

Meiner Großmutter, meiner Schwester und meinen Eltern

I'm always saying something that's just
the edge of something more

[Robert Frost]

1	Einleitung	1
1.1	Silikonölchirurgie	1
1.2	Intraokularlinsen	2
1.3	Interaktion Silikonöl-Intraokularlinse	2
1.4	Ziel der Studie	4
2	Methodik	5
3	Ergebnisse	6
3.1	In vitro-Studien	6
3.2	In vivo-Studien	9
3.3	Studien zur Entfernung von Silikonöl	11
3.3.1	Chemisch	11
3.3.1.1	Perfluorokarbon-Perfluorohexyloktan (PFHO)	11
3.3.1.2	O44	14
3.3.2	Mechanisch	16
4	Diskussion	17
4.1	Einfluß des Silikonöls auf das Auge	18
4.2	Interaktion von Silikonöl mit der Intraokularlinse	20
4.3	Entfernung des Silikonöls von der Intraokularlinse	23
4.4	Komplikationen durch Silikonöl intra- und postoperativ	24
5	Schlussfolgerungen	28
6	Zusammenfassung	29
7	Literatur	30
8	Lebenslauf	39
9	Danksagung	41

1 Einleitung

1.1 Silikonölchirurgie

Seit der Entwicklung der pars plana Vitrektomie von Machemer ist Silikonöl ein wichtiger Platzhalter des entfernten Glaskörpers bei Behandlung vitreoretinaler Erkrankungen und zur Gewährleistung der Netzhautanlage. Die Verwendung von Silikonöl in der vitreoretinalen Mikrochirurgie wurde erstmals von Cibis et al. 1962 eingeführt. Dies wurde von Scott 1975 und 1977, Watzke 1967 und Leaver et al. 1994 und vielen weiteren Operateuren (Federman et al. 1988, Zivojnovic et al. 1982) fortgeführt und modifiziert. Silikonöl wird zur Behandlung komplexer vitreoretinaler Erkrankungen, schwerer proliferativer Vitreoretinopathologien (z.B. bei Diabetes mellitus) oder Netzhautablösungen eingesetzt.

Silikonöl ist durchsichtig und hat einen refraktiven Index (1.405), welcher höher ist als Luft (1.0009), Kammerwasser (1.336) oder Glaskörper (1.336). Daher bringt der Einsatz als Ersatz für den Glaskörper signifikante optische Änderungen für den Patienten. Silikonöl ist sauerstoffdurchlässig und hat eine hohe Oberflächenspannung gegen Luft (21mN/m) und gegen Wasser (40mN/m), mit dem es sich nicht mischt (Dick et al. 1996). Die Reinheit und Abwesenheit von Katalysatoren ist ein wichtiges Kriterium für die Biokompatibilität und Komplikationsrate von Silikonöl, so dass nur hochgereinigte Silikonöle eingesetzt werden sollten (Apple et al. 1997). Hierzu wird Silikonöl (auch als Polydimethylsiloxan bezeichnet) in verschiedenen Viskositäten wie 1000, 3000, 5000 (cs) verwendet.

Es wird empfohlen, das Silikonöl bei stabilen Netzhautverhältnissen nach ca. 3-6 Monaten nach Ermessen der jeweiligen Ophthalmologen zu entfernen. Es kann ansonsten zu Nebenwirkungen (Verschwommensehen, Augenschmerzen, Rötung, Schwellung, Lichtempfindlichkeit und Epiphora) kommen (Nawrocki et al. 1993). Die intraokulare Verwendung kann ausserdem zu Hornhautdekomensation, Erhöhung des intraokularen Druckes oder auch Hypotonie führen (Lo Cascio et al. 1985). Weniger häufig kann es zu Ölemulsifikationen mit Einschränkung oder Behinderung des Sehens durch Bläschen kommen. Franks und Leaver berichten über einen direkten Zusammenhang zwischen der Silikonölverweildauer und der Entstehung von Komplikationen (Frank et al. 1991, Leaver et

al. 1979). Im Gegensatz dazu steigt das Risiko für eine Netzhautablösung je früher das Öl wieder entfernt wird.

1.2 Intraokularlinsen

Die Geschichte der Intraokularlinsen (IOL) begann vor ca. 50 Jahren mit der ersten Implantation von Sir Harold Ridley (Ridley 1951). Die Kataraktchirurgie hat sich mittlerweile zu einem Routineeingriff entwickelt. Es werden hierzu zum einen Standard PMMA-Linsen und zum anderen moderne Faltlinsen verwendet. Während für starre PMMA-Linsen mindestens Schnitterweiterungen auf 6 mm notwendig sind, lassen sich Faltlinsen in gefaltetem Zustand durch Schnitte von etwa 3 mm implantieren. Derzeit wird sogar an einer Verkleinerung der Schnittgröße auf 1 mm gearbeitet.

Faltlinsen bestehen aus Acrylat/Methacrylat-Polymeren. Man kann hydrophobe Acryl-Faltlinsen mit einem Wassergehalt von unter 1% und hydrophilen Linsen mit 18-36% igem Wassergehalt unterscheiden. Die zweite große Gruppe der Faltlinsen stellen die Silikonlinsen dar. Hierbei sind insbesondere hochbrechende Silikonmaterialien zu erwähnen, die einen deutlich geringeren Dickendurchmesser aufweisen als ihre Vorgänger. Silikon zeigt die Charakteristiken chemische Stabilität, optische Fähigkeit, Autoklavierbarkeit, kein Zeichen von Biodegeneration und nur sehr geringe klinische Reaktionen (Apple et al. 1997, Auffarth et al. 2001, Kreiner 1987, Kulnig et al. 1990).

1.3 Interaktion Silikonöl-Intraokularlinse

Sehr häufig wird die Vitrektomie mit einer Kataraktextraktion und Implantation einer Intraokularlinse kombiniert. Auch kann es natürlich in einem pseudophaken Auge zu einem vitreoretinalen Problem kommen, so dass bei der Vitrektomie Silikonöl verwendet werden muss.

Besteht bereits ein Defekt in der hinteren Linsen-Kapsel, so kommt es unvermeidlich zu einem Kontakt von Silikonöl mit der Kunstlinse.

Beim Entfernen des Silikonöls lässt sich gelegentlich eine stärkere Adhärenz des Silikonöls an der Oberfläche der Intraokularlinse beobachten.



Abbildung 1 Beispiel für ein Silikonöladhärenz an einer Intraokularlinse.

Diese Öltröpfchen lassen sich z.T. nur schwer entfernen, müssen jedoch entfernt werden, da sie zu Streuung des Lichtes und so zu störenden visuellen Phänomenen führen.

Seit 1994 wird in mehreren klinischen und experimentellen Studien beschrieben, dass es zu einer Interaktion von Silikonöl und Intraokularlinsen kommen kann (Apple et al. 1996, Apple et al. 1997, Bartz-Schmidt et al. 1995, Peterson 1989, Schmitz et al. 1997).

Im Allgemeinen wird angenommen, dass aufgrund der Hydrophobie der Silikonlinsen diese zu einer besonders starken Adhäsion des Silikonöls führen. Jedoch lässt sich diese Adhäsion auch an allen anderen Materialien nachweisen.

1.4 Ziel der Studie

Aufgrund der erwähnten „möglichen“ Adhäsion von Silikonöl auf der Silikon-Intraokularlinse besteht derzeit bei vielen Augenärzten die gängige Meinung, dass Silikonlinsen nicht bei anstehender Silikonölchirurgie eingesetzt werden sollen.

Die Interaktion zwischen Silikonöl und Intraokularlinsen wird als nachteilig angesehen, so dass Silikon-Intraokularlinsen bei Patienten mit retinalen Erkrankungen und solchen, bei denen ein hohes Risiko besteht an einer solchen zu erkranken, relativ selten implantiert werden.

Aufgrund unserer klinischen Erfahrungen lässt sich dieses jedoch nicht nachvollziehen. Daher ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, anhand einer Metaanalyse die wissenschaftliche Grundlage dieser Meinung zu widerlegen oder zu bestätigen.

2 Methodik

Es wurde eine Literaturrecherche über Medline (www.ncbi.nlm.nih.gov.com) durchgeführt.

Suchkriterien waren: Silikonöl, Intraokularlinsen, IOL, Interaktion, vitreoretinale Chirurgie, Kataraktchirurgie, Adhäsion, klinische Befunde, Oberflächenanalyse, Nachstar, Kapselfibrose, silicone, silicone oil, vitreoretinal surgery, intraocular lenses.

Es wurden sowohl in vivo- als auch in vitro-Studien berücksichtigt. Die Ergebnisse der Studien wurden gegenübergestellt.

3 Ergebnisse

3.1 In vitro-Studien

Der Großteil unseres Wissens über die Interaktion zwischen Silikonöl und IOL basiert auf in vitro-Studien. Im Folgenden wird auf sechs Originalarbeiten, die diesen Zusammenhang untersuchen, eingegangen.

Klinische und experimentelle Laborstudien zeigen, dass Silikon-Hinterkammerlinsen eine vergleichbare Biokompatibilität wie PMMA-Linsen und Acryl-Linsen aufweisen, d.h. dass diese ebenso gut vertragen werden (Cunanan et al. 1991, Dick et al. 1997, Effert et al. 1996).

In den meisten Studien wurde die mittlere Oberflächenbenetzung der Linsen und der sogenannte „Contact angle“ ermittelt. Diese wurden per Foto dokumentiert und/oder mittels Licht- und Rasterelektronen-Mikroskopie untersucht und analysiert.

In den herausgesuchten Studien werden folgende Linsentypen untersucht:

1. Arthur et al. 2001: 5 Linsentypen: PMMA HSM (Pharmacia), Centerflex 600 H (Acryl, Water Content - 26% Rayner), CeeOn Edge 911 (HSM silicone IOL, Pharmacia), CeeOn Edge 809A (PMMA IOL, Pharmacia), CeeOn Edge 911A (Silikon, Pharmacia),
2. McLoone et al. 1987: 5 Linsentypen: Acrysof (Acryl (Phenylethylacrylate, Phenylethylmethacrylate), Alcon), AR40 (Acryl (Ethylacrylate, Ethylmethacrylate, Trifluoroethylmethacrylate, Allergan), AQUA-Sense (Hydroxyethylmethacrylate, Ethoxyethylmethacrylate, Ophthalmic Innovations), Raysoft (Hydroxyethylmethacrylate, Rayner), PMMA (Ophthalmic Innovations)
3. Stolba et al. 1996: 4 Linsentypen: flexible Silikon-IOL (STAAR-AA4203),
4. Apple et al. 1997: 7 Linsentypen: Fluorlens (PMMA, Chiron), PMMA HSM (Pharmacia-Upjohn), hydrogel (Storz), MemoryLens (Mentor-Optical Radiation Corporation), PMMA (Pharmacia-Upjohn), soft acrylic (Alcon und AMO), Silikon (AMO, Staar Surgical, Chiron Vision),
5. Dick et al. 1998: 13 Linsentypen: 3 IOL-Materialien: PMMA, Silikon, Hydrogel.

CeeOn 809 P (Pharmacia), CeeOn 809C (Pharmacia), Soflex LI41U (IOLAB), Alcon AcrySof M60BM, Allergan SI-30 NB, Allergan SI-40 NB, Chiron Adatomed 90 D, Chiron C 10 DU, C31 UB, Corneal ISH 66, IOLTECH HEM7, MemoryLens U940, Storz Hydrogel 60M,

6. Öner et al. 2003: 4 Linsentypen: acrylic IOL (Morcher type 92s), Acrysof (Alcon), PMMA (IOI), CeeOn (Pharmacia-Upjohn).

Die Ergebnisse der einzelnen Studien mit den Acryl-Linsen (sowohl hydrophil als auch hydrophob), PMMA-Linsen, sowie Silikonlinsen sind in Tabelle 1 im Überblick dargestellt.

Es zeigt sich in allen Studien eine Adhärenz zwischen allen IOLs und Silikonöl. Jedoch war die Adhärenz zwischen Silikonlinse und Silikonöl bei allen Studien am höchsten.

Alle Arbeiten kamen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass es zu einer hohen Benetzung von Silikonlinsen kommt. Bei der Benetzung der Acryl-Linsen zeigen sich große Unterschiede. So kann es zu einer Streuung von 5,2-56% kommen. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass in den Arbeiten kein Unterschied zwischen hydrophilen und hydrophoben Acryllinsen gemacht wird.

Bei den PMMA Linsen zeigten alle Studien eine gute Übereinstimmung. So liegt die Benetzung in allen Untersuchungen bei ca. 20%.

Durch eine Heparinbeschichtung zeigt sich eine deutlich geringere Benetzung der IOL. Sowohl die heparinbeschichtete PMMA-IOL als auch die heparinbeschichtete Silikon-IOL zeigen eine geringe Benetzung von ca. 6-10%. Arthur et al. zeigen dabei, dass kein Unterschied zwischen der Silikonölbenezung der HSM-PMMA und einer HSM-Silikonlinse besteht (Arthur et al. 2001). Jedoch besteht ein signifikanter Unterschied zwischen einer beschichteten Silikonlinse und einer unbeschichteten Silikonlinse.

Auch zwischen Silikonöl und einer kristallinen, d.h. natürlichen, Linse zeigt sich eine Benetzung. Sie ist von der Größe etwa mit der der heparinbeschichteten IOLs vergleichbar.

Tabelle 1 stellt die Benetzung (%) der verschiedenen Linsen dar:

Autor	PMMA	HSM-PMMA	Acryl	Silikon	HSM-Silikon	kristalline Linse
Arthur et al. 2001	20.35	6.2	5.6	98.2	6.7	10
McLoone et al. 1987	20.8	k. A.	5.2-21.5	k. A.	k. A.	20.8
Stolba et al. 1996	k. A.	k. A.	k. A.	100	k. A.	k. A.
Apple et al. 1997	20.7	k. A.	k. A.	100	k. A.	10.9
Dick et al. 1998	k. A.	k. A.	26-56	75-100	k. A.	k. A.
Öner et al. 2003	21.5	k. A.	8.0-15.4	79.9	k. A.	k. A.

Der „Contact angle“ beschreibt den Winkel zwischen Linsenoberfläche und dem aufliegenden Silikonöltröpfchen.

Abbildung 2 veranschaulicht dies:

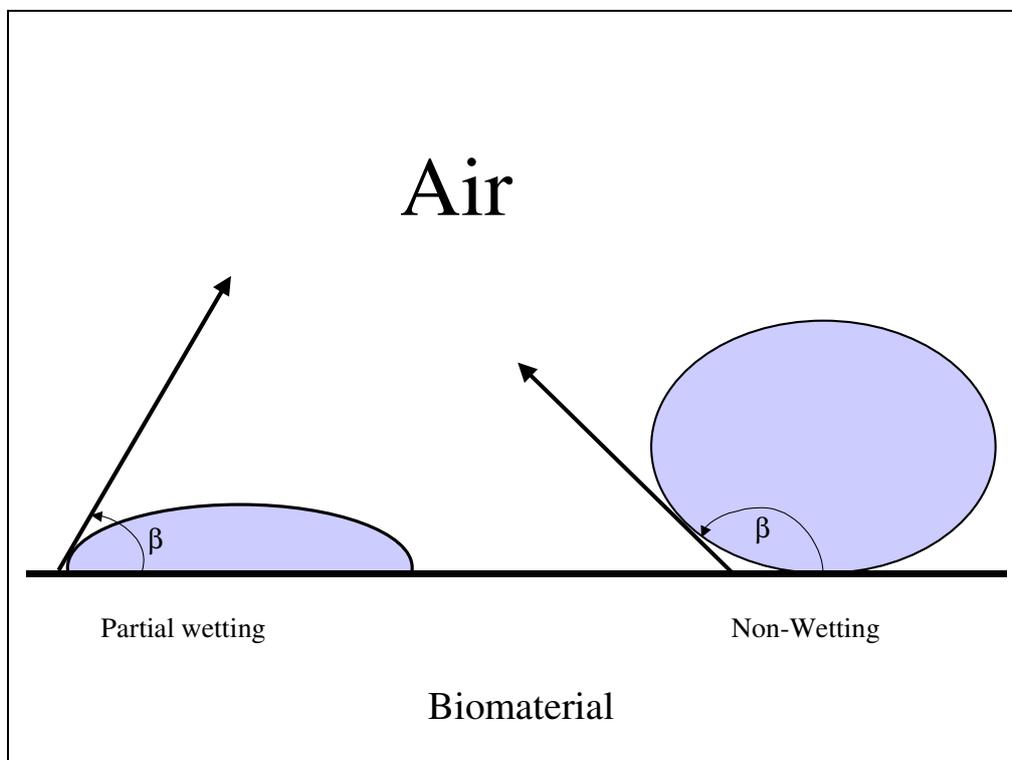


Abbildung 2: „Contact angle“ zwischen Linsenoberfläche und Silikonöltröpfchen

Abhängig vom Winkel liegt eine komplette, partiale oder keine Benetzung vor. Dadurch wird die Adhärenz des Silikonöls erklärt (Apple et al. by Aaberg 1996).

Dabei bedeutet :

- “Contact angle” β = 0° = complete wetting
- “Contact angle” β $\geq 0^\circ < 90^\circ$ = partial wetting
- “Contact angle” β $\geq 90^\circ$ = non wetting.

Tabelle 2 stellt den „Contact angle“ ($^\circ$) der verschiedenen Linsen dar:

Autor	PMMA	HSM- PMMA	Acryl	Silikon	HSM- Silikon	kristalline Linse
Arthur et al. 2001	60-70	25-35	29	100-110	25-35	k. A.
McLoone et al. 1987	k. A.	k. A.	45.9	k. A.	k. A.	k. A.
Stolba et al. 1996	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Apple et al. 1997	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Dick et al. 1998	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Öner et al. 2003	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

3.2 In vivo-Studien

Es liegen wenige Fallberichte sowie nur eine einzige retrospektive Studie vor, in denen die klinische Relevanz des Silikonöladhäsionsphänomens an Intraokularlinsen nach Silikonölchirurgie untersucht wurden. Weber et al. berichteten über 78 Patienten, bei denen eine Silikonölchirurgie und eine sekundäre Kataraktoperation durchgeführt wurde (McCartney et al. 1987). Eine Aufteilung des Gesamtkollektivs erfolgte nach dem verwendeten Implantat (PMMA, Silikon, keine IOL) sowie einer ggf. durchgeführten YAG-Kapsulotomie und/oder Ölexplantation.

Es gab folgende Ergebnisse:

- Der Vergleich des gemittelten prä- und postoperativen Visus zeigte in allen Gruppen eine Verbesserung, wobei die Silikonlinsengruppe den geringsten und die Gruppe ohne Linsenimplantat den höchsten Anstieg aufwies. Der präoperative Visus war in der mit PMMA-Linsen versorgten Gruppe signifikant besser als in der ohne IOL-Implantation und lag in der Silikongruppe dazwischen.
- Eine signifikante Verbesserung des Visus fand sich in der Gruppe der mit PMMA versorgten Patienten nach YAG-Kapsulotomie mit belassenem Silikonöl.
- Bei der Gruppe mit PMMA-IOL, nach YAG-Kapsulotomie und Ölexplantation, ließ sich keine signifikante Visussteigerung nachweisen.
- In der mit einer Silikonlinse versorgten Gruppe wiesen ebenfalls die Patienten mit YAG-Kapsulotomie und ohne Ölexplantation einen deutlichen Visusanstieg auf.
- Ein Visusrückgang wurde sowohl nach PMMA- als auch nach Silikon-IOL-Implantation festgestellt, wenn keine YAG-Kapsulotomie durchgeführt und das Silikonöl nicht entfernt worden war.
- Nach Kapsulotomie und Ölexplantation war das Ergebnis der PMMA-Gruppe schlechter, das der Silikongruppe günstiger.
- Der Vergleich PMMA- und Silikonlinsen, d.h. analog der behandelten Patientengruppe mit PMMA- oder Silikon-IOL, erbrachte bei ähnlichen Ausgangswerten einen höheren postoperativen Visus bei den PMMA-Linsen, allerdings ohne Signifikanz.
- Keines der behandelten Augen war ohne visusmindernde Beeinträchtigung (diabetische, atrophische oder exsudative Maculopathie sowie Optikusatrophie).

3.3 Studien zur Entfernung von Silikonöl

Diese wurden in vitro und/oder klinisch ausgeführt.

3.3.1 Chemisch

Derzeit werden in Versuchen Perfluorokarbonate für die Entfernung von Silikonöl von der Linsenoberfläche verwendet. Hierzu gehört die Untergruppe der flüssigen Perfluorokarbonate (PFCL) wie Perfluorohexyloktane und O44 .

3.3.1.1 Perfluorokarbon-Perfluorohexyloktan (PFHO)

1. In der Studie von Dick et al. 2000 wurden drei verschiedene Entfernungstechniken von anhaftendem Silikonöl verwendet:

- einfaches Eintauchen in PFHO,
- Bewässerung mit PFHO,
- Entfernung des Silikonöls mit einem in PFHO getränkten Schwamm.

Bei PFHO handelt es sich um ein semifluoriertes Alkan ($C_{14}F_{13}H_{17}$) mit einer geringen Oberflächenspannung und Viskosität.

Physiochemische Eigenschaften:

- | | |
|--|-------|
| • spezifisches Gewicht (g/cm^3 bei 25°) | 1.35 |
| • Refraktiver Index (bei 25°) | 1.343 |
| • Oberflächenspannung (mN/m bei 25°) | 21.0 |
| • Viskosität (mPas bei 37°) | 2.5 |
| • Siedepunkt ($^\circ C$) | 223.0 |

Ausserdem wurde die Auswirkung auf das umgebende Gewebe und das Intraokularlinsen-Material untersucht.

Es wurden 6 verschiedene IOL-Materialien verwendet:

PMMA, HSK-PMMA, Acryl (Acrysof), 2 poly-HEMA (mit verschiedenen Wasseranteilen), Silikonlinse.

Resultate:

- Das einfache Eintauchen in PFHO zeigte keinerlei Ablösung von Silikonöl von jeglichem IOL-Material.
 - Das Bewässern mit PFHO zeigte eine komplette Ablösung von der HSM-PMMA und den zwei poly-HEMA. In diesen Fällen penetrierte das PFHO die Silikonöltröpfchen und löste diese von der Oberfläche.
 - Bei der PMMA, Acrysof und Silikonlinse musste mit einem in PFHO getränkten Schwämmchen das Silikonöl von der Oberfläche entfernt werden.
 - In der Gruppe der rigiden IOLs war die Bewässerung mit PFHO an HSM-PMMA besser als bei der unmodifizierten PMMA.
 - Bei den faltbaren IOLs gelang die Entfernung mittels Bewässerung bei den poly-HEMA besser als bei der Acrysof oder Silikonlinse.
 - Unter hohem Druck erfolgt eine bessere Silikonölentfernung gefolgt von der Entfernung mit einem in PFHO getränkten Schwamm.
- Die Effektivität von PFHO ist abhängig von der Technik der Entfernung.

2. Zeana et al. 2000 zeigten in fünf Fällen eine gelungene in vivo Silikonöl-Entfernung von einer Silikonlinse mittels Perfluorohexyloktan durch einen Bewässerungsstrahl.

Es wurde hierzu das PFHO (C₁₄F₁₃H₁₇) Silicone Solvent von Geuder verwendet.

Physiochemische Eigenschaften:

- spezifisches Gewicht (g/cm³ bei 25°) 1.35
- Refraktiver Index (bei 25°) 1.343
- Oberflächenspannung (mN/m bei 25°) 49.1
- Viskosität (mPas bei 37°) 2.5
- Siedepunkt (°C) k. A.

Resultate:

- Es zeigte sich postoperativ der Intraokulardruck (IOD) im Normbereich,
 - ein Visusanstieg und
 - keine Anzeichen für eine Endothelveränderung/Schaden oder ein Hinweis auf eine Endotheltoxizität.
 - Die Operation kann komplikationslos wiederholt werden, falls Tröpfchen übersehen werden.
 - Das Mittel ist derzeit in den USA nicht zugelassen.
- Zusammenfassend scheint PFHO ein geeignetes Mittel zur Entfernung von Silikonöl von Silikonlinse zu sein. Es bedarf weiterer in vivo-Studien.

3. In der Studie von Langefeld et al. 1999 wurde die Entfernung von Silikonöl unterschiedlicher Viskosität von Silikonlinsen mittels PFHO untersucht.

Es wurde AdatoSIL-OL 1000 und 5000 (cs) verwendet.

Resultate:

- Das Silikonöl 1000 konnte leichter entfernt werden als das 5000.
 - Höher visköses Silikonöl ist schwieriger zu entfernen als weniger visköses.

3.3.1.2 O44

In der Studie von Hoerauf et al. 1999 wurden 2 verschiedene Entfernungstechniken getestet:

- Schwenken der Linse in O44
- Entfernung des Silikonöls mit einem in O44 getränkten Schwämmchen.

Es wurden zwei verschiedene Linsen verwendet:

Silikonlinse, PMMA.

Bei O44 handelt es sich um eine neue Klasse der Perfluorkarbene. Es ist ein teilfluoriertes Oktan, welches zum einen fluoriert und zum anderen hydrogeniert ist. Diese Eigenschaft reduziert das spezifische Gewicht und verringert das Lösungspotential, während die Biokompatibilität und die Oberflächenspannung der bislang bekannten PFHOs gewahrt bleiben.

Physiochemische Eigenschaften:

- Spezifisches Gewicht (g/cm^3 bei $25\text{ }^\circ\text{C}$) 1.33
- Refraktiver Index (bei $25\text{ }^\circ\text{C}$) 1.31
- Oberflächenspannung (N/m) 0.0175
- Viskosität (mPas bei 37°) k. A.
- Siedepunkt (C°) 113.7

In einem zusätzlich durchgeführten Fibroblasten-Wachstums-Inhibitions-Test konnte keine Toxizität festgestellt werden.

Resultate:

- O44 kann Silikonöl in allen Viskositäten und bei Raumtemperatur lösen.
 - Mit beiden Techniken konnte eine komplette Entfernung des Silikonöls bei beiden Linsentypen erreicht werden.
 - Es zeigten sich keine Silikonölrreste auf den Linsen
- O44 kann in Zukunft ein hilfreiches Mittel zur Entfernung von Silikonöl sein. Es fehlen derzeit weitere *in vivo*-Studien, die die Endotheltoxizität und die Biokompatibilität untersuchen.

3.3.2 Mechanisch

Es gibt hierzu einige wenige Studien und Fallberichte, die unterschiedliche mechanische Methoden zur Entfernung von Silikonöl beschreiben.

- Mein 1995 und Robertson 1992 zeigten, dass die Verwendung von viskoelastischem Mittel zu einer Säuberung der IOL-Oberfläche führt.
- Horgan et al. 1996 konnten Silikonöltröpfchen mittels einer Kanüle durch Aspiration entfernen.
- Kageyama et al 2000 zeigten, dass ein Runterschnipsen von der IOL Oberfläche erfolgreich sein kann. Dabei scheint von Vorteil zu sein, wenn die Dauer der Tamponade kurz ist. So wird das Abkratzen der Öltröpfchen besonders intraoperativ empfohlen.
- Die Entfernung von einer hydrophilen Oberfläche ist nach Dick effektiver als von einer hydrophoben (Dick et al. 2000).

4 Diskussion

In den letzten Jahren sind vermehrt Adhäsionen zwischen Silikonlinse und Silikonöl als Tamponade beschrieben worden (Effert et al. 1996, Falkner et al. 2001).

Die Interaktion von Silikonlinsen und Silikonöl ist in vitro gut untersucht und zeigt eine hohe Benetzung der Linse von annähernd 100%. Jedoch wurden alle bisher durchgeführten Untersuchungen in vitro durchgeführt. Sie spiegeln daher nicht die tatsächlichen Bedingungen nach Implantation der verschiedenen Intraokularlinsenmaterialien wieder. Neben Silikonlinsen weisen auch alle anderen Biomaterialien wie PMMA-Linsen oder Acryl-Linsen eine Adhärenz von Silikonöl auf (Apple et al. 1996). Auch hydrophile Intraokularlinsen haben eine Benetzung von Silikonöl. Diese ist deutlich geringer, aber dafür deutlich unregelmäßiger, was zu mehr störenden visuellen Phänomenen für den Patienten führt.

Interessant ist der hohe Marktanteil von Polyacryl-Linsen-Herstellern. Dieser ist hauptsächlich durch ihr aggressives Marketing zu erklären, welches wichtiger und meinungsbildender zu sein scheint, als das Fehlen von in vivo-Untersuchungen. Die meisten Studien haben dabei hydrophile Acryl-Linsen mit hydrophoben Silikonlinsen verglichen. Da das Silikonöl hydrophob ist, ist es sehr wahrscheinlich, dass es zwischen Silikonlinsen und dem Silikonöl in vitro zu einer guten Adhäsion kommt. Dagegen besteht zwischen der hydrophilen Acryl-Linse und dem hydrophoben Silikonöl eine geringe Adhärenz. Jedoch ist ein Teil der neueren Acryl-Linsen hydrophob, da diesen eine geringere Nachstarbildung nachgesagt wird. So führt eine Hydrophobie der Acryl-Linse zu einer vermehrten Adhärenz an das Silikonöl. Bemerkenswert ist, dass von diesen Firmen nicht propagiert wird, hydrophobe Acryl-Linsen bei Silikonöleingabe zu meiden.

Nach wie vor hängt den Silikonlinsen das Komplikationsprofil der Anfänge von vor mehr als 20 Jahren nach (Komplikationen wie z.B. eine gelbliche Materialverfärbung).

Auch scheinen Vermarktungsstrategien der einzelnen Firmen und ein vorübergehend höherer Preis für Acryl-Linsen (trotz niedrigerer Herstellungskosten im Vergleich zu Silikonlinsen) einen Teil zum Anstieg der Verkaufszahlen von Acryl-Linsen beizutragen. So wird dem Operateur ein höherwertiges Produkt vorgegaukelt.

Silikonlinsen lassen sich aufgrund der Herstellungsmethode auch in Sondergrößen gut anfertigen, da jede Linse auch in der Reihenfertigung einzeln angefertigt wird.

Silikonöl wird seit den späten 70er Jahren in Europa wesentlich häufiger eingesetzt als auf dem nordamerikanischen Kontinent, so dass Komplikationen wie eine Silikonöladhäsion eher dort auftreten können. Der seltene Einsatz in den USA ist darauf zurückzuführen, dass dort das Silikonöl erst die FDA passieren musste, bevor ein Einsatz möglich wurde (Scholda et al. 2000).

So werden in der amerikanischen Literatur vor allem Acryl-Linsen empfohlen. Dabei wird ein größerer Zugangsschnitt mit den damit verbundenen Risiken und evtl. erneuten Operationen in Kauf genommen. Aufgrund der fehlenden Erfahrung (evidenced based medicine) bezüglich Silikonlinsen, der geringeren Kosten für Acryl-Linsen und der ständigen Gefahr der juristischen Anklage für Ärzte beim Auftreten von Komplikationen sind nicht alle amerikanischen Studien auf europäische Verhältnisse übertragbar.

Kombiniert mit der vitreoretinalen Chirurgie ist die Silikonöleingabe eine Standard-Technik geworden und verbessert die Prognose komplexer vitreoretinaler Erkrankungen wie Netzhautablösung, proliferative Vitreopathie, proliferative diabetische Retinopathie. So hat sich bei schweren vitreoretinalen Erkrankungen der Einsatz von Silikonöl zu intravitrealen Tamponaden bewährt (Coonan et al. 1985, Kampik et al. 1992, Pavlovic et al. 1995).

4.1 Einfluß des Silikonöls auf das Auge

Die Wirkungen von Silikonöl im Auge werden im wesentlichen durch den Auftrieb, die Grenzflächenspannung und die Viskosität des Silikonöls bestimmt. Die Grenzflächenspannung beschreibt die Differenz der intermolekularen Kräfte zwischen zwei Flüssigkeiten. Dieses Phänomen wird gewöhnlich gegen Luft oder die Oberfläche der anderen Flüssigkeiten selber gemessen (mN^{-1}). Es beschreibt die Kräfte, die eine Blase zu ihrer Erhaltung benötigt (Dick et al. 1996).

Von klinischer Bedeutung ist die Tatsache, dass die Grenzflächenspannung durch die Proteine und die oberflächenaktiven Bestandteile des Kammerwassers, die besonders in der postoperativen Phase auftreten, reduziert wird. Da es nach Silikonölschirurgie nicht selten zu

einer erheblichen Alteration der Blut-Kammerwasser-Schranke mit Übertritt von Lipoproteinen in das Kammerwasser kommt, ist eine Verbindung von Lipoproteinen mit dem Silikonöl und der IOL möglich.

Da das Auge ein dynamisches System darstellt, übt die mechanische Energie der sakkadischen Augenbewegung ein weiteres Moment auf die Oberflächeninteraktion zwischen IOL, Silikonöl und Kammerwasser aus (Abel et al. 1997, Boghen et al. 1997, Fricker 1971).

Chin et al. 1962 und Keen 1974 haben in den 60er- und 70er Jahren eine chemische Interaktion zwischen Lipiden und Silikonmaterial angenommen.

Senn et al. 1997 zeigten dagegen, dass es zu keiner Strukturschädigung der Silikonlinsenoberfläche kommt. Außerdem zeigte sich, dass die Öl-Adhäsion bei Silikon-IOLs mit der längeren Expositionsdauer nicht zunimmt. Jedoch konnten Stolba et al. 1996 in ihrer Studie eine Zunahme der Adhäsion aufzeigen.

McLoone et al. 2001 äußerten, dass die Linsen eine kontinuierliche Lage des Silikon-Polymers bekommen, wenn sie länger (bis zu 3 Jahre) verbleiben.

Je niedriger die Viskosität des Silikonöls, um so niedriger ist die aus der Augenbewegung resultierende und erforderliche Energie zur Emulsifikation und Oberflächeneinwirkung (Parel 1989). Die repetitive Natur dieser Augenbewegung induziert Mikrowirbel innerhalb und ausserhalb der Ölbläschen und reduziert somit die Oberflächenspannung (Kampik et al. 1992, Ridley 1951). Die höher viskösen Silikonöle neigen weniger zur Emulsifikation und werden daher bevorzugt für die intraokulare Tamponade verwendet (Heidenkummer et al. 1992, Lo Cascio et al. 1985). Eine Minderung der Oberflächenspannung bedingt möglicherweise bei zufälligem Kontakt von emulsifizierten Silikonölbläschen mit der Intraokularlinsenoberfläche die nachfolgende flächige Auflagerung. Der Auftrieb und damit verbundene Druck des hydrophoben Silikonöls auf die IOL kann (in Verbindung mit einer u.a. durch Phospholipide verminderte Grenzflächenspannung) besonders in liegender Kopfposition die IOL-Oberfläche beeinflussen.

Dick et al. folgerten 1997:

Der Grad der Silikonöladhäsion hängt von einer komplexen Interaktion verschiedener Faktoren ab:

- dem Kontaktwinkel des Polymers (hydrophobes Material > hydrophiles Material)
- der freien Energie des Polymers
- den Umgebungsfaktoren (Körpertemperatur, Bewegungsmomente, Kammerwasserbestandteile).

Entscheidend ist die Tatsache, dass der Kontaktwinkel des Silikonöls sich mit der Umgebung ändert, so dass das Risiko der Adhäsion schwierig einzustufen ist. Apple et al. 1997 vermuteten als Ursache der Adhäsion die Verteilung polarer und nichtpolarer Oberflächenkomponenten, welche Van-der-Waals Kräfte und „London dispersive forces“ beinhalten, die die Oberflächenbenetzbarkeit bestimmen (Langefeld et al. 1999).

Die vorhandene Oberflächeninhomogenität der Silikon-IOL kann zu Begünstigung von Fremdmaterialanlagerungen führen (Arthur et al. 2001).

4.2 Interaktion von Silikonöl mit der Intraokularlinse

Silikonöl haftet mehr an hydrophoben als an hydrophilen IOLs. Lipoproteine des Serums spielen eine wichtige Rolle bei der Entfaltung des Silikonöleffektes auf das Intraokularlinsenmaterial.

Die Interaktion von Silikonöl mit Intraokularlinsenmaterialien ist weiterhin für die Auswahl der Intraokularlinsen bei Patienten mit Katarakt, bei denen gleichzeitig ein Risiko hinsichtlich eines späteren vitreoretinalen Eingriffs besteht, von Interesse (Coonan et al. 1985, Dick et al. 1997, Georgopoulos et al. 2003, Nielsen et al. 1993).

Allerdings sollte überlegt werden, ob zu dem Zeitpunkt das aktuelle Problem für den Patienten operiert wird oder eine Vorbereitung für einen späteren Eingriff getroffen wird.

Dick et al. 1997 untersuchten detailliert in vitro die Interaktion von Silikonöl und IOL und fanden folgende Faktoren, die die Adhäsion an der Linse beeinflussten:

- Hochgereinigte Silikonöle mit einem hohen Durchschnittsmolekulargewicht und einer Molekulargewichtsverteilung wiesen eine höhere Langzeitbiokompatibilität und höhere Energie-Schwellenwerte für eine Emulsifikation auf und sind so mit einer niedrigen Alteration der IOL-Oberfläche vergesellschaftet.
- Bei gegebener Molekulargewichtsverteilung des Silikonöls treten Interaktionsphänomene durch Emulsifikation besonders infolge früher Grenzflächenspannungsreduktion und Augenbewegungen auf.
- Bei gegebener Viskosität emulsifiziert das Polymer mit dem niedrigsten mittleren Molekulargewicht am frühesten und dringt möglicherweise in die IOL ein.
- Silikonöl absorbiert Chemikalien aus der Umgebung mit der Folge der Reduktion der Grenzflächenspannung und konsekutiv ausgeprägter Anheftung am IOL-Implantat.
- Je höher die Hydrophilie einer IOL-Oberfläche, desto geringer ist die Adhäsion des Silikonöls auf der IOL-Oberfläche. Lipophile Substanzen wie Silikonöl benetzen aufgrund der hohen Grenzflächenspannung zwischen beiden Oberflächen auf hydrophilen Materialien schlecht und bilden somit auch nur mäßige Beschichtungen.
- Lipide und Detergentien im Kammerwasser spielen eine wichtige Rolle bei der Entfaltung des Silikonöleffektes auf das Intraokularlinsenmaterial, wie dies nach der Implantation von künstlichen Herzklappen oder Brustimplantaten aus Silikon bereits bekannt ist.
- Die Temperatur spielt bei dieser Interaktion möglicherweise eine weitere Rolle durch Senkung der Grenzflächenspannung.

Apple et al. 1997 demonstrierten in ihrer Studie, dass hydrophobe Materialien mit einer hoher Oberflächenspannung und relativ hohem „Contact Angle“ (CA) eine größere Silikonöladhärenz aufweisen. Wohingegen hydrophile Materialien mit relativ niedrigem CA und gering disperser Oberflächenenergie eine niedrigere Silikonöladhärenz aufweisen. Weiter wurde festgestellt, dass die Oberflächenbeschichtung einer PMMA-Linse mit Heparin die Ölbenetzung reduziert. Dieses Phänomen lässt sich dadurch erklären, dass Heparin eine hydrophobe Oberfläche in eine hydrophile zu verwandeln vermag (Batterbury et al. 1994, Dick et al. 1997).

Heparin ist ein anionischer Polyelektrolyt aus sulfatiertem Glucosamin, Uronsäure und b-D-Glucuronsäure und bewirkt eine Oberflächenhydrophilie, die sich auf Kunststoffschläuchen angebracht über Jahre bewährt hat.

Die monomolekulare Heparinschicht ist kovalent an der PMMA-Oberfläche verbunden. Nach Implantation weisen HSM-IOLs neben einer geringeren Synechierung und einer niedrigeren Rate an Fibrin- und Membranbildung eine verminderte Ablagerung von Zellen und Präzipitaten auf.

So stellt die Oberflächenmodifikation mit Heparin, welches zur Erhöhung der Biokompatibilität des IOL-Materials durch Erhöhung der Hydrophilie der IOL-Oberfläche führt, einen Versuch dar, die IOL-induzierte Entzündungsreaktion zu reduzieren.

Die Grenzflächenenergie zwischen Silikonöl und den verwendeten IOL-Oberflächen ist niedriger als die zwischen Silikonöl und Wasseroberfläche. Dies bedeutet, dass das Öl die Neigung hat, an der Oberfläche der IOL-Materialien zu haften, auch wenn das PMMA-Material durch Heparinoberflächenummantelung modifiziert wurde. Diese treibende Kraft ist jedoch nach Heparinoberflächenbehandlung, durch die die verminderte Auflagerung von Silikonöltröpfchen auf diesen Linsen unterstützt wird, geringer. Es wurde gezeigt, dass die Anheftung von Heparin an Silikonlinsen wesentlich fester ist als bei den übrigen Materialien (Arthur et al. 2001). Es kann beim Einsatz durch den komplexen Operationsvorgang (v.a. bei rigiden Linsen) zum Abrieb der Heparinschicht kommen. Ein kleiner Defekt scheint ausreichend zu sein, um die Heparinschicht unwirksam werden zu lassen, so dass der erwünschte Effekt ausbleiben könnte.

Die Heparinmodifikation einer IOL kann eine hydrophobe Oberfläche in eine hydrophile umwandeln und damit den CA des Biomaterials erniedrigen. Daraus kann geschlossen werden, dass es zu einer Reduzierung der Silikonölbetzung kommen kann.

Bisher wurde noch nicht eingehend untersucht, welches Implantatmaterial bzw. welche Oberfläche beim Kontakt mit Silikonöl die geringste Interaktion eingeht, so dass nur geringe IOL-Veränderungen auftreten und ggf. das Silikonöl am atraumatischsten wieder von dem Implantat entfernt werden kann (Batterbury et al. 1994, Dick et al. 1988).

Die Tendenz geht immer mehr in die Richtung der faltbarben heparinbeschichteten IOLs, da sie die Vorteile einer Silikonlinse und den Vorteil der Hydrophilie zu vereinen scheinen (Dick et al. 1997). Es fehlen aber noch detaillierte in vivo-Langzeitstudien.

4.3 Entfernung des Silikonöls von der Intraokularlinse

Ist bereits eine Emulsifikation in einem silikonöl-gefüllten Auge aufgetreten, stellt sich die vollständige Entfernung aller Tröpfchen als sehr schwierig dar.

Hoerauf et al. zeigten, dass es nach einem PMMA-Linsen-Silikonölkontakt zu einer Bildung von Tröpfchen kommt, während bei der Verwendung von Silikonlinsen ein homogener Ölfilm entsteht (Horgan et al. 1996).

Aufgrund dieser Anlagerung wurden in den letzten Jahren mehrere Verfahren der Silikonölenfernung entwickelt. Inzwischen stehen einige Möglichkeiten zur Verfügung.

Während einige Autoren das Öl mittels eines viskoelastischen Mittels wie Hyaluronsäure wieder entfernen konnten (Robertson 1992), war dies bei anderen Autoren nicht möglich (Apple et al. 1997). Es wird kontrovers diskutiert, ob andere geeignete Mittel den gewünschten Effekt erzielen und ob die Nebenwirkungen der verwendeten Mittel (z.B. O44) einen Einsatz rechtfertigen.

Jedenfalls scheinen die Meinungen in der Literatur sehr zu streuen. Langefeld et al. 1999 zeigen, dass Silikonöl mit einer geringeren Viskosität als 1000 (cs) leichter zu entfernen ist als Öl mit 5000 (cs). Das wird darauf zurückgeführt, dass PFHO in das Silikonöl eindringen kann, und so dieses löst. Man kann daraus schließen, dass bei Patienten, die sich einer vitreoretinalen Operation unterziehen müssen, Silikonöl mit der Viskosität 1000 verwendet werden soll. Allerdings ist auch gezeigt worden, dass das leichtere Silikonöl eher zu einer Emulsifikation führen kann (Cibis et al. 1962, Heidenkummer et al. 1992).

Die Effektivität von PFHO ist abhängig von der Technik der Entfernung.

Dick et al. 2000 empfehlen zur Ablösung von Silikonöl 5000 (cs) eine größere Menge an PFHO zu verwenden. Die Empfehlung lautet, das Silikonöl unter hohem Druck zu entfernen, gefolgt von der Entfernung mit einem in PFHO getränkten Schwamm.

Eine zeitweise Explantation der IOL während des Entfernungsvorganges kann von Nöten sein, vor allem, wenn eine größere Menge von der Oberfläche entfernt werden muss (Dick et al. 2000). Dies kann allerdings ein Risiko für eine Komplikation darstellen. Ausserdem wird eine

Abspülung der Linse mit Balanced Salt Solution (BSS) empfohlen, da es sonst zu einem Verbleib von PFHO auf der IOL kommen kann. So kann ein möglicher toxischer Effekt in der Vorderkammer verhindert werden (Eckhardt et al. 1993, Han et al. 1992, Sparrow et al. 1990). Allerdings fehlen hierzu und zur Verwendung von O44 in vivo-Langzeitstudien, die die Auswirkungen und die Toxizität widerspiegeln. Bislang wurde gezeigt, dass PFHO für mindestens 2 Monate im Auge verbleiben kann (Kuckelkorn et al. 2004).

Zeana et al. 2000 konnten bei allen Fallbeispielen eine komplette Entfernung von Silikonöl während der pars plana Vitrektomie unter Zuhilfenahme von PFHO erzielen. Es zeigten sich während der Prozedur keinerlei Zeichen für eine Endotheltoxizität. In weiteren Studien wurde gezeigt, dass das adhärierte Silikonöl mit verschiedenen geeigneten chemischen und mechanischen Mitteln von Silikonlinsen entfernt werden kann. Die Methoden zur Entfernung von adhäriertem Silikonöl helfen bei der Prävention von Explantation von IOLs.

Es liegt bislang noch keine in vivo Studie vor, in der berichtet wird, ob und wie Silikonöl von heparinbeschichteten IOLs entfernt wurde.

Ein IOL-Austausch oder die alleinige Explantation der Linse sollte immer die letzte Wahl sein. Sie sollten nur durchgeführt werden, wenn visuelle Aberrationen sehr stark sind und/oder „rainbow pattern“ entstanden sind; also nicht bei alleinigem Visusverlust durch Silikonadhäsionen oder Emulsifikationen.

Alle Entfernungstechniken sind effektiv, haben aber den großen Nachteil, dass die Prozedur invasiv ist und somit eine erneute Operation nötig macht.

4.4 Komplikationen durch Silikonöl intra- und postoperativ

Es kann zu zweierlei verschiedenen Interaktionen mit der IOL während einer Netzhaut-Silikonöl-Operation kommen:

Zum einen kann die bereits erwähnte Silikonöl-IOL-Adhäsion auftreten, zum anderen kann es zu einer Kondensation an der IOL kommen.

Zu einer Bildung von Adhäsionen von Silikonöl kommt es in allen in der Literatur erwähnten Fallbeschreibungen, wenn eine hintere Kapsulotomie stattgefunden oder sich Öl in der

Vorderkammer befunden hat. Eine Adhäsion durch direkten (intraoperativen) Kontakt von Silikonöl bei einem pars plana-Zugang mit der IOL ist bislang nicht beschrieben. Eine intakte Kapsel verhindert einen Silikonöl-Intraokularlinsen Kontakt.

Es sollte nicht leichtfertig eine hintere Kapsulotomie durchgeführt werden. Bei einem pseudophaken Patienten mit einer Grunderkrankung, welche die Gabe und die spätere Entfernung von Silikonöl nötig macht, sollte der Zeitpunkt der hinteren Kapsulotomie wohl bedacht werden.

Georgopoulos et al. 2003 untersuchten den Einfluss auf den regenerativen Nachstar. Er zeigt, dass es nach YAG-Kapsulotomie bei Silikonöl-gefülltem Auge und PMMA-Linsen zur Bildung einer Perlförmigkeit am Kapsulotomie-Rand kommt. Bei Silikonlinsen zeigt sich eine Reduktion des peripheren regenerativen Nachstars, während es bei Hydrogel-Linsen zu einem Verschluss der Kapsulotomieöffnung kommt. Effert et al. beschreiben, dass beim Einsatz von heparinbeschichteten IOLs das Vorkommen von einer Kapselbildung bei 20 % liegt (Effert et al. 1996).

Apple et al. berichteten über 3 Patienten, bei denen es nach einer Kapsulorrhexis zu einer Öl-Tröpfchenbildung kam. In einem Fall kam es zu einer visuellen Störung des Patienten, bei zwei Patienten kam es zu einer Sichteinschränkung des Operateurs. Bei allen Fällen kam es nach einer Öl-Tröpfchenentfernung bzw. IOL-Austausch zu einer erneuten Netzhautablösung. Man muss das Risiko der Ölentfernung von einer Linse bzw. des IOL-Austausches sehr genau im Vergleich zu einer geringen Sehstörung des Patienten abwägen. Das Operationsrisiko und das Re-Ablatio-Risiko scheinen höher zu liegen als das Problem der Öl-Adhäsion.

Kutner et al. 1995 berichteten über das Phänomen der Kondensation an der Intraokularlinse. Es kann zu einer Bildung von Tröpfchen auf der Rückseite der Linsenoberfläche während des Flüssigkeit/Gasaustausches nach einer unvollständigen Entfernung kommen. Der vermutete Mechanismus dieses Phänomens scheint feuchte Luft im Auge zu sein, die an der IOL kondensiert (Kusaka et al. 1996). Eine Tröpfchenbildung erfolgt lediglich, wenn die hintere Kapsel eröffnet wurde. Die Kondensation an der Linsenoberfläche kann durch eine Kühlung der Saline Solution vor dem Gas/Flüssigkeitsaustausch inhibiert werden (Scott 1975).

Um also eine Tröpfchenbildung zu vermeiden, sollte das Entstehungsrisiko minimiert werden. Das schließt die Erhaltung der hinteren Kapsel und die Verwendung gekühlter Infusionsflüssigkeit ein.

Die Reaktion zwischen der IOL und dem Silikonöl ist physikalisch und nicht chemisch, und wird durch eine postoperativ durchgeführte YAG-Kapsulotomie erleichtert. Das Material ändert sich dabei nicht (Apple et al. 1996). Ziel sollte es daher sein, einen Kontakt zwischen IOLs und Silikonöl zu vermeiden.

So sollte überlegt werden ein viskoelastisches Material während der Kataraktextraktion zu verwenden, um den physikalischen Kontakt zu minimieren,

Frau et al. 1999 empfahlen, das Silikonöl möglichst früh zu entfernen, um Komplikationen, die in der Vorderkammer auftreten können, vorzubeugen.

Ein weiterer Vorschlag ist die Verwendung einer großen Optik, um den Kapselsack so zu füllen, dass der Glaskörper abgedichtet wird, und so eine Verringerung des Risikos retinaler Komplikationen zu erzielen (Apple et al. 1996).

Apple et al. 1997 vermuten eine Änderung der Oberflächengeometrie der Linsenrückfläche und damit verbundene Lichtstreuungsphänomene. Auch Horgan et al. 1996 und Bartz-Schmidt et al. 1995 berichten, dass es zu einer Anlagerung von Öl bei allen Linsentypen kommen kann, so auch an PMMA und Acryl-Linsen. Die Benetzung der Linsen erscheint unterschiedlich. So kommt es bei einer hydrophoben Silikonlinse zu einer eher flachen und flächendeckenden Benetzung, während es bei hydrophilen Acryl-, Hydrogel- und PMMA-Linsen eher zu einer kugeligen und multiplen Anlagerung von Silikonöl-Tröpfchen kommt.

Eine 100%-ige Benetzung bei Silikonlinsen bewirkt jedoch eine gleichmäßigere Benetzung als eine bis zu 60%-ige Benetzung von hydrophilen Linsen. Eine gleichmäßigere Benetzung führt zu einer geringeren Streuung und vermittelt einen homogeneren Bildeindruck, so dass Silikonlinsen sogar im Vergleich zu hydrophoben Polyacryl-Linsen im Vorteil sein könnten.

Khawly et al. 1998 zeigten in einer in vivo-Studie mit weißen Kaninchen, dass es auch bei PMMA-Linsen zu Öladhäsionen kommen kann und diese nicht in jedem Falle entfernt werden können. Da es auch zu einer Adhäsion von Silikonöl an Acryl- oder PMMA-Linsen kommen kann, ist es verwunderlich, dass bislang nicht von visusmindernden Fällen bei solchen Linsen berichtet wurde. Und dass es trotz Tröpfchenanlagerung in diesen Fällen zu keiner Beeinträchtigung kommt, ist unglaublich. So erscheint es seltsam, dass es trotz Öladhäsion an der PMMA-Linse nach IOL-Austausch wegen Silikonölbeneetzung an einer Silikonlinse zu einem ansteigenden Visus kommen kann (Bartz-Schmidt et al. 1995).

Vom klinischen Eindruck her scheinen die Sehstörungen durch die emulsifizierten und im Glaskörper zirkulierenden Silikonöltröpfchen ausgeprägter zu sein als in Gegenwart von Silikonöltröpfchen auf der Oberfläche des Implantats (Schmitz et al. 1997).

Am Hinterabschnitt zirkulierende Silikonöltröpfchen rufen eine sich ständig ändernde Streuung des einfallenden Lichtes hervor, was mehr bemerkt wird als eine Lichtstreuung durch statische Tröpfchen. Über das Ausmaß und die Ursache von Sehstörung pseudophaker und aphaker silikonöl-gefüllter Augen wurde durchaus berichtet (Dick et al. 1996, McCartney et al. 1987, Peterson 1989).

Es wird von Aaberg propagiert, dass bei Patienten mit einem erhöhten Risiko für eine Ablatio (eine der häufigsten Gründe für eine Silikonöleingabe) durch Netzhautlöcher, retinale Degenerationen, hohe Myopie, diabetische proliferative Retinopathie keine Silikonlinse eingesetzt werden soll, um die Gefahr der Silikonöladhäsion zu verkleinern (Apple et al. by Aaberg 1996).

Zum einen ist diese Gefahr sehr gering, zum anderen darf die Gefahr der übrigen Risiken wie Zonunolyse, Entfernung des gesamten Kapselsackes, Glaukom und Risiko der Re-Ablatio nicht außer Acht gelassen werden.

Wenn man diesen Überlegungen nachgeht, scheint das Risiko der Adhäsion verschwindend gering, so dass die Vorteile der Kleinschnitttechnik und somit die Minimierung der postoperativen Komplikationen (Koenig et al. 1992, Menchini et al. 1991) das Re-Ablatio-Risiko und die Grunderkrankung dennoch schwerer wiegen. Zumal die neuesten Techniken der Silikonölenfernung von Silikonlinsen und die oben erwähnte Technik zur Vermeidung hoffen lassen, dieses geringe Problem kalkuliert im Griff zu haben.

Diese Metaanalyse zeigt, dass die „state of the art“, keine Silikonlinsen bei Silikonöl Eingabe einzusetzen, nicht wissenschaftlich belegt ist.

5 Schlussfolgerungen

- Silikonöl hat sich zur intravitrealen Tamponade bei schweren vitreoretinalen Erkrankungen bewährt.
- Die Interaktion von Silikonlinsen und Silikonöl ist in vitro gut untersucht und zeigt eine hohe Benetzung der Linse von annähernd 100%. Silikonöl haftet mehr an hydrophoben als an hydrophilen IOLs.
- Eine 100%-ige Benetzung bei Silikonlinsen bewirkt jedoch eine gleichmäßigere Benetzung als eine bis zu 60%-ige Benetzung von hydrophilen Linsen. Inwieweit die Benetzung für den Patienten hindernd ist, ist ebenfalls nicht bekannt. Eine gleichmäßigere Benetzung führt zu einer geringeren Streuung und vermittelt einen homogeneren Bildeindruck, so dass Silikonlinsen sogar im Vergleich zu Polyacryl-Linsen im Vorteil sein könnten.
- Die Entfernung des Silikonöls von der IOL kann schwierig sein. Jedoch gibt es hierfür viele gute Ansätze (PFHO, O44).

- Was ist also die Lösung des Problems ?
Eventuell der Einsatz faltbarer heparinbeschichteter Silikon IOLs.

6 Zusammenfassung

Silikonöl wird seit vielen Jahren zur Tamponade bei vitreoretinalen Operationen verwendet. Ca. 1 von 19000 pseudophaken Patienten benötigt aufgrund einer Netzhauterkrankung Silikonöl zur Tamponade. Einige Autoren berichten über Adhäsionen von Silikonöl und Silikonlinsen. Diese kann nach Angaben der Autoren zu visuellen Problemen und Problemen bei der Entfernung führen. In den letzten Jahren sind immer mehr Ansätze zur erfolgreichen Entfernung von Silikonöl von IOLs entwickelt worden (PFHO, O44). Die bisherigen Studien zeigen, dass eine hohe Benetzung der Linse von annähernd 100% mit dem Silikonöl besteht. Silikonöl haftet mehr an hydrophoben als an hydrophilen IOLs. Leider sind die meisten Studien hierüber in vitro-Studien. Es werden daher keine Aussagen über die Beeinflussung des Patienten gemacht. Es wäre durchaus vorstellbar, dass eine 100%-ige Benetzung der IOL zu weniger Streuphänomenen führt als eine geringere Benetzung. Das würde bedeuten, dass in diesem Fall sogar hydrophobe IOLs Vorteile besitzen. Um dies abschließend sagen zu können, sind jedoch weitere in vivo-Studien nötig, die diesen Sachverhalt zwischen den verschiedenen Linsentypen vergleichen.

7 Literatur

- Abel LA, Dell'Osso LF, Daroff RB, Parker L. Saccades in extremes of lateral gaze.
Invest Ophthalmol Vis Sci 1997;18:324-327
- Apple DJ, Federman JL, Thaddeus TJ. Irreversible silicone oil adhesion to silicone
intraocular lenses: an clinicopathological analysis.
Ophthalmol 1996;103:1555-156 discussion by Aaberg Sr,1561-1562
- Apple DJ, Federman JL, Krolicki TJ, Sims JCR, Kent DG, Hamburger HA, Smiddy
WE, Cox MS, Thomas SG. Irreversible silicone oil adhesion to silicone
intraocular lenses, a clinicopathologic analysis.
Ophthalmol 1996;103:1555-1562
- Apple DJ, Isaacs RT, Kent DG, Matinez LM, Kim S, Thomas SG, Basti S, Barker D,
Peng Q. Silicone oil adhesion to intraocular lenses: an experimental study comparing
various biomaterials.
J Cataract Refract Surg 1997;23:536-544
- Arthur SN, Peng Q, Apple DJ, Escobar-Gomez M, Bianchi R, Pandey SK, Werner L.
Effect of Heparin Surface Modification in reducing Silicone Oil Adherence to various
Intraocular Lenses.
J Cataract Refract Surg 2001;27:1662-1669
- Auffarth GU, Apple DJ. Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen.
Ophthalmologe 2001;98:1017-1028
- Bartz-Schmidt KU, Kohnen W, Esser P, Walter P, Heimann K. Intraokulare
Silikonlinsen und Silikonöl.
Klin Monatsbl Augenheilkd 1995;207:162-166

- Batterbury M, Wong D, Williams R, Bates R. The adherence of silicone oil to standard and heparin-coated PMMA intraocular lenses.
Eye 1994;8:547-549
- Boghen D, Troost BT, Daroff RB, Dell'Osso LF, Birkett JE. Velocity characteristics of normal human saccades.
Invest Ophthalmol 1997;71:1044-1051
- Charles S. Principles and Techniques of vitreous surgery.
In: Ryan SJ (ed.) Retina, Vol. III, St. Louis, Mosby 1989;191-223
- Chin HP, Harrison EC, Blankenhorn DH, Moacanin J. Lipides in silicone rubber valve prosthesis after human implantation.
Circulation 1971;43 [Suppl] :51-56
- Cibis PA, Becker B, Okun E, Canaan S. The use of liquid silicone in retinal detachment surgery.
Arch Ophthalmol 1962;68:590-599
- Coonan P, WE, Webster RG, Jr., Allen AW, Jr., Abbott RL.. The incidence of retinal detachment following extracapsular cataract extraction. A ten year study.
Ophthalmology 1985;92:1096-1101
- Cunanan CM, Tarbaux NM, Knight PM. Surface properties of intraocular lens materials and their influence on in vitro cell adhesion.
J Cataract Refract Surg 1991;17:767-773
- Cunanan CM, Ghazizadeh M, Buchen SY, Knight PM. Contact-angle analysis of intraocular lenses.
J Cataract Refract Surg 1998;24:341-351
- Dick B, Augustin AJ. Solvent for Removing Silicone Oil from Intraocular Lenses.
J Cataract Refract Surg 2000, 26:1667-1672

- Dick B, Schwenn O, Stoffelns B, Pfeiffer N. Adhäsion von flüssigem Perfluorocarbon an verschiedenen IOL-Materialien; eine lichtmikroskopische Untersuchung. *Ophthalmologie* 1998;95:302-306
- Dick B, Stoffelns B, Pavlovic, Schwenn O, Pfeiffer N. Interaktion von Silikonöl mit verschiedenen Intraokularlinsen; eine licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchung. *Klin. Monatsbl Augenheilkd* 1997;211:192-206
- Dick B, Pavlovic, Jacobi FK, Eisenmann D, Jacobi KW. Objektive Bestimmung der Refraktionsänderung bei silikongefüllten Augen - Einfluss der Kopfposition auf die Refraktion. *Klin. Monatsbl Augenheilkd* 1996;208:459-466
- Eckhardt C, Nicolai U. Klinische und histologische Befunde nach mehrwöchiger intraokulärer Tamponade mit Perfluordecalin. *Ophthalmologie* 1993;90:443-447
- Effert R, Lommatzsch A, Wessing. Extracapsuläre Kataraktextraktion mit Phakoemulsifikation und Pars Plana Vitrektomie mit Silikonöltamponade in einer Sitzung. *Klin. Monatsbl Augenheilkd* 1992;201:244-246
- Effert R, Lommatzsch A, Wessing R, Bates R. Klinische Erfahrungen nach Implantation verschiedener Linsentypen bei Silikonöltamponade. *Klin. Monatsbl Augenheilkd* 1996; 208:467-471
- Federman JL, Schubert HD. Complications associated with the use of silicone oil on 150 eyes after retina-vitreous surgery. *Ophthalmol* 1988;95:870-876
- Falkner IC, Binder S, Kruger A. Outcome after Silicone removal. *Br. J Ophthalmol* 2001;85:1324-1327

- Franks WA, Leaver PK. Removal of silicone oil-rewards and penalties.
Eye 1991;5:333-337
- Frau E. Phakoemulsification combined with silicone oil removal through posterior capsulorhexis.
Br. J Ophthalmol 1999;83:1403
- Fricker SJ. Dynamic measurement of horizontal eye motion. Acceleration and velocity matrices.
Invest Ophthalmol 1971;10:724-732
- Gabel VP, Kampik A, Gabel C, Spiegel D. Silicone oil with high specific gravity for intraocular use.
Br J Ophthalmol 1987;71:262-267
- Georgopoulos M, Finde O, Menapace R, Buehl W, Wirtitsch M, Rain G. Influence of intraocular lens material on regenerative posterior capsule opacification after neodymium:YAG laser capsulotomy.
J Cataract Refract Surg 2003;8:1560-1565
- Glickman GM, Poole TA. Silicone intraocular lenses during vitrectomy.
Arch Ophthalmol 1987;105:1166
- Han DP, Murray TG, Boldt HC. Perfluoro-n-octane: evaluation of acute anterior segment toxicity with intravitreal use.
ARVO abstract 3107. Invest Ophthalmol Vis Sci 1992;33:1313
- Heidenkummer HP, Kampik A, Thierfelder S. Experimental evaluation of in vitro stability of polydimethylsiloxanes (silicone oil) in viscosity ranges from 1000 to 5000 centistokes.
Retina 1992;12:28-32

- Hoerauf H, Menz D-H, Dresch J, Laqua H. Use of O44 as a solvent for silicone oil adhesions on intraocular lenses.
J Cataract Refract Surg 1999;25:1392
- Horgan SE, Cooling RJ. Irreversible silicone oil adhesion (letter).
Ophthalmol 1996;104:898-899
- Kageyama T, Yaguchi S. Removing silicone oil droplets from the posterior surface of silicone intraocular lenses.
J Cataract Refract Surg 2000; 26:958-959
- Kampik A, Hoing C, Heidenkummer HP. Problems and timing in the removal of silicone oil.
Retina 1992;12:11-16
- Keen J. Later death due to escape of ball from mitral valve prosthesis
Thorac Cardiovasc Surg 1974;67:202-205
- Khawly JA, Lambert RJ, Jaffe GJ. Intraocular lens changes after short- and longterm exposure to intraocular silicone oil; an in vivo study.
Ophthalmology 1998;105:1227-1233
- Koenig SB, Mieler WF, Han DP, Abrams GW. Combined phakoemulsification, pars plana vitrectomy, and post chamber intraocular lens insertion.
Arch Ophthalmol 1992;110:1101-1104
- Kreiner CF. Chemical and physical aspects of clinically applied silicones.
Develop Ophthalmol 1987;14:11-19
- Kuckelkorn R, Meinert H, Becker J, Zeana D, Kirchhof B. Long term tolerance of vitreal semifluorinated alkanes in the experimental animal.
SOE/ IC BO Meeting, Budapest, June 2004

- Kulnig W, Skorpik C. Optical resolution of foldable intraocular lenses.
J Cataract Refract Surg 1990;16:211-216
- Kusaka S, Kodama T, Ohashi. Condensation of silicone oil on the posterior surface of a silicone intraocular lens during vitrectomy.
Am J Ophthalmol 1996;121:574-575
- Kutner BN. Posterior surface condensation on silicone IOLs (letter).
Ophthalmology 1995;102:1312
- Langefeld S, Kirchhof B, Meinert H, Roy T, Aretz A, Schrage NF. A new way of removing silicone oil from the surface of silicone intraocular lenses.
Arch Ophthalmol 1999;237:201-206
- Leaver PK, Complications of intraocular silicone oil.
In : Ryan SJ,(ed.) Retina, Vol. III, Chap.134, St Louis, Mosby 1994;2165-79,
- Leaver PK, Grey RHB, Garner A. Silicone oil injection in the treatment of massive preretinal reaction : II. Late complications in 93 eyes.
Br. J Ophthalmol 1979 ;63 :361-367
- Lo Cascio JA III, Hammer M, Rinder. Effect of selected liquid perfluorochemicals compared to high and low viscosity silicone oil on corneal stroma and endothelium.
ARVO abstract 60. Invest Ophthalmol Vis Sci 1985;26:145
- McCartney DL, Miller KM, Strak WJ, Guyton DL, Michels RG. Intraocular lens style and refraction in eyes treated with silicone oil.
Arch Ophthalmol 1987;105:1385-1387
- McLoone E, Mahon G, Archer D, Best R. Silicone oil - intraocular lens interaction: which lens to use?
Br. J Ophthalmol 2001; 85:543-545

- Mein CE. Posterior surface condensation on silicone IOLs (Letter)
Ophthalmology 1995;102:1412
- Menchini M, Azzolini C, Camesasca F, Brancato R. Combined vitrectomy, cataract extraction and post chamber intraocular lens implantation in diabetic patients.
Ophthalmic Surg 1991;22:69-73
- Nawrocki J, Ghoraba H, Gabel VP. Probleme der Silikonölentfernung.
Ophthalmologie 1993;90:258-263
- Nielsen NE, Naeser K. Epidemiology of retinal detachment following extracapsular cataract extraction: a follow-up study with an analysis of risk factors.
J Cataract Refract Surg 1993;19:675-680
- Öner H F, Saatci OA, Sarioglu S, durak I, Kaynak S, Cabuk M. Interaction of intraocular lenses with various concentrations of silicone oil: an experimental study.
Ophthalmologica 2003;217:124-128
- Parel JM. Silicone oil: physiochemical properties.
In: Glaser BM, Michels RG (eds.) Retina, Volume 3, St.Louis: CV Mosby, 1989;S.92:672-676
- Pavlovic S, Dick B, Schmidt KG, Tomic Z, Lahinovic S. Langzeitergebnisse nach Silikonölentfernung.
Ophthalmologie 1995;92:672-676
- Peterson J. Die Brechkraft intraokularer Linsen im Kontakt mit Silikonöl.
2. Kongress der DGII; Enke Verlag (Hrsg: Lang GK, Ruprecht K, Jacobi KW, Schott K 1989; S. 93-96
- Ridley H, Intraocular acrylic lenses.
Trans Ophthalmol Soc UK 1951;71:617-621

- Riedel KG, Gabel VP, Neubauer L, Kampik A, Lund OE. Intravitreal silicone oil injections: complications and treatment of 415 consecutive patients.
Arch Ophthalmol 1990;19:23
- Robertson JE Jr. The formation of moisture droplets on the posterior surface of intraocular lenses during fluid/gas exchange procedures (letter).
Arch Ophthalmol 1992;110:168
- Scott JD. A rationale for the use of liquid silicone.
Trans Ophthalmol Soc UK 1977;97:235-237
- Scott JD. The treatment of massive vitreous traction by the separation of pre-retinal membranes using silicone oil.
Mod Probl. Ophthalmol 1975;15:285-290
- Schmitz S, Dick B, Jahn R. Klinische und ultraschallbiomikroskopische Untersuchung der Silikonadhäsion auf Intraokularlinsen.
Klin. Monatsbl Augenheilkd 1997;210 (Suppl.):25
- Scholda C, Egger S, Laktis A, Walch k, von Eckardstein E, Biowski R. Retinal detachment after silicone oil removal.
Acta Ophthalmol Scand. 2000;78:182-186
- Senn P, Schmidt MK, Schipper I, Hendrickson P. Interaction between silicone oil and silicone intraocular lenses: an in vitro study.
Ophthalmic Surgery and Lasers 1997;28:776-779 no. 9
- Sparrow JR, Ortiz R, MacLeish PR, Shange S. Fibroblast behaviour at aqueous interfaces with perfluorocarbon, silicone and fluorosilicone liquids.
Invest Ophthalmol Vis Sci 1990;31:638-646
- Stolba U, Binder S, Velikay M, Wedrich A. Intraocular silicone lenses in silicone oil: an experimental study.
Arch Ophthalmol 1996;234:55-57

Watzke RC. Silicone retinopoesis for retinal detachment: a long-term clinical evaluation.

Arch Ophthalmol 1967;77:185-196

Weber U, Bullerkotte J. Kataraktoperation nach Silikonölchirurgie.

Ophthalmologe 1998;95:219-224

Zeana D, Schrage N, Kirchhof B, et al. Silicone oil removal from a silicone intraocular lens with perfluorohexylocane.

J Cataract Refract Surg 2000;26:301-302

Zivojnovic R, Mertens DA, Peperkamp E. Das flüssige Silikon in der Amotiochirurgie II, Bericht über 280 Patienten.

Klin Monatsbl Augenheilkd 1982;181:444-452

8 Lebenslauf

Angaben zur Person:

Name: Angelika Lindenschmid
Geburtsdatum/-ort: 28.10.1972 in Teheran/ Iran
Eltern: Vater: Richard Ernst Lindenschmid, Textilingenieur
Mutter: Rosik Lindenschmid, Hausfrau

Schulbildung:

1979 - 1980 Grundschole, Teheran
1980 - 1983 Grundschole, Nürtingen
1984 - 1992 Max-Planck-Gymnasium, Nürtingen
Mai 1992 Abitur

Berufsausbildung:

1993 - 1995 Studium der Zahnmedizin an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
August 1995 Zahnärztliche Vorprüfung (Vorphysikum)

1995 – 2001 Studium der Medizin an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
und an der Universität Wien

August 1996 Ärztliche Vorprüfung
August 1997 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
März 2000 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Mai 2001 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

2000 – 2001 Praktisches Jahr
 Ophthalmologie: Universitätsklinik Freiburg
 Innere Medizin: Mount Sinai Hospital, New York, USA
 General Hospital Toronto, Kanada
 Chirurgie: Stadtspital Waid, Zürich, Schweiz

2002 Beginn AiP am Diakonissenkrankenhaus Karlsruhe
 (Lehrkrankenhaus der Universität Freiburg)
 Fortsetzung AiP an der Universitätsklinik Regensburg

2004 Beginn Assistenärztin in Weiden
 (Praxis Dres. Gamringer & Kollegen)

2005 Fortsetzung Assistenzzeit an der Technischen Universität
 München, Klinikum rechts der Isar

Famulaturen:

1997 Chirurgie, Universitätsklinik Freiburg
 1998 Anästhesie, Chirurgisch-Anästhesiologische Gemeinschaftspraxis,
 Dres. Maskos/Lambert, Freiburg
 1998 Plastische Chirurgie, Universitätsklinik Freiburg
 1999 Innere Medizin Abt. Onkologie, Universitätsklinik Freiburg
 1999 Gynäkologie, Charité Berlin
 1999 Augenheilkunde, Universitätsklinik Freiburg

9 Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Lohmann danke ich für die Möglichkeit, dass ich diese Arbeit unter seiner Leitung durchführen konnte. Seine Arbeitsweise und sein Umgang mit Patienten hat entscheidend zu meinem Interesse und Engagement in der Ophthalmologie beigetragen.

Ganz besonders möchte ich meiner Familie für ihre Geduld und liebevolle Fürsorge bis zur Vollendung dieser Arbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt meiner Freundin Christina, die den Anfang des „roten Fadens“ fand und meinem Freund Christoph, der mir mit viel Geduld immer zur Seite stand.

Des weiteren danke ich Kathrin, Steffi, Andrea, Kathrin, Rabea, Sam, Doreen, Kathrin, den Schwestern der Praxis Gamringer und allen, die mich während dieser Zeit unterstützten.