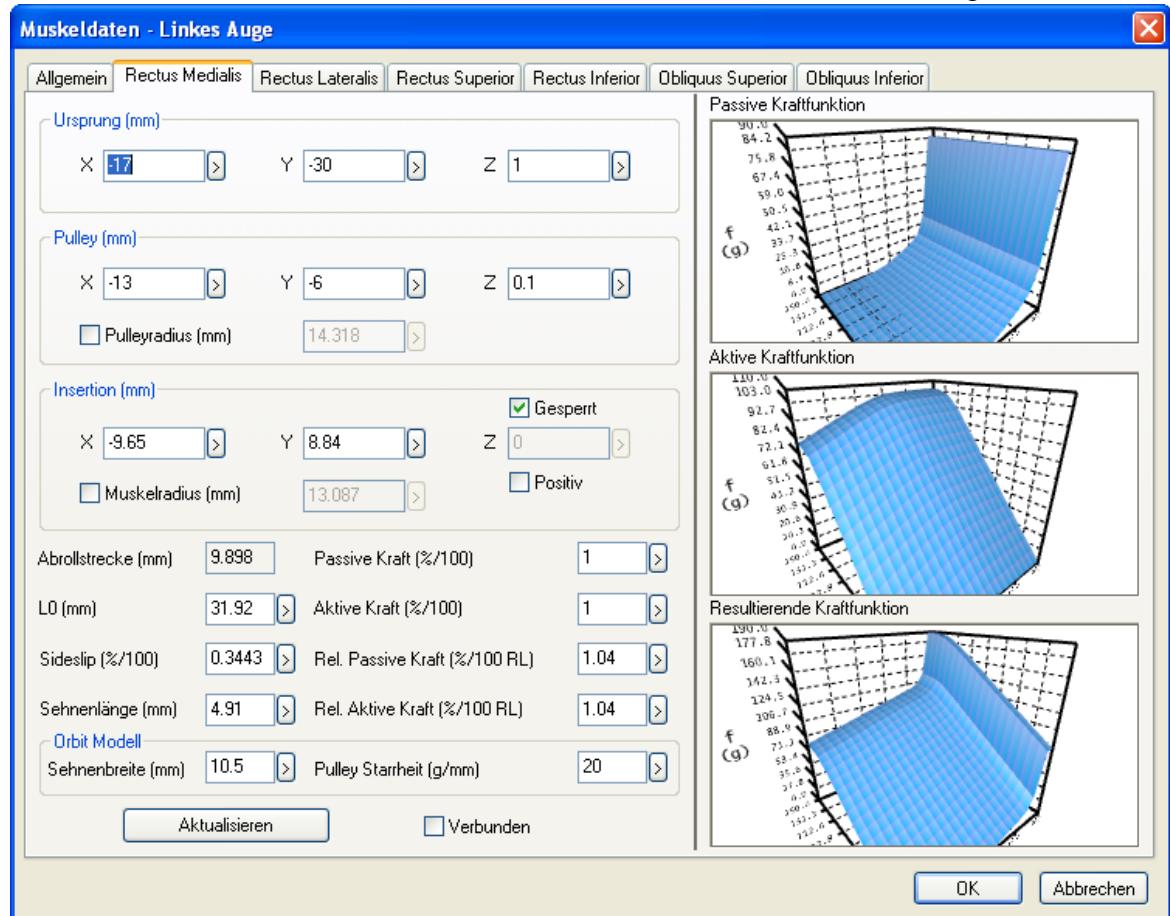
Diesen Dialog erreichen sie über das Hauptmenü unter "Stammdaten->Linkes Auge->Muskel" oder über die Treeview unter "Med. Stammdaten->Linkes Auge->Muskel". Der Dialog besteht aus verschiedenen "Karteikarten", wobei jeweils eine Karteikarte einen der sechs Augenmuskeln repräsentiert. Zusätzlich gibt es für das gesamte Modell angewandte Einstellungen, die in der Karteikarte "Allgemein" zusammengefasst sind. Wählen sie die gewünschte Karteikarte einfach durch einen Klick mit der linken Maustaste auf die

entsprechende Überschrift. Eine andere Möglichkeit, direkt auf die Karteikarte eines Muskels zu gelangen, ist in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> einen Insertionspunkt mit der linken Maustaste kurz doppelzuklicken.

Standardmäßig wird dieser Dialog mit der aktiven Karteikarte "Allgemein" angezeigt. Hier werden die drei [allgemeinen Parameter für das gesamte Kräftemodell](#)<sup>41</sup> verändert. Bestätigen sie ihre Änderungen mit dem Button "OK" bzw. verwerfen sie ihre Änderungen durch Klicken auf "Abbrechen". Der Button "Aktualisieren" ermöglicht eine sofortige Übernahme der Änderungen, ohne den Dialog schließen zu müssen, d.h. es wird im Hintergrund sofort von SEE+ die Berechnung des Hess-Lancaster Tests mit den geänderten Werten gestartet. Diese Option ist nützlich, wenn sie zusätzlich zu den allgemeinen Parametern auch noch [muskelspezifische Parameter](#)<sup>44</sup> in einem Durchgang ändern möchten.



Wenn sie nun eine andere Karteikarte anwählen, so sieht diese für alle Muskeln gleich aus:



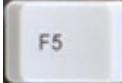
Zunächst bietet dieser Dialog die Möglichkeit, einige geometrische Eigenschaften (Ursprung, Pulley und Insertion) des Muskels manuell zu verändern. Alle Koordinaten sind entsprechend dem verwendeten Auge im definierten kopffixen [Koordinatensystem](#)<sup>17</sup> anzugeben. Diese Parameter wirken sich in einer Veränderung des Muskelpfads aus, und somit auch auf das Simulationsergebnis. Alle Werte sind in Primärposition definiert, d.h. auch wenn die [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> eine andere Augenposition darstellt, bezieht sich der Muskeldialog in seinen geometrischen Werten immer auf die [Primärposition](#)<sup>16</sup>. Wenn sie die geometrischen Werte in einer bestimmten Blickposition wissen möchten, so können sie dafür den [Stateviewer](#)<sup>120</sup> verwenden.

Die Darstellung der drei [Muskelkurven](#)<sup>39</sup> in der rechten Hälfte des Fensters ist der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> nachempfunden. Jedes Diagramm ist eine eigenständige Ansicht und kann beliebig rotiert, skaliert, gedruckt und als Bild gespeichert werden. Das Kontrollkästchen "Verbunden" wird dazu verwendet, um die Ansicht der einzelnen Kurven miteinander gleichzusetzen. Dies bedeutet, wenn sie bei angehaktem Kontrollkästchen "Verbunden" die Ansicht einer 3D-Kurve mit der Maus verändern, dann folgen alle anderen Kurven automatisch nach.

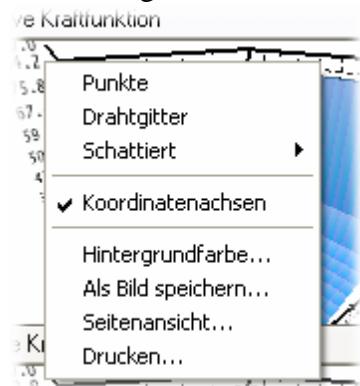
Der Button "Aktualisieren" ermöglicht das sofortige Übernehmen ihrer Änderungen ohne den Dialog mit "OK" schließen zu müssen, genau so wie bei der Karteikarte "Allgemein". SEE++ beginnt nach Klicken auf "Aktualisieren" umgehend im Hintergrund mit der Neuberechnung des Simulationsergebnisses.

Für das Verändern der Anzeige der 3D-Muskelkurven gibt es folgende Möglichkeiten:

Beim Navigieren mit der Maus wird immer zuerst mit einer Maustaste in die Muskelkurve geklickt, die Taste wird gedrückt gehalten und dann wird bei gedrückter Taste die Maus bewegt. Zum Beenden wird die Maustaste einfach wieder losgelassen.

Maustaste/Taste	Aktion
linke Maustaste	Rotation der gesamten Muskelkurve (Kamerarotation) mit Hilfe einer "virtuellen Halbkugel". Innerhalb dieser Kugel wird um die x- und z-Achse rotiert und außerhalb um die y-Achse.
Drehen des Maus-Wheels (Maus-Rad) oder  + linke Maustaste	Vergrößern bzw. Verkleinern der gesamten Ansicht (Zoomfunktion).
Klicken mit dem Maus-Wheel (Maus-Rad) oder mittlere Maustaste 	Zurücksetzen der 3D-Ansicht in die Ausgangsstellung (Kamera-Reset).
rechte Maustaste	Öffnen des Menüs für die Darstellungsoptionen.

Das Menü für die Darstellungsoptionen wird in einer 3D-Kurve mit einem Klick auf die rechte Maustaste geöffnet.



Die Kurvendarstellung kann in drei verschiedenen Arten angezeigt werden:

- Punkte - zeigt die Muskelkurve in Punktendarstellung
- Drahtgitter - zeigt ein Drahtgittermodell an
- Schattiert - wählt zwischen einer Streifen- oder Vierecksdarstellung

Die Option "Koordinatenachsen" blendet die gesamte Beschriftung des Diagramms ein oder aus. Mit der Funktion "Hintergrundfarbe" lässt sich der Diagrammhintergrund farblich verändern. Wenn sie "Als Bild speichern" wählen erscheint der Dialog zum [Speichern einer Bilddatei](#)<sup>153</sup>. Die Funktion "[Drucken...](#)"<sup>161</sup> und "[Seitenansicht...](#)"<sup>162</sup> öffnen die jeweiligen Windows® Standard Dialoge.

## Verändern der Pulleyposition

Grundsätzlich kann der Pulley eines Muskels im 3D-Raum beliebig versetzt werden. Dies ist aber manuell nur schwer zu bewältigen, daher ermöglicht das Kontrollkästchen "Pulleyradius" ein Ausdehnen bzw. Verringern des Abstandes vom Rotationszentrum des Bulbus (Koordinatensystem Nullpunkt). Wenn sie dieses Kontrollkästchen mit einem Klick auf die linke

Maustaste anhaken und anschließend den Pulleyradius entsprechend verändern, so werden die Koordinaten des Pulleys in X, Y und Z-Richtung automatisch über die Abstandsformel des Vektors zum [Nullpunkt des Koordinatensystems](#)<sup>17</sup> berechnet.

## Verändern der Insertion

Der Insertionspunkt eines Muskels weist die Eigenschaft auf, direkt am Bulbus anzuliegen. Deshalb ist eine "freie" Positionierung im 3D-Raum nur schwer abschätzbar. Das Kontrollkästchen "Gesperrt" ermöglicht die automatische Bestimmung der Z-Koordinate über Einsetzen in die Kugelgleichung des Bulbus, so dass nur noch X und Y-Koordinate frei wählbar bleiben. Bei geeigneter Wahl von X und Y-Koordinate bleiben aber immer noch zwei Möglichkeiten, den Insertionspunkt auf dem Bulbus zu positionieren (vordere bzw. hintere Halbkugel). Dies wird mit dem An- bzw. Abhaken des Kontrollkästchens "Positiv" entschieden. Wenn das Kontrollkästchen "Positiv" angehakt ist, dann wird jene Z-Koordinate des berechneten Insertionspunktes verwendet, die in die positive Richtung der Z-Achse des [verwendeten Koordinatensystems](#)<sup>17</sup> zeigt.

Eine andere Möglichkeit, den Insertionspunkt eines Muskels zu definieren, ist die Verwendung des Kontrollkästchens "Muskelradius". Hier greift dasselbe Prinzip wie bei der Bestimmung der Pulleyposition über den "Pulleyradius". Der Insertionspunkt wird, gemäß des "Muskelradius", entlang des Vektors zum Ursprung des verwendeten Koordinatensystems verschoben.



Da die geometrische Abstraktion des Bulbus auf eine Kugel reduziert ist, ein realer Bulbus aber sehr unwahrscheinlich einer perfekten Kugel nachempfunden ist, ergibt sich die Möglichkeit, dass in der 3D-Ansicht einige Muskeln nicht unmittelbar im Bereich der Insertion den Bulbus auch berühren. Da die Insertionen vollständig im 3D-Raum vermessen wurden, und in Anlehnung an einen ellipsoid geformten Bulbus definiert wurden, wird jedem Muskel ein eigener "virtueller" Bulbusradius zugeordnet.

## Verändern von muskelspezifischen Parametern

Die muskelspezifischen Parameter bilden den Kern des parametrierbaren Muskelmodells. Hier kann direkt auf die einzelnen Kraftkurven (aktive, passive und resultierende Kraft) Einfluss genommen werden. Eine Ausnahme ist der Wert "Abrollstrecke", der nicht veränderbar ist. Dieser Wert zeigt die aus den geometrischen Eigenschaften resultierende [Rollstrecke](#)<sup>16</sup> eines Muskels in Primärposition als sphärischen Abstand zwischen [Insertion und Tangentialpunkt](#)<sup>16</sup> an. Die Werte sind entsprechend den beim ["Kräftemodell"](#)<sup>44</sup> angegebenen Ausführungen anzupassen.

### 4.3.3 Innervationsverteilung

Der Dialog der Innervationsverteilung steuert das Aktivierungspotential der Muskeln auf Basis der von den motorischen Kernen der Hirnnerven erzeugten Anregungen. Diese Verteilung ist vor jedes Auge geschalten und bildet somit nicht eindeutig die tatsächliche anatomische Struktur nach. Vielmehr können durch entsprechende Adaptierung der Innervationsverteilung für das linke und/oder das rechte Auge verschiedene nukleäre Störungen modelliert werden.

Die Innervationsverteilung ist für [alle Augen, die von SEE++ simuliert werden](#)<sup>46</sup> vorhanden (linkes Auge, rechtes Auge und Referenzauge), hier exemplarisch am linken Auge erklärt. Sie erreichen diesen Dialog über das Hauptmenü "Stammdaten->Linkes Auge->Innervationsverteilung" oder über die Treeview unter "Med. Stammdaten->Linkes Auge->Innervationsverteilung".

**Innervationsverteilung - Linkes Auge**

Innervationsverteilung der Nerven auf die Muskeln in Prozent bezogen auf ihren gesamten Stimulus:

	RectMed	RectLat	RectSup	RectInf	ObliqSup	ObliqInf
Oculo/RM	100 >	0 >	0 >	0 >	0 >	0 >
Abducens	0 >	100 >	0 >	0 >	0 >	0 >
Oculo/RS	0 >	0 >	100 >	0 >	0 >	0 >
Oculo/RI	0 >	0 >	0 >	100 >	0 >	0 >
Trochlear	0 >	0 >	0 >	0 >	100 >	0 >
Oculo/OI	0 >	0 >	0 >	0 >	0 >	100 >

**OK**    **Abbrechen**

Für eine detaillierte Erklärung der Auswirkungen von Veränderungen, siehe [Kräftemodell](#)<sup>46</sup> (motorische Kerne).



Alle Angaben in diesem Dialog sind Prozentwerte.

#### 4.3.4 Motorische Fusionsbreite

In diesem Dialog kann die motorische Fusionsbreite des "virtuellen Patienten" verändert werden. Die Fusionsbreite kann entweder in Grad oder in Prismendioptrien eingegeben werden. Wenn sie den Dialog mit "OK" beenden, werden die neuen Werte übernommen, mit einem Klick auf "Abbrechen" werden die Änderungen verworfen. Sie erreichen diesen Dialog über das Hauptmenü "Stammdaten->Motorische Fusionsbreite" oder über die Treeview unter "Med. Stammdaten->Motorische Fusionsbreite".

**Motorische Fusionsbreite**

Hinweis: Die Werte in diesem Dialog werden momentan nur für die Simulation des Cover Tests verwendet!

**Horizontale Fusionsbreite**

Konvergenzbreite:  >

Divergenzbreite:  >

**Vertikale Fusionsbreite**

Positive Vergenzbreite:  >

Negative Vergenzbreite:  >

Grad     Prismendioptrien

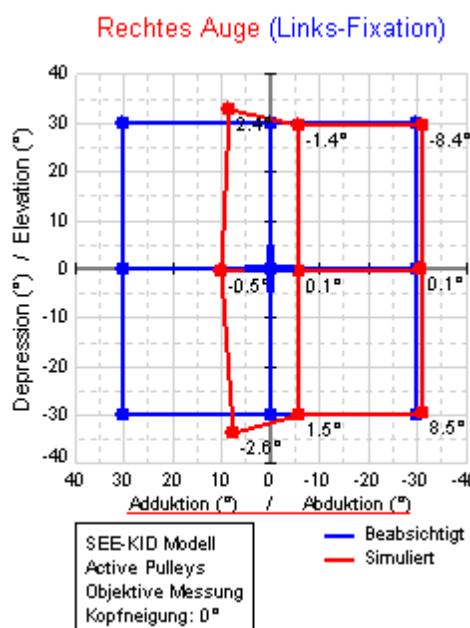
**OK**    **Abbrechen**



Eine Veränderung der motorischen Fusionsbreite führt nicht zu einer Neuberechnung des Hess-Lancaster Tests, da die Fusionsbreiten momentan nur für die Simulation des [Cover Tests](#)<sup>[135]</sup> verwendet werden und somit keinen Einfluss auf die Berechnung des Hess-Lancaster Tests haben.

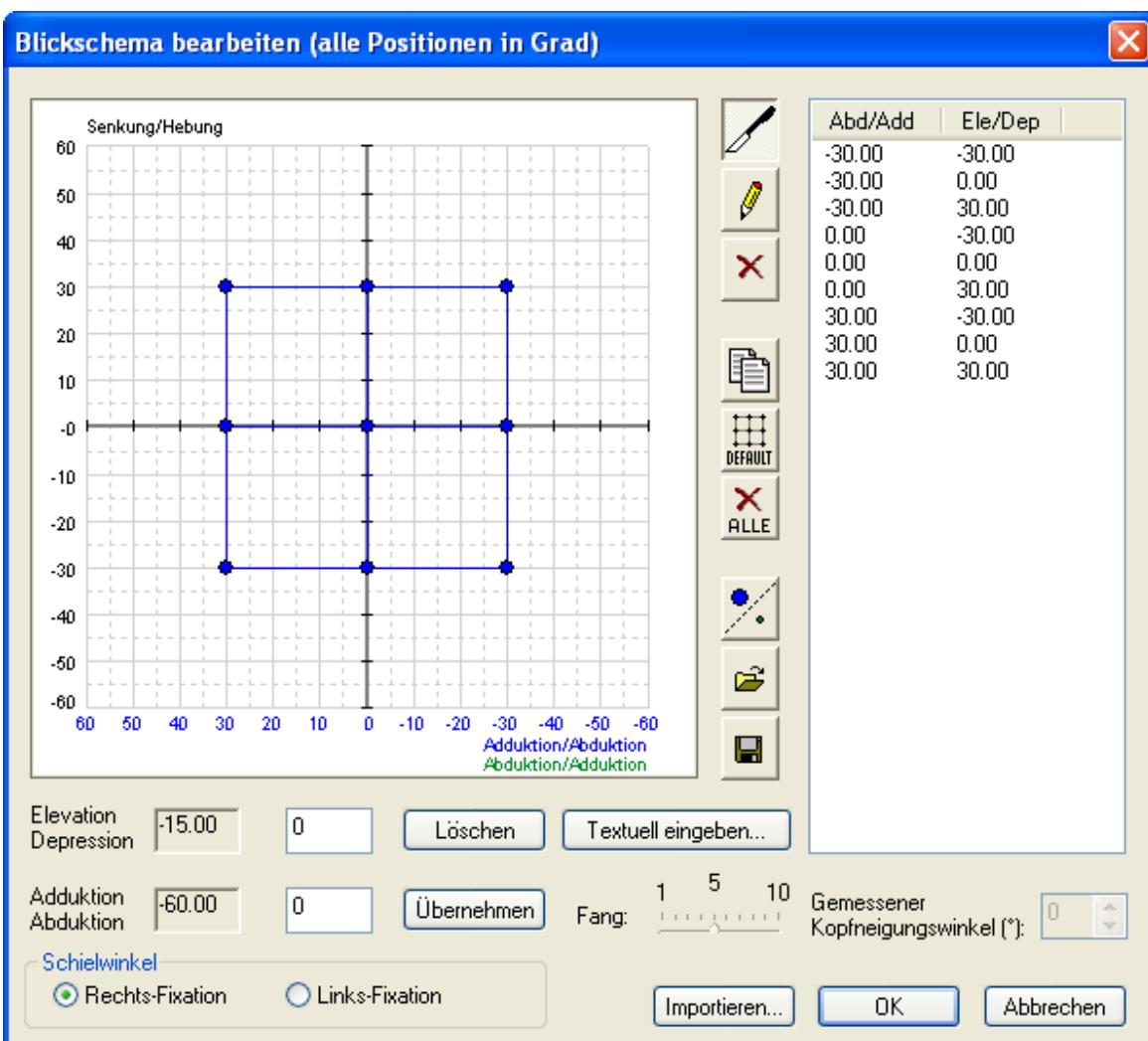
#### 4.3.5 Blickschema

Ein Blickschema bildet die Basis für die Simulation des Hess-Lancaster Tests. Bei der Durchführung der Simulation wird für jeden im Blickschema eingezeichneten Punkt eine Fixation des jeweiligen fixierenden Auges durchgeführt. Das andere Auge wird dann, gemäß der Simulationsbeschreibung, als folgendes Auge betrachtet und entsprechend der pathologischen Situation vom fixierenden Auge abweichen. Im Hess-Lancaster Diagramm können den vom Blickschema angegebenen Fixationspositionen die blauen Punkte zugeordnet werden. Die roten Punkte beschreiben die beim Test resultierenden Abweichungspunkte des folgenden Auges.



Als Beispiel sei hier eine Links-Fixation angegeben. Dies bedeutet, dass das linke Auge nacheinander die blau dargestellten Blickpositionen einnimmt und dann das SEE++ System die Position des hier rechten folgenden Auges bei gegebener Pathologie (hier eine Parese des rechten m. rectus medialis) ermittelt. Der Schielwinkel lässt sich durch den Vergleich der benachbarten blauen und roten Punkte ablesen. Das vorgegebene blaue Blickschema kann im Blickschema-Dialog verändert werden. Dabei gibt es ein komplettes Blickschema für Rechts- und Links-Fixation, da der Hess-Test für beide Augen (einmal links fixierend, dann rechts fixierend) durchgeführt wird. Das Editieren eines Blickschemas ist dann notwendig, wenn ein fixierendes Auge pathologisch reagiert und möglicherweise gewisse Fixationspunkte (blau) nicht mehr erreichen kann. Dann kann man diese Punkte entweder löschen, oder das Blickschema so verändern, dass eine Fixation wieder möglich wird.

Der Dialog zum Ändern eines Blickschemas wird über das Hauptmenü "Stammdaten->Blickschema" oder über die Treeview unter "Med. Stammdaten->Blickschema" aufgerufen. Über diesen Dialog wird jeweils das Blickschema des aktuellen Szenarios bearbeitet. Wenn sie das Blickschema eines anderen Szenarios bearbeiten möchten, dann müssen sie vorher das gewünschte Szenario als aktives Szenario setzen (siehe [Szenarien](#)<sup>[100]</sup>).



Dieser Dialog zeigt das aktuelle, in blau dargestellte Bickschema für jeweils eine Fixationsrichtung an. Sie können zwischen dem Bickschema für Links- und Rechts-Fixation mit dem Kasten "Schielwinkel" umschalten.

#### Schielwinkel

Rechts-Fixation     Links-Fixation

Die Punktliste zeigt alle eingetragenen Fixationspunkte in textueller Form an:

Abd/Add	Ele/Dep
-30.00	-15.00
-30.00	0.00
-30.00	15.00
-15.00	-30.00
-15.00	-15.00
-15.00	0.00
-15.00	15.00
-15.00	30.00
0.00	-30.00
0.00	-15.00
0.00	0.00

Sie können mit einem Klick auf den jeweiligen Eintrag einen Punkt auswählen. Die Koordinaten dieses Fixationspunktes werden dann in den textuellen Feldern zum Ändern bzw. Löschen angezeigt. Außerdem wird der Punkt im Bickschema rot markiert.

Elevation Depression	<input type="text" value="-50.00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="Löschen"/>
Adduktion Abduktion	<input type="text" value="-55.00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="Übernehmen"/>

Um die einzelnen Fixationspunkte zu editieren, gibt es die Möglichkeit der textuellen Eingabe in den freien Feldern für Elevation/Depression und Adduktion/Abduktion.

Bestätigen sie einen eingegebenen Punkt mit "Übernehmen" bzw. löschen sie den aktuell in der Liste markierten Punkt mit "Löschen".

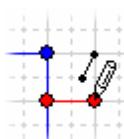
Wenn sie die Maus für das Editieren der Punkte verwenden möchten, so müssen sie die einzelnen Symbol-Buttons verwenden:



Drücken sie diesen Button, um die einzelnen Punkte im Blickschema mit der Maus verschieben zu können. Bewegen sie zum Verschieben die Maus anschließend über den gewünschten Punkt, drücken sie die linke Maustaste und ziehen sie den Punkt, bei gedrückter linker Maustaste, an die gewünschte Position.



Drücken sie diesen Button, um einzelne Punkte in das Blickschema einzufügen. Bewegen sie dann die Maus auf die gewünschte Position im Diagramm und fügen sie einen neuen Punkt durch einmaliges Klicken mit der linken Maustaste ein.



Weiters bietet diese Funktion die Möglichkeit, zwei Punkte miteinander zu verbinden, indem sie auf einen bereits existierenden Punkt mit der linken Maustaste klicken, und, bei gedrückter Maustaste, eine Linie zu einem anderen Punkt ziehen. Die Linie wird dann gezeichnet, wenn sie die linke Maustaste über dem Zielpunkt loslassen.



Der Fang bestimmt die Schrittweite in der Punkte im Blickschema mit der Maus verschoben oder gesetzt werden können. Ein Fang von 5 entspricht also einer Schrittweite von  $5^\circ$ . Verringern sie den Fang, um Punkte mit der Maus genauer platzieren zu können.



Drücken sie diesen Button, um einzelne Punkte im Blickschema zu löschen. Bewegen sie dann die Maus über den zu löschen Punkt im Diagramm und löschen sie ihn durch einmaliges Klicken mit der linken Maustaste.



Mit diesem Button können sie die (blauen oder grünen) Punkte aus einer Fixation in die jeweils andere Fixation kopieren. Sollten dabei existierende Punkte überschrieben werden, dann gibt SEE++ eine Warnung aus.



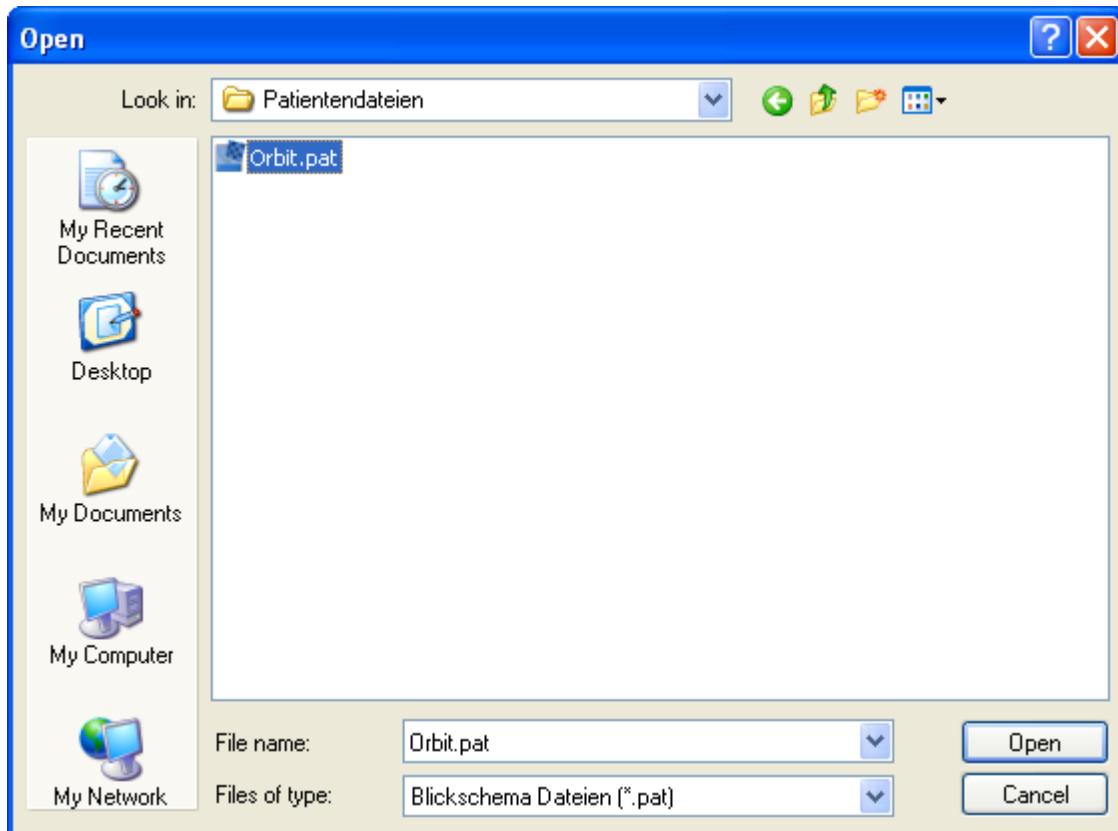
Mit diesem Button löschen sie alle Punkte aus dem aktuellen Blickschema und ersetzen diese durch das Einheitsblickschema (9 Punkte in die einzelnen Hauptblickrichtungen mit einem Ausdehnungswinkel von jeweils  $30^\circ$ ).



Dieser Button löscht alle Fixationspunkte in dem aktuellen Blickschema.



Mit dieser Funktion können sie ein Blickschema aus einer Datei laden. Beim Laden einer Blickschema-Datei wird das aktuelle Blickschema durch jenes aus der Datei ersetzt.



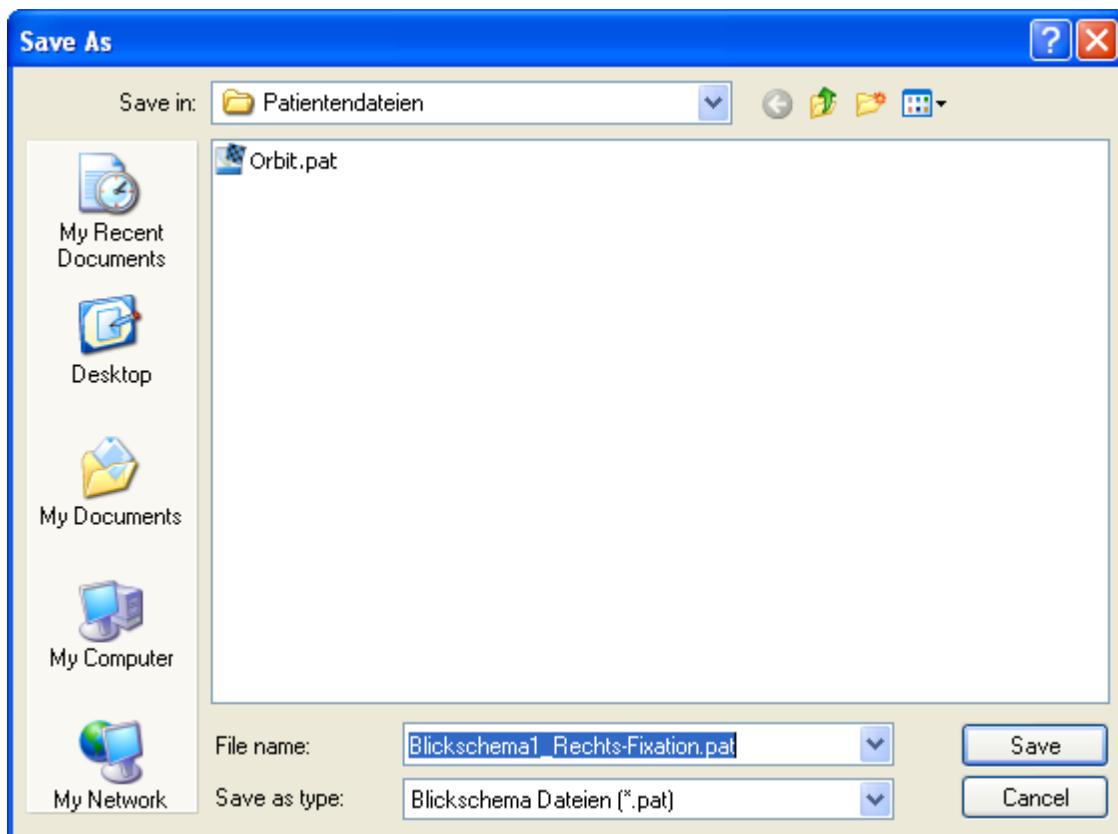
Nach Klicken des Buttons für das Laden eines Blickschemas öffnet sich der Dialog zur Auswahl einer Blickschema-Datei. Diese Dateien haben die Endung ".pat". Navigieren sie in das jeweilige Verzeichnis und klicken sie auf die .pat-Datei, die sie laden wollen. Danach klicken sie auf "Open" bzw. "Öffnen", um die Datei zu laden. Wenn sie auf den Button "Cancel" bzw. "Abbrechen" drücken, wird keine Datei geladen und das aktuelle Blickschema bleibt erhalten.



Beachten sie bitte, dass sich das Laden und Speichern von Blickschema-Dateien nur auf das aktuelle Blickschema und die aktuell gewählten Punkte bezieht, das heißt es werden entweder nur die blauen oder grünen Punkte für die Links- oder Rechts-Fixation gespeichert bzw. ersetzt. Wenn sie das Blickschema für beide Fixationen ersetzen möchten, müssen sie auf z.B. Links-Fixation umschalten und wieder eine Blickschema-Datei laden oder durch Klicken auf den Button für das Kopieren eines Blickschemas das jeweilige Blickschema in die andere Fixation kopieren.



Verwenden sie diese Funktion, um ein vorhandenes Blickschema in eine Datei zu speichern. Dateien, die Blickschemata speichern, haben die Endung ".pat" und können jederzeit im Blickschema-Dialog mit der Öffnen-Funktion (siehe oben) wieder geladen werden.



Nach Klicken des Buttons für das Speichern eines Blickschemas öffnet sich der Dialog zur Auswahl des Speicherortes bzw. Dateinamens. Gehen sie hier wie beim Öffnen von Blickschema-Dateien vor, indem sie in das jeweilige Verzeichnis navigieren und nach Benennung der Datei diese durch klicken auf "Save" bzw. "Speichern" ablegen.

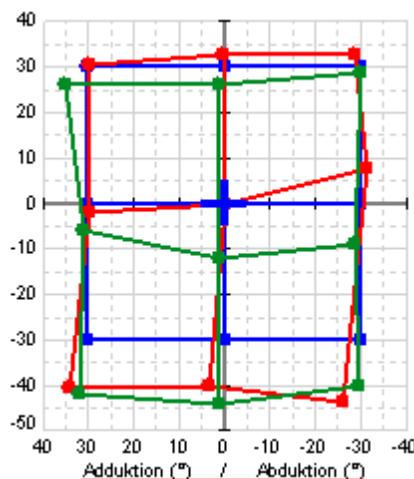
Neben dem Fixations-Blickschema für die Simulation des Hess-Lancaster Tests bietet SEE++ zusätzlich die Möglichkeit ein "reales" am Patienten in der Klinik gemessenes Blickschema für Vergleichszwecke einzulegen.



Dieser Button schaltet von blauen auf grüne Punkte um, wobei die grünen Punkte reale Patientenwerte repräsentieren. Das Einzeichnen des grünen Blickschemas für Rechts- als auch Links-Fixation funktioniert gleich wie bei den Fixationspunkten für das blaue Blickschema (siehe oben). Auch das Laden und Speichern von grünen Blickschemata ist analog anzuwenden.

Gemessener  
Kopfnieigungswinkel (\*):

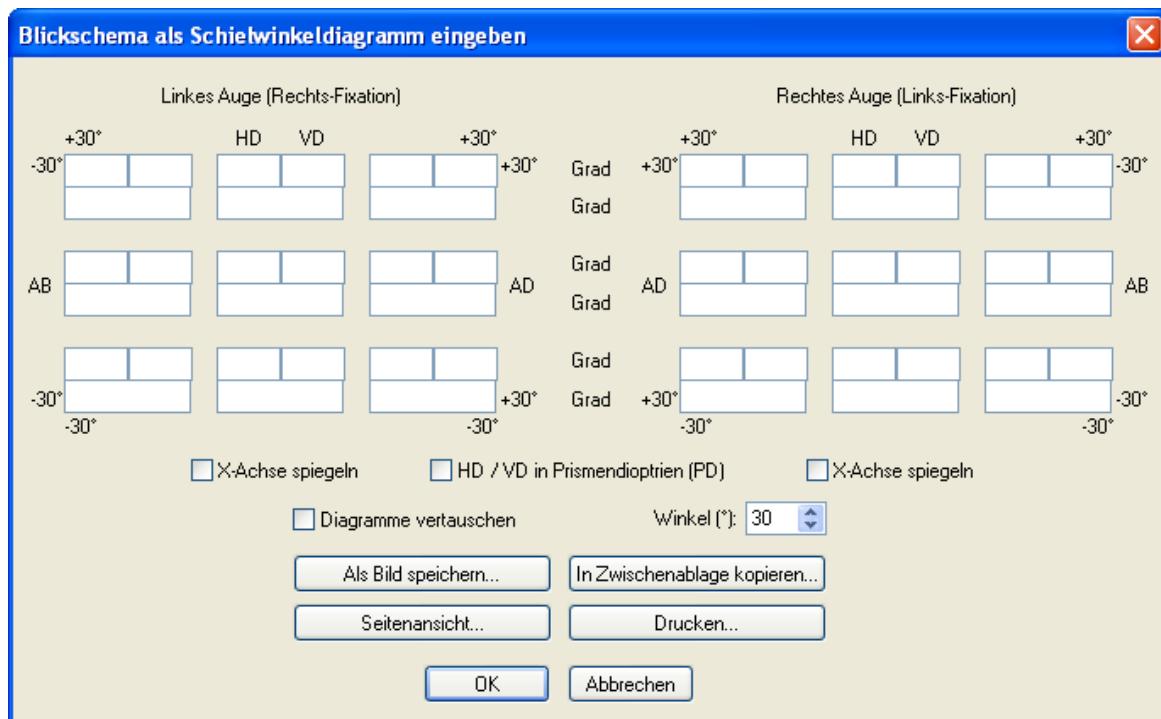
Bei einem gemessenen grünen Blickschema haben sie zusätzlich noch die Möglichkeit anzugeben, in welcher Kopfneigung das Blickschema gemessen wurde. Der eingebaute Kopfneigungswinkel wird bei den Zusatzinformationen im Hess-Diagramm angezeigt, er hat jedoch keinen Einfluss auf die Simulation.



Wird der Hess-Lancaster Test von SEE++ simuliert und das Ergebnis angezeigt, dann wird das grüne "gemessene" Blickschema, falls eingezeichnet, zusätzlich eingeblendet um einen Vergleich mit klinischen Messdaten zu ermöglichen.

Im Computersystem [Orbit™](#) werden Bickschemata auch in den einzelnen "Simulationsdateien" gespeichert. SEE++ bietet die Möglichkeit, ein Bickschema aus einer Orbit-Datei zu importieren. Verwenden sie hier den Button "Importieren...", um diese Funktion auszuführen. Die Vorgehensweise ist gleich wie beim Laden von SEE++ Bickschema Dateien (.pat-Dateien).

Der Button "Textuell eingeben..." bietet die Möglichkeit, ein Bickschema per Standardvorlage für neun Hauptblickrichtungen zu erfassen.



Die textuelle Eingabe bietet neben der Eingabe von Horizontalabweichung (HD), Vertikalabweichung (VD) und Torsionsabweichung (siehe [Simulation](#)) die Möglichkeit, das entstehende Diagramm in allen horizontalen Achsen zu vertauschen, da die klinische Verwendung nicht immer einheitlich definiert ist.

Verwenden sie "X-Achse spiegeln", um die entstehenden Punkte in dem jeweiligen Diagramm zu spiegeln. Verwenden sie "Diagramme vertauschen", um Links- und Rechts-Fixation zu

vertauschen. Hier gilt standardmäßig die Konvention der Sicht des Patienten, d.h. das **rechte Auge** ist aus Sicht des **Untersuchers links**. Der maximale Ausdehnungswinkel für die neun Hauptblickrichtungen kann im Feld "Winkel" eingestellt werden. Weiters können die Abweichungen entweder in Grad oder in Prismendioptren eingegeben werden. Wenn sie einen Punkt auslassen möchten (weil er z.B. vom Patienten nicht fixiert werden konnte), dann löschen sie einfach den kompletten Inhalt (auch 0.0 muss gelöscht werden!) der drei Abweichungsfelder (HD, VD und Torsion) des entsprechenden Punktes bzw. lassen sie alle drei Felder leer. Wurde bei einem Patienten in einer Blickposition keine Torsion gemessen, dann löschen sie den Inhalt des Feldes für die Torsion bzw. lassen sie das Feld leer (0.0 würde eine gemessene Torsion von 0 Grad bedeuten).

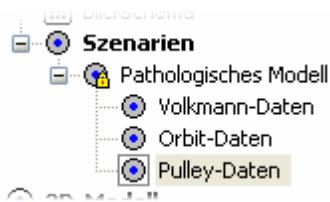
Ein textuell eingegebenes Blickschema kann [als Bild gespeichert](#)<sup>[153]</sup>, in die Zwischenablage kopiert oder [ausgedruckt](#)<sup>[161]</sup> werden. Außerdem können sie in der [Seitenansicht](#)<sup>[162]</sup> das zu druckende Blickschema vorab kontrollieren.



Beachten sie dabei die [unterschiedlichen Vorzeichen für Rechts- und Links-Fixation](#)<sup>[52]</sup>, die **nur** hier bei der textuellen Eingabe mit Standardvorlage einzuhalten sind.

## 4.4 Szenarien

Szenarien können ausschließlich über die Treeview bearbeitet werden. In einem Szenario werden alle drei Augen (Referenzauge, linkes Auge, rechtes Auge) mit allen dazugehörigen [medizinischen Stammdaten](#)<sup>86</sup>, ([Bulbusdaten](#)<sup>87</sup>, [Muskeldaten](#)<sup>87</sup>, [Innervationsverteilung](#)<sup>91</sup>, [motorische Fusionsbreite](#)<sup>92</sup>, [Blickschema](#)<sup>93</sup>) abgespeichert. Außerdem hat jedes Szenario einen Namen, der nicht eindeutig sein muss jedoch eine Mindestlänge von fünf Zeichen hat. Alle Szenarien befinden sich unter dem Element "Szenarien" in der Treeview. Standardmäßig existieren in SEE++ vier Szenarien:



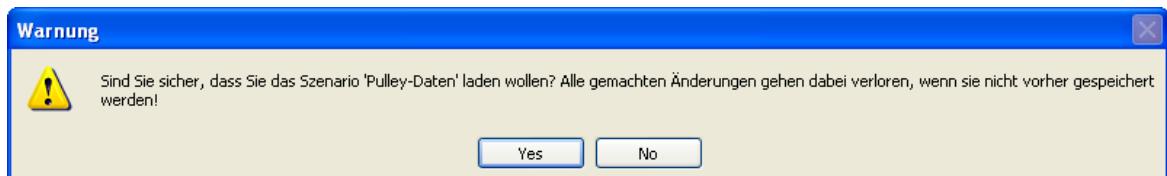
- **Pathologisches Modell:** In diesem Szenario sind die Ausgangsdaten für alle anderen Szenarien gespeichert (Standarddaten). Es kann nicht gelöscht, überschrieben, umbenannt, entsperrt oder dupliziert werden.

- **Volkmann-Daten:** In diesem Szenario sind die Muskel und Bulbusdaten nach [Volkmann](#)<sup>34</sup> gespeichert. Bei diesen Daten sind die Pulleys gleich den Ursprüngen.
- **Orbit-Daten:** In diesem Szenario sind die selben Ausgangsdaten gespeichert wie im [Orbit™](#) Computersystem (diese Daten befinden sich im [Orbit™](#) Computersystem in der Datei "Orbit\_Norm"). Diese Daten sind sehr ähnlich zu den Daten des Pathologischen Modells, unterscheiden sich jedoch minimal in einigen Parametern. Dieses Szenario dient primär dazu, um Simulationen mit dem Orbit-Modell in SEE++ mit dem [Orbit™](#) Computersystem vergleichen zu können.
- **Pulley-Daten:** Dieses Szenario enthält die selben Daten wie das "Pathologische Modell". Es ist standardmäßig das aktive Szenario und dient meistens als Ausgangspunkt für neue Szenarien.

Szenarien stehen in einer hierarchischen Beziehung zueinander, das heißt, dass ein Unter-Szenario immer auf den Daten des Szenarios beruht, von dem aus es erstellt wurde. Alle Szenarien basieren auf den Daten des "Pathologischen Modells". Die Szenarien, die sich auf der selben Ebene im Baum befinden wie das "Pathologische Modell", stellen so genannte preoperative Daten dar, also Daten, von denen ausgehend eine Operation simuliert werden kann. Es liegt in der Verantwortung des Benutzers zu definieren, welche Szenarien preoperative Daten darstellen. Eine mögliche Vorgehensweise ist es, von den Pulley-Daten ausgehend eine Pathologie zu simulieren, das Endergebnis der Simulation dann in preoperative Daten zu überführen und anschließend die Operation zu simulieren. Natürlich kann dann am Ende der Simulation das Ergebnis der Operation wieder in preoperative Daten überführt werden, um z.B. eine weitere Operation durchzuführen.

Im Programm kann immer nur ein Szenario zur selben Zeit aktiv sein. Zu erkennen ist das aktive Szenario an dem kleinen, grauen, quadratischen Rahmen der um das Symbol neben dem Namen des Szenarios liegt. Der Benutzer kann das aktive Szenario wechseln, in dem er mit der linken oder der rechten Maustaste auf ein Szenario (Namenstext oder Symbol) klickt. Dabei wird dann das angeklickte Szenario als aktives Szenario gewählt und gleichzeitig geladen. Wenn der Benutzer auf das aktive Szenario mit der linken Maustaste klickt, so wird dieses ebenfalls neu geladen. Beim Laden eines Szenarios werden die im Szenario gespeicherten medizinischen Stammdaten mit den aktuellen Stammdaten (das sind jene, die über die Treeview bzw. über das

Menü angesehen werden können) verglichen. Gibt es Unterschiede, dann wird folgende Warnung ausgegeben:



Wenn der Benutzer nun auf "Yes" bzw. "Ja" klickt, so werden alle aktuellen Änderungen an den medizinischen Stammdaten verworfen und mit den Daten aus dem gewählten Szenario überschrieben. Bei einem Klick auf "No" bzw. "Nein" wird der Vorgang abgebrochen und das Szenario wird nicht geladen und auch nicht aktiv gesetzt, wenn es nicht schon aktiv ist.



Verwerfen sie die gemachten Änderungen nur, wenn sie wirklich sicher sind, dass sie sie nicht mehr benötigen, da dieser Vorgang nicht immer vollständig rückgängig gemacht werden kann!

Sollte einem Szenario eine Ansicht zugeordnet sein, dann wird standardmäßig beim Laden des Szenarios auch die zugeordnete Ansicht mitgeladen (die aktuelle Ansicht wird dabei überschrieben). Wenn sie nicht möchten, dass zugeordnete Ansichten automatisch mit einem Szenario geladen werden, dann können sie dieses Verhalten in den [allgemeinen Optionen](#)<sup>145</sup> auch abschalten.

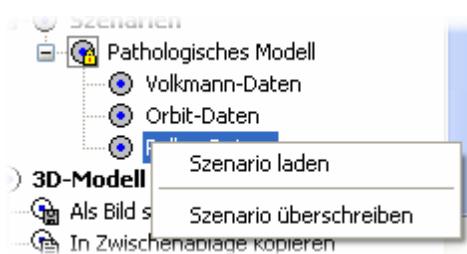


Für das Bearbeiten von Szenarien gibt es ein eigenes Menü, welches angezeigt wird, wenn der Benutzer mit der rechten Maustaste auf ein Szenario klickt. Dieses Menü bezieht sich immer auf das Szenario, auf das mit der rechten Maustaste geklickt wurde. Das ist auch der Grund, warum ein Szenario beim Klicken mit der rechten Maustaste geladen wird.



Änderungen am Blickschema des aktuellen Szenarios (über den [Blickschema-Dialog](#)<sup>93</sup>) werden direkt im Szenario abgespeichert und müssen nicht (so wie Änderungen an den medizinischen Stammdaten) mit "Szenario speichern" erst abgespeichert werden. Außerdem kann auch bei gesperrten Szenarien das

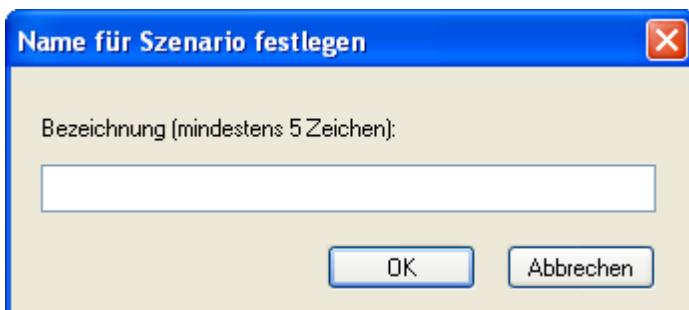
Blickschema jederzeit verändert werden. Sie brauchen nur das Szenario aktiv setzen und die gewünschten Änderungen über den Blickschema-Dialog vornehmen.



Für dieses Verhalten gibt es allerdings eine Ausnahme und zwar wenn das aktuell gewählte Szenario ein oder mehrere nicht gesperrte Unter-Szenarien enthält. Klicken sie mit der rechten Maustaste auf eines dieser nicht gesperrten Unter-Szenarien, dann wird ein eigenes Menü angezeigt, mit dem sie das Unter-Szenario mit den Daten des momentan gewählten Szenarios überschreiben können. Alternativ können sie das angeklickte Szenario mit dem anderen Menüpunkt auch laden.

### Neues Unter-Szenario anlegen

Dieser Menüpunkt legt ein neues Szenario eine Ebene unter dem gewählten Szenario an. Die Daten für das neue Szenario werden von dem gewählten Szenario übernommen. Bevor das neue Szenario angelegt wird, wird folgender Dialog angezeigt:



In diesem Dialog muss nun der Name des Szenarios eingegeben werden (mindestens fünf Zeichen lang). Nach dem Klicken auf "OK" wird das neue Szenario angelegt und im Baum angezeigt, bei einem Klick auf "Abbrechen" wird der Vorgang abgebrochen und es wird kein neues Szenario angelegt. Beim Anlegen eines neuen Unter-Szenarios wird automatisch das Szenario, unter dem das neue Szenario angelegt wird, gesperrt und das neue Szenario als aktives gesetzt, damit die Rückverfolgbarkeit der Änderungen in den Szenarien gesichert ist. Ein Unter-Szenario kann auch für gesperrte Szenarien angelegt werden.



Wenn sie vergessen haben, vor dem Verändern der medizinischen Stammdaten ein neues Szenario anzulegen und sie ihre Änderungen nicht verlieren und auch das aktive Szenario nicht überschreiben wollen, gehen sie wie folgt vor: Legen sie vom aktiven Szenario ausgehend ein neues Unter-Szenario an oder duplizieren sie es. Die Warnung von nicht gespeicherten Änderungen ignorieren sie einfach mit einem Klick auf "Nein" bzw. "No". Nach der Eingabe eines Namens für das neue Szenario klicken sie mit der rechten Maustaste auf das neue Szenario und anschließend mit der linken Maustaste auf den Punkt "Szenario speichern". Somit sind ihre Änderungen im neu angelegten Szenario gespeichert und das Ausgangsszenario wurde nicht überschrieben.

## Szenario duplizieren

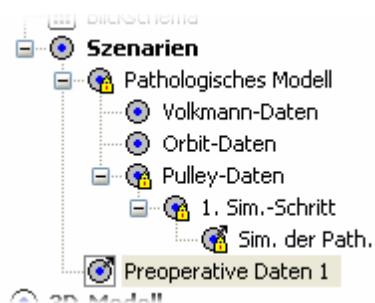
Dieser Menüpunkt dupliziert das gewählte Szenario auf der selben Ebene wie das gewählte Szenario. Bevor das neue Szenario angelegt wird, hat der Benutzer, genauso wie beim Anlegen eines neuen Unter-Szenarios, wieder die Möglichkeit, einen Namen für das neue Szenario anzugeben. Der Name des gewählten Szenarios wird automatisch als Name für das neue Szenario vorgeschlagen. Szenarien die auf der gleichen Ebene wie das "Pathologische Modell" sind (also Szenarien, die preoperative Daten enthalten), können nicht dupliziert werden, aber gesperrte Szenarien können sehr wohl dupliziert werden, wobei das neue Szenario nicht automatisch gesperrt ist. Das neu angelegte Szenario wird automatisch als aktives Szenario gesetzt.

## Szenario speichern

Ein Klick auf den Menüpunkt "Szenario speichern" speichert die medizinischen Stammdaten aller drei Augen in dem gewählten Szenario und überschreibt alle bisher in dem Szenario gespeicherten Daten. Wenn ein Szenario gesperrt ist, dann kann es nicht gespeichert werden.

## Szenario in Preoperative Daten überführen

Wenn die Simulation einer Pathologie erfolgreich abgeschlossen wurde, dann kann mit Hilfe dieses Menüpunktes ein neues Szenario angelegt werden, welches einige spezielle Eigenschaften aufweist. Der Grund für diesen speziellen Szenariotyp ist die bessere Gliederung zwischen der Simulation der Pathologie und der Simulation der Operation. Die speziellen Eigenschaften von Szenarien, die in preoperative Daten überführt wurden, sind:



- Das neue Szenario befindet sich immer auf der selben Ebene wie das "Pathologische Modell". Genauer gesagt stellen alle Szenarien auf der Ebene des "Pathologischen Modells" preoperative Daten dar, wobei das "Pathologische Modell" selbst auch preoperative Daten enthält, aber es kein Szenario gibt, aus dem es erstellt wurde, da es ja selbst das globale Ausgangsszenario ist.

- Beim Anlegen des neuen Szenarios wird automatisch das Ausgangsszenario gesperrt, damit die Rückverfolgbarkeit der Änderungen in den Szenarien gesichert ist.
- Zwischen dem neuen Szenario und dem Ausgangsszenario wird eine Verbindung hergestellt (ein Link), die an einem kleinen Pfeil in der rechten oberen Ecke des Symbols neben den Namen der beiden Szenarien sichtbar ist (siehe auch "Selektiere und lade Ausgangsszenario").

Für das neue Szenario muss natürlich genauso wie beim Anlegen eines Unter-Szenarios ein Name vergeben werden.

## Szenario umbenennen

Der Name eines Szenarios kann nach dem Anlegen mit Hilfe dieses Menüpunktes auch nachträglich noch geändert werden.

## Szenario löschen

Dieser Menüpunkt löscht das gewählte Szenario mit allen Unter-Szenarien. Wenn das gewählte Szenario oder eines der zugehörigen Unter-Szenarien einen Verweis auf preoperative Daten enthält, so wird eine Warnung ausgegeben, da nach dem Löschen die Verweise von den referenzierten preoperativen Szenarien auf die entsprechenden Ausgangsszenarien ungültig werden. Wird ein Szenario mit preoperativen Daten gelöscht, so wird der Verweis bei dem zugehörigen Ausgangsszenario ebenfalls entfernt.

## Szenario sperren/Szenario entsperren

Beim Anlegen eines Unter-Szenarios und beim Überführen eines Szenarios in preoperative Daten wird das Ausgangsszenario automatisch gesperrt und kann auch nicht mehr entsperrt werden, so lange das angelegte Unter-Szenario bzw. das Szenario mit den preoperativen Daten existiert. Der Grund für diese automatische Sperre ist, dass die Rückverfolgbarkeit der Änderungen in den Szenarien gesichert ist. Ein gesperrtes Szenario ist an dem kleinen gelben Schloss im rechten unteren Teil des Symbols neben dem Namen des Szenarios erkennbar. Szenarien, die nicht automatisch gesperrt wurden, können auch manuell über den Menüpunkt "Szenario sperren" gesperrt werden, damit sie nicht versehentlich geändert, also durch Speicherung oder durch das Importieren von Orbit-Daten überschrieben werden. Das Sperren eines Szenarios verhindert allerdings nicht, dass es gelöscht werden kann. Mit dem Menüpunkt "Szenario entsperren" kann ein Szenario wieder entsperrt werden, wenn es die Szenarienhierarchie zulässt.

## Selektiere und lade Ausgangsszenario

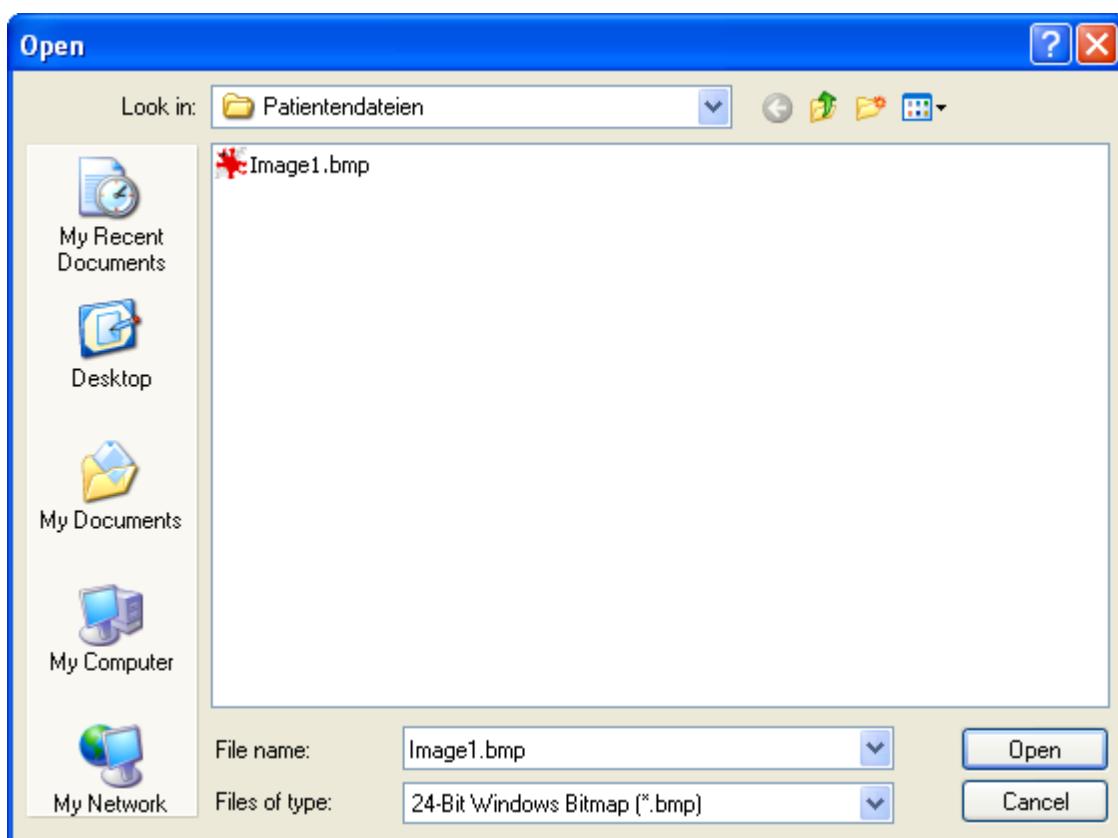
Dieser Menüpunkt kann nur ausgewählt werden, wenn das gewählte Szenario durch den Menüpunkt "Szenario in Preoperative Daten überführen" erstellt wurde und das Ausgangsszenario noch nicht gelöscht wurde. In diesem Fall wird dann das Ausgangsszenario als aktives Szenario ausgewählt und geladen.

#### 4.4.1 Ansichten



Sie können jedem Szenario eine Ansicht zuordnen. Verwenden sie dazu den Menüpunkt "Aktuelle Ansicht dem Szenario zuordnen". Eine Ansicht ist die Summe aller Einstellungen, die sie in SEE++ für die Diagramme und das 3D-Modell vornehmen können (siehe [Symbolleisten-Ansichten](#)<sup>132</sup>). Eine auf diese Art zugeordnete Ansicht können sie zu einem späteren Zeitpunkt wieder laden, indem sie auf "Zugeordnete Ansicht anzeigen" klicken. Wenn dem aktuellen Szenario keine Ansicht zugeordnet ist, dann ist dieser Menüpunkt deaktiviert. Über den Punkt "Zugeordnete Ansicht entfernen" können sie eine zuvor zugeordnete Ansicht wieder entfernen.

Wenn sie in SEE++ [ein Bild speichern](#)<sup>153</sup>, dann werden in den Meta-Informationen dieses Bildes automatisch die aktuellen [medizinischen Stammdaten](#)<sup>86</sup> sowie die aktuelle Ansicht mitgespeichert. Über den Menüpunkt "Szenario & Ansicht aus Bild importieren" haben sie die Möglichkeit, aus einem solchen Bild die Daten in das aktuell gewählte Szenario zu importieren. Die importierte Ansicht wird dabei sowohl dem Szenario zugeordnet als auch direkt nach dem Importieren angezeigt. Alle in dem gewählten Szenario gespeicherten Daten gehen dabei verloren!

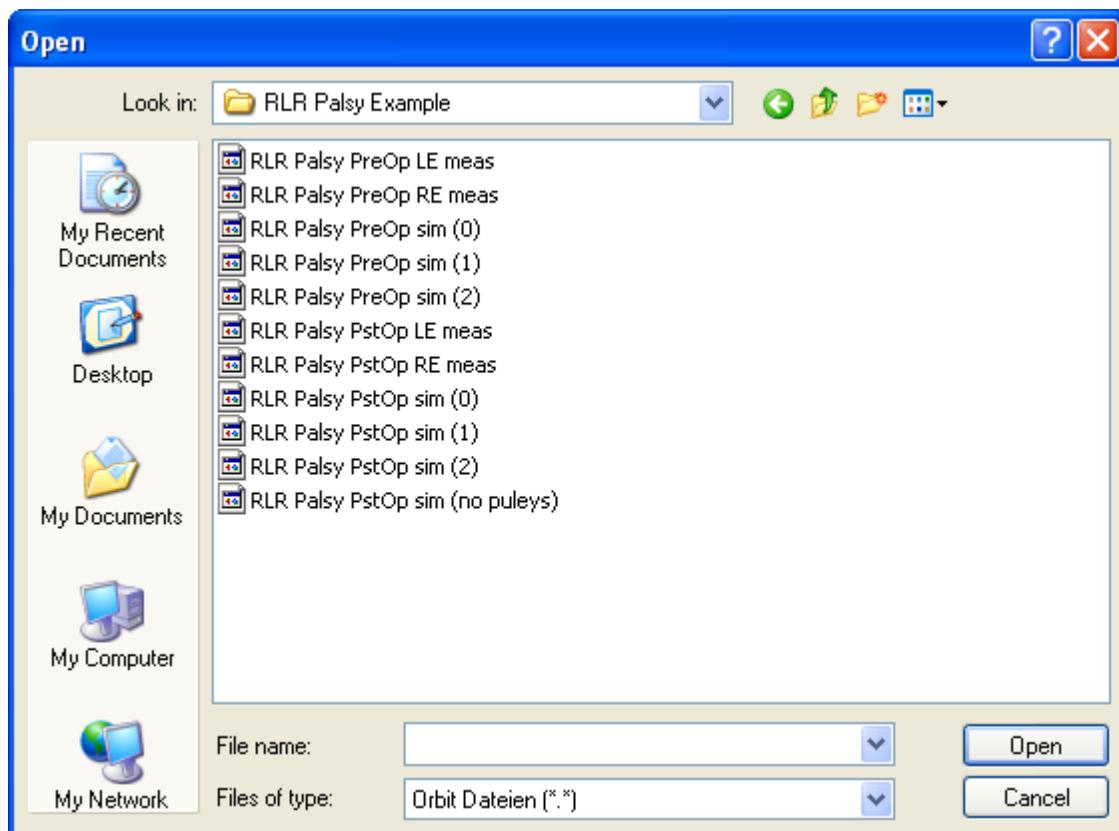


Nach Klicken auf den Menüpunkt "Szenario & Ansicht aus Bild importieren" und dem Bestätigen der Warnmeldung mit "Ja" bzw. "Yes" öffnet sich der Dialog zur Auswahl einer Bilddatei. Sie können zwischen Bildern im Bitmap-Format (.bmp) und JPEG-Format (.jpg) wählen. Navigieren sie in das jeweilige Verzeichnis und klicken sie auf die Bilddatei, die sie laden wollen. Danach

klicken sie auf "Open" bzw. "Öffnen", um die Datei zu laden. Wenn sie auf den Button "Cancel" bzw. "Abbrechen" drücken, wird keine Datei geladen, und das aktuelle Szenario bleibt unverändert.

#### 4.4.2 Orbit-Daten importieren

Mit dieser Funktion kann eine komplette Patientendatei des Programms [Orbit™](#) in ein Szenario von SEE++ importiert werden. Nach einem Klick auf den Menüpunkt "Orbit-Daten in Szenario importieren" wird als erstes eine Warnung ausgegeben, dass das Importieren alle Daten des gewählten Szenarios überschreibt. Wenn die Warnung mit einem Klick auf "Yes" bzw. "Ja" akzeptiert wird, erscheint folgender Dialog:



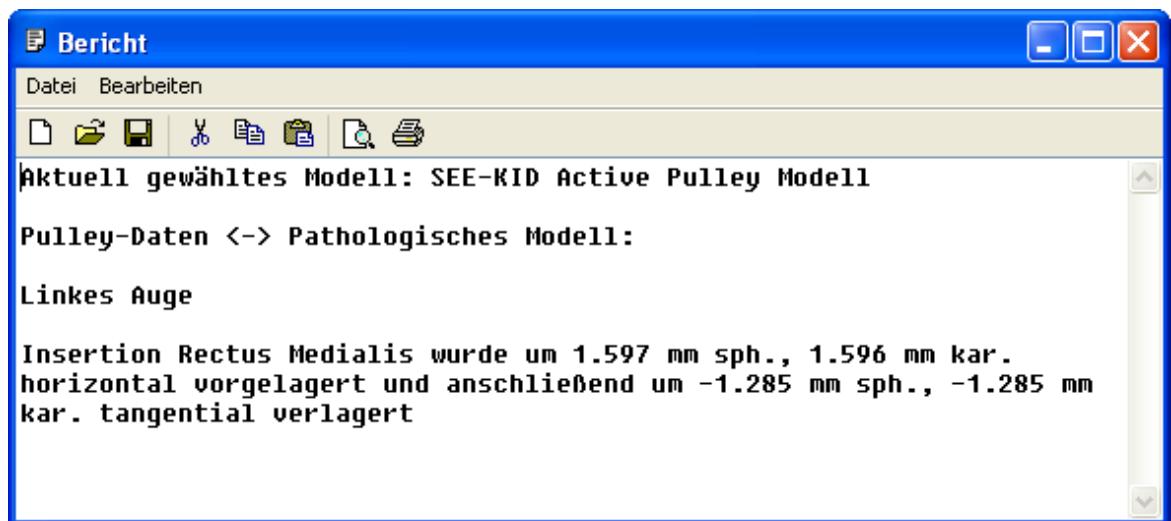
In diesem Dialog navigieren sie in das Verzeichnis, in dem die zu importierenden Dateien liegen, wählen die entsprechende Datei aus und klicken auf "Open" bzw. "Öffnen". Wenn sie eine gültige Datei ausgewählt haben, werden sie gefragt ob auch die Patientendaten importiert werden sollen. Wenn sie "Yes" bzw. "Ja" wählen, werden die bestehenden Patientendaten in SEE++ überschrieben.

Anschließend versucht das Programm möglichst für alle drei Augen (linkes Auge, rechtes Auge, Referenzauge) die entsprechenden Daten zu importieren und gibt anschließend aus, für welche Augen Daten importiert werden konnten. Damit ist der Import-Vorgang abgeschlossen.

#### 4.4.3 Änderungsbericht

Der Änderungsbericht bietet die Möglichkeit, eine textuelle Aufstellung aller Änderungen zwischen jeweils zwei Szenarien vom gewählten Szenario bis zum "Pathologischen Modell" hinunter auszugeben. Beim Durchlaufen der Szenarien bis zum "Pathologischen Modell" werden

auch die Verweise der preoperativen Daten auf ihre jeweiligen Ausgangsszenarien berücksichtigt. Nach der Versetzung der Insertion des m. rectus medialis des linken Auges und der anschließenden Speicherung im Szenario "Pulley-Daten" sieht der Änderungsbericht wie folgt aus:



Sie müssen die Änderungen an einem Szenario nicht speichern, um den Änderungsbericht aufrufen zu können. Sollten Änderungen vorliegen, die noch nicht im gewählten Szenario gespeichert wurden, dann wird im Änderungsbericht als erstes ein Vergleich zwischen den aktuellen medizinischen Stammdaten ("Aktuelle Daten") und den im gewählten Szenario gespeicherten Daten angezeigt.

Das Bericht-Fenster ist ein vollwertiger Texteditor ähnlich dem bei Microsoft Windows® beiliegenden Editor.

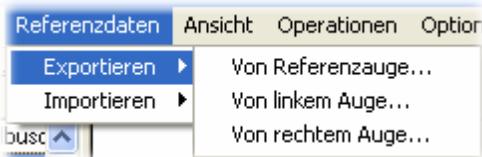
## 4.5 Referenzdaten

Das [SEE++ Simulationsmodell](#)<sup>52</sup> bildet das okulomotorische System mit Hilfe eines biomechanischen Modells bestehend aus zwei Augen und einem "virtuellen" Referenzauge nach. Dieses virtuelle Referenzauge gibt der gesamten Simulation vor, wie ein "normales" bzw. gesundes Auge funktioniert. Dies betrifft die Definition der Geometrie, das Kraftentwicklungsverhalten der Augenmuskulatur und die Innervationen vom Hirnstamm. Alle diese Parameter zusammen bilden die abstrakte Einheit eines simulierten Auges. Nun wird beim Durchlauf einer Simulation immer der Unterschied in den Parametern bezogen auf das Referenzauge berechnet, um eine pathologische Reaktion des fixierenden oder folgenden Auges ermitteln zu können. Ein absolut gesundes okulomotorisches System funktioniert in SEE++ nur dann, wenn alle drei Augen, also auch das "virtuelle" Referenzauge dieselben Werte für alle Parameter eingestellt haben. Dies ist sozusagen immer die Ausgangsposition für die [Durchführung einer Simulation mit SEE++](#)<sup>21</sup>.

In manchen Fällen kann es notwendig sein, diese Standardkonfiguration ändern zu wollen. Dazu ist es möglich, sämtliche [medizinischen Stammdaten](#)<sup>86</sup> eines Auges als Referenzdaten in eine Datei zu speichern. Hier werden nur die für eine Simulation wichtigen Werte gespeichert, nicht aber patientenspezifische Daten. In einem zweiten Schritt können nun existierende Parameter aus einer zuvor gespeicherten Referenzdaten-Datei in eines oder gleich alle drei abstrakten Augen geladen werden. Erhält man beispielsweise andere Messwerte für Geometrie oder Muskelfunktion, so kann man diese Werte mit Hilfe eines eigenen Referenzdatenmodells ablegen und bei Bedarf für einen simulierten Patienten überlagern.

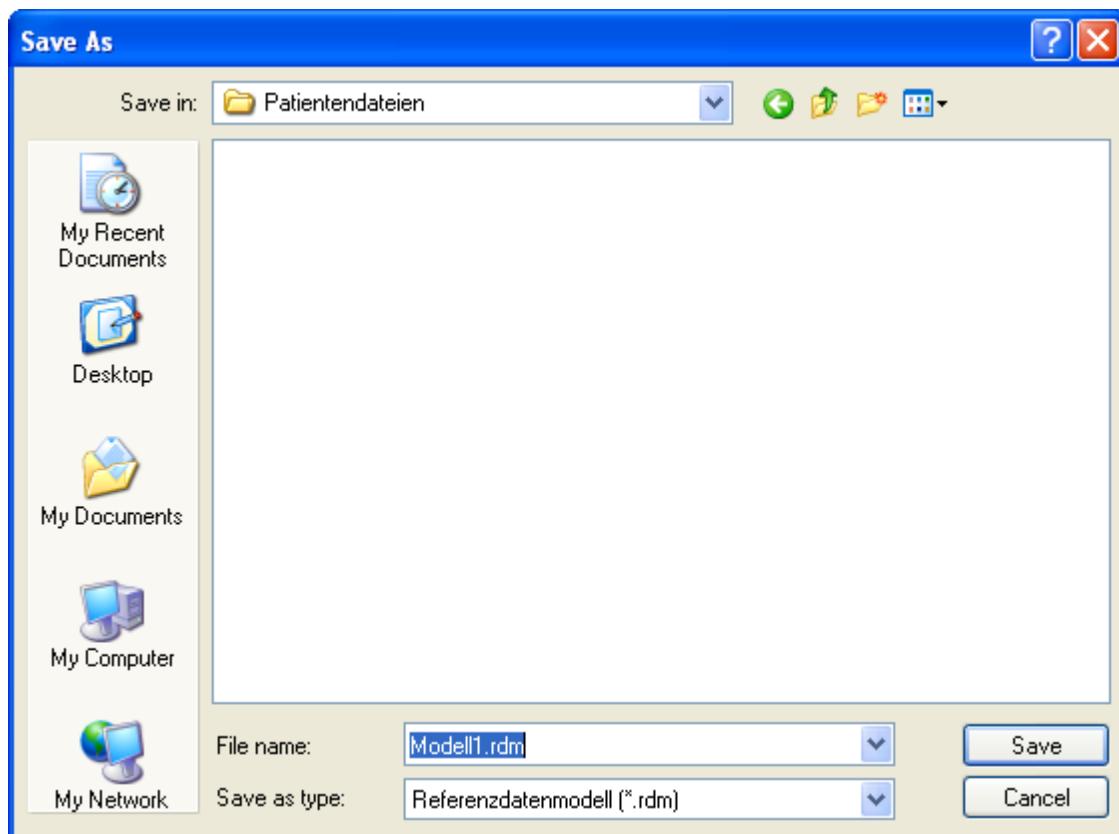
Sämtliche Funktionen für das Exportieren (Speichern) und Importieren (Laden) von Referenzdaten sind über das Hauptmenü unter "[Referenzdaten->Exportieren](#)"<sup>108</sup> bzw. "[Referenzdaten->Importieren](#)"<sup>109</sup> erreichbar.

### 4.5.1 Exportieren



Das Exportieren von Referenzdaten ermöglicht das Speichern der gesamten Simulationsdaten eines Auges in eine Referenzdaten Datei. Wählen sie aus dem Menü "Referenzdaten->Exportieren", aus welchem Auge sie die Daten in eine Datei speichern möchten.

Nach Anwahl eines Punktes öffnet sich der Dialog zum Speichern von Dateien.



Navigieren sie in das gewünschte Verzeichnis und geben sie der Datei einen entsprechenden Namen. Referenzdaten-Dateien besitzen die Dateiendung ".rdm". Klicken sie auf "Save" bzw. "Speichern", um die Datei abzulegen. Wählen sie "Cancel" bzw. "Abbrechen", um die Datei nicht zu speichern und keine Referenzdaten zu exportieren.

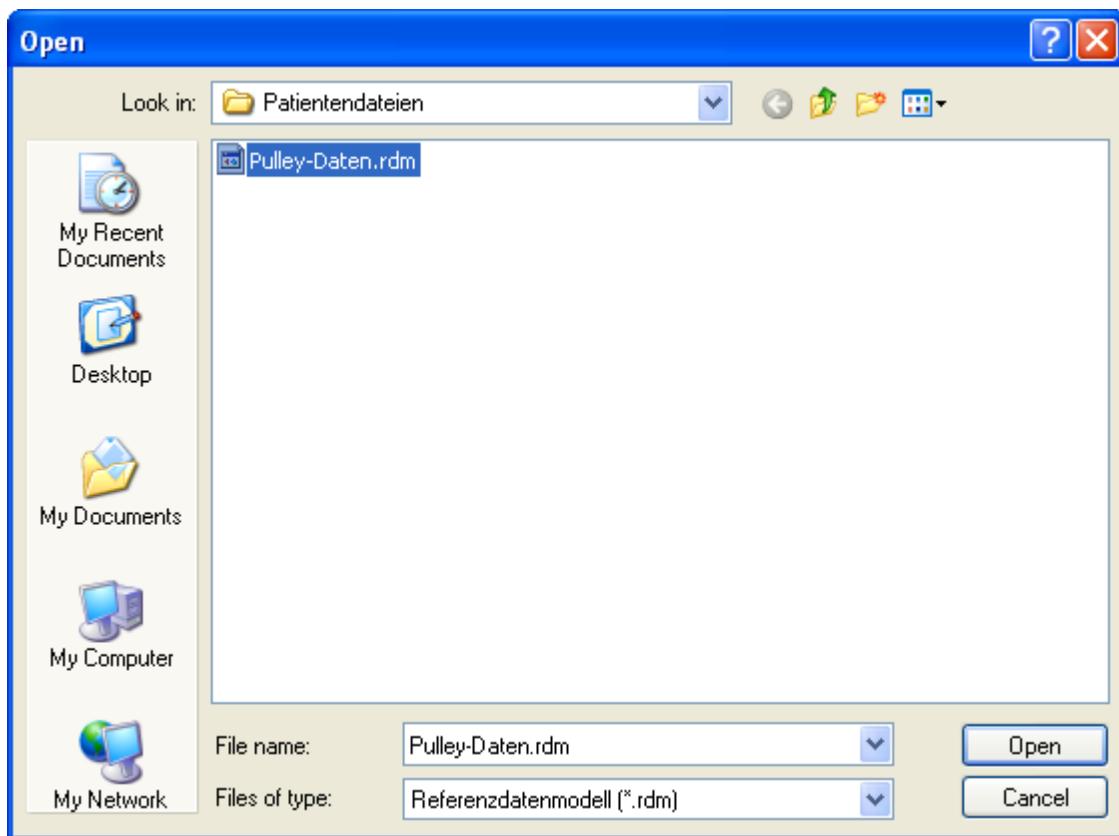
#### 4.5.2 Importieren



Das Importieren von Referenzdaten lädt eine gespeicherte Referenzdaten-Datei wieder in ein gewähltes Auge. Dabei ist das Auge, in das Referenzdaten geladen werden, **nicht** abhängig von dem Auge, aus dem die Daten abgespeichert wurden. Sie können in diesem Menü eine Referenzdaten-Datei in eines der drei Augen importieren, oder aber alle drei Augen gleichzeitig mit denselben Daten befüllen.

Wird die Option "In alle Augen..." verwendet, so ergibt sich eine neue Definition eines "gesunden" okulomotorischen Systems, auf Basis dessen wieder durch Veränderungen an einzelnen Parametern pathologische Situationen simuliert werden können.

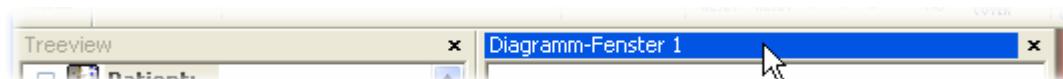
Nach Anwahl eines Menüpunktes wird der Dialog zum Öffnen einer Datei angezeigt.



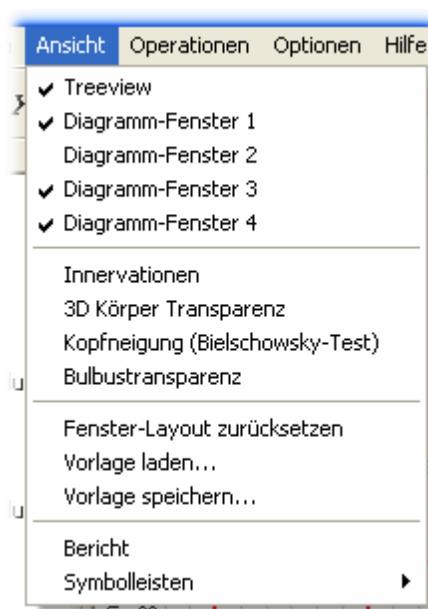
Navigieren sie in das entsprechende Verzeichnis, in dem sich jene Datei befindet, die sie importieren möchten. Klicken sie die zu importierende Datei an und bestätigen sie mit "Open" bzw. "Öffnen". Wenn sie auf "Cancel" bzw. "Abbrechen" klicken, dann wird keine Datei geladen und die vorher gültigen Werte bleiben aktiv.

## 4.6 Ansichten

Wie bereits in der Einleitung erklärt, bietet SEE++ vier so genannte Diagramm-Fenster um verschiedene Diagramme darzustellen. In jedes dieser Diagramm-Fenster lässt sich ein beliebiges Diagramm einblenden ([Muskelwirkungsverteilungsdiagramm](#)<sup>117</sup>, [Muskelwirkungsrichtungsdiagramm](#)<sup>117</sup>, [Hess-Diagramm](#)<sup>118</sup>, [Schielwinkeldiagramm](#)<sup>119</sup>, [Stateviewer](#))<sup>120</sup>.



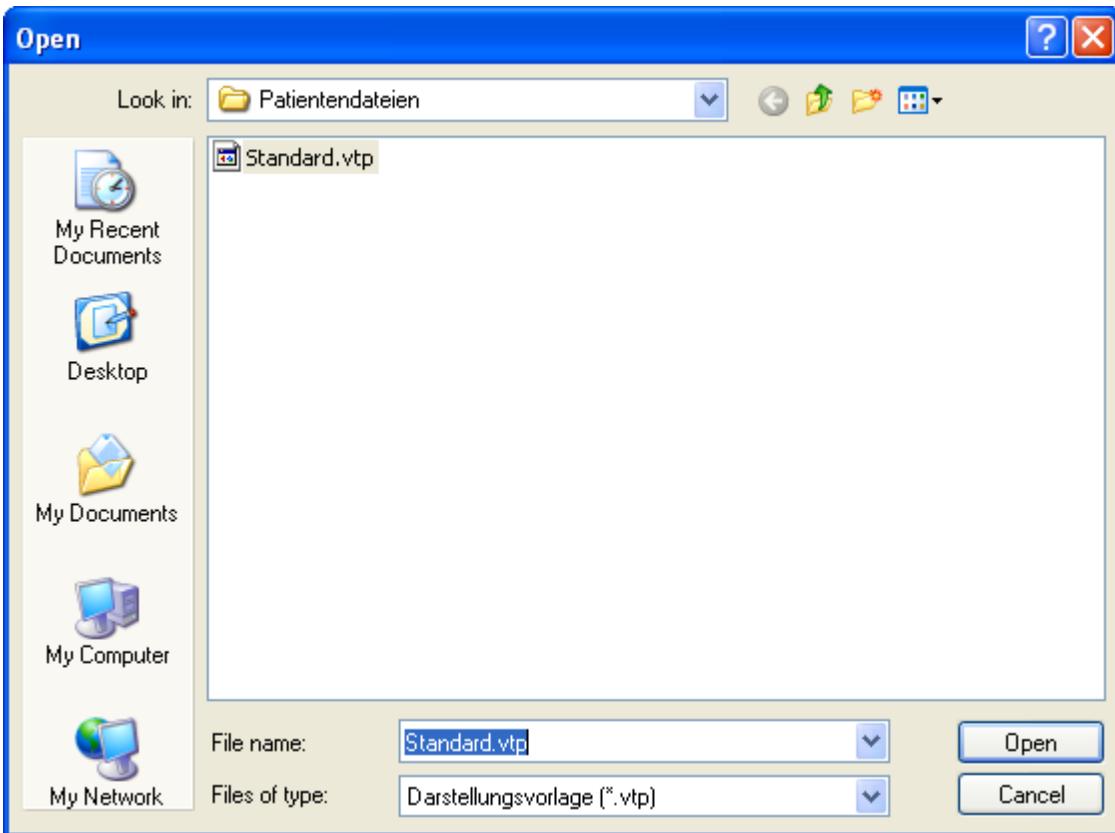
Standardmäßig sind alle Diagramm-Fenster und die Treeview fix mit dem Hauptfenster von SEE++ verbunden (gedockt). Wenn sie mit der linken Maustaste auf die Titelleiste (in der auch der Name des Fensters steht) im oberen bzw. linken Bereich eines dieser Fenster klicken, die Maustaste gedrückt halten und gleichzeitig wegziehen, können sie das Fenster aus dem Hauptfensterrahmen herausziehen und beliebig als eigenes Fenster positionieren. Mit einem Klick auf das kleine "X" im rechten bzw. oberen Bereich der Titelleiste können sie das Fenster jederzeit ausblenden. Sie können alle Fenster und Symbolleisten ausblenden, so dass nur noch die [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> angezeigt wird. Die 3D-Ansicht selbst kann nicht ausgeblendet werden.



Um ein ausgeblendetes Fenster wieder anzuzeigen, verwenden sie die Menüpunkte "Treeview" und "Diagramm-Fenster 1-4" im Menü "Ansicht". Diese dienen zum Ein- und Ausblenden des entsprechenden Fensters. Die nächsten vier Menüpunkte dienen zum Ein- und Ausblenden der Fenster für die [Innervationen](#)<sup>125</sup>, für das Einstellen der 3D Körper Transparenz, für die Veränderung der Kopfneigung, sowie für das Einstellen der Bulbustransparenz.

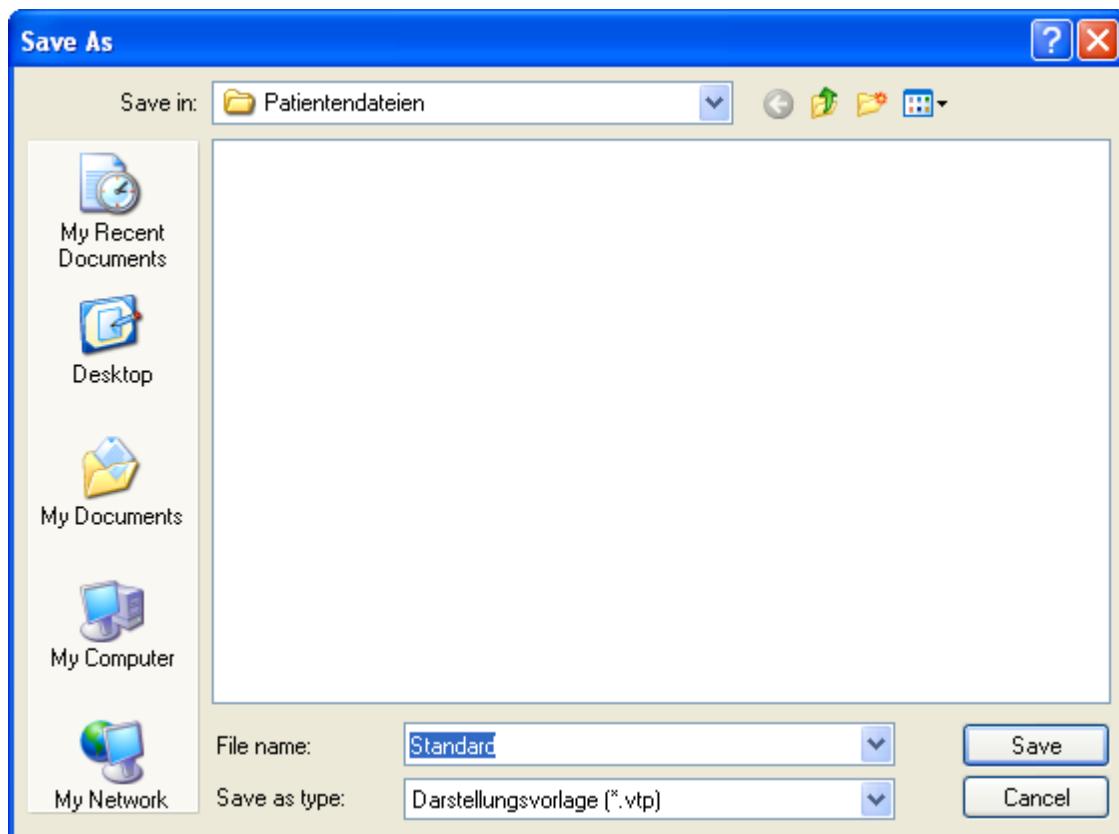
Die Funktion "Fenster-Layout zurücksetzen" setzt die Anzeige der Symbolleisten, die Größe der Treeview und der verschiedenen Diagramm-Fenster, die darin angezeigten Diagramme sowie die Sichtbarkeit jedes Fensters auf die Standardeinstellungen zurück. Mit dem Menüpunkt "Vorlage laden..." können sie eine zuvor mit "Vorlage speichern..." gespeicherte Darstellungsvorlage (.vtp) laden. In einer Darstellungsvorlage sind die Anzeigeeinstellungen der Symbolleisten, die Größe der Treeview und der verschiedenen Diagramm-Fenster, die darin angezeigten Diagramme, sowie die Sichtbarkeit jedes Fensters gespeichert.

Nach Anwahl des Menüpunktes "Vorlage laden..." wird der Dialog zum Öffnen einer Datei angezeigt.



Navigieren sie in das entsprechende Verzeichnis, in dem sich jene Datei befindet, die sie laden möchten. Klicken sie die Datei an und bestätigen sie mit "Open" bzw. "Öffnen". Wenn sie auf "Cancel" bzw. "Abbrechen" klicken, dann wird keine Datei geladen und die aktuellen Einstellungen bleiben erhalten.

Nach Anwahl des Menüpunktes "Vorlage speichern..." öffnet sich der Dialog zum Speichern von Dateien.



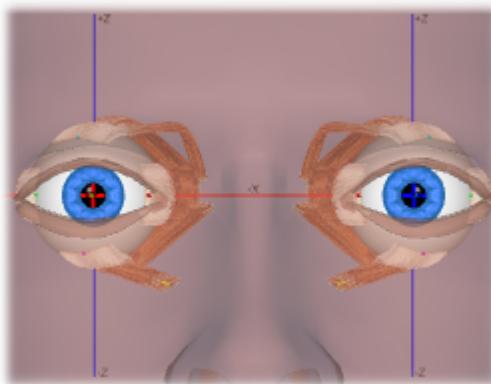
Navigieren sie in das gewünschte Verzeichnis und geben sie der Datei einen entsprechenden Namen. Darstellungsvorlagen besitzen die Dateiendung ".vtp". Klicken sie auf "Save" bzw. "Speichern", um die Datei abzulegen. Wählen sie "Cancel" bzw. "Abbrechen", um die Datei nicht zu speichern und keine Darstellungsvorlage zu speichern.

Schließlich kann über das Menü "Ansicht" noch der [Bericht](#)<sup>162</sup> angezeigt werden und die [Symbolleisten](#)<sup>123</sup> können ein- und ausgeblendet werden.

#### 4.6.1 3D-Ansicht

Die 3D-Ansicht zeigt standardmäßig das linke und das rechte Auge sowie eine 3D-Darstellung des menschlichen Körpers an. Alle Elemente, die in der 3D-Ansicht angezeigt werden, wie der Körper, die Muskeln jedes Auges usw. können über die [Symbolleiste für Allgemeine Funktionen](#)<sup>124</sup> und über die [Symbolleiste für die 3D-Ansichtoptionen](#)<sup>128</sup> geändert werden. In der 3D-Ansicht kann immer nur ein Auge als aktives Auge gesetzt sein. Zu erkennen ist das aktive Auge an der blauen Cornea-Markierung, sofern diese eingeschaltet ist. Um das aktive Auge zu wechseln kann entweder die [Symbolleiste für die 3D-Ansichtoptionen](#)<sup>128</sup> oder die Tabulator-Taste verwendet werden. Beim Ändern der Blickposition und beim Versetzen einer Insertion wird das aktive Auge automatisch gleich dem gewählten gesetzt (im folgenden Bild ist das linke Auge als aktives gesetzt).

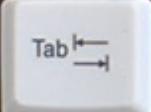
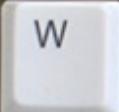
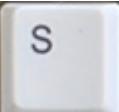
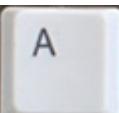
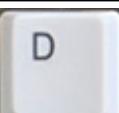
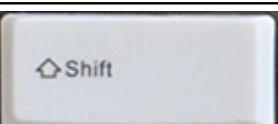
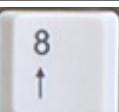
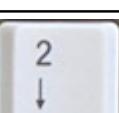
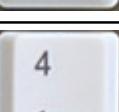
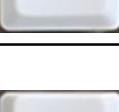
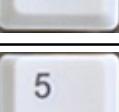
## Navigation in der 3D-Ansicht mit der Maus



Beim Navigieren mit der Maus wird immer zuerst mit einer Maustaste in die 3D-Ansicht geklickt, die Taste wird gedrückt gehalten und dann wird bei gedrückter Taste die Maus bewegt. Zum Beenden wird die Maustaste einfach wieder losgelassen.

Maustaste	Aktion
linke Maustaste nicht auf Insertion eines Muskels	Rotation der gesamten 3D-Ansicht (Kamerarotation) mit Hilfe einer "virtuellen Halbkugel", wobei während der Rotation der Rand der Halbkugel in Form eines schwarzen Kreises angezeigt wird. Innerhalb des Kreises wird um die X- und Z-Achse rotiert und außerhalb um die Y-Achse.
linke Maustaste auf Insertion eines Muskels	Versetzen der Insertion eines Muskels entsprechend der gewählten <a href="#">Operation</a> <sup>137</sup> .
Doppelklick mit linker Maustaste auf Insertion eines Muskels	Öffnet den <a href="#">Muskeldatagrid</a> <sup>87</sup> und zeigt die Karteikarte des gewählten Muskels an.
Drehen des Maus-Wheels (Maus-Rad) oder + linke Maustaste	Vergrößern bzw. Verkleinern der gesamten 3D-Ansicht (Zoomfunktion).
Klicken mit dem Maus-Wheel (Maus-Rad) oder mit der mittleren Maustaste	Zurücksetzen der 3D-Ansicht in die Ausgangsstellung (Kamera-Reset).
Doppelklick mit dem Maus-Wheel (Maus-Rad) oder mit der mittleren Maustaste	Zurücksetzen der 3D-Ansicht in die Ausgangsstellung (Kamera-Reset) und Zurücksetzen der beiden Augen in die Primärposition (Augenpositionen-Reset).
rechte Maustaste auf einem Bulbus	Änderung der Blickposition des gewählten Auges.
rechte Maustaste nicht auf einem Bulbus	Verschiebung der gesamten 3D-Ansicht (beim Beginn des Verschiebens wird die 3D-Ansicht automatisch zurückgesetzt).

## Navigation in der 3D-Ansicht mit der Tastatur

Taste	Aktion
	Umschalten des aktiven Auges.
	Änderung der Blickposition des aktiven Auges um 5° nach oben.
	Änderung der Blickposition des aktiven Auges um 5° nach unten.
	Änderung der Blickposition des aktiven Auges um 5° nach links.
	Änderung der Blickposition des aktiven Auges um 5° nach rechts.
 + eine der oberen 4 Tasten	Änderung der Blickposition des aktiven Auges um 0.5° in die entsprechende Richtung.
 oder 	Rotation der gesamten 3D-Ansicht um die x-Achse der "virtuellen Halbkugel" nach oben.
 oder 	Rotation der gesamten 3D-Ansicht um die x-Achse der "virtuellen Halbkugel" nach unten.
 oder 	Rotation der gesamten 3D-Ansicht um die z-Achse der "virtuellen Halbkugel" nach links.
 oder 	Rotation der gesamten 3D-Ansicht um die z-Achse der "virtuellen Halbkugel" nach rechts.
 oder 	Zurücksetzen der 3D-Ansicht in die Ausgangsstellung (Kamera-Reset).

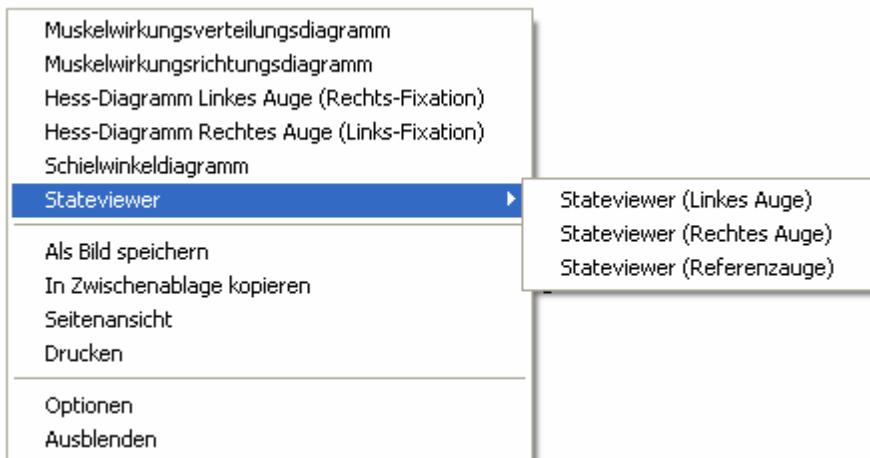
	Vergrößern der gesamten 3D-Ansicht (Zoomfunktion).
	Verkleinern der gesamten 3D-Ansicht (Zoomfunktion).
	Während ein Insertionspunkt mit der Maus versetzt wird, kann das Versetzen mit dem Drücken dieser Taste abgebrochen werden, und der Insertionspunkt wird wieder an die Ausgangsposition zurückgesetzt.
	Änderung der Kopfnieigung zur Simulation des Bielschowsky-Tests um 5° nach rechts (in Richtung der rechten Schulter).
	Änderung der Kopfnieigung zur Simulation des Bielschowsky-Tests um 5° nach links (in Richtung der linken Schulter).
	Änderung der Kopfnieigung zur Simulation des Bielschowsky-Tests um 1° in die entsprechende Richtung.
+ eine der oberen 2 Tasten	



Sie können die [Bulbustranslation](#) in der 3D-Ansicht visualisieren. Wählen sie dazu im Hauptmenü "Optionen->Bulbus Translation".

#### 4.6.2 Diagramme

Die acht Diagramme in SEE++ haben gewisse Gemeinsamkeiten. Eine Gemeinsamkeit ist, dass pro Diagramm-Fenster immer nur ein Diagramm angezeigt werden kann. Außerdem kann man in jedem Diagramm-Fenster mit einem Klick auf die rechte Maustaste folgendes Menü anzeigen:



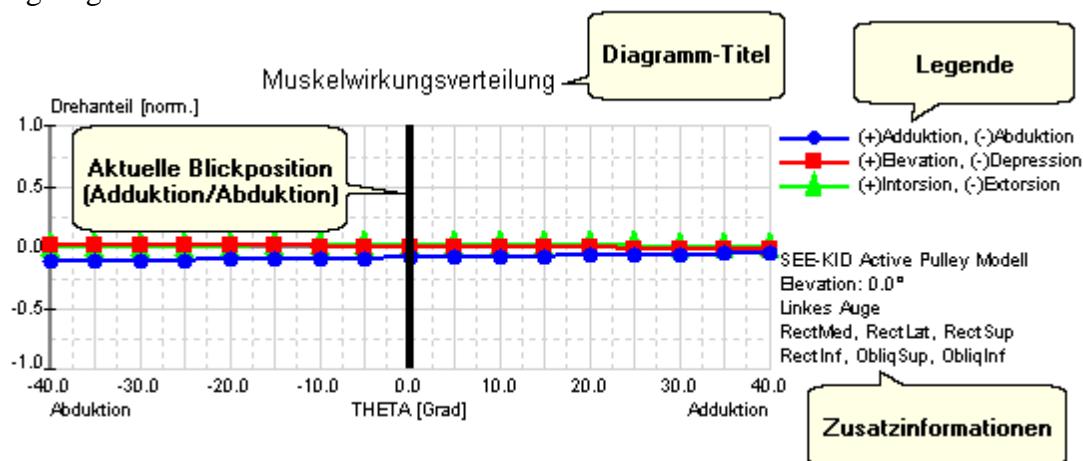
Die ersten sechs Menüpunkte dienen dazu, in dem gewählten Diagramm-Fenster das entsprechende Diagramm anzuzeigen. Wenn das Diagramm bereits in dem gewählten Diagramm-

Fenster angezeigt wird, so kann es nicht ausgewählt werden. Wird das gewählte Diagramm bereits in einem anderen Diagramm-Fenster angezeigt, so wird es beim Auswählen in dem bisher angezeigten Diagramm-Fenster ausgeblendet und in dem neuen Fenster angezeigt.

Diagramme können auch in die Zwischenablage kopiert oder als Bilder (Bitmaps und JPEGs) gespeichert werden. Lesen sie dazu die Informationen zum [Speichern als Bild](#)<sup>[153]</sup>. Außerdem können Diagramme noch in der Seitenansicht angezeigt und gedruckt werden. Weitere Informationen finden sie unter [Seitenansicht](#)<sup>[162]</sup> und unter [Drucken](#)<sup>[161]</sup>. Mit dem Menüpunkt "Optionen" können [Einstellungen für die Diagramme](#)<sup>[148]</sup> vorgenommen werden. Der Menüpunkt "Ausblenden" dient schließlich dazu, das gesamte Diagramm-Fenster mit dem angezeigten Diagramm auszublenden.

#### 4.6.2.1 Muskelwirkungsverteilung

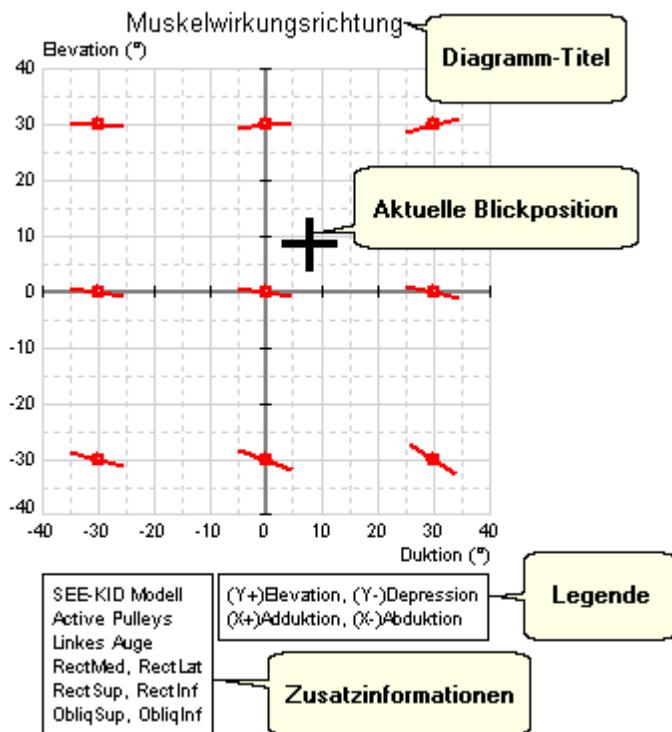
Das Muskelwirkungsverteilungsdiagramm ist ein geometrisches Diagramm. Genauere Informationen über die mathematischen Hintergründe finden sie bei den [geometrischen Modellen](#)<sup>[33]</sup>. Einen kurzen Überblick über die einzelnen Teile des Diagramms zeigt folgendes Bild:



Die Zusatzinformationen geben das aktive Modell an, sowie die dargestellte Elevationsebene und das entsprechende Auge mit den Muskeln, für die das Diagramm angezeigt wird. Im Diagramm wird die Adduktion/Abduktion der aktuellen Blickposition für das im Diagramm gewählte Auge in Form eines Strichs dargestellt. Durch einen Klick mit der linken Maustaste auf den Strich und dem anschließenden Bewegen der Maus über das Diagramm bei gedrückter linker Maustaste kann die Blickposition in Adduktion/Abduktion geändert werden.

#### 4.6.2.2 Muskelwirkungsrichtung

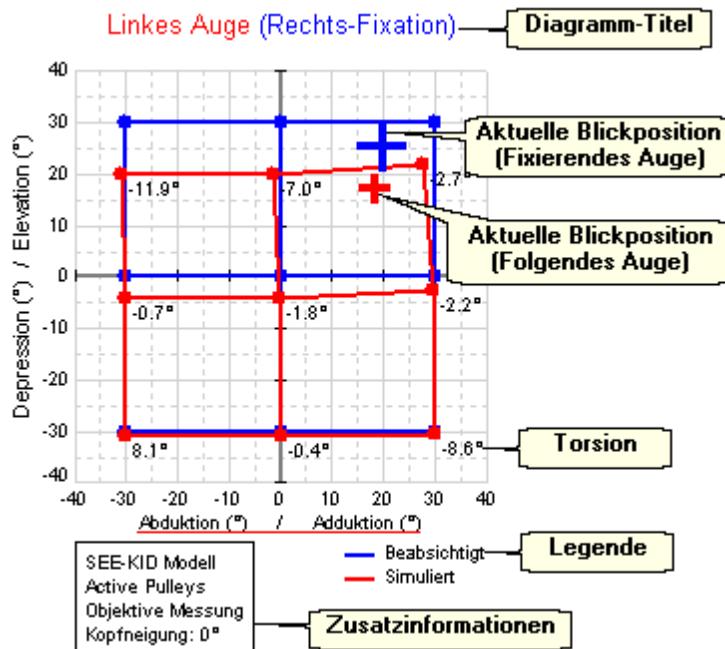
Ähnlich wie beim Muskelwirkungsverteilungsdiagramm werden im Muskelwirkungsrichtungsdiagramm die einzelnen Rotationskomponenten der Drehachse des Bulbus abhängig von den angezeigten Muskeln als Richtungsvektoren dargestellt. Einen kurzen Überblick über die einzelnen Teile des Diagramms zeigt folgendes Bild:



Die Zusatzinformationen geben wie beim Muskelwirkungsverteilungsdiagramm das aktive Modell an, sowie das entsprechende Auge mit den Muskeln, für die das Diagramm angezeigt wird. Im Diagramm wird die aktuelle Blickposition (Adduktion/Abduktion und Elevation/Depression) für das im Diagramm gewählte Auge in Form eines Kreuzes dargestellt. Durch einen Klick mit der linken Maustaste auf das Kreuz und dem anschließenden Bewegen der Maus über das Diagramm bei gedrückter linker Maustaste kann die Blickposition geändert werden.

#### 4.6.2.3 Hess-Diagramm

Im Programm SEE++ gibt es zwei Hess-Diagramme: eines für das linke Auge bei Rechts-Fixation und eines für das rechte Auge bei Links-Fixation. Details über die Funktionsweise des Hess-Tests können in dem Kapitel [Hess-Lancaster Test](#) [48] nachgelesen werden. Einen kurzen Überblick über die einzelnen Teile eines Hess-Diagramms zeigt folgendes Bild:



Im Diagramm wird die aktuelle Blickposition (Adduktion/Abduktion und Elevation/Depression) für das fixierende Auge (also bei Rechts-Fixation das rechte und bei Links-Fixation das linke Auge) in Form eines blauen Kreuzes dargestellt, sofern das entsprechende Auge das momentan aktive Auge in der 3D-Ansicht ist. Wenn die Option "['Folgendes Auge'](#)"<sup>126</sup> aktiviert ist, dann wird auch die Blickposition des folgenden Auges in Form eines kleinen roten Kreuzes angezeigt. Durch einen Klick mit der linken Maustaste auf das blaue Kreuz und dem anschließenden Bewegen der Maus über das Diagramm bei gedrückter linker Maustaste kann die Blickposition geändert werden. Wenn sie die Maus über einen blauen, roten oder grünen Punkt im Diagramm bewegen, dann werden die Koordinaten des Punktes in einem kleinen Fenster sowie in der Statuszeile angezeigt. Durch Doppelklicken auf einen blauen Fixationspunkt im Hess-Diagramm können sie die Fixationsposition sowie das fixierende Auge entsprechend des gewählten Punktes ändern.



Die angezeigten Torsionen sind abhängig von der momentan eingestellten Art der Torsionsmessung. Standardmäßig werden Torsionen im Hess- und Schielwinkeldiagramm immer als objektiv gemessene Werte angezeigt. Sie können jedoch jederzeit im Hauptmenü unter "Optionen->Subjektive Torsionsmessung" auf subjektive Torsionsangaben (Zyklodeviation) umschalten. Weitere Informationen über die verschiedenen Arten von Torsionen finden sie im Kapitel [Simulation](#)<sup>53</sup>.

#### 4.6.2.4 Schielwinkeldiagramm

Das Schielwinkeldiagramm ist im Prinzip nur eine andere Darstellungsform für das Hess-Diagramm. Allerdings werden im Schielwinkeldiagramm das linke Auge bei Rechts-Fixation und das rechte Auge bei Links-Fixation gleichzeitig angezeigt. Je nachdem, wie groß das Diagrammfenster ist, werden die beiden Fixationen nebeneinander oder untereinander positioniert. Genaue Informationen über das Schielwinkeldiagramm finden sie unter dem Kapitel [Simulation](#)<sup>52</sup>. Folgendes Bild zeigt ein Schielwinkeldiagramm, bei dem die beiden Fixationen nebeneinander positioniert sind:

Linkes Auge (Rechts-Fixation)						Rechtes Auge (Links-Fixation)					
		HD	VD			HD	VD				
AB	+30°	10.8	-1.3	3.2	0.3	0.4	0.2	+30°	14.6	-2.8	3.8
	-30°	EX 7.5 (PR -0.5)	IN 0.9 (PR -0.5)	IN 8.3 (PR -0.7)				+30°	IN 11.3 (PR -0.9)	IN 1.0 (PR -0.6)	EX 8.1 (PR -0.7)
	+30°	12.2	-0.3	3.9	-0.0	0.4	-0.0	-30°	18.1	-0.1	4.6
	-30°	EX 0.4 (PR -0.5)	IN 0.0 (PR -0.4)	IN 0.0 (PR -0.5)				+30°	EX 0.1 (PR -0.7)	IN 0.0 (PR -0.4)	IN 0.0 (PR -0.7)
	+30°	10.8	1.2	3.2	-0.3	0.4	-0.1	-30°	14.7	2.5	3.7
	-30°	IN 7.3 (PR -0.6)	EX 0.9 (PR -0.5)	EX 8.3 (PR -0.7)				+30°	EX 11.5 (PR -0.9)	EX 1.0 (PR -0.6)	IN 8.1 (PR -0.8)
SEE-KID Active Pulley Modell - Objektive Messung - Kopfnieigung: 0° - HD / VD in Grad											

Im Schielwinkeldiagramm können die Abweichungen entweder in Grad oder in Prismendioptrien ausgegeben werden, wobei die gewählte Einheit, das aktive Modell, die momentane Art der Torsionsmessung (objektiv oder subjektiv), sowie die aktuelle Kopfnieigung im unteren Bereich des Diagramms (Zusatzinformationen) angezeigt werden. Wenn sie auf eine Blickposition (HD, VD oder Torsion einer Blickposition) in einer der beiden Fixationen Doppelklicken, dann wird die Fixationsposition sowie das fixierende Auge in der 3D-Ansicht entsprechend der gewählten Blickposition geändert.



Die angezeigten Torsionen sind abhängig von der momentan eingestellten Art der Torsionsmessung. Standardmäßig werden Torsionen im Hess- und Schielwinkeldiagramm immer als objektiv gemessene Werte angezeigt. Sie können jedoch jederzeit im Hauptmenü unter "Optionen->Subjektive Torsionsmessung" auf subjektive Torsionsangaben (Zylklodeviation) umschalten. Weitere Informationen über die verschiedenen Arten von Torsionen finden sie im Kapitel [Simulation](#) [53].

#### 4.6.2.5 Stateviewer

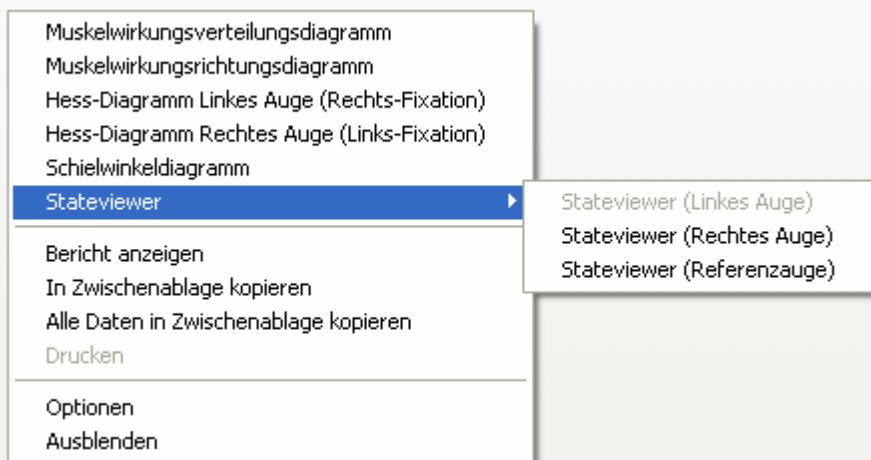
Der Stateviewer kann für alle drei Augen (linkes Auge, rechtes Auge, Referenzauge) angezeigt werden und richtet sich eher an erfahrene Benutzer, die sich genauer mit den einzelnen (internen) Parametern des Modells befassen möchten. Abhängig davon, ob das gewählte Auge momentan das fixierende oder folgende Auge ist, werden die angezeigten Parameter entsprechend der aktuellen Fixation berechnet. Die im Stateviewer angezeigten Parameter sind gruppiert auf verschiedenen Karteikarten zusammengefasst. Wählen sie die gewünschte Karteikarte einfach durch einen Klick mit der linken Maustaste auf die entsprechende Überschrift. Folgende Karteikarten stehen zur Auswahl:

- **Patient**
- **Kopf Position und VOR** (Vestibulookulärer Reflex)
- **Augenposition und Torsion**
- **Muskelgeometrie**
- **Muskelkräfte**
- **Innervationen**

Auf jeder Karteikarte wird außerdem noch die aktuelle Augenposition des gewählten Auges in Fick Koordinaten angezeigt, sowie ob das entsprechende Auge momentan fixiert oder folgt.

Patient	Kopf Position und VOR	Augenposition und Torsion	Muskelgeometrie	Muskelkräfte	Innervationen
Linkes (fix.) Auge (0.00/0.00/0.00) Fick Koordinaten (+Elevation,+Adduktion,+Intorsion)					
Name: Linkes Auge	Einheit:	RM	RL	RS	RI
Anatomischer Ursprung:	(mm) (x/y/z)	-17.0/-30.0/1.0	-13.0/-34.0/-1.0	-15.0/-31.8/3.6	-17.0/-31.8/-2.4
Pulley (Funktioneller Ursprung):	(mm) (x/y/z)	-13.0/-6.0/0.1	13.0/-6.0/0.3	-4.5/-6.0/13.0	-4.5/-6.0/-13.0
Pulleyschiebung:	(mm) (+Ant.-/Post.)	0.0	0.0	0.0	0.0
Insertion:	(mm) (x/y/z)	-9.6/8.8/0.0	10.1/6.5/0.0	2.8/6.5/10.3	1.8/6.9/-10.2
Muskelradius:	(mm)	13.087	11.994	12.426	12.429
Abrollstrecke:	(mm)	9.9	5.1	6.5	6.3
Sehnenlänge:	(mm)	4.9	7.7	5.4	4.8
Sehnenbreite:	(mm)	10.5	9.3	10.8	10.0
Muskellänge (L0):	(mm)	31.9	37.5	33.8	35.6
Änderung Muskellänge:	(%L0)	10.101	15.923	14.839	13.702
Sideslip Skalierung:	(%/100)	0.270	0.155	0.000	0.160
Passive (elastische)	(%/100)	1.0	1.0	1.0	1.0
Aktive (kontraktile) Kraft-Skalierung:	(%/100)	1.0	1.0	1.0	1.0
Relative Passive Kraft-Skalierung:	(%/100) RL	1.040	1.000	0.800	0.940
Relative Aktive Kraft-Skalierung:	(%/100) RL	1.040	1.000	0.690	0.940
Bulbus-Rotationsachse:	(x/y/z)	0.131/-0.247/-0.960			
Muskelwirkungsverteilung:	(%/100) (+Add./-Abd.)	1.00	-1.00	0.07	0.12
	(%/100) (+Ele./-Dep.)	0.01	0.01	0.87	-0.90
	(%/100) (+Int./-Ext.)	0.01	-0.02	-0.49	0.41
					-0.66
					0.63

Um Daten aus dem Stateviewer in die Zwischenablage zu kopieren, wählen sie einfach den gewünschten Bereich durch Klicken mit der linken Maustaste und gleichzeitiges Ziehen der Maus in der Parameter-Tabelle aus. Dann klicken sie mit der rechten Maustaste in das Diagramm-Fenster und wählen sie "In Zwischenablage kopieren". Die markierten Parameter werden dann in **textueller** Form (nicht als Bild wie bei den anderen Diagrammen!) in die Zwischenablage kopiert und können so in Textverarbeitungs- oder Tabellenkalkulationsprogrammen (z.B. Word® oder Excel®) zur weiteren Verwendung eingefügt werden. Wenn sie alle Parameter von allen Karteikarten gleichzeitig in die Zwischenablage kopieren möchten, dann klicken sie auf einer beliebigen Karteikarte des Stateviewers mit der rechten Maustaste in das Diagramm-Fenster und wählen sie den Punkt "Alle Daten in Zwischenablage kopieren". Die Daten werden dann ebenfalls in textueller Form und in der Reihenfolge der Karteikarten (von links nach rechts) in die Zwischenablage kopiert.



Zum Drucken der Daten des Stateviewers müssen sie anders vorgehen wie bei den anderen Diagrammen. Sie können die Daten des Stateviewers nicht direkt aus dem Diagramm-Fenster heraus ausdrucken, sondern müssen zuerst die Daten in Form eines Berichtes anzeigen. Dazu klicken sie wieder mit der rechten Maustaste in das Diagramm-Fenster und wählen sie "Bericht anzeigen". Dann öffnet sich das selbe Fenster wie beim Änderungsbericht<sup>106</sup> oder wie beim normalen Bericht<sup>162</sup>, jedoch mit dem Inhalt von sämtlichen Karteikarten des momentan

angezeigten Stateviewers in textueller Form. Über das Bericht-Fenster können sie nun die gewünschten Daten ausdrucken (wenn sie einige Parameter nicht drucken möchten, so können sie diese einfach wie bei einem gewöhnlichen Text-Editor löschen).

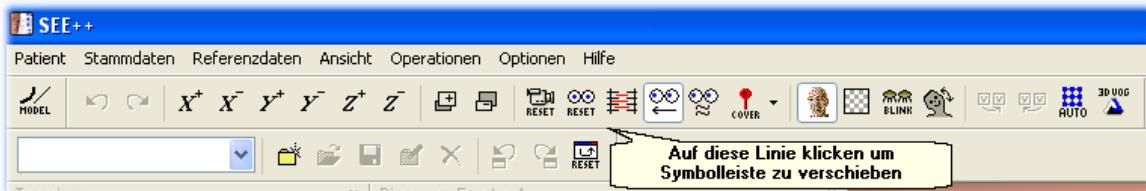
Ein Speichern des Stateviewers als Bild ist nicht möglich, sie können aber die Parameter als Bericht anzeigen lassen und dann den Bericht als Text-Datei abspeichern.

## 4.7 Symboleisten

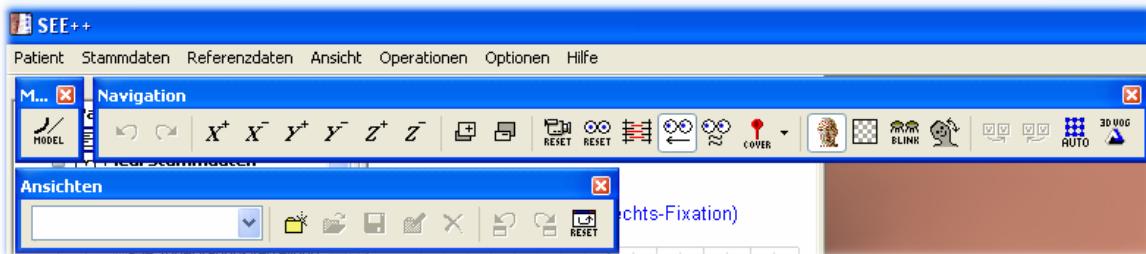
Das SEE++ System stellt Symboleisten zur Verfügung, um die wichtigsten Funktionen im Programm schnell und einfach bedienen zu können. Prinzipiell wird im Programm zwischen vier verschiedenen Symboleisten unterschieden:

- [Modelle](#) - wird zum Umschalten zwischen einzelnen [Modellen](#) verwendet
- [Allgemeine Funktionen](#) (Navigation) - wird für Rotation, Skalierung und Einstellungen der 3D-Ansicht verwendet
- [3D-Ansichtsoptionen](#) (Bulbus und Muskeln) - wird für die visuelle Konfiguration der 3D-Ansicht verwendet
- [Ansichten](#) - wird für die Verwaltung von verschiedenen Ansichten verwendet

Standardmäßig sind alle Symboleisten fix mit dem Hauptfenster von SEE++ verbunden (gedockt).



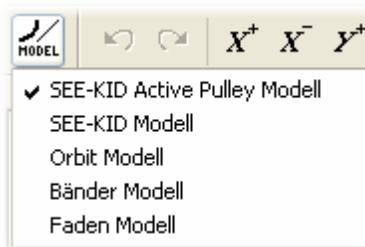
Wenn sie mit der linken Maustaste auf die Symboleiste zwischen zwei Symbole klicken, ohne eine Funktion auszulösen, die Maustaste gedrückt halten und gleichzeitig wegziehen, können sie die Symboleiste aus dem Hauptfensterrahmen herausziehen und beliebig als eigenes Fenster positionieren, wie im folgenden Bild zu sehen ist.



### 4.7.1 Modelle

Die Symboleiste für Modelle besteht ausschließlich aus einem Element zum Umschalten der verschiedenen [Simulationsmodelle](#).

Klicken sie mit der linken Maustaste auf die Schaltfläche , um das Menü mit der Auswahl der verschiedenen verfügbaren Modelle aufzuklappen. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Simulationsmodelle" verwenden.



Die Standardeinstellung ist die Verwendung des SEE-KID Active Pulley Modells. Weiters gibt es die Möglichkeit, das SEE-KID Modell (mit statischen Pulleys), das Orbit™ Model oder eines der beiden rein geometrischen Modelle (Bänder Modell, Faden Modell) zu verwenden (siehe auch [mathematische Modelle](#)<sup>79</sup>).



Wird in ein anderes Modell umgeschaltet, so verändern sich keine Parameter des aktuellen Patienten. Nur das Simulationsergebnis wird neu berechnet und zeigt möglicherweise aufgrund der Modellverschiedenheit eine andere Prognose. Bitte beachten sie, dass die rein geometrischen Modelle (Bänder Modell, Faden Modell) grundsätzlich keine Hess-Lancaster Simulation erlauben, da sie kein Kräftemodell besitzen.

#### 4.7.2 Allgemeine Funktionen

Die Symbolleiste für "Allgemeine Funktionen" stellt die wichtigsten Navigations- und Darstellungsfunktionen zur Verfügung.



Verwenden sie diesen Button um eine Änderung an den medizinischen Stammdaten ([Bulbusdaten](#)<sup>87</sup>, [Muskeldaten](#)<sup>87</sup>, [Innervationsverteilung](#)<sup>91</sup>, [motorische Fusionsbreite](#)<sup>92</sup>) rückgängig zu machen. Es können bis zu 20 Änderungen rückgängig gemacht werden. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Stammdaten->Änderung rückgängig" aufrufen.



Verwenden sie diesen Button um eine rückgängig gemachte Änderung an den medizinischen Stammdaten wiederherzustellen. Es können bis zu 20 Änderungen wiederhergestellt werden. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Stammdaten->Änderung wiederherstellen" aufrufen.

Nach einem Klick auf einen der beiden Buttons sehen sie einen Dialog mit den entsprechenden Änderungen. Wenn sie den Dialog mit "OK" bestätigen wird die Änderung durchgeführt. Sie können diesen Dialog in den [allgemeinen Optionen](#)<sup>145</sup> auch abschalten, dann werden die Änderungen ohne Nachfrage sofort durchgeführt.

Verwenden sie die folgenden Buttons um die Darstellung der 3D-Ansicht zu verändern:



Verwenden sie diese beiden Buttons, um die Darstellung der 3D-Ansicht um die horizontale X-Achse zu rotieren (oben bzw. unten).



Verwenden sie diese beiden Buttons, um die Darstellung der 3D-Ansicht um die nach vorne zeigende Y-Achse zu rotieren (verdrehen nach rechts bzw. links).



Verwenden sie diese beiden Buttons, um die Darstellung der 3D-Ansicht um die vertikale Z-Achse zu rotieren (links bzw. rechts).



Verwenden sie diese beiden Buttons, um die Darstellung der 3D-Ansicht zu verkleinern bzw. zu vergrößern (Zoomfunktion).



Dieser Button setzt die Darstellung der 3D-Ansicht auf die Ausgangsposition zurück (Kamera-Reset). Dies betrifft nur das Zurücksetzen der aktuellen Rotation,

Translation und Vergrößerung/Verkleinerung der Darstellung in die Ausgangslage. Das Zurücksetzen der Darstellung bewirkt keine Änderung an den Simulationsparametern. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Kamera zurücksetzen" aufrufen.

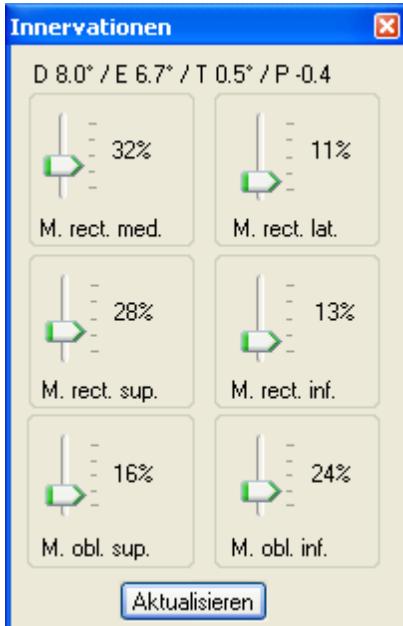


Dieser Button setzt die beiden Augen in die Primärposition zurück (Augenpositionen-Reset). Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Augenpositionen zurücksetzen" aufrufen.

Weitere Möglichkeiten um die Darstellung der 3D-Ansicht zu verändern finden sie im Kapitel "[3D-Ansicht](#)"<sup>113</sup>.

## Innervationsdialog

Der Innervationsdialog bietet die Möglichkeit, die einzelnen Aktivierungspotentiale der Muskeln in Prozenten manuell zu regeln. Sie erreichen diesen Dialog über das Hauptmenü unter "Ansicht->Innervationen" oder über die Symbolleiste "Allgemeine Funktionen" mit einem Klick auf das Innervationssymbol



Der Innervationsdialog ordnet jedem Muskel einen Regelbalken im Bereich von 0% bis 100% zu. Eine Maximalauslenkung eines Reglers bedeutet, dass der Muskel maximale Innervation empfängt. Je nach simulierter Situation wird in der 3D-Ansicht die Augenposition des [fixierenden Auges](#)<sup>113</sup> bestimmt und, falls das folgende Auge aktiviert ist, dessen Position auch bestimmt.



Der Innervationsdialog bietet die Möglichkeit, ohne Beachtung des Gesetzes der paarweisen Innervation (Sherrington), die Augenposition manuell zu bestimmen. Möchte man wissen, wie die Innervationsverteilung in dieser Darstellung für eine in der 3D-Ansicht mit dem fixierenden Auge eingenommene Position aussieht, muss man den Button "Aktualisieren" betätigen.

Es werden dann, unter Berücksichtigung der Innervationen von agonistischen und antagonistischen Muskeln, die Schiebereglер entsprechend angepasst. Dies ergibt natürlich eine andere Stellung der Schieberegler im Vergleich zur manuellen Positionierung, ohne das Gesetz der reziproken Innervationen zu berücksichtigen. Es gibt also keine eindeutige Zuordnung zwischen einem Innervationsmuster aller sechs Muskeln und einer Augenposition.

Weiters zeigt dieser Dialog in der oberen Ecke die durch die aktuelle Innervationen definierte Augenposition an. Hier steht "D" für Adduktion/Abduktion, "E" für Elevation/Depression, "T" für Intorsion/Extorsion und "P" für Protrusion/Retraktion, wobei "D", "E" und "T" in Grad und "P" in mm angegeben wird. Die Vorzeichen sind so definiert wie im Kapitel "[Geometrische Modelle](#)"<sup>29</sup> beschrieben.

## Folgendes Auge

Der Button "Folgendes Auge" schaltet für die 3D-Ansicht die Berechnung der Augenposition für das folgende Auge ein oder aus. Dies bedeutet, dass beim Fixieren einer Augenposition mit dem aktuell fixierenden Auge ([blaues Kreuz](#)<sup>113</sup>) die Position des aktuell folgenden Auges ([rotes Kreuz](#)<sup>113</sup>) mit Hilfe der aktuellen Simulationsparameter berechnet wird. Sie können das folgende Auge ein- bzw. ausschalten indem sie auf das Symbol in der Symbolleiste "Allgemeine Funktionen" klicken, oder im Hauptmenü den Punkt "Optionen->Folgendes Auge" auswählen.

## Interpolation für Echtzeit-Diagnose

Mit diesem Button können sie den Interpolationsmodus für die Echtzeit-Diagnose ein- und ausschalten. Mehr Informationen über diese Funktion finden sie im Kapitel "[Interpolation für Echtzeit-Diagnose](#)"<sup>134</sup>. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Interpolation für Echtzeit-Diagnose" aufrufen.

## Cover Test

Mit diesem Button können sie die Simulation des Cover Tests ein- und ausschalten. Mehr Informationen über diese Funktion finden sie im Kapitel "[Cover Test](#)"<sup>135</sup>.

## 3D Körper

Der Button "3D Körper" ermöglicht das Ein- und Ausblenden des in der 3D-Ansicht angezeigten Körpers. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->3D Körper" aufrufen.

## Körpertransparenz

Dieses Symbol ermöglicht das Öffnen des Dialogs zum Einstellen der Körpertransparenz in der Darstellung der 3D-Ansicht.



Dieser Dialog ermöglicht das interaktive Ändern der Transparenz des in der 3D-Ansicht dargestellten Körpers. Eine Einstellung von 100% Transparenz entspricht dem Ausschalten der Körperdarstellung. Sie können diesen Dialog auch über das Hauptmenü unter "Ansicht->3D Körper Transparenz" aufrufen.

## Zwinkern

Mit diesem Button können sie das Zwinkern ein- und ausschalten. Diese Funktion steht nur zur Verfügung, wenn der 3D Körper angezeigt wird und wenn die Grafikbeschleunigung für OpenGL™ aktiviert ist (siehe [Allgemeine Optionen](#)<sup>145</sup>). Diese Funktion hat keinen Einfluss auf die Simulationsergebnisse. Sie können das Zwinkern auch über "Optionen->Zwinkern" im Hauptmenü ein- und ausschalten.

## Kopfneigung (Bielschowsky-Test)

Dieser Button öffnet den Dialog zum Einstellen der Kopfneigung.



Wenn sie die Kopfneigung verändern, so wird die aktuelle Neigung in der 3D-Ansicht visualisiert und bei der Simulation des Hess-Lancaster Tests berücksichtigt.

Durch Veränderung der Kopfneigung können sie den sogenannten Bielschowsky-Test simulieren. Bei diesem Test neigt der Patient den Kopf in Richtung der linken oder rechten Schulter um den vestibulookulären Reflex (VOR) zu stimulieren und so die Intorsion des Auges auf der Seite in die der Kopf geneigt wird und die Extorsion im anderen Auge zu verstärken.

Der Button "Zurücksetzen" im Dialog setzt die Kopfneigung wieder auf  $0^\circ$  zurück. Sie können diesen Dialog auch über das Hauptmenü unter "Ansicht->Kopfneigung (Bielschowsky-Test)" aufrufen.



Die gewählte Kopfneigung bleibt so lange eingestellt, bis sie in diesem Dialog wieder verändert wird! Die Funktionen "Ansicht zurücksetzen", "Fenster-Layout zurücksetzen", "Kamera zurücksetzen", "Augenpositionen zurücksetzen" und das Laden einer beliebigen Ansicht setzen die Kopfneigung nicht zurück! Lediglich die Funktion "Alle Einstellungen zurücksetzen" in den [Allgemeinen Optionen](#)<sup>145</sup> setzt auch die Kopfneigung auf  $0^\circ$  zurück.



### Hess-Diagramm Größen anpassen

Mit diesen beiden Buttons können sie die Größe des Diagramm-Fensters, in dem das Hess-Diagramm für das rechte Auge (Links-Fixation) angezeigt wird, an die Größe des Diagramm-Fensters, in dem das Hess-Diagramms für das linke Auge (Rechts-Fixation) angezeigt wird, anpassen bzw. umgekehrt. Diese Buttons sind nur aktiv, wenn beide Hess-Diagramme momentan angezeigt werden und wenn beide Diagramm-Fenster, in denen die Hess-Diagramme angezeigt werden, im Hauptfenster eingedockt sind.



### Automatische Hess-Diagramm-Größen

Standardmäßig werden die Grenzen für die Koordinatenachsen in jedem der beiden Hess-Diagramme so gewählt, dass alle sichtbaren Punkte im Diagramm ideal dargestellt werden können (beim Standard-Blickschema z.B. von  $-40^\circ$  bis  $+40^\circ$  horizontal und vertikal). Durch die unter Umständen verschiedene Anzahl bzw. verschiedene Lage von Punkten in den beiden Fixationen kann es also vorkommen, dass die beiden Diagramme unterschiedliche Grenzen für die Koordinatenachsen verwenden. Mit dieser Funktion kann nun erzwungen werden, dass beide Hess-Diagramme für Links- und Rechts-Fixation die selben Grenzen für die Koordinatenachsen verwenden. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Automatische Hess-Diagramm-Größen" aufrufen.



### SMI 3D VOG Modus

Mit Hilfe dieses Buttons können sie einen Modus aktivieren um SEE++ zur Echtzeit-Visualisierung der aktuellen Messdaten eines 3D VOG (Video-Okulographie) Systems der Firma [SMI](#) zu verwenden. Ohne ein solches System ist die Aktivierung dieses Modus nicht

sinnvoll. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->SMI 3D VOG Daten darstellen" aufrufen.



Vergessen sie nicht, den 3D VOG Modus wieder zu deaktivieren, wenn sie ihn nicht mehr benötigen, denn so lange dieser aktiviert ist, können sie die Positionen der Augen in der 3D-Ansicht nicht mehr verändern (da die Augenpositionen ja dann durch die Messwerte vom 3D VOG System bestimmt werden). Außerdem können sie die Insertionen der Muskeln nicht mehr interaktiv versetzen, damit es zu keinen Darstellungsproblemen kommt.

#### 4.7.3 3D-Ansichtsoptionen



Die Symbolleiste für die 3D-Ansichtsoptionen bietet vielfältige Möglichkeiten, die Darstellung in der 3D-Ansicht zu konfigurieren. Die Leiste unterteilt sich in Funktionen für das fixierende/folgende Auge, Bulbus und Muskeloptionen. Die jeweiligen Pfeile neben den Symbolen öffnen das zugehörige Menü, um weitere Einstellungen vornehmen zu können.

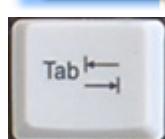
##### Fixierendes Auge

Dieses Symbol schaltet das aktuell fixierende Auge um. Das aktuell fixierende Auge ist in der 3D-Ansicht durch ein blaues Kreuz in der Cornea<sup>[113]</sup> gekennzeichnet. Diese Funktion lässt sich auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Aktuelles Auge (3D-Modell)" auswählen.

Klicken sie mit der linken Maustaste einmal auf das Symbol, um das fixierende Auge zu wechseln.



Auch über das Menü, welches mit einem Klick auf den Pfeil neben dem Symbol dargestellt wird, kann umgeschaltet werden.



Diese Funktion kann auch noch über die Tabulatortaste abgerufen werden.

##### Bulbusoptionen

Mit einem Klick auf dieses Symbol lässt sich der Bulbus des aktuell fixierenden Auges ([blaues Kreuz](#))<sup>[113]</sup> ein bzw. ausschalten. Sie können diese Funktion auch über das Hauptmenü unter "Optionen->Bulbi" anwählen. Mit einem Klick auf den Pfeil neben dem Symbol öffnet sich das Bulbusmenü. Alle Optionen des Bulbusmenüs beziehen sich immer auf das aktuell fixierende Auge (blaues Kreuz).



In diesem Menü finden sie alle bulbusbezogenen Einstellungen für die Visualisierung im 3D-Modell.

- **Koordinatenachsen (Kopffix)** - zeichnet in der Darstellung des 3D-Modells die Achsen des [kopffixen Koordinatensystems](#)<sup>[17]</sup> ein.
- **Koordinatenachsen (Augenfix)** - zeichnet in der Darstellung des 3D-Modells die Achsen des augenfixen Koordinatensystems ein.
- **Koordinatenachsenbeschriftung** - zeigt eine Beschriftung der Achsen beim kopffixen Koordinatensystem an.
- **Drahtgittermodell** - stellt den Bulbus als Drahtgitter dar.

- **Bezugspunkte** - blendet die [Bezugs- bzw. Orientierungspunkte](#)<sup>[142]</sup> auf dem Bulbus ein, um sich bei einer [Operation](#)<sup>[137]</sup> besser orientieren zu können.
- **Polstellen** - blendet die Polpunkte auf Basis des kopffixen Koordinatensystems ein. Dies sind jene Punkte, an denen die Koordinatenachsen den Bulbus durchstoßen.
- **Cornea-Markierung** - blendet das Cornea-Kreuz (blau bzw. rot) ein, welches Aufschluss über das aktuell fixierende bzw. folgende Auge gibt.
- **Sichtvektor** - zeigt den Sichtvektor des aktuellen Auges an. Dies ist der Vektor vom Bulbusmittelpunkt durch die Mitte der Cornea.



- **Funktionelle Topographie** - ermöglicht die Veränderung von Einstellungen für die [funktionelle Topographie](#)<sup>[33]</sup>. In diesem Untermenü können sie die verschiedenen Rotationskomponenten (Horizontal, Vertikal und Torsionell) ein- und ausblenden.

Über die Auswahl von "Alle" werden alle Rotationskomponenten eingeblendet, mit "Keine" werden alle Rotationskomponenten ausgeblendet und somit die Anzeige der funktionellen Topographie für dieses Auge deaktiviert. Die funktionelle Topographie projiziert die gewählten Rotationskomponenten in Form von verschiedenen Farben auf den Bulbus. Die Zuordnung der Farben ist dabei gleich wie bei der [Muskelwirkungsverteilung](#)<sup>[117]</sup> (horizontale Komponente in blau, vertikale Komponente in rot und torsionale Komponente in grün). Werden mehrere Komponenten gleichzeitig eingeblendet, dann werden die Farben entsprechend kombiniert. Die Darstellung der funktionellen Topographie ist abhängig von den momentan sichtbaren Muskeln. Genauere Informationen über die mathematischen Hintergründe finden sie bei den [geometrischen Modellen](#)<sup>[33]</sup>.

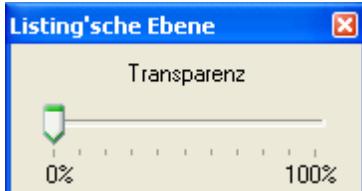


- **Transparenz** - öffnet den Dialog für das Einstellen der Bulbustransparenz. Sie können diesen Dialog auch über das Hauptmenü unter "Ansicht->Bulbustransparenz" aufrufen.



- **Listing'sche Ebene** - zeigt die [Listing'sche Ebene](#)<sup>27</sup> in der 3D-Ansicht an und erlaubt die Einstellung der Transparenz.

Wenn sie "Anzeigen" wählen, dann wird die Listing'sche Ebene auf Basis der momentanen Simulation für das entsprechende Auge berechnet und in der 3D-Ansicht eingeblendet. Die Berechnung der Listing'schen Ebene kann unter Umständen einige Zeit in Anspruch nehmen, der aktuelle Berechnungsfortschritt wird in der Statuszeile angezeigt.



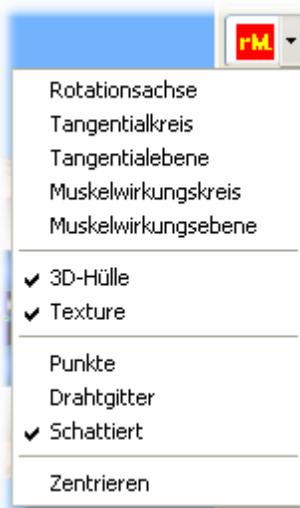
Über den Punkt "Transparenz" können sie den Dialog zum Einstellen der Transparenz der Listing'schen Ebene aufrufen.

- **Zentrieren** - verschiebt die Darstellung der 3D-Ansicht so, dass der Rotationsmittelpunkt gleich dem Bulbusmittelpunkt des aktuell fixierenden Auges ist. Diese Verschiebung bleibt so lange aktiv, bis das Zentrieren wieder ausgeschaltet wird oder das andere Auge zentriert wird.



## Muskeloptionen

Die Darstellungsoptionen für die Augenmuskeln sind sehr vielfältig. Für jeden Muskel existiert ein eigenes Symbol gekennzeichnet mit einem Buchstabenkürzel (rM = rectus medialis, rL = rectus lateralis, usw.). Durch einen Klick mit der linken Maustaste auf ein Muskelsymbol wird der entsprechende Muskel in der 3D-Ansicht ein- bzw. ausgeschaltet. Zusätzlich gibt es mit den Symbolen "Alle Ein" bzw. "Alle aus" die Möglichkeit, sämtliche Muskeln durch einen Klick einz- bzw. auszuschalten. Im Hauptmenü unter "Optionen->Muskeln" können diese Funktionen auch aufgerufen werden. Dies hat auch gleichzeitig einen Einfluss auf die Darstellung des [Muskelwirkungsrichtungen](#)<sup>117</sup> und [Muskelwirkungsverteilungsdiagrammes](#)<sup>117</sup>, sowie auf die Darstellung der [funktionellen Topographie](#)<sup>33</sup>, denn dort werden immer die kumulierten Werte aller aktuell in der 3D-Ansicht dargestellten Muskeln eingezeichnet. Möchte man demnach beispielsweise die Muskelwirkungsverteilung des m. rectus medialis darstellen, so muss man alle anderen Muskeln ausschalten.



Für jedes Muskelsymbol gibt es ein zusätzliches Menü an Optionen, das durch einen Klick mit der linken Maustaste auf den neben dem Symbol gezeigten Pfeil geöffnet wird. Die im Menü gezeigten Optionen haben folgende Auswirkungen:

- **Rotationsachse** - zeichnet in der jeweiligen Farbe des Muskels seine Rotationsachse ein, um die er den Bulbus in der aktuellen Augenposition rotieren würde. Die Rotationsachse ändert sich demnach, wenn mit dem Bulbus eine andere Augenposition eingenommen wird. Basis dieser Berechnung ist das aktuell verwendete [Modell](#)<sup>[123]</sup>.
- **Tangentialkreis** - zeichnet in der jeweiligen Farbe des Muskels den Tangentialkreis (Schattenkreis des Tangentialpunktes) strichliert ein.
- **Tangentialebene** - zeichnet in der jeweiligen Farbe des Muskels die Tangentialebene ein.
- **Muskelwirkungskreis** - zeichnet den Wirkungskreis des Muskels in der aktuellen Blickposition ein (siehe auch [Vor/Rücklagern](#)<sup>[140]</sup>).
- **Muskelwirkungsebene** - zeichnet die Wirkungsebene des Muskels in der aktuellen Blickposition ein.

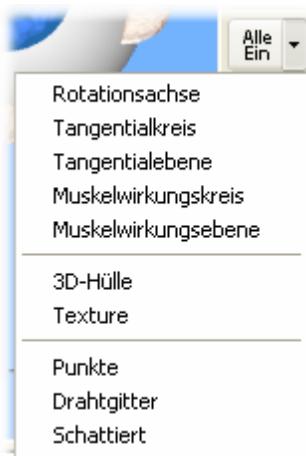
Standardmäßig werden alle Muskeln in ihrer 3D-Darstellung als 3D-Hülle gezeichnet. Diese 3D-Hülle wird zusätzlich von einer Textur (aufgeklebtes Bild) überzogen, um eine realistischere Darstellung zu erreichen. Die folgenden Optionen des Muskelmenüs beziehen sich auf die Einstellung der 3D-Hülle eines Muskels.

- **3D-Hülle** - aktiviert bzw. deaktiviert die Darstellung der 3D-Hülle. Wird die 3D-Hülle ausgeschaltet, so wird ein Muskel durch eine Linie in der jeweiligen Muskelfarbe eingezeichnet. Die Dicke der Linien lässt sich im Optionsmenü "[Allgemeines](#)"<sup>[145]</sup> einstellen.
- **Texture** - schaltet die Überzeichnung der 3D-Hülle eines Muskels mit einem Muskelbild ein oder aus.

Wenn die Darstellung der 3D-Hülle eines Muskels aktiviert ist, kann zusätzlich zwischen 3 verschiedenen Optionen gewählt werden:

- **Punkte** - zeichnet den Muskel nur in Punktdarstellung
- **Drahtgitter** - zeichnet den Muskel als Drahtmodell
- **Schattiert** - zeichnet den Muskel in Volldarstellung (dies ist auch die Standardeinstellung)

Die Menüoption "Zentrieren" rotiert die gesamte Darstellung der 3D-Ansicht (Kamera), so dass der gewählte Muskel am besten sichtbar wird.



Durch einen Klick auf den Pfeil neben dem Symbol "Alle Ein" öffnet sich das entsprechende Kontextmenü. Hier stehen, bis auf die Option "Zentrieren", alle Funktionen zur Verfügung, die auch in jedem Muskel angegeben sind (siehe oben). Verwendet man dieses Menü, so beziehen sich alle Funktionen auf alle Muskeln und aktivieren die gewählte Darstellungsart entsprechend. Gleicher gilt für das Menü neben dem Symbol "Alle Aus", mit dem Unterschied, dass dort die gewählte Darstellungsoption deaktiviert wird.

#### 4.7.4 Ansichten

Die Symbolleiste für Ansichten dient zum Verwalten von verschiedenen Ansichten, wobei eine Ansicht die Summe aller Einstellungen ist, die sie in SEE++ für die Diagramme und das 3D-Modell vornehmen können. Eine Ansicht besteht somit aus einem Großteil der Einstellungen, die sie in der [Symbolleiste für die 3D-Ansichtsoptionen](#)<sup>128</sup>, in der [Symbolleiste für die allgemeinen Funktionen](#)<sup>124</sup>, sowie in den verschiedenen Dialogen für die [Diagramm-Optionen](#)<sup>148</sup> vornehmen können. Die Einstellungen der momentan im Programm sichtbaren Ansicht werden automatisch beim Beenden von SEE++ gespeichert und beim Starten wieder geladen.



Die Liste in der Symbolleiste für Ansichten zeigt eine Auflistung sämtlicher vorhandener (zuvor abgespeicherter) Ansichten. Um eine der Ansichten zu laden, braucht sie nur aus der Liste ausgewählt zu werden. Die gewählte Ansicht wird automatisch zur aktiven Ansicht.

Verwenden sie diesen Button um eine neue Ansicht anzulegen. Nach dem Anklicken dieses Buttons erscheint ein Dialog, in dem sie den Namen der Ansicht eingeben müssen. Der Name muss mindestens 1 Zeichen lang sein und es darf noch keine Ansicht mit dem selben Namen geben. Nachdem sie den Dialog mit OK bestätigt haben, wird die neue Ansicht zur Liste hinzugefügt und automatisch als aktive Ansicht gesetzt.

Mit diesem Button können sie die aktive Ansicht laden. Sollten die aktuelle Ansicht und die momentan aktive Ansicht gleich sein, dann hat das Laden der aktiven Ansicht keinen Effekt.

Mit diesem Button können sie die aktive Ansicht mit der aktuellen Ansicht überschreiben, sie speichern also die aktuell in SEE++ eingestellte Ansicht in der momentan aktiven Ansicht ab. Die zuvor gespeicherten Einstellungen der aktiven Ansicht gehen dabei verloren.

Um die momentan aktive Ansicht umzubenennen verwenden sie diesen Button. Wenn sie auf den Button geklickt haben erscheint ein Dialog, in dem sie den Namen der Ansicht

ändern können. Der Name muss mindestens 1 Zeichen lang sein und es darf noch keine Ansicht mit dem selben Namen geben.



Zum Löschen der aktiven Ansicht klicken sie auf diesen Button.



Wenn sie eine Ansicht geladen haben (z.B. über die Liste in der Symbolleiste für Ansichten oder über ein Szenario, dem eine Ansicht zugeordnet ist), dann können sie mit Hilfe dieses Buttons das Laden der letzten Ansicht rückgängig machen und die zuvor eingestellte Ansicht wiederherstellen. Es können bis zu 20 Ladevorgänge rückgängig gemacht werden.



Um einen zuvor rückgängig gemachten Ladevorgang wiederherzustellen verwenden sie diesen Button. Es können bis zu 20 rückgängig gemachte Ladevorgänge wiederhergestellt werden.



Mit diesem Button können sie alle Einstellungen der aktuellen Ansicht auf die Standardeinstellungen zurücksetzen. Die momentan aktive Ansicht wird dabei inaktiv gesetzt. Das Zurücksetzen der aktuellen Ansicht wird wie ein Ladevorgang betrachtet und kann deshalb auch rückgängig gemacht werden (siehe oben).

## 4.8 Methoden zur Motilitätsdiagnose

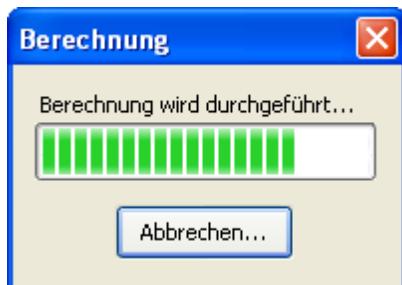
In SEE++ gibt es zwei Möglichkeiten zur interaktiven Motilitätsdiagnose:

1. [Interpolation für Echtzeit-Diagnose](#)<sup>134</sup>
2. [Cover Test](#)<sup>135</sup>

Sie können diese beiden Funktionen über die [Symbolleiste für "Allgemeine Funktionen"](#)<sup>124</sup> aufrufen. So lange eine dieser beiden Funktionen aktiviert ist, können sie in SEE++ keine Änderungen mehr durchführen, die zu einer Neuberechnung des Simulationsergebnisses führen würden (z.B. eine Änderung an den [medizinischen Stammdaten](#)<sup>86</sup>) oder das Laden eines anderen [Szenarios](#)<sup>100</sup>). Eine Ausnahme stellt die [motorische Fusionsbreite](#)<sup>92</sup> dar, welche in diesem Fall trotzdem noch verändert werden kann, da sie für die Simulation des Cover Tests verwendet wird.

### 4.8.1 Interpolation für Echtzeit-Diagnose

Die Interpolation für Echtzeit-Diagnose kann über die [Symbolleiste für "Allgemeine Funktionen"](#)<sup>124</sup> aufgerufen werden. Nach einem Klick auf den entsprechenden Button öffnet sich ein Dialog, der den aktuellen Berechnungsfortschritt anzeigt. Sie können die Berechnung jederzeit mit einem Klick auf "Abbrechen" anhalten, die Interpolation für Echtzeit-Diagnose wird dann jedoch nicht aktiviert.



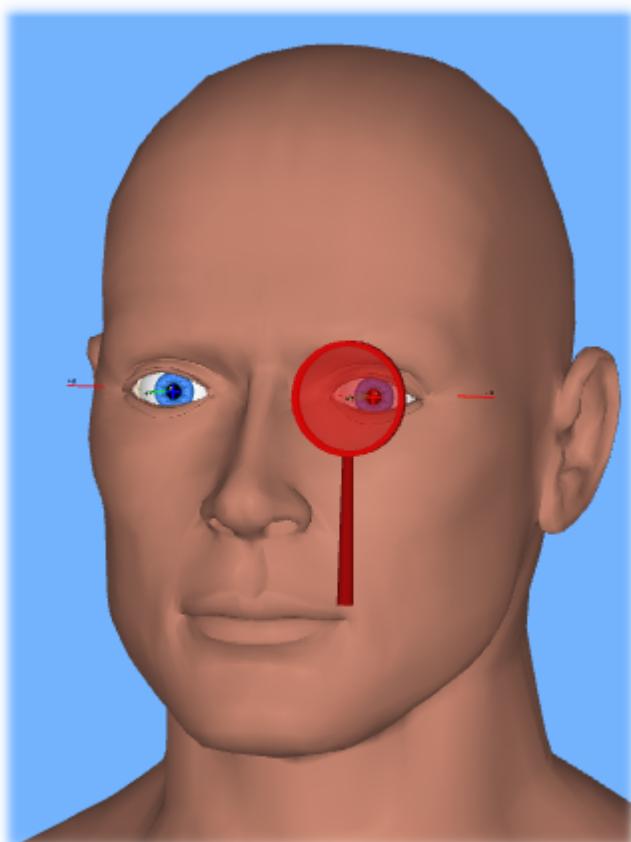
Normalerweise wird in SEE++ die Position des folgenden Auges nur berechnet, wenn die Option ["Folgendes Auge"](#)<sup>126</sup> aktiviert ist. Selbst wenn diese Option aktiviert ist, wird die Position des folgenden Auges bei einer Veränderung der Position des fixierenden Auges erst angezeigt, wenn die Maustaste wieder losgelassen wurde (bei Veränderung der Fixationsposition in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> oder in einem der [Diagramme](#)<sup>148</sup>). Dadurch ist eine interaktive Motilitätsdiagnose nur sehr schwer möglich. Wird nun die Interpolation für Echtzeit-Diagnose aktiviert, dann werden auf Basis eines vollständig berechneten Hess-Diagramms für Rechts- und Links-Fixation Augenpositionen innerhalb des durch die Fixationspositionen bestimmten Bereichs in Echtzeit interpoliert, was eine sofortige Anzeige der Position des folgenden Auges ermöglicht. Somit kann bei interaktiver Veränderung der Fixationsposition in der 3D-Ansicht oder in einem Diagramm die Bewegung des folgenden Auges in Echtzeit beobachtet werden. Dieses Verhalten entspricht dem aus der Klinik bekannten Verfahren zur Motilitätsdiagnose, bei dem der Arzt dem Patienten eine Fixationsposition für ein Auge vorgibt und beobachtet, wie sich das andere (folgende) Auge verhält.

So lange die Interpolation aktiviert ist können nur Positionen fixiert werden, die innerhalb des durch die Punkte der jeweiligen Fixation bestimmten Bereiches liegen. Möchten sie Punkte außerhalb dieses Bereiches fixieren, so müssen sie das entsprechende [Blickschema](#)<sup>93</sup> vergrößern

(bevor das Blickschema bearbeitet werden kann muss die Interpolation für Echtzeit-Diagnose abgeschaltet werden!). Damit die Interpolation aktiviert werden kann, müssen in beiden Fixationen mindestens 3 fixierbare Blickpositionen vorhanden sein. Desto mehr Punkte das Blickschema der jeweiligen Fixation enthält, desto besser und genauer ist die Interpolation. Da für die Interpolation ein vollständig berechnetes Hess-Diagramm benötigt wird, können sie, so lange die Interpolation für die Echtzeit-Diagnose aktiviert ist, in SEE++ keine Änderungen mehr durchführen, die zu einer Neuberechnung des Simulationsergebnisses führen würden (z.B. eine Änderung an den [medizinischen Stammdaten](#)<sup>86</sup> oder das Laden eines anderen [Szenarios](#)<sup>100</sup>).

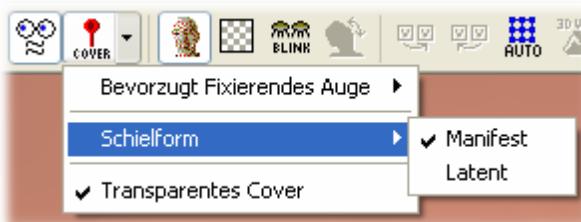
#### 4.8.2 Cover Test

Die Simulation des Cover Tests baut auf der ["Interpolation für Echtzeit-Diagnose"](#)<sup>134</sup> auf, das heißt für die Verwendung des Cover Tests muss zuvor die Interpolation für Echtzeit-Diagnose aktiviert werden. Wenn sie den Cover Test über die [Symbolleiste für "Allgemeine Funktionen"](#)<sup>124</sup> aufrufen, dann wird die Interpolation für Echtzeit-Diagnose automatisch aktiviert und beim Deaktivieren des Cover Tests wird die Interpolation automatisch wieder abgeschaltet. Alle bei der Interpolation für Echtzeit-Diagnose beschriebenen Eigenschaften treffen somit auch auf den Cover Test zu. Die medizinischen Hintergründe des Cover Tests können sie im Kapitel ["Cover Test"](#)<sup>50</sup> bei den mathematischen Modellen nachlesen.



Nach der Aktivierung des Cover Tests und nachdem die Berechnungen für die Interpolation abgeschlossen wurden, wird in der 3D-Ansicht ein dreidimensionales, rotes Cover angezeigt. Für die Simulation des Cover Tests können sie dieses Cover nun mit der linken Maustaste anklicken und wenn sie die Maus dann mit gedrückter Taste bewegen, so können sie eines der beiden Augen abdecken. Wenn eine pathologische Situation vorliegt, dann kann nach dem Abdecken/Aufdecken eines Auges abhängig von den momentanen Einstellungen für den Cover Test eine Einstellbewegung beobachtet werden. Um die Einstellungen für den Cover Test vornehmen zu können, verwenden sie das Menü, welches sich nach einem Klick auf den Pfeil neben dem Symbol für die Aktivierung des Cover Tests öffnet.

Über dieses Menü können sie folgende Einstellungen vornehmen:



- **Bevorzugt Fixierendes Auge** - bestimmt das Auge, welches der "virtuelle Patient" bevorzugt zum Fixieren verwendet (nachdem das Cover von einem Auge entfernt wurde oder wenn kein Auge abgedeckt ist).

Wird das linke oder rechte Auge ausgewählt, dann fixiert der Patient immer mit dem gewählten Auge, bis es mit dem Cover abgedeckt wird. Mit der Einstellung "Beide Augen" fixiert der "virtuelle Patient" immer mit dem Auge, welches zuletzt aufgedeckt wurde.

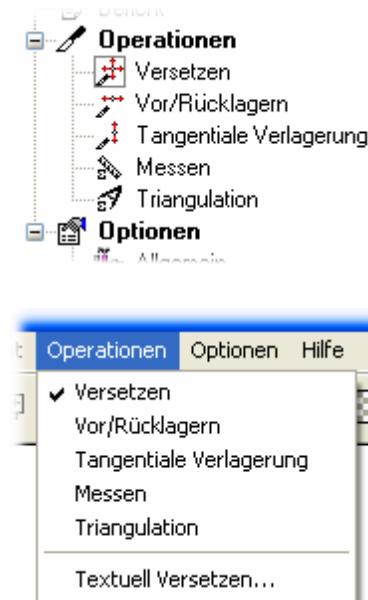
- **Schielform** - bestimmt die Art der Schielform. Ist "Manifest" ausgewählt, dann ist unabhängig von der Position des Covers immer der volle Schielwinkel in der 3D-Ansicht sichtbar. Wird die Schielform "Latent" ausgewählt, dann wird abhängig von der aktuellen motorischen Fusionsbreite<sup>92</sup> ein Teil oder der gesamte Schielwinkel in einer bestimmten Blickposition kompensiert. Wenn sie die motorische Fusionsbreite nun verändern, dann wird die Änderung sofort in der 3D-Ansicht angezeigt.
- **Transparentes Cover** - standardmäßig wird das Cover semi-transparent gezeichnet, so dass man das abgedeckte Auge und dessen Einstellbewegung beim Abdecken sehen kann. Mit dieser Funktion können sie die Transparenz des Covers ausschalten.



Wenn sie ein Auge als bevorzugt fixierendes Auge auswählen oder wenn eines der beiden Augen mit dem Cover abgedeckt ist, dann können sie die Fixation nicht umschalten solange der Cover Test aktiviert ist bzw. solange ein Auge abgedeckt ist!

## 4.9 Operationen

SEE++ bildet die gängisten Operationstechniken interaktiv nach. Will man mit dem System eine Operation nachbilden, so besteht ein Operationsschritt immer aus einer Kombination verschiedener Standardelemente.



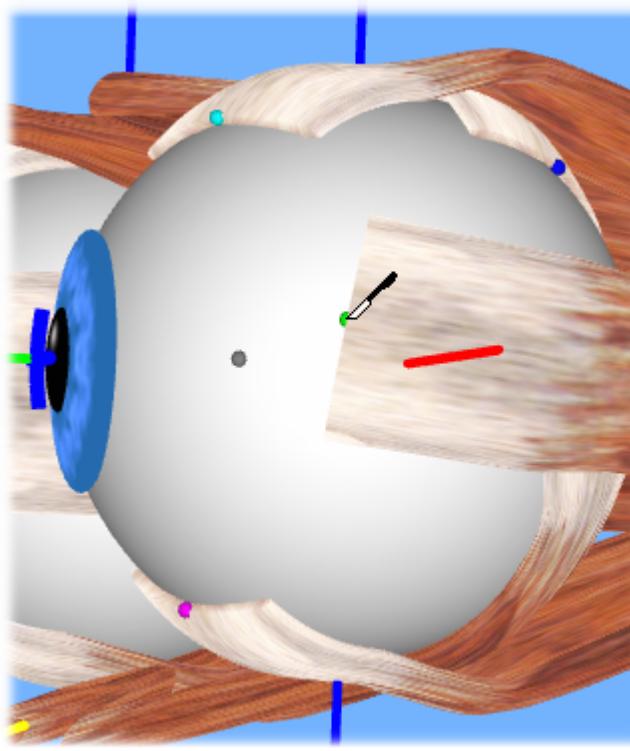
Wenn man beispielsweise eine Resektion und anschließend eine Versetzung eines Muskels durchführen will, so wird man zunächst die Resektion in Form einer Veränderung des Parameters "[Sehnenlänge](#)"<sup>44</sup> bzw. "[Muskellänge \(L0\)](#)"<sup>44</sup> im Kräftemodell nachbilden und anschließend die Operation "[Versetzen](#)"<sup>137</sup> interaktiv in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> ausführen. Eine Resektion sowie eine Faltung kann jedoch auch direkt über den Dialog "[Textuell Operieren](#)"<sup>138</sup> erfolgen, wobei das System dann im Hintergrund die Resektion bzw. Faltung automatisch auf die Parameter Sehnenlänge und Muskelänge (L0) anwendet.

Wenn es notwendig sein sollte, die Position des neuen Insertionspunktes durch Abschlagen von Orientierungspunkten zu definieren, so kann man sich der Methoden "[Messen](#)"<sup>141</sup> und "[Triangulation](#)"<sup>142</sup> bedienen. Natürlich ist eine Versetzung der Muskelinsertion auch rein [textuell](#)<sup>138</sup> möglich.

Um eine virtuelle Operation auszuführen, navigieren sie in der [Treeview](#)<sup>79</sup> auf "Operationen" und wählen sie die gewünschte Vorgehensweise mit einem Klick mit der linken Maustaste aus. Sie finden auch dieselben Funktionen im Hauptmenü unter "Operationen".

### 4.9.1 Versetzen

Das Versetzen einer Insertion kann interaktiv oder [textuell](#)<sup>138</sup> durchgeführt werden. Wenn sie mit der Maus eine Insertion versetzen möchten, wählen sie die [Operationstechnik "Versetzen"](#)<sup>137</sup> und bewegen sie den Mauszeiger in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> direkt auf den Insertionspunkt. Sobald sich der Mauszeiger über dem Insertionspunkt befindet, wechselt der Zeiger auf ein Skalpell.



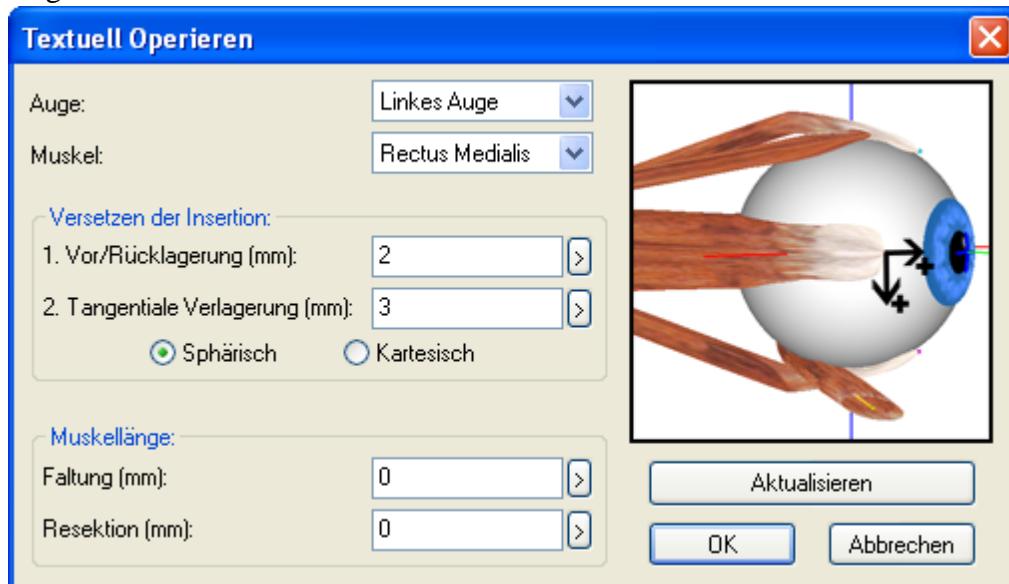
Neue Abrollstr.: 0.903 mm sph. - Rücklag.: 4.301 mm sph., 4.278 mm kar. Tang. Verlag.: 1.655 mm sph., 1.653 mm kar.

Drücken sie nun die linke Maustaste und ziehen sie, bei gedrückter Maustaste, den Insertionspunkt an die gewünschte Position auf dem Bulbus. Der graue Punkt zeigt den ursprünglichen Punkt, an dem die Insertion vor der Verschiebung war. Durch Loslassen der linken Maustaste wird die Versetzung schließlich durchgeführt.

Durch [Drücken der "ESC" Taste](#)<sup>[115]</sup> kann die Versetzung abgebrochen werden. Sie können auch während sie die linke Maustaste halten und ziehen, die "STRG" Taste drücken bzw. das Maus-Rad bewegen, um die Darstellung der 3D-Ansicht zu zoomen. Während der Versetzung wird in der [Statuszeile](#)<sup>[79]</sup> von SEE++ die neue Abrollstrecke, sowie die Versetzungsdistanzen vor-/rückwärts und tangential in sphärischen und kartesischen Abständen angezeigt.

#### 4.9.1.1 Textuell

Die Versetzung eines Insertionspunktes kann auch textuell durchgeführt werden. Öffnen sie hierzu den Dialog zum textuellen Versetzen im [Hauptmenü](#)<sup>[79]</sup> unter "Operationen->Textuell Operieren..." bzw. klicken sie einfach mit der rechten Maustaste auf eine [Operationstechnik](#)<sup>[137]</sup> in der Treeview. Mit Hilfe dieses Dialogs kann auch eine Faltung oder eine Resektion direkt vorgenommen werden.



Wählen sie aus der Auswahlliste zunächst das jeweilige Auge, an dem sie einen Muskel operieren möchten (beim Öffnen des Dialogs wird automatisch das aktuell fixierende Auge ausgewählt). Danach wählen sie einen Muskel aus der zweiten Auswahlliste. Dann wird die Versetzung des Insertionspunktes in zwei Richtungen aufgeteilt.

1. Versetzung vorwärts bzw. rückwärts<sup>[140]</sup>

Geben sie hier den Abstand in mm an, um den sie den Insertionspunkt entlang seiner Wirkungsrichtung (auf dem Muskelwirkungskreis in Primärposition) versetzen möchten. Ein positiver Abstand ist entsprechend der Skizze in diesem Dialog eine Versetzung nach posterior (in Richtung der Pupille), ein negativer Abstand entspricht einer Versetzung nach anterior (in Richtung des Muskelursprungs).

2. Tangentielle Versetzung<sup>[140]</sup>

Im zweiten Schritt wird die Versetzung entlang des Tangentialkreises in mm eingegeben. Hier steht ein positiver Abstand für eine Verschiebung in Richtung der Intorsion, ein negativer Abstand versetzt die Insertion in Richtung Extorsion.

Die Versetzungsabstände werden bei erneutem Aufruf des Dialogs wieder angezeigt und beziehen sich immer auf die Position des aktuellen Insertionspunktes (welcher in den medizinischen Stammdaten gespeichert ist) im Vergleich zur Position des im aktiven Szenarios<sup>[100]</sup> gespeicherten Insertionspunktes. Sie können daher den Dialog mehrmals aufrufen und die Werte bis zum Abspeichern in ein Szenario noch ändern. Außerdem können sie noch auswählen, wie die Berechnung des Abstandes erfolgen soll. Es gibt die Möglichkeit, Abstände entweder sphärisch oder kartesisch zu rechnen.

Neben der Versetzung einer Insertion können sie über diesen Dialog auch eine Faltung oder Resektion eines Muskels vornehmen. Geben sie dazu im entsprechenden Feld den gewünschten Wert ein. Die Werte für Resektion bzw. Faltung werden ebenfalls bei erneutem Aufruf des Dialogs wieder angezeigt und beziehen sich immer auf die aktuell in den medizinischen Stammdaten gespeicherte Sehnenlänge bzw. Muskellänge (L0) im Vergleich zu den im aktiven Szenarios<sup>[100]</sup> gespeicherten Werten. Sie können daher den Dialog mehrmals aufrufen und die Werte bis zum Abspeichern in ein Szenario noch ändern.

Betätigen sie den Button "Aktualisieren", um die aktuellen Werte in das Simulationsmodell zu übernehmen. Es wird dann von SEE++ sofort die 3D-Ansicht mit den neuen Werten aktualisiert und im Hintergrund das Simulationsergebnis neu berechnet. Wenn sie auf "Aktualisieren" geklickt haben, werden die Änderungen auch übernommen, wenn sie den Dialog mit einem Klick auf "Abbrechen" beenden.

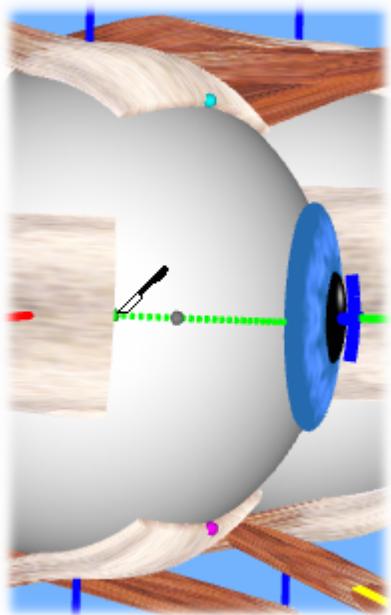
Bestätigen sie den Dialog mit dem Button "OK", wenn sie die Eingaben abgeschlossen haben oder drücken sie auf "Abbrechen", wenn sie keine Änderung durchführen möchten.



Sollten sie nach der Eingabe von Werten für die Vor/Rücklagerung, tangentiale Verlagerung, Faltung oder Resektion das gewählte Auge oder den gewählten Muskel ändern, so gehen die eingegebenen Werte verloren, wenn sie nicht vorher auf "Aktualisieren" klicken.

#### 4.9.2 Vor/Rücklagern

Die Operationstechnik des Vor/Rücklagerns versetzt einen Insertionspunkt entlang seines Muskelwirkungskreises. Wenn sich das Auge nicht in Primärposition befindet, dann wird der Muskel entlang des rotierten Primärpositions-muskelwirkungskreises (entspricht dem Muskelwirkungskreis in Primärposition) rotiert in die aktuelle Blickposition) versetzt.

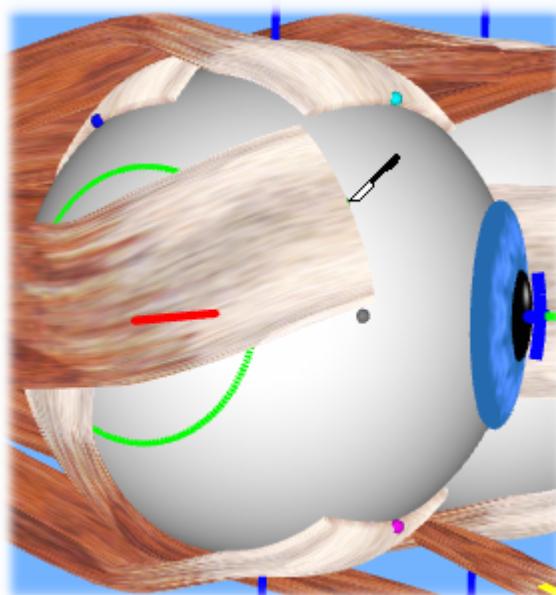


Wählen sie dazu in der [Treeview](#)<sup>79</sup> unter "Operationen" den Eintrag "Vor/Rücklagern" bzw. im [Hauptmenü](#)<sup>79</sup> den Eintrag "Operationen->Vor/Rücklagern" aus. Bewegen sie danach den Mauszeiger direkt auf den zu verlagernden Insertionspunkt, so dass der Mauszeiger seine Form in ein Skalpell verändert. Drücken sie nun die linke Maustaste und ziehen sie, mit gedrückter linker Maustaste, den Insertionspunkt an die gewünschte Position. Die Versetzung wird dabei auf den Muskelwirkungskreis eingeschränkt. Sie können den Insertionspunkt in dieser Operationsmethode also nicht nach oben oder unten verschieben.

In diesem Beispiel wird der m. rectus lateralis des rechten Auges auf seinem eingezeichneten [Muskelwirkungskreis](#)<sup>130</sup> (in Primärposition) versetzt. Der graue Punkt zeigt die ursprüngliche Position der Insertion vor der Verschiebung. Die Bedienung bleibt hier gleich wie bei der "normalen" Operationstechnik des [Versetzens](#)<sup>137</sup>.

#### 4.9.3 Tangentiale Verlagerung

Die tangentiale Verlagerung funktioniert ähnlich wie die [Versetzung](#)<sup>137</sup> bzw. Vor/Rücklagerung. Wählen sie dazu in der [Treeview](#)<sup>79</sup> unter "Operationen" den Eintrag "Tangentiale Verlagerung" oder im [Hauptmenü](#)<sup>79</sup> unter "Operationen" den Eintrag "Tangentiale Verlagerung".

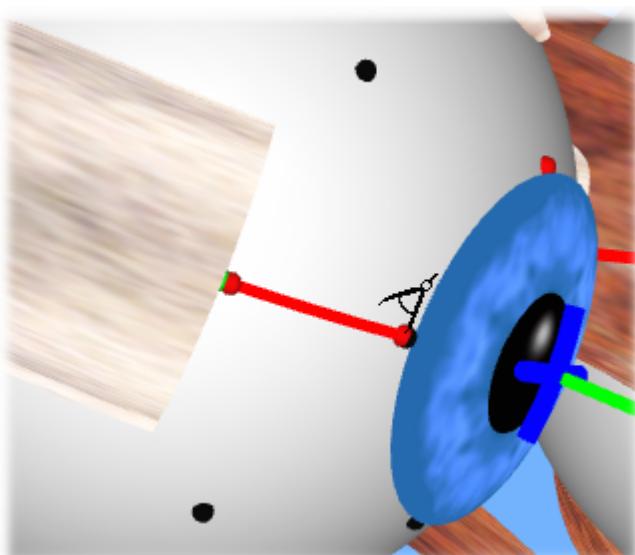


In diesem Beispiel wird der m. rectus lateralis des rechten Auges tangential verlagert. Dabei wird die Verlagerung auf den zum eingezeichneten Tangentialkreis parallelen Kreis reduziert. Der graue Punkt zeigt den ursprünglichen Punkt, an dem die Insertion vor der Verschiebung war. Die Bedienung bleibt hier gleich wie bei der "normalen" Operationstechnik des [Versetzens](#)<sup>137</sup>.

#### 4.9.4 Messen

Für die Orientierung am Bulbus werden bei Operationen von so genannten Orientierungs- oder Messpunkten aus mit einem Zirkel neue Punkte abgeschlagen. Die Orientierungspunkte befinden sich üblicherweise rund um die Pupille. Weitere Punkte werden durch das Abschlagen von sphärischen Abständen erzeugt und bieten so eine Möglichkeit eine reale Operation besser durchführen zu können. Das SEE++ System bietet diese Möglichkeit, indem zwei Messverfahren unterstützt werden. Einerseits ist es möglich mit einem virtuellen Zirkel eine beliebige sphärische Distanz auf dem Bulbus abzumessen. Andererseits kann man mit der Funktion "[Triangulation](#)"<sup>142</sup> das Abschlagen von zwei Abständen und somit das Einzeichnen eines neuen Orientierungspunktes nachbilden.

Für die Funktion des Messens wählen sie in der [Treeview](#)<sup>79</sup> oder im Hauptmenü den Eintrag "Operationen->Messen" aus. Danach bewegen sie den Mauszeiger auf einen Bulbus. Wenn sie nun auf die linke Maustaste drücken, ändert sich der Mauszeiger und zeigt das Symbol eines Zirkels an.



Wenn sie mit gedrückter linker Maustaste nun über den Bulbus ziehen, dann wird vom vorher angeklickten Punkt zur aktuellen Position eine sphärische Linie gezeichnet und gleichzeitig in der [Statuszeile](#)<sup>79</sup> die entsprechenden Abstände (sphärisch und kartesisch) angegeben. Die Messlinie lässt sich solange verändern, bis sie die linke Maustaste wieder loslassen. Danach wird die Messlinie fixiert und bleibt eingezeichnet bis sie wieder eine neue Messung durchführen.

Die Abstände in der Statuszeile werden ebenfalls weiterhin angezeigt, solange sich der Mauszeiger innerhalb der 3D-Ansicht, über dem eben vermessenen Bulbus, befindet. Durch Drücken der "ESC"-Taste während der Messung kann diese abgebrochen werden.



Solange "Messen" als aktive Operationsart ausgewählt ist können sie keine Muskelinsertionen versetzen (weder [interaktiv](#)<sup>137</sup> noch [textuell](#)<sup>138</sup>)!

#### 4.9.4.1 Triangulation

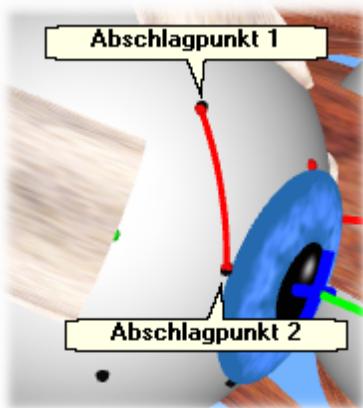


Die Triangulation basiert auf der Funktion des [Messens](#)<sup>[141]</sup>, wobei hier das Abschlagen mit einem Zirkel unterstützt wird. Um diese Funktion aufzurufen, wählen sie aus der Treeview bzw. aus dem Hauptmenü den Eintrag "Operationen->Triangulation" aus. Nun öffnet sich der Dialog, der sie bei der Triangulation unterstützt. Dieser Dialog bietet die Möglichkeit, neue, mit Hilfe der Triangulation abgeschlagene, Punkte in einer Punktliste für jedes Auge abzuspeichern. Diese Punkte werden mit dem Patienten mitgespeichert und mit der Funktion "[Bezugspunkte](#)"<sup>[128]</sup> immer angezeigt. Möchten sie also die abgeschlagenen (und abgespeicherten) Punkte wieder einblenden, müssen sie die Bezugspunkte für ein Auge einschalten.

Ein Punkt kann auf zwei verschiedene Arten abgeschlagen werden:

1. Textuelle Eingabe der Abstände
2. Interaktives Abschlagen mit der Maus

Beiden Varianten geht die Definition der Messstrecke bzw. der beiden Punkte voraus, von denen aus abgeschlagen werden soll. Diese Strecke wird gleich definiert wie in der Funktion "[Messen](#)"<sup>[141]</sup>. Sie können auch, wenn sie zuvor mit "Messen" eine Strecke abgemessen haben und die Messstrecke noch eingeblendet ist, mit der Triangulation durch die Bestimmung der beiden Abstände zum Abschlagen fortsetzen.



Ansonsten müssen sie den Mauszeiger auf einen Bulbus bewegen, dort mit der linken Maustaste klicken und bei gedrückter linker Maustaste eine Strecke einzeichnen. Wenn die Maustaste losgelassen wurde, werden an den Enden der Messstrecke zwei Punkte eingezeichnet, die die Ausgangspunkte für die Triangulation darstellen. Nach dem Einzeichnen der Messstrecke kann direkt mit der Triangulation fortgefahrene werden.

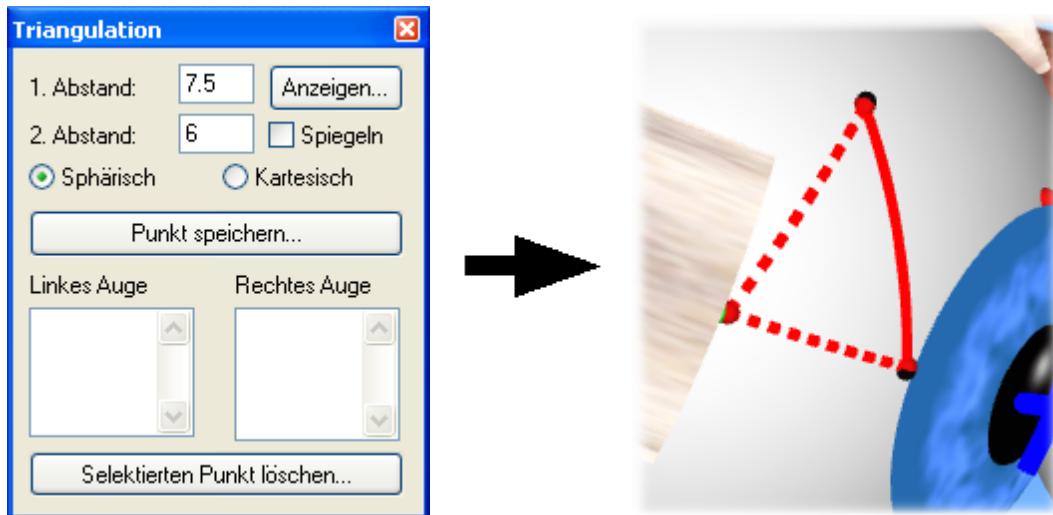


Solange "Triangulation" als aktive Operationsart ausgewählt ist können sie keine Muskelinsertionen versetzen (weder [interaktiv](#)<sup>[137]</sup> noch [textuell](#)<sup>[138]</sup>)!

#### Textuelle Eingabe der Abstände

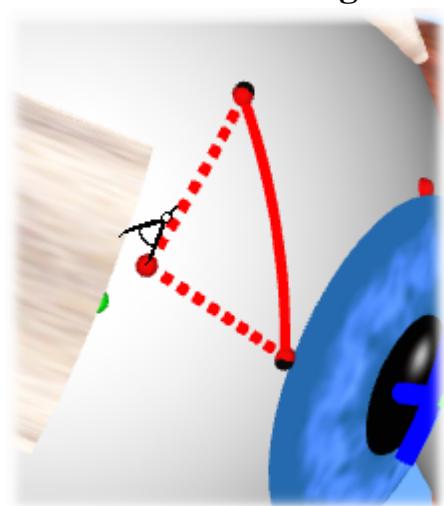
Möchten sie die Abstände textuell eingeben, so müssen sie im Triangulationsdialog die Felder "1. Abstand" und "2. Abstand" ausfüllen und danach auf "Anzeigen..." klicken. Es werden nun die Abstände abgeschlagen und der neue Punkt mit strichlierten Linien verbunden eingezeichnet. Dieser Vorgang lässt sich beliebig oft wiederholen. Sie können mit "Sphärisch" bzw. "Kartesisch" die Art der Abstandsberechnung ihrer eingegebenen Werte bestimmen. Da mit dem Zirkel jeweils zwei mögliche Punkte abgeschlagen werden können, wird durch die Option "Spiegeln" der jeweils gegenüberliegende Punkt eingezeichnet.

Sie können auch nur einen Abstand eingeben und den zweiten Abstand interaktiv mit der Maus bestimmen. Dazu geben sie entweder den Abstand zum ersten oder zum zweiten Punkt ein, setzen den jeweils anderen Abstand auf 0 und klicken anschließend auf "Anzeigen...". Den resultierenden Punkt können sie dann entlang des Kreises verschieben, auf dem der eingegebene Abstand immer erfüllt ist, und so interaktiv den zweiten Abstand bestimmen. Um den eingezeichneten Punkt zu verschieben, klicken sie ihn einfach mit der linken Maustaste an und verändern sie mit gedrückter linker Maustaste seine Position.



Wenn sie beide Abstände textuell eingegeben haben, dann können sie den abgeschlagenen Punkt nicht mit der Maus versetzen!

## Interaktives Abschlagen mit der Maus



Das interaktive Abschlagen mit der Maus funktioniert, indem sie nach der Definition einer Strecke mit der Maus auf den Zielpunkt, der abgeschlagen werden soll, mit der linken Maustaste klicken. Sie können die linke Maustaste gedrückt halten und den Punkt beliebig ziehen. Sie können auch nachträglich den abgeschlagenen Punkt mit der linken Maustaste anklicken und bei gedrückter linker Maustaste die Position des Punktes noch verändern.

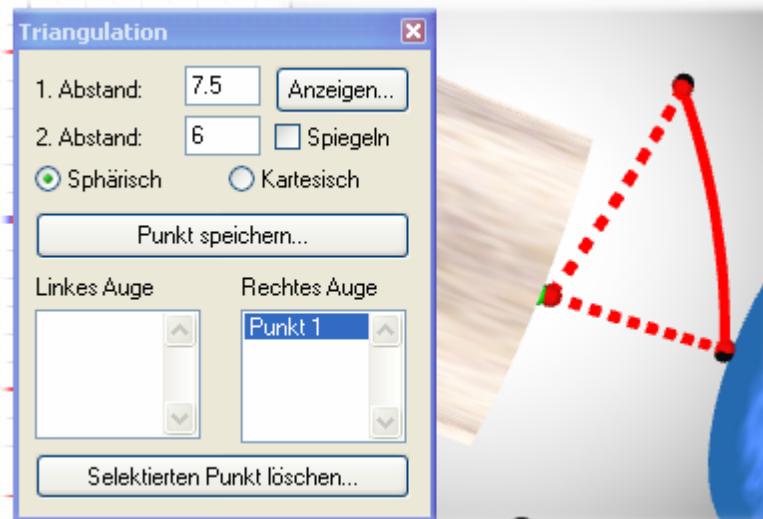
## Statuszeile

Abstand zum 1. Punkt: 5.954 mm sph., 5.893 mm kar. / Abstand zum 2. Punkt: 5.406 mm sph., 5.360 mm kar.

In beiden Varianten (textuell und interaktiv) werden die beiden abgeschlagenen Abstände in der Statuszeile<sup>79</sup> angezeigt, sobald sich der Mauszeiger über dem Bulbus befindet, auf dem abgeschlagen wurde.

## Speichern von Punkten

Nach dem Abschlagen können sie den abgeschlagenen Punkt mit den Patientendaten speichern. Klicken sie dazu einfach auf "Punkt speichern...", dann wird in die Liste des jeweiligen Auges der Punkt sequenziell eingefügt.



Durch Anklicken eines gespeicherten Punktes in einer der Listen wird die Darstellung wieder auf dem Bulbus eingezeichnet. Ist einmal ein abgeschlagener Punkt gespeichert worden, so wird er mit der Option "[Bezugspunkte](#)"<sup>128</sup> als zusätzlicher schwarzer Punkt mitberücksichtigt.

Wenn sie einen gespeicherten Punkt wieder löschen möchten, klicken sie den Punkt in der Liste an und anschließend auf "Selektierten Punkt löschen...".

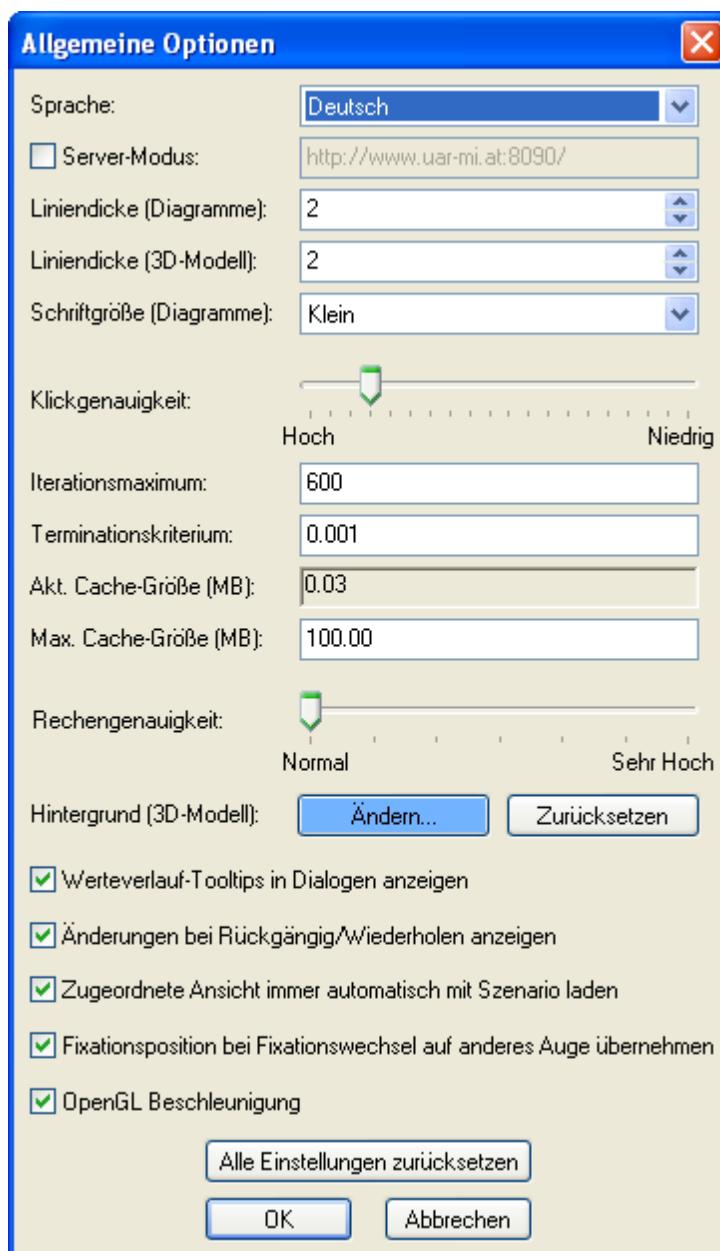


Wenn sie während der Triangulation die linke Maustaste gedrückt halten und eine Strecke einzeichnen oder einen abzuschlagenden Punkt ziehen, können sie mit der "ESC"-Taste den Vorgang jederzeit abbrechen.

## 4.10 Optionen

SEE++ stellt allgemeine Optionen zur Verfügung, die es ermöglichen bestimmte Standardeinstellungen vorzunehmen, um das Arbeiten mit dem System zu erleichtern. Alle im Folgenden beschriebenen Einstellungen werden vom Programm in einer Konfigurationsdatei gespeichert, jedes Mal wenn SEE++ beendet wird. Die Einstellungen aller Optionen bleiben also, unabhängig von den [Patientendaten](#)<sup>80</sup>, erhalten. Sollte das Programm einmal nicht mehr so reagieren wie gewünscht, können sie den Ausgangszustand aller Optionen über den Button "Alle Einstellungen zurücksetzen" im Dialog "[Allgemeine Optionen](#)"<sup>145</sup> wiederherstellen.

### 4.10.1 Allgemeines



Die Allgemeinen Optionen von SEE++ sind in einem Dialog einstellbar, den sie in der [Treeview](#)<sup>79</sup> unter "Optionen->Allgemein" oder im [Hauptmenü](#)<sup>79</sup> unter "Optionen->Allgemeines..." abrufen können.

#### Sprache

In der Auswahlliste "Sprache" kann die aktuelle Sprache des Programms eingestellt werden. Derzeit werden Deutsch und Englisch unterstützt. Wählen sie die entsprechende Sprache aus und bestätigen sie den Dialog durch Klicken auf "OK". Sie müssen dann SEE++ neu starten, damit diese Änderung gültig wird.

#### OpenGL Beschleunigung

Gibt es Probleme mit der 3D-Ansicht oder ist die Darstellung zu langsam, so können sie unter "OpenGL Beschleunigung" eine Verbesserung der Darstellung erreichen. Auch hier muss SEE++ wieder neu gestartet werden, damit diese Änderung wirksam wird.

### Server-Modus

Wenn sie diese Option aktivieren, dann versucht SEE++ sämtliche Berechnungen über den SEE++ Calculation Server (als eigenes Produkt auf [www.see-kid.at](http://www.see-kid.at) verfügbar) durchzuführen. In dem Eingabefeld können sie die Adresse des Servers eingeben. Der Server-Modus ist primär für die Verwendung in größeren Netzwerken vorgesehen, in dem die Berechnungen dann auf einem leistungsstarken Server ausgelagert werden können und somit die Hardwareanforderungen für die Clients geringer werden.

### **Alle Einstellungen zurücksetzen**

SEE++ speichert sämtliche Einstellungen, die sie im Programm verändern können, automatisch beim Beenden des Programms und stellt sie beim Starten wieder her. Sollte das Programm einmal nicht mehr so reagieren wie gewünscht oder sie möchten nur alle Einstellungen auf ihre Standardwerte zurücksetzen, dann können sie den Ausgangszustand aller Optionen mit einem Klick auf diesen Button wiederherstellen. Nachdem sie auf den Button geklickt haben muss SEE++ neu gestartet werden, damit der Vorgang erfolgreich abgeschlossen werden kann.

### **Liniendicke (Diagramme)**

Diese Option gibt die Dicke aller Linien an, die in den verschiedenen [Diagrammen](#)<sup>148</sup> eingezeichnet werden.

### **Liniendicke (3D-Modell)**

Diese Option gibt die Dicke aller Linien an, die in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> eingezeichnet werden.

### **Schriftgröße (Diagramme)**

Mit dieser Option können sie die Größe der Schriften in den verschiedenen Diagrammen verändern. Sie haben die Wahl zwischen kleinen, mittleren und großen Schriften.

### **Klickgenauigkeit**

Die Klickgenauigkeit wirkt sich überall dort aus, wo sie in SEE++ auf Punkte klicken. In der 3D-Ansicht betrifft dies beispielsweise die Insertionspunkte, in den Diagrammen das Positionskreuz. Wählen sie einen Wert im Bereich "Niedrig", um eine große Toleranz bei der Positionierung des Mauszeigers über anklickbaren Punkten zu erreichen (Mauszeiger ändert z.B. schon in größerer Entfernung eines Insertionspunktes seine Form). Bestätigen sie den Dialog mit "OK", wird die Änderung umgehend wirksam.

### **Iterationsmaximum**

Das Iterationsmaximum ist eine Einstellung, die für das Verfahren zur nicht-linearen Optimierung verwendet wird. Erhöhen sie diesen Wert, wenn SEE++ Simulationsergebnisse liefert, die offensichtlich einem zu frühen Abbrechen bei der Suche nach einer Augenposition entsprechen. Verringern sie diesen Wert, wenn SEE++ sehr lange an dem Simulationsergebnis rechnen muss. Die Werte sollten in einem Intervall von 100 bis 2000 liegen!



Ändern sie diesen Wert nur, wenn sie absolut sicher sind. Ein Änderung dieses Wertes kann sämtliche Simulationsergebnisse ungültig machen.

### **Terminationskriterium**

Diese Option lässt die Genauigkeit einstellen, mit der SEE++ Simulationsergebnisse errechnet. Die Standardeinstellung bedeutet, dass SEE++ mit drei Nachkommastellen rechnet. Wertänderungen sollten in einem Intervall von 1e-03 bis 1e-15 liegen.



Ändern sie diesen Wert nur, wenn sie absolut sicher sind. Ein Änderung dieses Wertes kann sämtliche Simulationsergebnisse ungültig machen.

### Aktuelle Cache-Größe (MB)

Gibt die momentane Größe des Caches für Berechnungen in Megabytes an. Dieser Wert kann nicht geändert werden.

### Maximale Cache-Größe (MB)

SEE++ verwendet intern einen Cache (Zwischenspeicher) um bereits berechnete Simulationen nicht immer neu berechnen zu müssen. Mit dieser Option können sie die maximale Grenze des Caches in Megabytes festlegen. Wenn sie die maximale Größe auf 0 setzen, dann wird der Cache deaktiviert (nicht empfohlen!). Erhöhen sie die maximale Cache-Größe nur, wenn ihr Computer über sehr viel Hauptspeicher (>2GB) verfügt, da das Programm sonst unter Umständen langsamer wird.

### Rechengenauigkeit

Die Rechengenauigkeit ist eine Einstellung, die für das Verfahren zur nicht-linearen Optimierung verwendet wird. Dieser Wert bestimmt, wie oft SEE++ bei der Berechnung eines Wertes die Startwerte für die Berechnung verändert, um ein lokales Minimum ausschließen zu können. Verändern sie diese Einstellung wenn sie der Meinung sind, dass SEE++ lokale Minima als Simulationsergebnisse anzeigt. Üblicherweise braucht die Standardeinstellung nicht verändert werden.



Ändern sie diesen Wert nur, wenn sie absolut sicher sind. Ein Änderung dieses Wertes kann sämtliche Simulationsergebnisse ungültig machen.

### Hintergrund (3D-Modell)

Hier können sie die Hintergrundfarbe der 3D-Ansicht ändern. Standardmäßig ist hier die Farbe mit den Werten "Rot: 114 Grün: 179 Blau: 255" eingestellt. Klicken sie auf "Ändern..." um eine neue Hintergrundfarbe zu wählen. Mit einem Klick auf "Zurücksetzen" können sie die Standardfarbe wiederherstellen.

### Werteverlauf-Tooltips in Dialogen anzeigen

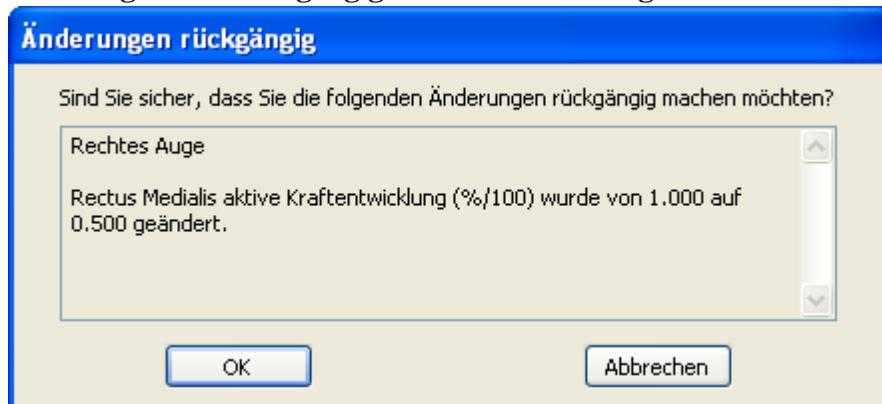


Mit dieser Option können sie festlegen, ob Tooltips mit einer Liste der vorhergehenden Werte (auf Basis der verschiedenen Szenarien<sup>100</sup>) eines bestimmten Parameters in den Dialogen zur Veränderung der medizinischen Stammdaten (Bulbusdaten<sup>87</sup>, Muskeldaten<sup>87</sup>, Innervationsverteilung<sup>91</sup>, motorische Fusionsbreite<sup>92</sup>) angezeigt werden sollen.

In den Tooltips können sie einen der früheren Werte anklicken, um ihn in das entsprechende Eingabefeld zu kopieren. Außerdem wird in den Tooltips noch das aktuelle Modell angezeigt. Wenn sich ein Wert im Vergleich zum aktuell gewählten Szenario oder dem Szenario, unter dem

sich das aktuelle Szenario befindet, geändert hat, dann wird das Eingabefeld zusätzlich mit einem roten Strich auf der linken Seite markiert.

### Änderungen bei Rückgängig/Wiederholen anzeigen



Wenn sie über die Symbolleiste für "Allgemeine Funktionen" oder über das Hauptmenü unter "Stammdaten" eine Änderung rückgängig machen oder wiederherstellen, dann wird standardmäßig ein Dialog angezeigt, in dem sie eine kurze Übersicht über die Änderungen bekommen. Mit dieser Option können sie die Anzeige dieses Dialogs ausschalten, wodurch das Rückgängig-machen oder Wiederherstellen einer Änderung direkt durchgeführt wird.

### Zugeordnete Ansicht immer automatisch mit Szenario laden

Sollte einem [Szenario](#)<sup>100</sup> eine [Ansicht zugeordnet](#)<sup>105</sup> sein, dann wird standardmäßig beim Laden eines Szenarios automatisch die zugeordnete Ansicht mitgeladen (die aktuelle Ansicht wird dabei überschrieben). Wenn sie nicht möchten, dass zugeordnete Ansichten automatisch mit einem Szenario geladen werden, dann können sie dieses Verhalten mit dieser Option abschalten.

### Fixationsposition bei Fixationswechsel auf anderes Auge übernehmen

Wird das aktuell fixierende Auge mit Hilfe der ["Symbolleiste für die 3D-Ansicht"](#)<sup>128</sup> oder durch Drücken der Tabulatortaste gewechselt, dann wird nach dem Wechsel die Blickposition des neuen fixierenden Auges auf die Position des alten fixierenden Auges gesetzt. Wenn sie das nicht möchten, dann können sie dieses Verhalten mit dieser Option abschalten. Bei der Simulation des [Cover Tests](#)<sup>135</sup> wird die Blickposition des neuen fixierenden Auges nach einem Fixationswechsel immer auf die Position des alten fixierenden Auges gesetzt, unabhängig von der Einstellung dieser Option.

## 4.10.2 Diagramme

Die Optionen für [Diagramme](#)<sup>116</sup> beziehen sich auf die Darstellung der einzelnen verfügbaren [Ansichten](#)<sup>111</sup> in SEE++. In diesem Dialog gibt es für jede [Diagrammart](#)<sup>116</sup> (außer für den Stateviewer) eine eigene Karteikarte, um die Optionen festzulegen. Um den Dialog aufzurufen, wählen sie in der Treeview oder im Hauptmenü den Eintrag "Optionen->Diagramme".



Für alle Diagramme können sie mit der Option "X-Achse spiegeln" die horizontale Achse umgekehrt darstellen. Außerdem können sie mit der Option "Aktuelle Blickposition anzeigen" die Anzeige der aktuellen Blickposition in Form eines Kreuzes bzw. Strichs in allen Diagrammen ein- und ausschalten.

### Optionen für Muskelwirkungsverteilung<sup>117</sup>



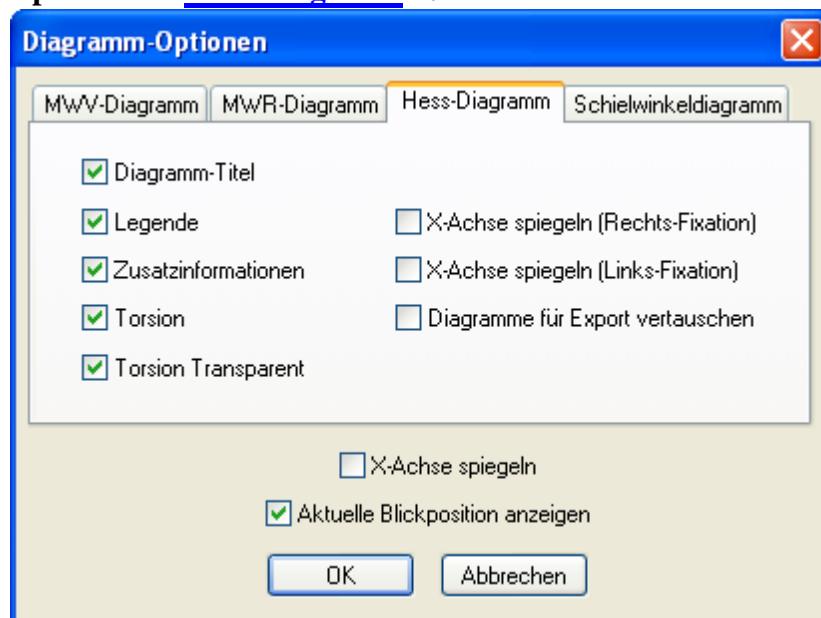
Die Karteikarte MWV-Diagramm (Muskelwirkungsverteilungsdiagramm) bietet die Möglichkeit zwischen linkem und rechtem Auge (Kasten "Auge") umzuschalten. Außerdem können sie Diagramm-Titel, Legende und Zusatzinformationen ein- bzw. ausschalten. Die Zusatzinformationen beziehen sich auf die Angabe des verwendeten Modells<sup>123</sup>, der aktuellen Blickposition<sup>16</sup> (Elevation/Depression) und der im Diagramm kumuliert dargestellten Muskeln<sup>117</sup>.

### Optionen für Muskelwirkungsrichtung<sup>117</sup>



Die Karteikarte MWR-Diagramm (Muskelwirkungsrichtungsdiagramm) bietet ebenfalls die Möglichkeit zwischen linkem und rechtem Auge (Kasten "Auge") umzuschalten und bietet auch sonst die gleichen Optionen wie das Muskelwirkungsverteilungsdiagramm. Zusätzlich bietet die Einstellung "Vektor-Multiplikator" die Möglichkeit, die im Diagramm eingezeichneten Vektoren<sup>117</sup> nach Belieben zu verlängern, um eine bessere Darstellung zu erreichen.

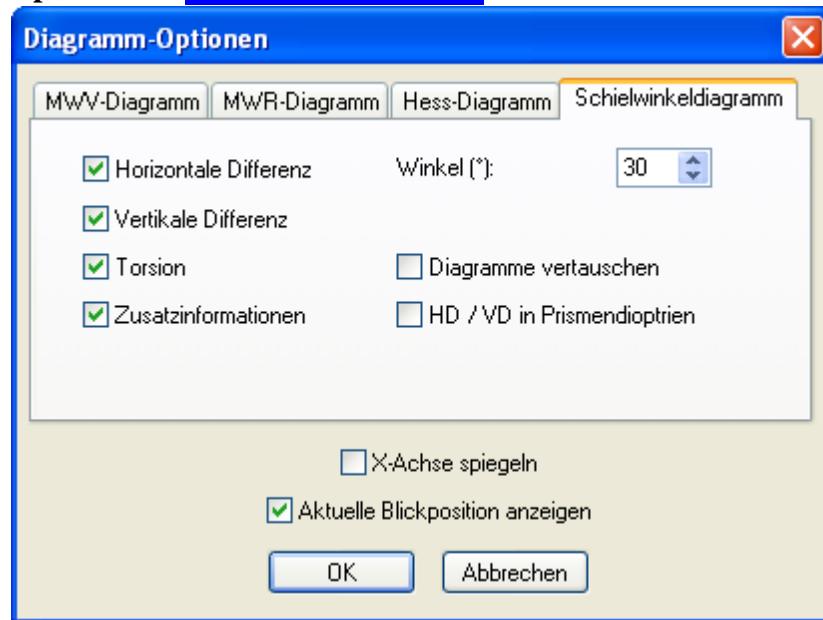
## Optionen für Hess-Diagramm<sup>118</sup>



Im Hess-Diagramm können Diagramm-Titel, Legende, die Zusatzinformationen und die Anzeige der [Torsion](#)<sup>16</sup> ein- bzw. ausgeschaltet werden. Für die Torsion kann zusätzlich noch eingestellt werden, ob der Hintergrund der einzelnen Torsionswerte transparent oder weiß gezeichnet wird. Standardmäßig wird der Hintergrund der einzelnen Torsionswerte transparent gezeichnet, was bei sehr vielen Punkten im Hess-Diagramm oder bei sehr eng zusammen liegenden Punkten zu einer schlechten Lesbarkeit der Torsionswerte führen kann. Schalten sie in diesem Fall einfach die Option "Torsion Transparent" aus. Dann werden die Torsionswerte mit weißem Hintergrund gezeichnet, damit sie sich besser vom Diagramm abheben.

Zusätzlich kann für [Rechts- und Links-Fixation](#)<sup>48</sup> getrennt die X-Achse gespiegelt werden (Diagramm wird horizontal umgedreht). Um die standardmäßige Anordnung der beiden Hess-Diagramme (linkes Auge (Rechts-Fixation) auf der linken Seite und rechtes Auge (Links-Fixation) auf der rechten Seite) für den Export als Bild, für das Drucken bzw. für das Kopieren in die Zwischenablage über das Hauptmenü "[Patient->Beide Hess-Diagramme](#)"<sup>81</sup> zu vertauschen, wählen sie die Option "Diagramme für Export vertauschen".

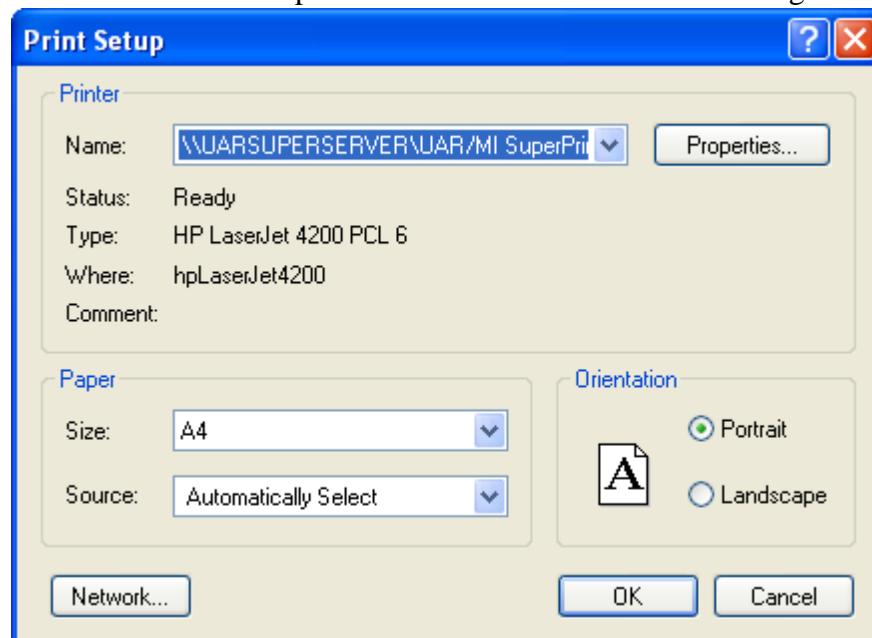
### Optionen für Schielwinkeldiagramm<sup>119</sup>



Im Schielwinkeldiagramm lassen sich die **horizontalen Differenzen (HD)**, **vertikalen Differenzen (VD)** und **die Torsionen**<sup>120</sup>, sowie die Zusatzinformationen ein- bzw. ausschalten. Außerdem kann der Winkel für die Blickpositionen verändert werden und die beiden Diagramme für Rechts- und Links-Fixation können vertauscht werden. Schließlich können sie noch einstellen, ob die horizontalen und vertikalen Differenzen (HD / VD) in Grad (Standardeinstellung) oder in Prismendioptrien angezeigt werden.

#### 4.10.3 Drucker

Mit dem Optionsdialog "Drucker" können sie die Einstellungen des von SEE++ standardmäßig verwendeten Druckers festlegen. Öffnen sie diesen Dialog in der [Treeview](#)<sup>121</sup> unter "Optionen->Drucker" oder im Hauptmenü unter "Patient->Druckereinstellungen".



Hier können sie den zu verwendenden Drucker unter "Name", sowie die Papiergröße und Ausrichtung einstellen. Dieser Dialog ist ein Standard Windows® Dialog und die angezeigten Eigenschaften sind abhängig von dem Drucker, den sie mit ihrem Computer verwenden.

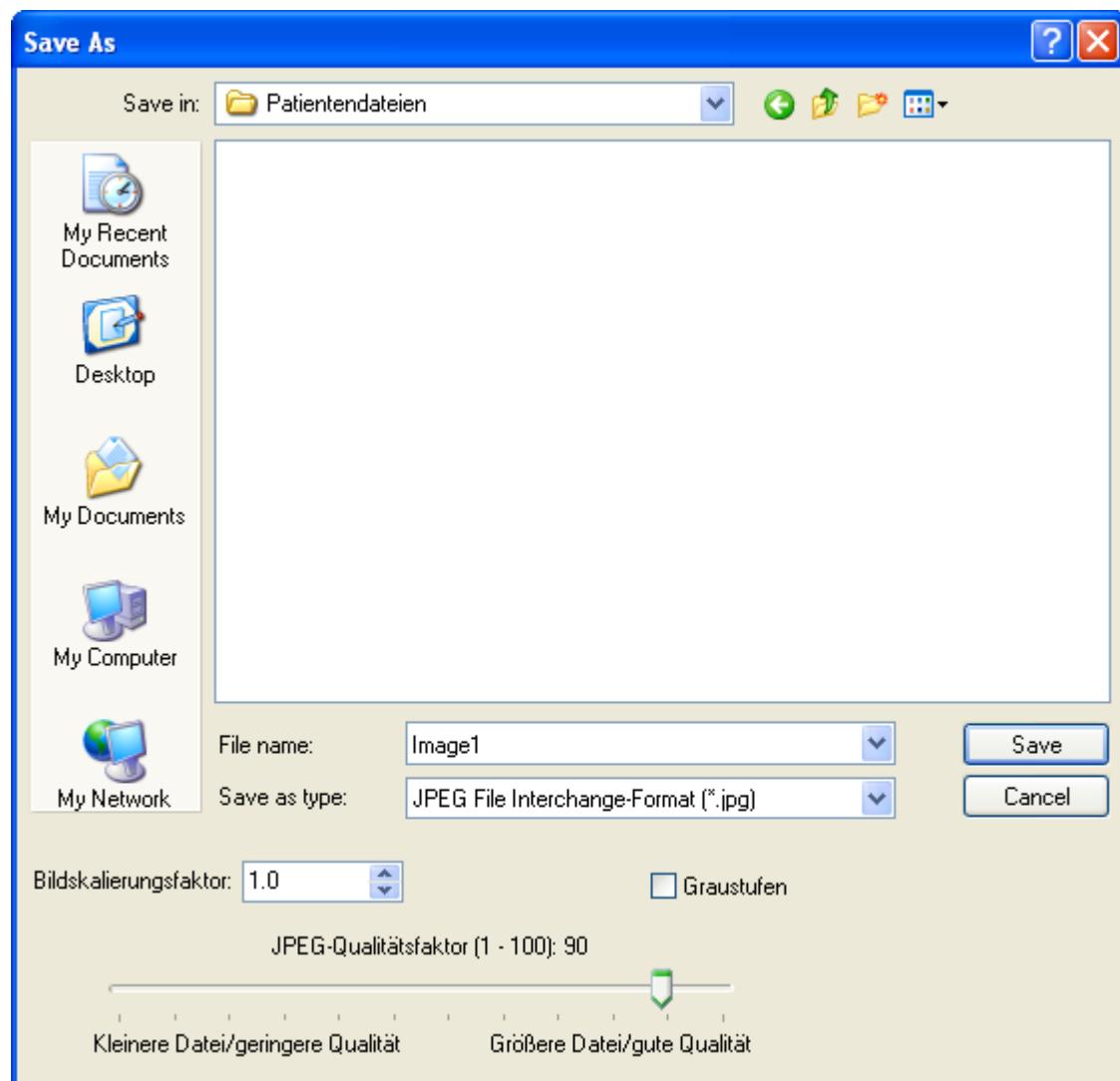
## 4.11 Datenexport

Unter Funktionen für Datenexport wird in SEE++ das Speichern von Bildern, Videos bzw. das Ausdrucken von Diagrammen und Ansichten verstanden. Diese Optionen sind in allen Diagrammen über das jeweilige [Kontextmenü](#)<sup>[116]</sup> erreichbar, indem sie in einem Diagramm mit der rechten Maustaste klicken. Eine Ausnahme bildet die [3D-Ansicht](#)<sup>[113]</sup>, in der kein Kontextmenü vorhanden ist und wo die Optionen für den Datenexport über das Hauptmenü unter "Patient" oder in der [Treeview](#)<sup>[79]</sup> unter 3D-Modell erreichbar sind.

Zusätzlich zum Speichern von Bildern und Videos sowie zum Ausdrucken steht noch die Möglichkeit des Kopierens in die Zwischenablage zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Funktion wird ein beliebiges Diagramm oder die 3D-Ansicht in die Windows® Zwischenablage kopiert und kann dann von dort in ein beliebiges anderes Programm (sofern von diesem unterstützt) eingefügt werden.

### 4.11.1 Bilder speichern

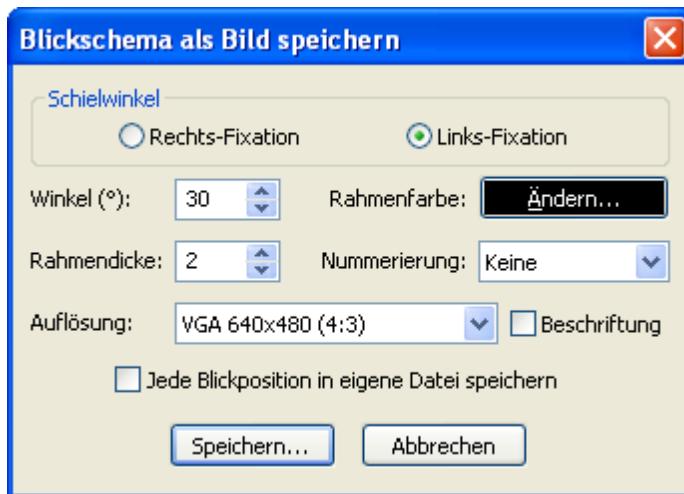
Wählen sie "Bild speichern" aus dem Kontextmenü eines Diagramms bzw. für die 3D-Ansicht aus dem Hauptmenü "Patient->3D-Modell->Als Bild speichern", um die aktuelle Ansicht als Bild zu exportieren.



Navigieren sie in diesem Dialog in das Verzeichnis, in das die Bilddatei gespeichert werden soll. Wählen sie anschließend das Bildformat in der Auswahlliste aus. SEE++ kann Bilder im Windows®-BMP (Bitmap) Format oder im JPG (JPEG) Format speichern. Wenn als Zielformat JPG eingestellt wird, kann zusätzlich ausgewählt werden, in welcher Qualität das Bild abgespeichert werden soll (Schieberegler) und ob das Bild in Graustufen (ohne Farbe) umgewandelt werden soll. Graustufen zu verwenden liefert oft eine bessere Qualität, wenn man die gespeicherten Bilder auf einem schwarz/weiß Drucker ausdrucken möchte. Für beide Bildformate gibt es die Möglichkeit den "Bildskalierungsfaktor" zu wählen. Dies entspricht einer Vergrößerung (Wert > 1) oder Verkleinerung (Wert < 1) des gespeicherten Bildes, basierend auf der im Programm aktuell angezeigten Größe.

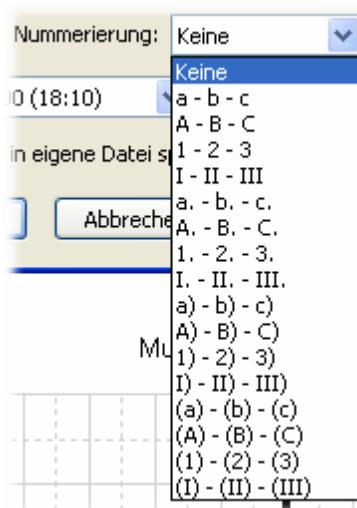
#### 4.11.2 Blickschema als Bild speichern

Über diesen Dialog können sie die neun Hauptblickrichtungen (Standard-Blickschema), dargestellt in der [3D-Ansicht](#)<sup>[113]</sup>, als zusammen gesetztes Bild speichern. Wählen sie dazu im Hauptmenü den Punkt 'Patient->3D-Modell->Blickschema als Bild speichern' und es öffnet sich der Dialog, in dem sie die verschiedenen Einstellungen vornehmen können.



Mit dem Kasten "Schielwinkel" können sie zwischen Links- und Rechts-Fixation umschalten, standardmäßig wird immer die aktuell in der 3D-Ansicht eingestellte Fixation ausgewählt. Der maximale Ausdehnungswinkel für die neun Hauptblickrichtungen kann im Feld "Winkel" eingestellt werden.

Rundum die einzelnen Bilder der 3D-Ansicht in der jeweiligen Blickposition kann ein Rahmen gezeichnet werden, dessen Dicke in Pixel mit der Option "Rahmendicke" eingestellt werden kann. Außerdem kann die Farbe des Rahmens mit einem Klick auf den Button "Ändern..." angepasst werden. Wenn sie keinen Rahmen möchten, dann können sie die Rahmendicke einfach auf 0 setzen. Werden die einzelnen Blickpositionen jeweils in eigene Dateien gespeichert, so wird kein Rahmen gezeichnet und die beiden Optionen "Rahmendicke" und "Rahmenfarbe" haben keine Funktion.

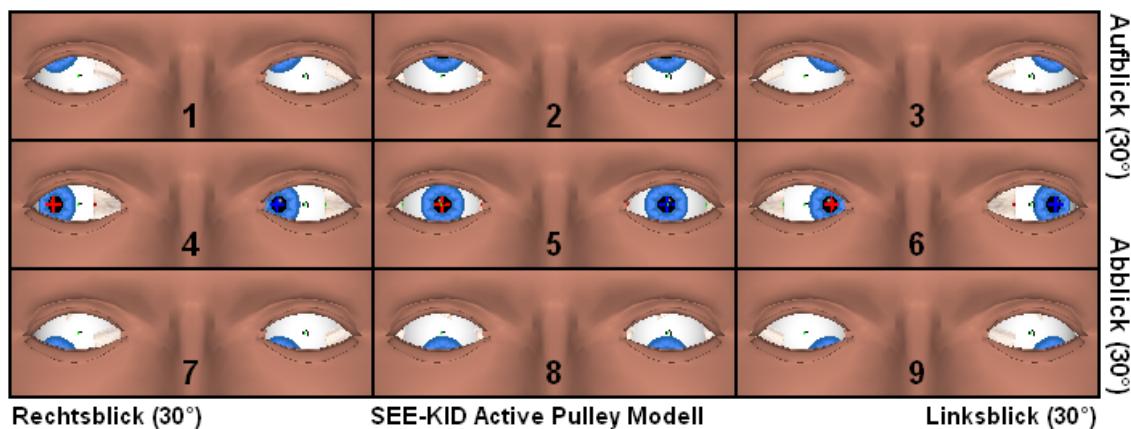


Über die Option "Nummerierung" können sie auswählen, ob die einzelnen Bilder eine Nummer bzw. einen Buchstaben enthalten sollen. Die Nummerierung wird dabei immer im unteren, mittleren Bereich jeder Blickposition eingezeichnet. Sie haben die Wahl aus einer Fülle von unterschiedlichen Nummerierungsarten, wenn sie keine Nummerierung möchten, dann wählen sie "Keine".

Mit der Auswahl der Option "Beschriftung" können sie angeben, ob das Bild am Rand eine textuelle Angabe der jeweiligen Blickrichtungen sowie des aktuell gewählten Modells enthalten soll.

Unter "Auflösung" können sie die Größe des Gesamtbildes in Pixel auswählen. In dieser Liste steht jeweils der Name der Auflösung (z.B. "VGA"), die horizontale und vertikale Größe der Auflösung in Pixel (z.B. 640x480), sowie das Seitenverhältnis (Verhältnis zwischen Breite und Höhe, z.B. 4:3). Mit der Auswahl der Auflösung "Aktuelle Größe" können sie erreichen, dass die momentane Größe der 3D-Ansicht für die Größe der **einzelnen** Blickpositionen verwendet wird. Wenn die Option "Jede Blickposition in eigene Datei speichern" aktiviert ist, dann wird die 3D-Ansicht jeder Blickposition in eine eigene Datei gespeichert und nicht als zusammen gesetztes Bild.

Nachdem sie auf "Speichern..." geklickt haben, wird der [Dialog zum Speichern von Bildern](#)<sup>153</sup> angezeigt. Verfahren sie nun genau so wie bei ["Bilder speichern"](#)<sup>153</sup> beschrieben. Wenn die Option "Jede Blickposition in eigene Datei speichern" aktiviert ist, dann wird an den angegebenen Dateinamen automatisch noch die Nummer des Bildes (von 1 bis 9) sowie die jeweilige Blickposition des fixierenden Auges (z.B. +30 +30 für 30° Adduktion und 30° Elevation) angehängt.

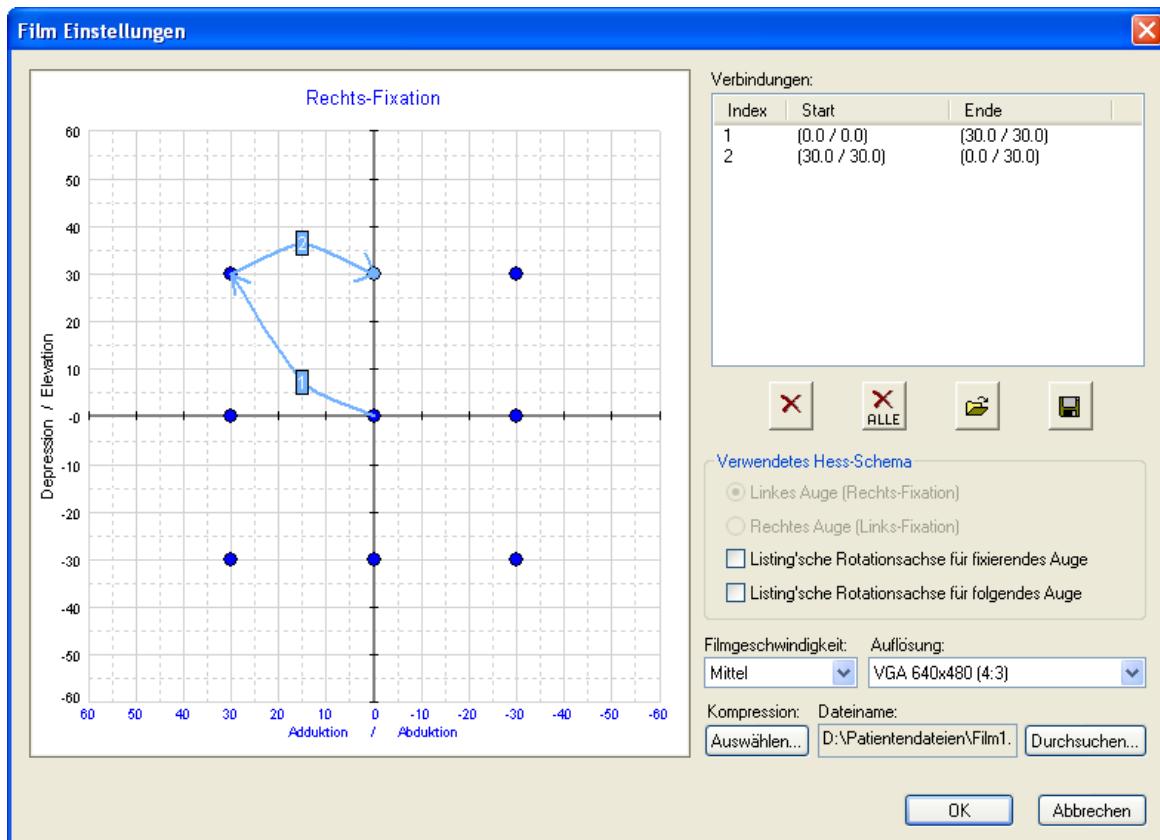


#### 4.11.3 AVI-Film erstellen

Eine weitere Option, um Daten aus SEE++ zu exportieren, ist die Funktion, aktuelle Simulationsergebnisse zur besseren Darstellung als AVI-Video zu speichern, bei denen der "virtuelle Patient" (in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup>) der Reihe nach in verschiedene Blickpositionen blickt.

Diese Filme können dann in diversen Abspielprogrammen (Windows® Mediaplayer, etc.) und in Präsentationen (z.B.: PowerPoint®) abgespielt werden.

Zum Erstellen eines Films ist es notwendig, dass mindestens ein Simulationsergebnis (Rechts- und/oder Links-Fixation) in den Diagramm-Fenstern von SEE++ angezeigt wird. Sonst ist die Funktion im [Hauptmenü](#) "Patient->3D-Modell->Film erstellen" deaktiviert. Dies kommt daher, dass für das Erstellen eines Videos die [Fixationspunkte des Blickschemas](#) für Rechts- oder Links-Fixation als Vorlage dienen. Wenn beide Fixationen vor Öffnen des Dialogs in den Diagramm-Fenstern von SEE++ angezeigt werden, kann man zwischen Rechts- und Links-Fixation im Kasten "Verwendetes Hess-Schema" wählen.



Um einen Film zu erstellen muss zuerst definiert werden, welche Fixationspositionen in welcher Reihenfolge vom "virtuellen Patienten" eingenommen werden sollen ("Animationspfad"). Wählen sie dazu eine beliebige Fixationsposition des verwendeten Hess-Schemas (blauer Punkt) indem sie mit der linken Maustaste auf den entsprechenden Punkt klicken. Fahren sie dann mit gedrückter linker Maustaste zu einer beliebigen anderen Fixationsposition und lassen sie die Maustaste los sobald sich der Zielpunkt hellblau gefärbt hat. Es wird nun ein Pfeil mit der Nummer "1" zwischen den beiden Fixationspositionen eingezeichnet. Sie können nun immer wieder vom zuletzt gewählten Punkt ausgehend einen neuen Pfeil zu einer anderen Fixationsposition ziehen. Die Pfeile werden dabei aufsteigend nummeriert und die eingezeichneten Verbindungen werden zusätzlich in der Liste auf der rechten Seite des Dialogs angezeigt. Wenn sie in der Liste mit der linken Maustaste auf eine der Verbindungen klicken, dann wird der entsprechende Pfeil rot markiert. Die Pfeile bestimmen nun die Reihenfolge und die Auswahl der Fixationspositionen, die zur Erstellung eines Films in chronologischer Reihenfolge vom "virtuellen Patienten" abgefahren werden. Dabei wird für jede Blickposition die Position des folgenden

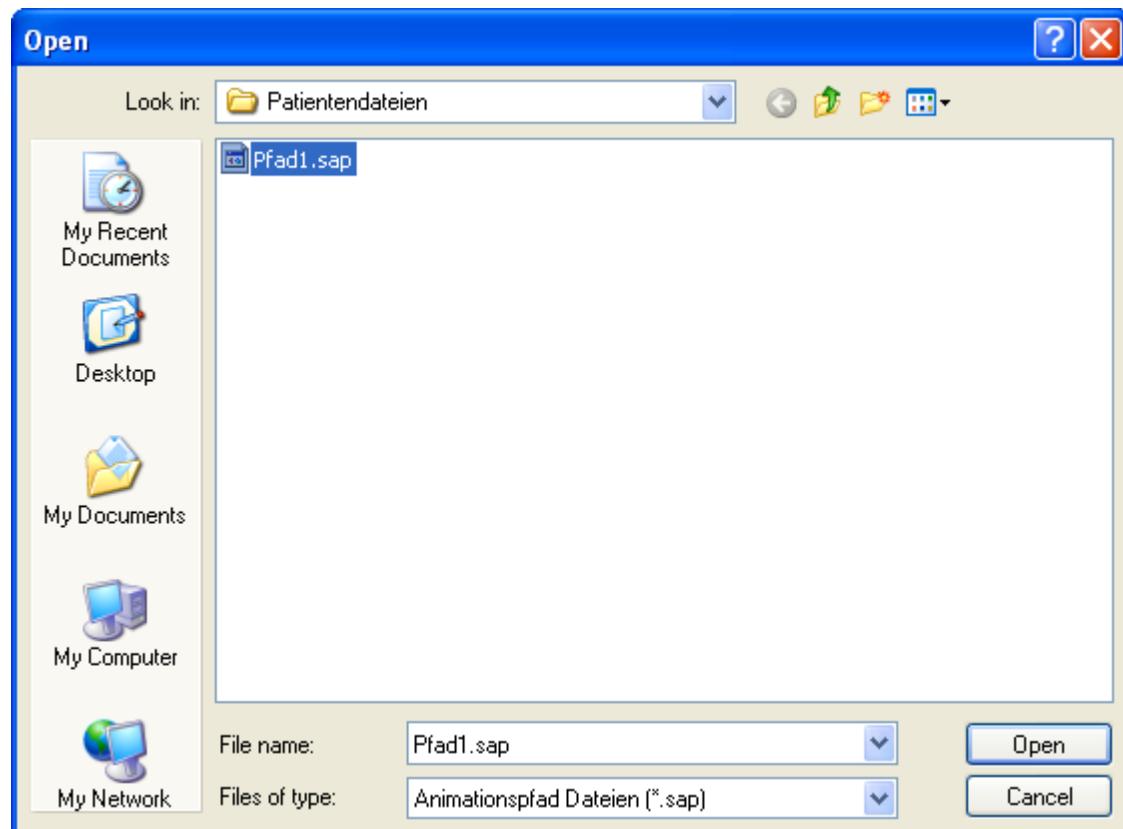
Auges bestimmt. Eine eventuell pathologische Situation kann so dynamisch in ihrer Ausprägung sehr anschaulich dargestellt werden.

Um die Erstellung eines Animationspfades zu erleichtern, stehen ihnen die folgenden Funktionen zur Verfügung:

 Mit einem Klick auf diesen Button wird der jeweils zuletzt eingezeichnete Pfeil (der Pfeil mit der höchsten Nummer) wieder gelöscht. Wenn keine Pfeile vorhanden sind, dann hat dieser Button keine Funktion.

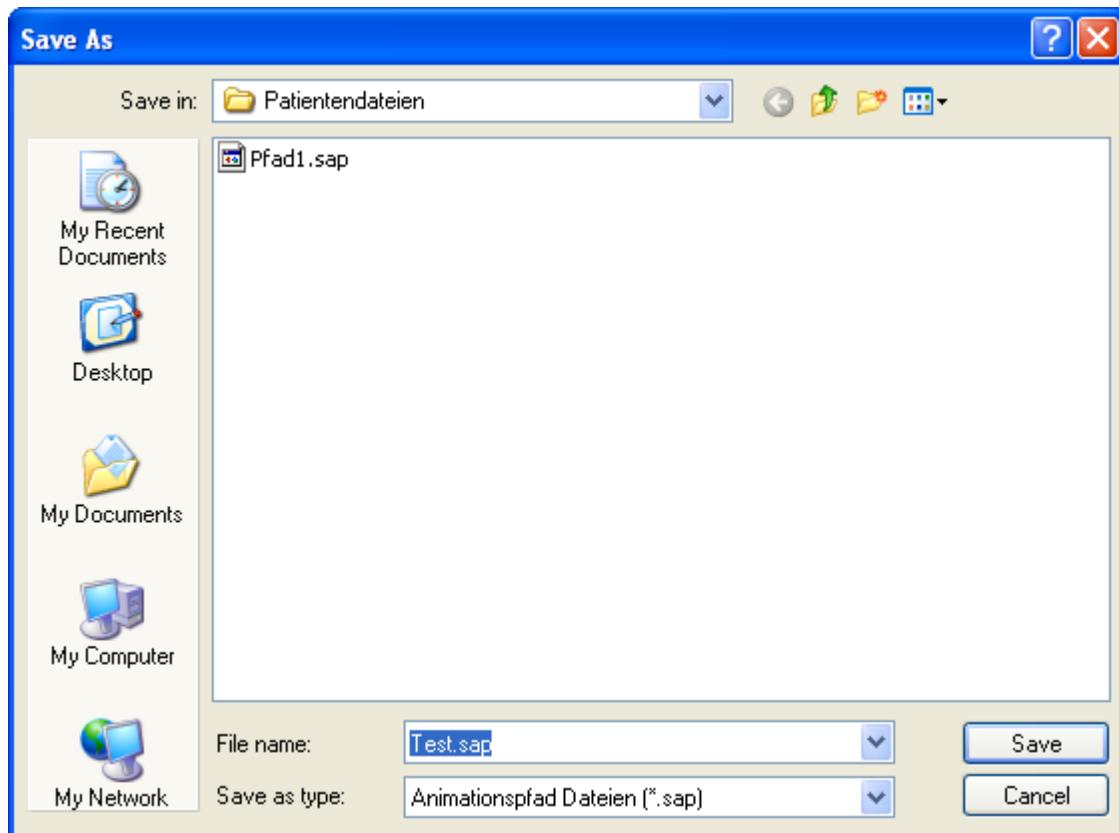
 **ALLE** Dieser Button löscht alle momentan eingezeichneten Pfeile.

 Mit dieser Funktion können sie einen Animationspfad aus einer Datei laden. Beim Laden einer Animationspfad-Datei wird der aktuelle Animationspfad durch jenen aus der Datei ersetzt.



Nach Klicken des Buttons für das Laden eines Animationspfades öffnet sich der Dialog zur Auswahl einer Animationspfad-Datei. Diese Dateien haben die Endung ".sap". Navigieren sie in das jeweilige Verzeichnis und klicken sie auf die .sap-Datei, die sie laden wollen. Danach klicken sie auf "Open" bzw. "Öffnen", um die Datei zu laden. Wenn sie auf den Button "Cancel" bzw. "Abbrechen" drücken, wird keine Datei geladen, und der aktuelle Animationspfad bleibt erhalten.

 Wenn sie einen Animationspfad eingezeichnet haben, dann können sie ihn mit dieser Funktion in eine eigene Datei speichern. Dateien, die Animationspfade speichern, haben die Endung ".sap" und können jederzeit mit der Öffnen-Funktion (siehe oben) wieder geladen werden.



Nach Klicken des Buttons für das Speichern eines Animationspfades öffnet sich der Dialog zur Auswahl des Speicherortes bzw. Dateinamens. Gehen sie hier wie beim Öffnen von Animationspfad-Dateien vor, indem sie in das jeweilige Verzeichnis navigieren und nach Benennung der Datei diese durch klicken auf "Save" bzw. "Speichern" ablegen.



Ein gespeicherter Animationspfad ist unabhängig vom gewählten Blickschema (Rechts- und Links-Fixation).

Im Kasten "Verwendetes Hess-Schema" können sie auswählen, ob die Listing'sche Rotationsachse<sup>27</sup> für das fixierende und/oder folgende Auge im Film angezeigt werden soll. Wählen sie zusätzlich eine Filmgeschwindigkeit (Langsam, Mittel, Schnell), die angibt, wie schnell die Augenbewegungen im Film durchgeführt werden. Die Auflösung bestimmt die Größe des Filmausschnitts und somit die Qualität der Einzelbilder des Films (höhere Auflösung = bessere Qualität, aber auch größere Datei). In der Liste der verfügbaren Auflösungen steht jeweils der Name der Auflösung (z.B. "VGA"), die horizontale und vertikale Größe der Auflösung in Pixel (z.B. 640x480), sowie das Seitenverhältnis (Verhältnis zwischen Breite und Höhe, z.B. 4:3). Mit der Auswahl der Auflösung "Aktuelle Größe" können sie erreichen, dass die momentane Größe der 3D-Ansicht<sup>113</sup> für die Auflösung des Films verwendet wird.

Sie können auch noch die Kompression des Films (mit dem Button "Auswählen..." unter "Kompression") konfigurieren, indem sie einen bestimmten Codec wählen. Die Auswahl eines Codecs bestimmt das Verfahren, in dem der Film kodiert bzw. komprimiert wird. Dieser Codec muss dann auf dem Rechner, auf dem der Film wieder abgespielt werden soll, auch installiert sein. Standardmäßig sind in Windows® einige Codecs zur Filmerstellung vorhanden, diese liefern

aber nur beschränkte Qualität. Deshalb wird zusammen mit SEE++ der "XviD"-Codec ([www.xvid.org](http://www.xvid.org)) mitinstalliert. Dieser Codec ist frei verfügbar und liefert eine gute Video-Qualität bei hohem Kompressionsgrad. Außerdem wird durch die automatische Installation des Codecs zusammen mit SEE++ sichergestellt, dass auf jedem Computer, auf dem SEE++ installiert ist, alle mit SEE++ erstellten Videos auch abgespielt werden können (sofern nicht manuell ein anderer Codec beim Erstellen eines Videos ausgewählt wird).



Ändern sie den standardmäßig ausgewählten Codec (XviD) nur, wenn sie absolut sicher sind. Ihre Videos haben sonst unter Umständen eine schlechte Qualität oder sind auf anderen Rechnern nicht abspielbar.

Bevor sie den Film nun erstellen können, müssen sie noch einen Dateinamen und ein Verzeichnis angeben. Mit dem Button "Durchsuchen..." öffnet sich der Standarddialog zum Speichern einer AVI-Datei. Navigieren sie in diesem Dialog in das Verzeichnis, wo die Filmdatei gespeichert werden soll und geben sie der Filmdatei einen entsprechenden Namen. Die Dateiendung eines Films ist mit ".avi" fixiert. Das gewählte Verzeichnis sowie der gewählte Name werden dann im Dialog unter "Dateiname" angezeigt.

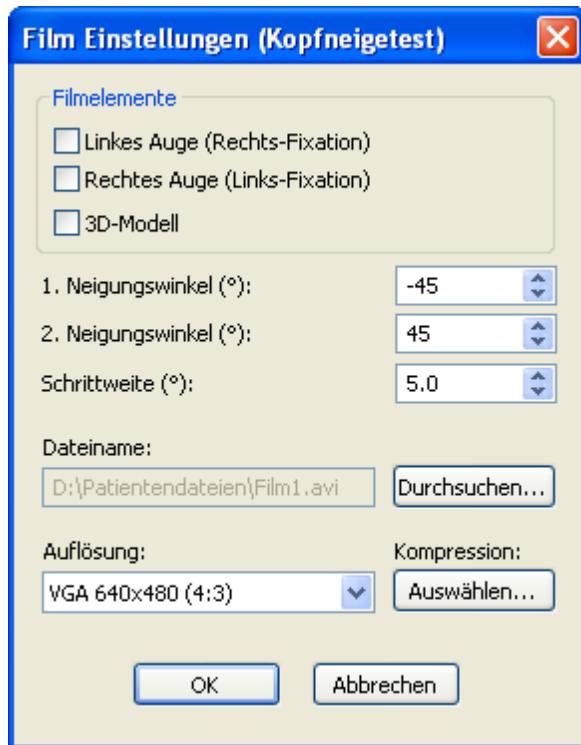
Sind alle Optionen gewählt, bestätigen sie den Dialog mit "OK" und der Film wird erstellt. Mit einem Klick auf "Abbrechen" wird der Dialog geschlossen und es wird kein Film erstellt. Der aktuelle Animationspfad bleibt bis zum Beenden von SEE++ erhalten, unabhängig davon, ob sie den Dialog mit "OK" oder "Abbrechen" geschlossen haben.



Wenn sie die Erstellung eines Films hinsichtlich der verfügbaren Fixationspunkte beeinflussen wollen, müssen sie jenes [Blickschema](#)<sup>93</sup> ändern, für das sie den Film erstellen. Sollten sie die Erstellung eines Films abbrechen möchten, drücken sie während des Ablaufs die "ESC"-Taste. Der Vorgang des Abbrechens kann einige Sekunden dauern! Nach dem Abbrechen befindet sich der bis zum Abbruch bereits erstellte Teil des Films in der erzeugten AVI-Datei.

#### 4.11.4 Film für Kopfneigetest

Die Funktion "Film für Kopfneigetest" ermöglicht es, AVI-Filme in einer bestimmten Blickposition mit wechselnder [Kopfneigung](#)<sup>126</sup> zu erstellen. So können sie eine pathologische Situation, die bei unterschiedlicher Kopfneigung eine Veränderung im Hess-Lancaster Test zeigt, dynamisch in ihrer Ausprägung sehr anschaulich darstellen. Wählen sie im [Hauptmenü](#)<sup>79</sup> den Punkt "Patient->3D-Modell->Film für Kopfneigetest erstellen" um den Dialog mit den Film Einstellungen aufzurufen.



Im Kasten "Filmelemente" können sie auswählen, welche Elemente sie in den Film aufnehmen möchten. Die beiden [Hess-Diagramme](#)<sup>118</sup> für Rechts- und/oder Links-Fixation können nur ausgewählt werden, wenn das entsprechende Simulationsergebnis vor dem Öffnen des Dialogs in einem der Diagramm-Fenster von SEE++ bereits angezeigt wurde. Das "3D-Modell" steht immer zur Auswahl und wird genau so wie momentan in der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> angezeigt in den Film übernommen. Sie müssen mindestens ein Filmelement auswählen, um einen Film erstellen zu können.

Die Anordnung der einzelnen Filmelemente ist davon abhängig, welche Elemente sie ausgewählt haben. Wenn sie beide Hess-Diagramme in den Film aufnehmen, dann werden diese immer nebeneinander angezeigt. Soll zusätzlich auch noch das 3D-Modell in den Film integriert werden, dann wird es bei beiden Hess-Diagrammen über diesen angezeigt und bei einem Hess-Diagramm rechts davon.

Bei der Erstellung des Films wird der Kopf des "virtuellen Patienten" immer zuerst in Richtung des "1. Neigungswinkels" und anschließend in Richtung des "2. Neigungswinkels" bewegt. Gestartet wird immer mit einer Kopfneigung von  $0^\circ$  und die Schrittweite kann über den gleichnamigen Eingabewert festgelegt werden. Desto größer der Wert für die Schrittweite, desto schneller erscheint die Kopfbewegung im Film und desto kleiner die Schrittweite, desto langsamer die Bewegung. Sie können die Geschwindigkeit des Films also über eine Veränderung der Schrittweite beeinflussen.

Die Auflösung bestimmt die Größe des Filmausschnitts und somit die Qualität der Einzelbilder des Films (höhere Auflösung = bessere Qualität, aber auch größere Datei). In der Liste der verfügbaren Auflösungen steht jeweils der Name der Auflösung (z.B. "VGA"), die horizontale und vertikale Größe der Auflösung in Pixel (z.B. 640x480), sowie das Seitenverhältnis (Verhältnis zwischen Breite und Höhe, z.B. 4:3). Mit der Auswahl der Auflösung "Aktuelle Größe" können sie erreichen, dass die momentane Größe der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> und der [Hess-Diagramme](#)<sup>118</sup> für die Auflösung des Films verwendet werden (abhängig davon, welche Filmelemente ausgewählt wurden).

Sie können auch noch die Kompression des Films (mit dem Button "Auswählen..." unter "Kompression") konfigurieren, indem sie einen bestimmten Codec wählen. Die Auswahl eines Codecs bestimmt das Verfahren, in dem der Film kodiert bzw. komprimiert wird. Dieser Codec muss dann auf dem Rechner, auf dem der Film wieder abgespielt werden soll, auch installiert

sein. Standardmäßig sind in Windows® einige Codecs zur Filmerstellung vorhanden, diese liefern aber nur beschränkte Qualität. Deshalb wird zusammen mit SEE++ der "XviD"-Codec ([www.xvid.org](http://www.xvid.org)) mitinstalliert. Dieser Codec ist frei verfügbar und liefert eine gute Video-Qualität bei hohem Kompressionsgrad. Außerdem wird durch die automatische Installation des Codecs zusammen mit SEE++ sichergestellt, dass auf jedem Computer, auf dem SEE++ installiert ist, alle mit SEE++ erstellten Videos auch abgespielt werden können (sofern nicht manuell ein anderer Codec beim Erstellen eines Videos ausgewählt wird).



Ändern sie den standardmäßig ausgewählten Codec (XviD) nur, wenn sie absolut sicher sind. Ihre Videos haben sonst unter Umständen eine schlechte Qualität oder sind auf anderen Rechnern nicht abspielbar.

Bevor sie den Film nun erstellen können, müssen sie noch einen Dateinamen und ein Verzeichnis angeben. Mit dem Button "Durchsuchen..." öffnet sich der Standarddialog zum Speichern einer AVI-Datei. Navigieren sie in diesem Dialog in das Verzeichnis, wo die Filmdatei gespeichert werden soll und geben sie der Filmdatei einen entsprechenden Namen. Die Dateiendung eines Films ist mit ".avi" fixiert. Das gewählte Verzeichnis sowie der gewählte Name werden dann im Dialog unter "Dateiname" angezeigt.

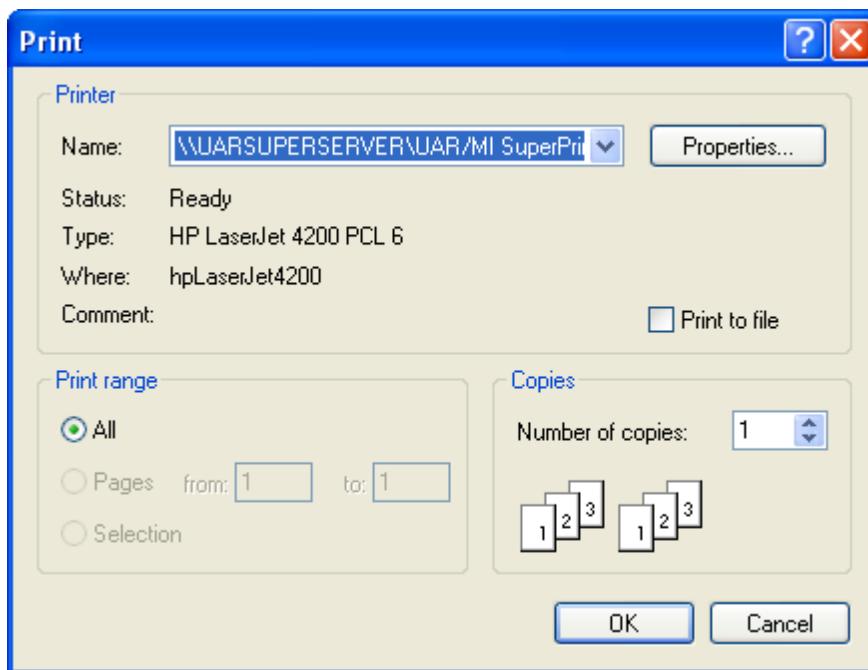
Sind alle Optionen gewählt, bestätigen sie den Dialog mit "OK" und der Film wird erstellt. Mit einem Klick auf "Abbrechen" wird der Dialog geschlossen und es wird kein Film erstellt.



Wenn sie die Erstellung eines Films abbrechen möchten, drücken sie während des Ablaufs die "ESC"-Taste. Der Vorgang des Abbrechens kann einige Sekunden dauern! Bei der Erstellung eines Films für den Kopfneigetest macht SEE++ automatisch zwei Durchläufe um die maximale Ausdehnung der Hess-Diagramme zu bestimmen. Wenn sie die Erstellung des Films während des ersten Durchlaufs abbrechen, dann wird keine Datei erzeugt, wird die Erstellung jedoch während des zweiten Durchlaufs abgebrochen, so befindet sich der bis zum Abbruch bereits erstellte Teil des Films in der erzeugten AVI-Datei.

#### 4.11.5 Drucken

Das Drucken eines [Diagramms](#)<sup>116</sup> oder der [3D-Ansicht](#)<sup>113</sup> kann über das [Kontextmenü](#)<sup>116</sup> eines Diagramms bzw. für die 3D-Ansicht, im Hauptmenü unter "Patient->3D-Modell->Drucken" ausgeführt werden. Nach Anwahl dieser Funktion öffnet sich der Standarddialog zum Drucken in Windows®.



Wählen sie in diesem Dialog den zu verwendenden Drucker und gegebenenfalls die Anzahl der Kopien und bestätigen sie mit "OK", um den Druck durchzuführen. Sollten sie einen anderen Standarddrucker auswählen wollen, müssen sie den [Optionsdialog des Druckers](#)<sup>151</sup> aufrufen.

#### 4.11.5.1 Seitenansicht

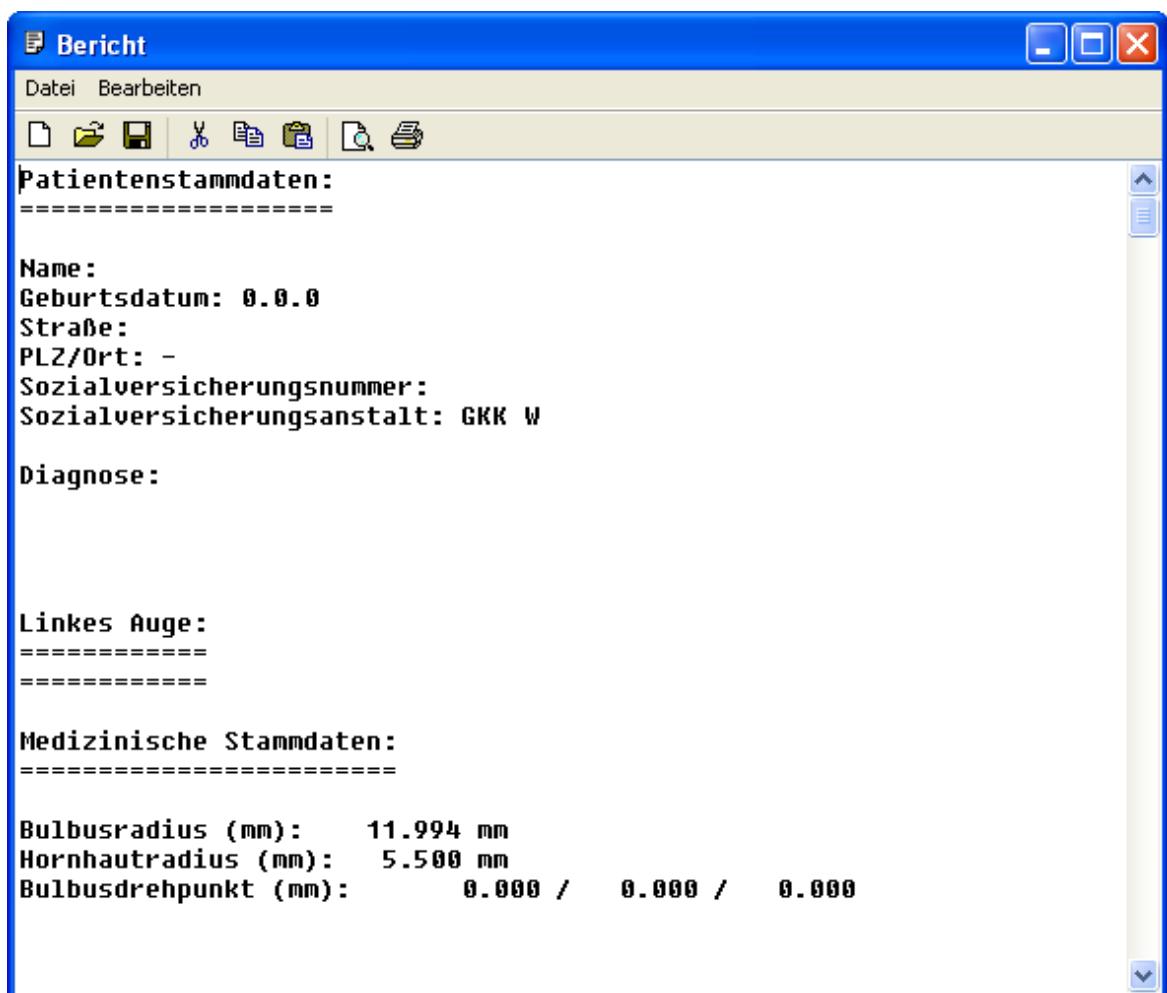
Die Seitenansicht für das Drucken eines Diagramms oder der 3D-Ansicht wird im Kontextmenü der Diagramme bzw. für die 3D-Ansicht im Hauptmenü unter "Patient->3D-Modell->Seitenansicht" aufgerufen. Die Seitenansicht ist ein Standarddialog von Windows® und ermöglicht eine Vorschau des auszuführenden Druckes. Die einzelnen Diagramme werden automatisch auf das gewählte Papierformat eingepasst.



Wenn sie einen kleineren Ausdruck oder ein anderes Layout beim Druck definieren möchten, ändern sie das [Papierformat des Druckers](#)<sup>151</sup> oder [speichern sie die Bilder](#)<sup>153</sup> als Dateien und verwenden sie z.B. Microsoft Word® o.ä., um ihren eigenen Ausdruck zu gestalten.

#### 4.11.6 Bericht

Der Bericht liefert eine komplette Auflistung aller Parameter des aktuell aktiven Simulationsmodells und den entsprechenden Werten. Wählen sie diese Funktion über die Treeview unter "Bericht" oder im Hauptmenü unter "Ansicht->Bericht". Es öffnet sich ein Fenster mit dem Bericht als Textinhalt, ähnlich wie beim [Änderungsbericht](#)<sup>106</sup> oder beim [Stateviewer](#)<sup>120</sup>-Bericht.



Sie können diesen textuellen Bericht über das gesamte Simulationsmodell mit Hilfe des angezeigten Editors abspeichern oder drucken. Das Bericht-Fenster ist ein vollwertiger Texteditor ähnlich dem bei Microsoft Windows® beiliegenden Editor.



# Index

## - 2 -

2D-Augenposition 52

## - 3 -

3D Körper 124

3D Körper Transparenz 111

3D-Ansicht 79, 111, 113, 118, 123, 124, 128, 134, 135, 137, 141, 145, 153, 154, 155, 159, 161, 162

3D-Ansichtoptionen 123, 128, 132

3D-Augenposition 52

3D-Hülle 128

3D-Modell 21, 80, 105, 128, 132, 145, 159

3D-Raum 26

## - A -

Abdecken 11

Abdecktest 50

Abducenskerne 41

Abduzensparese 48, 58, 59

Abrollstrecke 87, 137

Abschlagen 141, 142

Active-Pulley 6, 14, 24, 26, 37

Aderhaut 14

Aktive Kraft 41, 59, 65

Aktive Kraftkurve 41

Aktives Auge 113

Aktivierungspotential 91, 124

Aktuelle Ansicht 132

Aktuelle Ansicht dem Szenario zuordnen 105

Aktuelle Blickposition anzeigen 148

Aktuelle Daten 106

Aktuelle Größe 154, 155, 159

Alle Aus 128

Alle Ein 128

Alle Einstellungen zurücksetzen 145

Allgemeine Funktionen 113, 123, 124, 132, 134, 135

Allgemeine Optionen 79, 86, 100, 124, 145

Allgemeines 128, 145

Als Bild speichern 80, 87, 93, 105, 116, 120, 153, 162

Amblyopie 11

Anatomie 14

Änderung rückgängig 86, 124

Änderung wiederherstellen 86, 124

Änderungen bei Rückgängig/Wiederholen 145

Änderungsbericht 84, 106, 120, 162

Animationspfad 155

Animationspfad-Datei 155

Ansatzlinien 26

Ansicht 79

Ansicht->Bericht 162

Ansicht->Innervationen 124

Ansichten 105, 111, 123, 132

Antagonisten 48

Antagonistische Innervation 39

Äquatorialebene 14

Archivierung 6

Arten von Torsion 52

Auflösung 154, 155, 159

Augapfel 14

Augenbewegungen 14

Augenbewegungsstörung 71

Augenfix 128

Augenhaut 14

Augenhöhle 14

Augenmotilitätsstörungen 6

Augenmuskeln 41

Augenmuskeloperation 4

Augenposition 26, 120

Augenpositionen-Reset 113, 124

Augenzittern 11

Ausbildung 6

Ausblenden 116

Ausdehnungswinkel 154

Ausgangsposition 124

Ausgangsstellung 87

Ausgangsszenario 100

Äußere Augenhaut 14

Auswärtsschielen 11

Automatische Hess-Diagramm-Größen 124

AVI-Film erstellen 155

## - B -

Bändermodell 6, 24, 26, 36, 123

Beabsichtigte Blickpositionen 48

Behandlung von Patienten 9

Beide Hess-Diagramme 80, 148

Beispiele 6

Bericht 111, 120, 162  
 Bericht-Fenster 106  
 Beschreibung von Augenpositionen 26  
 Beschriftung 154  
 Beurteilung der Ergebnisse 21  
 Bevorzugt fixierendes Auge 50, 135  
 Bewegung des Bulbus 14  
 Bewegungshemmende Strukturen 6  
 Bezugs- bzw. Orientierungspunkte 128  
 Bezugspunkte 128, 142  
 Bielschowsky-Test 113, 124  
 Bilder 116  
 Bilder speichern 153, 154  
 Bildskalierungsfaktor 153  
 Binokulare Gemeinschaft 14  
 Binokulare Prüfung 39  
 Binokularfunktion 48  
 Biologie 6  
 Biomechanik 6  
 Biomechanisches Modell 24  
 Biomechanisches System 6  
 Bitmap 105, 116, 153  
 Blaues Kreuz 124, 128  
 Blicklähmung 58, 71  
 Blicklinie 14  
 Blickposition 14, 26, 113, 118, 134, 159  
 Blickschema 52, 80, 86, 93, 100, 134, 154, 155  
 Blickschema als Bild speichern 80, 154  
 Blickschema-Datei 93  
 Boeder 6  
 Brille 11  
 Brückenbildungen 41  
 Bulbus 14, 59, 123  
 Bulbus Translation 26, 113  
 Bulbusäquator 14  
 Bulbusdaten 80, 86, 87, 100, 124, 145  
 Bulbusfixes Koordinatensystem 26  
 Bulbusmittelpunkt 14  
 Bulbusoptionen 128  
 Bulbusradius 87  
 Bulbustransparenz 111, 128

## - C -

Cache 145  
 Cache-Größe 145  
 Choroidea 14  
 Codec 155, 159  
 Cornea-Kreuz 128

Cornea-Markierung 113, 128  
 Cornearadius 87  
 Cover 135  
 Cover Test 11, 50, 86, 92, 124, 134, 135

**- D -**

Darstellungsfunktionen 124  
 Darstellungsoptionen 87, 128  
 Darstellungsvorlage 111  
 Daten nach Miller und Demer 26  
 Daten nach Volkmann 26  
 Datenexport 153  
 Dean 24  
 Demer 37  
 Depressionsebene 26  
 Diagnose 6  
 Diagnose und Therapie 9  
 Diagnostik 6  
 Diagramme 105, 111, 116, 132, 134, 145, 148, 153, 161, 162  
 Diagramme vertauschen 93  
 Diagramm-Fenster 79, 111, 116, 124, 155  
 Diagramm-Optionen 132  
 Diplopie 39  
 Donders 26  
 Doppelbilder 11, 59, 65  
 Drahtgitter 87, 128  
 Drahtgittermodell 87, 128  
 Drehachse 117  
 Drehanteil 26  
 Drucken 87, 93, 116, 120, 153, 161, 162  
 Drucker 151  
 Druckereinstellungen 80  
 Duane Syndrom 26  
 Duktion 26  
 Dynamische Kräftebeziehung 6

**- E -**

Einführende Beispiele 58  
 Einstellbewegung 50  
 Einstellungen für Diagramme 116  
 Einwärtschielen 11  
 Elastizität 41  
 Elevation 26  
 Elevationsebene 26, 117  
 Endsehnen 14  
 Entscheidungsfindung 9

Exportieren 108  
 Extraokuläre Augenmuskeln 14  
 Exzyklotorsionsabweichung 52  
 Eyelab 24

## - F -

Fachärzte 6  
 Fadenmodell 6, 14, 24, 26, 35, 123  
 Faltung 65, 137, 138  
 Farbcodierte 3D Darstellung 26  
 Federgleichung 41  
 Fehlstellung 11  
 Fenster-Layout zurücksetzen 111  
 Fettpolster 26  
 Fibrosen 87  
 Fick 26, 120  
 Filament-Gleit-Theorie 41  
 Film erstellen 80  
 Film für Kopfneigetest 80, 159  
 Filmdatei 155, 159  
 Filmelemente 159  
 Filmgeschwindigkeit 155  
 Fixation 39, 119  
 Fixationsposition 52, 93, 155  
 Fixationspunkte 93, 155  
 Fixationspunkte des Blickschemas 155  
 Fixierendes Auge 48, 118, 119, 120, 124, 128, 134, 155  
 Folgendes Auge 52, 118, 120, 124, 134, 155  
 Formen des Schielens 11  
 Fovea 11  
 Frühzeichen 11  
 Funktionelle Sehschwäche 11  
 Funktionelle Topographie 4, 26, 37, 128  
 Funktioneller Ursprung 14  
 Funktionen des Systems 24

## - G -

Gegenrollung 52  
 Gemessenes Blickschema 93  
 Geometrische Eigenschaften 87  
 Geometrische Modelle 26, 124, 128  
 Geometrische Vermessung des Auges 26  
 Geometrisches Diagramm 117  
 Geschützte Patientendateien 82  
 Gesichtssinn 14  
 Global Layer 14

Großkreis 35  
 Grundlagen der Anatomie 14

## - H -

Haase 6, 24  
 Halteapparat 14, 37  
 Harms-Wand 52  
 Hauptblickrichtungen 52, 93  
 Hauptfenster 79  
 Hauptfunktionsrichtung 59, 65  
 Hauptmenü 79, 80  
 Hauptwirkung 14  
 Hebelarm 26  
 Heilung 59  
 Helmholtz 26  
 Hering'sches Gesetz 39, 48  
 Hess-Diagramm 52, 59, 65, 80, 93, 111, 118, 119, 134, 148, 159  
 Hess-Diagramm Größen anpassen 124  
 Hess-Lancaster 21, 39, 48, 52  
 Hess-Lancaster Test 48, 86, 92, 93, 118, 124, 159  
 Hintergrund (3D-Modell) 145  
 Hintergrundfarbe 145  
 Hirnnerven 41, 91  
 Hirnstamm 59  
 Höhenabweichung 65  
 Höhenschielen 11  
 Horizontalabweichung 52, 93  
 Horizontalachse 14  
 Horizontale Differenzen 148

## - I -

Importieren 108, 109  
 Inkomitante Schielform 59  
 Inkomitanz 48  
 Innere Augenhaut 14  
 Innervation der Augenmuskeln 41  
 Innervationen 39, 41, 111, 120, 124  
 Innervationsdialog 124  
 Innervationsmuster 39, 52, 124  
 Innervationsverteilung 41, 71, 80, 86, 91, 100, 124, 145  
 Insertion 14, 26  
 Insertionspunkte 87, 137  
 Interaktiv 137  
 Interaktives Abschlagen 142  
 Intermuscularmembranen 14

Interpolation für Echtzeit-Diagnose 124, 134, 135  
 Interpolationsmodus 124  
 Interpupillardistanz 11  
 Inzyklotorsionsabweichung 52  
 Isometrische Kontraktion 41  
 Isotonische Kontraktion 41  
 Iterationsmaximum 145

**- J -**

JPEG 105, 116, 153

**- K -**

Kamera 128  
 Kamera-Reset 87, 113, 124  
 Kamerarotation 87, 113  
 Kardanische Aufhängung 26  
 Karteikarten 59, 87, 120, 148  
 Kerne 41  
 Kerngebiet 59  
 Kestenbaum'sche Operation 71  
 Kinematik 24  
 Kinematisches Modell 26, 39  
 Kleinkreis 36  
 Klickgenauigkeit 145  
 Klinischer Einsatz 9  
 Kommutativität 26  
 Komponentenwinkel 26  
 Kompression 155, 159  
 Kontextmenü 128, 161  
 Konventhospital der Barmherzigen Brüder 4  
 Koordinatenachsen 26, 87, 124, 128  
 Koordinatenachsenbeschriftung 128  
 Koordinatensystem 26  
 Kopf Position 120  
 Kopffix 128  
 Kopfnigung 111, 113, 119, 124, 159  
 Kopfnigungswinkel 93  
 Körper 113  
 Körpertransparenz 124  
 Kräftemodell 39, 41, 87, 91  
 Kraftentwicklung 87  
 Kraftfunktion 39, 41  
 Kraftkurve 41  
 Kraft-Längen-Innervationsbeziehungen 41  
 Kraft-Längen-Innervationsverhalten 39  
 Kraft-Längenverhalten 41  
 Kraftmessung 41

Kraftübergangsskalierung 41  
 Kraftverhalten 26  
 Kraftverschiebungsverhältnis 41  
 Krankheitsmechanismus 4  
 Kreuz 117, 118, 128  
 Krewson 6, 24, 35  
 Kusel 6, 24

**- L -**

Laden und Speichern von Blickschema-Dateien 93  
 Lähmung 48  
 Länge des Muskels 59  
 Latentes Schielen 11, 50, 135  
 Leash-Region 41  
 Lederhaut 14  
 Lehre 6  
 Lehrer 6  
 Liniendicke 145  
 Linke Maustaste 87, 113, 117, 118, 137, 141  
 Links-Fixation 48, 52, 93, 118, 119, 124, 148, 154, 155, 159  
 Listing 26  
 Listing'sche Ebene 26, 128  
 Listing'sche Rotationsachse 155  
 Listing'sche Torsion 52  
 Listing'sches Gesetz 26, 52

**- M -**

M. ciliaris 41  
 M. levator palpebrae 41  
 M. obliquus inferior 14, 41, 48  
 M. obliquus superior 14, 41, 65  
 M. rectus inferior 14, 41  
 M. rectus lateralis 14, 26, 41, 59, 71  
 M. rectus medialis 14, 41, 48, 59, 71, 128  
 M. rectus superior 14, 41, 48, 128  
 M. sphincter pupillae 41  
 Manifestes Schielen 11, 50, 135  
 Mathematische Modelle 24, 123  
 Mattglas 50  
 Maus 113  
 Maus-Rad 87, 113  
 Mechanik 6  
 Mechanisches System 39  
 Med. Stammdaten->Blickschema 93  
 Med. Stammdaten->Linkes Auge->Bulbusdaten 87

- Med. Stammdaten->Linkes Auge->Innervationsverteilung 91  
 Med. Stammdaten->Linkes Auge->Muskeldaten 87  
 Med. Stammdaten->Motorische Fusionsbreite 92  
 Medizinische Stammdaten 80, 86, 100, 105, 108, 124, 134, 138, 145  
 Meridiane 26  
 Messdaten 124  
 Messen 137, 138, 141, 142  
 Messlinie 141  
 Messpunkte 141  
 Messstrecke 142  
 Messungen 6  
 Methoden zur Motilitätsdiagnose 134  
 Mikrostrabismus 11  
 Miller 24, 37  
 Mitskalieren 87  
 Mittelhirn 41  
 Mittlere Augenhaut 14  
 Modelle 123  
 Modellierung 6  
 Modellparameter 21  
 Modelltypen 24  
 Motilitätsdiagnose 134  
 Motilitätsstörungen 4  
 Motoneuronen 41  
 Motorische Einheit 41  
 Motorische Fusionsbreite 80, 86, 92, 100, 124, 134, 135, 145  
 Motorische Kerne 41, 91  
 Musculi obliqui 14  
 Musculi recti 14  
 Muskelansatzlinie 26  
 Muskelbezogener Bulbusradius 26  
 Muskeldaten 59, 65, 80, 86, 87, 100, 124, 145  
 Muskelfixation 6  
 Muskelgeometrie 120  
 Muskelinsertionen 26  
 Muskelkontraktionsmessung 41  
 Muskelkräfte 24, 41, 120  
 Muskelkräftesimulation 39  
 Muskelkurven 87  
 Muskellänge 41, 137, 138  
 Muskeln 59, 113, 123  
 Muskeloptionen 128  
 Muskelparesen 87  
 Muskelpfad 14, 26  
 Muskelradius 87  
 Muskelscheiden 14  
 Muskelschichten 14  
 Muskelspezifische Parameter 41, 87  
 Muskelsymbol 128  
 Muskelursprung 26  
 Muskelwirkung 26  
 Muskelwirkungsebene 128  
 Muskelwirkungskreis 35, 128, 138, 140  
 Muskelwirkungsrichtung 117, 128, 148  
 Muskelwirkungsrichtungsdiagramm 111, 117, 128, 148  
 Muskelwirkungsverteilung 26, 117, 128, 148  
 Muskelwirkungsverteilungsdiagramm 6, 111, 117, 128, 148
- N -**
- Nachbehandlung 11  
 Navigation 113, 123  
 Neigungswinkel 159  
 Nervenschädigung 59, 65, 71  
 Nervus Abducens 41  
 Nervus Oculomotorius 41  
 Nervus Trochlearis 41  
 Netzhaut 14  
 Neue Pathologie 84  
 Neuer Patient 59, 65, 71, 81  
 Neurologie 6  
 Nicht gespeicherte Daten 86  
 Normauge 26  
 Normblickpositionen 39  
 Nummerierung 154  
 Nystagmus 11
- O -**
- Objekt fixieren 11  
 Objektive Torsionsmessung 52, 118, 119  
 Okkludieren 11  
 Okulomotorische Hirnnerven 41  
 Okulomotorische Kerne 41  
 Okulomotorisches System 6  
 Okulomotoriusnerven 41  
 OpenGL 124, 145  
 Operation 4, 24, 113, 137, 138, 140  
 Operationen->Messen 141  
 Operationen->Tangentielle Verlagerung 140  
 Operationen->Textuell Operieren 138  
 Operationen->Triangulation 142  
 Operationen->Vor/Rücklagern 140

Operationstechnik 138, 140  
 Operationstechnik "Versetzen" 137  
 Operative Korrektur 59, 65, 71  
 Ophthalmologen 6  
 Ophthalmologie 6  
 Ophthalmotrop 26  
 Optionen 116, 145  
 Optionen->Aktuelles Auge (3D-Modell) 128  
 Optionen->Augenpositionen zurücksetzen 124  
 Optionen->Bulbus Translation 113  
 Optionen->Drucker 151  
 Optionen->Folgendes Auge 124  
 Optionen->Kamera zurücksetzen 124  
 Optionsdialog des Druckers 161  
 Orbit 24, 93, 100, 106, 123  
 Orbita 14  
 Orbitaboden 14  
 Orbitahöhle 26  
 Orbital Layer 14  
 Orbit-Datei importieren 93  
 Orbit-Daten 100  
 Orbit-Daten importieren 106  
 Orbit-Kräftemodell 41  
 Orbitmodell 24, 26, 37, 123  
 Orientierungs- oder Messpunkte 141  
 Orientierungspunkte 141  
 Orthoptisten 6

## - P -

Papierformat 162  
 Parametrierung 21, 24  
 Parese 48, 93  
 Passive Kraft 41, 65  
 Passive Kraftentwicklung 39  
 Passive Kraft-Längenkurve 41  
 Pathologie 21, 84  
 Pathologische Situation 52  
 Pathologisches Modell 100, 106  
 Patient 59, 80  
 Patient laden 82  
 Patient speichern 83  
 Patient->3D-Modell 80  
 Patient->3D-Modell->Als Bild speichern 153  
 Patient->3D-Modell->Blickschema als Bild speichern 154  
 Patient->3D-Modell->Drucken 161  
 Patient->3D-Modell->Film erstellen 155

Patient->3D-Modell->Film für Kopfreigetest erstellen 159  
 Patient->3D-Modell->Seitenansicht 162  
 Patient->Beide Hess-Diagramme 80  
 Patient->Druckereinstellungen 151  
 Patient->Neue Pathologie 80  
 Patient->Neuer Patient 80  
 Patient->Patient laden 80  
 Patient->Patient speichern 80  
 Patientendatei 86  
 Patientendaten 21, 106, 145  
 Patientenspezifische Situation 21  
 Patientenstammdaten 81  
 Patientenverwaltung 80  
 Personendaten 80  
 Pfeil 155  
 Physik 6  
 Physiologie 6  
 Polarkoordinatensystem 26  
 Polstellen 128  
 Porrill 24  
 Präsentationszwecke 80  
 Preoperative Daten 100  
 Primärposition 14, 26, 35, 39, 84, 140  
 Prismendioptrien 84, 92, 93, 119, 148  
 Prognoseergebnisse 24  
 Protrusion 52  
 Prozess 21  
 Pseudotorsion 26  
 Pulley-Daten 100, 106  
 Pulleymodelle 37  
 Pulleyposition 26, 87  
 Pulleyradius 87  
 Pulleys 6, 14, 26, 37, 87, 100  
 Punktdarstellung 87, 128  
 Punkte 87, 128  
 Punktliste 142

## - R -

Rahmen 154  
 Rahmendicke 154  
 Rahmenfarbe 154  
 Rechengenauigkeit 145  
 Rechte Maustaste 87, 113, 116  
 Rechtsblicklähmung 71  
 Rechts-Fixation 48, 52, 93, 118, 119, 124, 148, 154, 155, 159  
 Referenzauge 52, 86, 108

- Referenzdaten 108  
 Referenzdaten->Exportieren 108  
 Referenzdaten->Importieren 108  
 Relative aktive Kraft 41  
 Relative passive Kraft 41  
 Resektion 41, 59, 137, 138  
 Retina 14  
 Retinacula 14  
 Retraktion 52  
 Reute 26  
 Reziproke Innervation 39, 124  
 Richtungsvektoren 117  
 Robinson 6, 24, 36  
 Rollstrecke 87  
 Rotation 26, 113, 123  
 Rotationsachse 128  
 Rotationsdarstellung 26  
 Rotationskomponenten 117, 128  
 Rotationsmittelpunkt 128  
 Rotationsreihenfolge 26  
 Rotationsrichtungen 26  
 Rotationszentrum 14  
 Rotes Kreuz 124  
 Rot-Grün-Gläser 48  
 Rotieren um X-Achse 124  
 Rotieren um Y-Achse 124  
 Rotieren um Z-Achse 124  
 Rückwärtskinematik 39
- S -**
- Schädelbasisfraktur 59  
 Schädigung des Nervs 59  
 Schattiert 87, 128  
 Schieberegler 124, 153  
 Schielbehandlung 11  
 Schielen 4, 11  
 Schielform 135  
 Schieloperation 11  
 Schielwinkel 84, 93, 154  
 Schielwinkeldiagramm 52, 111, 119, 148  
 Schriftgröße 145  
 Schrittweite 159  
 Schwächen 59  
 Search Coils 52  
 SEE++ 6  
 SEE++ Calculation Server 10, 145  
 SEE++ Lite 82, 83  
 SEE++ Referenz 78
- SEE-KID 4, 6  
 SEE-KID Active Pulley Modell 24, 26, 37, 123  
 SEE-KID Modell 24, 26, 37, 123  
 Sehbehinderung 11  
 Sehnenbreite 41  
 Sehnenlänge 14, 41, 137, 138  
 Sehnenplatte 14  
 Sehschärfe 11  
 Sehschwäche 11  
 Seitenansicht 80, 87, 93, 116, 162  
 Seitenverhältnis 154, 155, 159  
 Sekundärposition 14, 35, 36  
 Server-Modus 145  
 Sherrington 124  
 Sherrington'sches Gesetz 39  
 Sichtvektor 128  
 Simulation 21, 24, 52, 59, 65, 80, 93, 118, 119  
 Simulation der Pathologie 59, 65, 71  
 Simulation eines operativen Eingriffs 21  
 Simulationsabfolge 21  
 Simulationsablauf 52  
 Simulationsbeschreibung 93  
 Simulationsergebnis 21, 52, 159  
 Simulationsmodelle 123  
 Simulationssystem 6  
 Skalierung 123  
 Sklera 14  
 Slack-Region 41  
 SMI 124  
 SMI 3D VOG Modus 124  
 Software Engineering 4, 6  
 Softwareentwicklung 4  
 Softwaresystem 4  
 Speichern von Punkten 142  
 Sprache 145  
 SQUINT 24  
 Stabilisatoren 14  
 Stammdaten 59, 86  
 Stammdaten->Blickschema 93  
 Stammdaten->Linkes Auge->Bulbus 87  
 Stammdaten->Linkes Auge->Muskeln 87  
 Stammdaten->Links Auge->Innervationsverteilung 91  
 Stammdaten->Motorische Fusionsbreite 92  
 Standarddaten 100  
 Starrheit 41  
 Stateviewer 111, 120, 162  
 Stateviewer-Bericht 162  
 Statisches Kraftverhalten 41

Statuszeile 79, 118, 137, 141, 142  
 Strabismus 6, 11  
 Strabologie 6  
 Strich 117  
 Studenten 6  
 Subjektive Torsionsmessung 52, 118, 119  
 Supranukleäre Augenbewegungsstörung 58, 71  
 Supranuklearer Strukturen 41  
 Symbolleiste 79, 111, 123, 124, 128, 132  
 Synergisten 48  
 Systemvoraussetzungen 10  
 Szenarien 80, 100, 106, 145  
 Szenario 84, 93, 106, 134, 138, 145  
 Szenario & Ansicht aus Bild importieren 105  
 Szenario duplizieren 100  
 Szenario eine Ansicht zuordnen 100, 105  
 Szenario entsperren 100  
 Szenario laden 100  
 Szenario löschen 100  
 Szenario speichern 100  
 Szenario sperren 100  
 Szenario überschreiben 100  
 Szenario umbenennen 100

## - T -

Tangentenskala 52  
 Tangentiale Verlagerung 138, 140  
 Tangentialebene 128  
 Tangentialkreis 128, 140  
 Tangentialpunkt 26  
 Tastatur 113  
 Teilverne 41  
 Terminationskriterium 145  
 Tertiärposition 14, 26, 35, 36  
 Textuell 137, 138, 142  
 Textuell Eingeben 93  
 Textuell Operieren 71, 137  
 Texture 128  
 Torsion 26, 118, 119, 120, 148  
 Torsionsabweichung 93  
 Torsionsmessung 52, 118, 119  
 Totale Kraftfunktion 41  
 Transparentes Cover 135  
 Transparenz 128  
 Traumata 59  
 Treeview 79, 100, 111  
 Triangulation 137, 138, 141, 142  
 Trochlearisparese 58, 65

## - U -

Überblick 24, 79  
 Überfunktionen 87  
 Umlenkrolle 26  
 Umlenkrollen 14  
 Unter-Szenario 100  
 Ursachen von Schielen 11

## - V -

Vektor-Multiplikator 148  
 Vergleich mit Patienten-Messdaten 21  
 Vergrößern bzw. Verkleinern 113  
 Verkürzung 59  
 Verschärftes Bändermodell 6  
 Verschiebung des Muskelpfads 36  
 Versetzen 137  
 Versetzung 137  
 Versetzung vorwärts bzw. rückwärts 138  
 Versetzungsabstände 138  
 Vertikalabweichung 52, 93  
 Vertikale Differenzen 148  
 Vestibulookulärer Reflex 52, 120, 124  
 Video-Okulographie 52, 124  
 Vierecksdarstellung 87  
 Vierhügelplatte 41  
 Virtuelle Halbkugel 87, 113  
 Volkmann 6, 26, 100  
 Volkmann-Daten 100  
 Volldarstellung 128  
 VOR 52, 120, 124  
 Vor/Rücklagern 140  
 Vorlage laden 111  
 Vorlage speichern 111  
 Vorschau 162  
 Vorwärtsskinematik 39  
 Vorwort 4

## - W -

Warnzeichen 11  
 Warren 24  
 Werteverlauf-Tooltips 145  
 Windows® Betriebssystem 10  
 Winkelreduzierung 36  
 Wirkungsrichtungen 26  
 Wirkungsverteilung 26

Wissenschafter 6  
Wissenschaftliches Werkzeug 6  
Wissensvermittlung 6

## - X -

X-Achse spiegeln 93, 148  
XviD 155, 159

## - Z -

Zellkörper 41  
Zentrieren 128  
Zinn'scher Ring 14, 26  
Zirkel 141, 142  
Zoomfunktion 87, 113, 124  
Zugeordnete Ansicht 145  
Zugeordnete Ansicht anzeigen 105  
Zugeordnete Ansicht entfernen 105  
Zuletzt geöffneten Dateien 80  
Zusatzinformationen 117, 119  
Zwinkern 124  
Zwischenablage 116, 120, 153  
Zwischenspeicher 145  
Zyklodeviation 52, 118, 119



