

# Durchblick durch und durch

## Glasklare Sicht ohne viel zu putzen.

Im Folgenden möchten wir Ihnen von unserer Arbeit zum Thema Lotus-Effekt im Rahmen der Jugendforscht AG berichten. Wir haben über ein halbes Jahr an verschiedenen Stoffen geforscht, um aus ihnen ein Mittel herzustellen, das es ermöglicht, Glasscheiben mit dem Lotus-Effekt zu versiegeln.



Fenster werden schnell dreckig und müssen oft geputzt werden. Viele Menschen haben keine Zeit oder keine Lust, ihre Fenster regelmäßig zu putzen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, forschen wir nun, um ein Fensterputzmittel zu entwickeln, das nicht nur den Schmutz entfernt, sondern ihm auch vorbeugt. Wir testeten verschiedene Substanzen auf ihre Abperlfähigkeit. Auf verschiedene Weisen experimentierten wir, um die ideale Substanz oder Mischung zum Fensterputzen zu finden. Darunter waren Versuche um die Geschwindigkeit herauszufinden, mit der das Wasser von der Scheibe fließt oder ein Test, indem wir forschten, wie stark die Versiegelung das Wasser abweisen kann. Wir arbeiten weiter am totalen Durchblick und Sie können auf die Endfassung gespannt sein. Unsere Versiegelung soll länger halten und das Wasser wie auch der Schmutz sollen noch besser abperlen. Einfach genial! So werden Sie immer den Durchblick behalten und sehen bald schon mehr durch Ihre Scheibe, als Ihnen lieb ist.



## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	2
2. Versiegelungen .....	2
2.1 Was sind Versiegelungen, wofür? .....	2
2.2 Industrielle Versiegelungen .....	2
3. Vorarbeit zur Mischung: .....	3
3.1 Testung einzelner Reinstoffe .....	3
3.2 Mischung von Stoffen miteinander .....	4
4. Testreihen mit verschiedenen Stoffen .....	9
4.1 Schiefe Ebene .....	9
4.2 Versuche zur Tropfengröße: .....	11
4.3: Tests mit Schmutz: .....	12
5. Zusammenfassung der Ergebnisse: .....	13
5.1 Das muss ein optimales Gemisch leisten .....	13
5.2 Was ist unser bestes Gemisch? .....	13
5.3 Ein Vergleich mit der Industrie: .....	14
6. Resümee .....	14
6.1: Erfolgreich – Mittel gefunden? .....	14
6.2: Was war gut, was schlecht? .....	14
6.3: Was muss verbessert werden? .....	15
7. Quellen: .....	15

## 1. Einleitung

Im Folgenden möchten wir Ihnen von unserer Arbeit zum Thema Lotus-Effekt im Rahmen der Jugendforscht AG berichten.

Unsere Arbeit basiert darauf, dass Wassertropfen durch eine Schicht wasserabweisenden Materials davon abgehalten werden, auf einer Glasscheibe zu haften. Somit bleibt die Glasscheibe meist trocken, nachdem Wasser darüber gelaufen ist. Dadurch ist es möglich, den Schmutz ohne aufwändiges Putzen von Scheiben abzuwaschen. Entweder muss Wasser auf die Scheibe gespritzt werden oder das Glas reinigt sich während des Regens selbst.

Dieser Effekt tritt in der Natur bei einigen Pflanzenarten auf, auch bei der namensgebenden Lotus-Pflanze. Ihre Blätter sind mit Wachsen beschichtet, die es ermöglichen, den sich mit der Zeit auf ihnen absetzenden Schmutz einfach mit dem Regen von ihren Blättern abzuspülen. Mit der Zeit wurde diese Technik auch vom Menschen übernommen, der mit chemischen Gemischen wasserabweisende Beschichtungen für fast alles entwickelte: Für Autolackierungen, Fassadenfarben oder Stiefel, an denen der Schlamm beim Hineintreten nicht festklebt, sondern einfach abfließt.



*Bild: Lotuseffekt auf Muschelpflanze; Wikimedia Foundation, Q: 25*

Wir wollten ebenfalls den Lotus-Effekt erforschen und ein Mittel entwickeln, welches einer Oberfläche wasser- und schmutzabweisende Eigenschaften verleiht. Als Oberfläche dafür wählten wir Glas, welches ohne eine solche Beschichtung im Normalfall mit der Zeit verdreckt und dann gereinigt werden muss. Bereits existierende Produkte nutzten wir als Vergleichsmaterial und wollten selbst einmal versuchen ein Mittel herzustellen, das in der Lage ist, eine Glasscheibe genauso gut oder besser zu versiegeln und kostengünstiger ist. Q: 15

## 2. Versiegelungen

### 2.1 Was sind Versiegelungen, wofür?

Versiegelungen, Beschichtungen für Glasscheiben, dienen zur Abweisung von Wasser und Schmutz. Dazu benötigt man einen wasserabweisenden Stoff. Wachse sind die wohl besten Substanzen, die alle Anforderungen erfüllen, die für eine Versiegelung notwendig sind. Reine Wachse sind auf einer Oberfläche nur schwer zu verteilen, weil sie bei Normaltemperatur meistens fest sind. Auch flüssigere Wachse (wie zum Beispiel Silikone) lassen das Verteilen bei Raumtemperatur kaum zu, weil sie immer noch zu dickflüssig sind. Eine Möglichkeit, dem Problem entgegenzuwirken, ist das Erhitzen des Wachses. Jedoch lassen sich größere Mengen nur unter sehr viel Aufwand schmelzen und das heiße Wachs kühlt auf einer Glasscheibe zu schnell ab, um glatt verstrichen werden zu können. Es gäbe zwar die Möglichkeit, das Glas ebenfalls zu erhitzen, jedoch besteht dann die Möglichkeit, dass es springt. Die naheliegende Verhinderung dieser Problematik ist das Lösen des Wachses in einem entsprechenden Lösungsmittel. So ist es möglich, die Mischung im flüssigen Zustand einfach aufzutragen und gleichmäßig zu verteilen. Es gibt mehrere Lösungsmittel, die dafür in Frage kommen. Dabei ist es wichtig, dass das Lösungsmittel flüchtig genug ist. Bei Ölen ist es beispielsweise so, dass sie das Wachs zwar lösen, sich nach dem Verteilen aber nicht verflüchtigen, d.h. dass das Gemisch vom Wasser einfach abgespült werden kann.

### 2.2 Industrielle Versiegelungen

Als Beispiel verwendeten wir die industrielle Heureka Nano Versiegelung, die durch Nano-Teilchen den Lotus-Effekt erzeugt. Umso eine Versiegelung herstellen zu können, bestellten wir uns das Produkt im Onlineshop um erste Tests durchzuführen. Wir hatten zwei Ziele: Erstens wollten wir einen Eindruck von einer funktionierenden Versiegelung bekommen, um festzustellen, was eine

handelsübliche Versiegelung kann. Dieses Wissen war sehr wichtig, um Tests für die eigenen Gemische zu entwickeln. Zweitens wollten wir einige Inhaltsstoffe herausfinden, um unsere Gemische dem fertigen Produkt anzugleichen. Es ist uns jedoch nicht gelungen, die Inhaltsstoffe herauszufinden, weil die Mischung vermutlich ein Firmengeheimnis ist. Daher waren wir gezwungen unser Produkt komplett selbst zu entwickeln. *Q: 14*

### 3. Vorarbeit zur Mischung:

#### 3.1 Testung einzelner Reinstoffe

Zu allererst hatten wir begonnen, Stoffe für den Abperltest zu verwenden, von denen wir aus dem Alltag von der wasserabweisenden Wirkung wussten. Wir untersuchten diese Stoffe an Hand verschiedener Kriterien. Hierzu zählten die Abperlfähigkeit, Rückstände auf der Glasscheibe oder auch die Geschwindigkeit, mit der die Tropfen auf der Scheibe abperlten. Nach dem Vortest entschieden wir, ob der Stoff dann ggf. für weitere Versuche in Frage kommen würde. Folgende Stoffe haben wir getestet:

Heureka Nano Versiegelung (Industrie): Nach dem Auftragen der Heureka Nano Versiegelung, die wir zu Beginn des Projektes als Anschauung gekauft hatten, stellten wir fest, dass der Abperleffekt gut ist, jedoch kleine Rückstände, die auch später auf der Glasscheibe blieben, auf der Glasscheibe waren. Außerdem hat die Versiegelung von Heureka nicht besonders lange gehalten, sodass wir oft eine neue Scheibe versiegeln mussten, um einen guten Effekt wie zu Beginn zu erhalten. Außerdem war die Nano Versiegelung auf den Glasscheiben mit nicht mehr sehr gutem Effekt sehr schlecht entfernbar, sodass man die Scheiben direkt auf die ursprüngliche Schicht versiegeln musste, was auch nicht so gut funktioniert hat.

Paraffin (Wachsgranulat): Der Wassertropfen ist kugelförmig und weist einen guten Abperleffekt auf. Es bleiben außerdem fast keine Rückstände des Wassertropfens auf der versiegelten Glasscheibe. Auch nach zwei Monaten weist die Scheibe noch einen ausreichenden Abperleffekt auf, man kann die kugelige Form des Wassertropfens noch erkennen, auch wenn der Abperleffekt nicht mehr so gut wie am Anfang ist.

Kerzenwachs: Das Kerzenwachs haben wir mit einem Teil eines Teelichtes hergestellt. Nachdem wir ungefähr ein Viertel eines Teelichts abgetrennt hatten, haben wir dieses mit dem Spatel und später mit einem Mörser so verkleinert, dass wir es auf die Scheibe auftragen konnten. Doch wir stellten fest, dass das Kerzenwachs als Versiegelung nicht geeignet ist, weil der Abperleffekt nicht gut ist und es auch viele Rückstände auf der Scheibe gibt. Deswegen ist Kerzenwachs bereits früh aus unserer Auswahl gefallen.

Silikon (Silikonpaste): Die Silikonpaste (mittelviskoses Schlißfett) weist nach dem Auftragen einer Schicht auf die Glasscheibe einen sehr überzeugenden Abperleffekt auf. Es bleiben auch kaum Rückstände des Wassertropfens auf der Glasscheibe. Auch nach einem Monat wurden keine großen Veränderungen des Abperleffekts festgestellt und es ist auch auffällig, dass auch nach einem Monat immer noch keine Wasserrückstände auf der Glasscheibe zu beobachten waren.

Cetylalkohol (-plättchen): Die Cetylalkoholplättchen waren schwer zu verarbeiten und auf die Glasscheibe aufzutragen. Der Abperleffekt des Cetylalkohols war nicht so gut, jedoch besser als bei Kerzenwachs. Deshalb haben wir Cetylalkohol im Hinterkopf behalten, weil es in einem Gemisch vielleicht von Vorteil sein könnte.

Petrolatum/Vaseline: Der Abperleffekt von Vaseline war befriedigend, es fiel aber auf, dass die Tropfen zwar besonders gut aber nicht reibungslos abperlten. Auf der schlecht durchsichtigen, weißen Glasscheibe blieben ein paar Rückstände, sodass wir Vaseline als Reinstoff nicht verwenden konnten. Mit Vaseline haben wir aber einen guten Ergänzungsstoff gefunden.

Bienenwachs: Auch das Bienenwachs weist wie das Kerzenwachs keinen guten Abperleffekt auf. Außerdem war es beim Auftragen auch nicht handlich, da wir Probleme hatten, das Bienenwachs überhaupt auf die Glasscheibe zu bekommen. Die Tropfen wurden auf der fertig versiegelten nicht kugelförmig, sondern verhielten sich wie ein Tropfen auf einer normalen Glasscheibe. Deswegen haben wir auch das gelbe Bienenwachs nicht weiter in Betracht gezogen.

## 3.2 Mischung von Stoffen miteinander

### 3.2.1: Silikon und Vaseline:

Unser erstes Gemisch war Silikon und Vaseline, weil wir herausgefunden hatten, dass Silikon zwar sehr kugelförmige Tropfen hervorbringt, diese aber nicht wirklich schnell und daher auch nicht so erfolgreich abperlen. Bei Vaseline beobachteten wir, dass die Wassertropfen sehr schnell und meist auch erfolgreich abperlen, die Tropfen aber nicht so kugelförmig waren und keinen sehr guten Lotuseffekt vorwiesen. Da wir aber alle Eigenschaften der beiden Substanzen in Einem bräuchten, hatten wir uns entschieden, ein Gemisch aus Vaseline und Silikon herzustellen.



Bild: Vaseline - Silikon Gemisch; Elias Mitropoulos

Ergebnis: Der Versuch war nicht erfolgreich. Wir vermuteten, dass sich die beiden Substanzen beim Vermischen im Mörser gegenseitig gelöst haben und die Salbe, die wir dann auf der Glasscheibe auftragen nichts mit den beiden Ursprungsstoffen zu tun hatte. Denn der Abperleffekt war nicht mal annähernd so gut, wie zum Beispiel nur die Vaseline zu vor, es bildeten sich keine runden Tropfen mehr. Die Wassertropfen verhielten sich wie auf einer unversiegelten Glasscheibe und es gab dementsprechend auch Rückstände auf der Glasscheibe. Auch die Veränderung der Mengenparameter von 50:50 auf Vaseline: 25:75: Silikon änderte nichts. Das Gemisch war für unser Ziel nicht zu gebrauchen und wir verfolgten es nicht weiter.

### 3.2.2: Vaseline und Cetylalkohol:

Weil wir von Vaseline trotz des missglückten Versuchs mit der Silikonpaste überzeugt waren, versuchten wir ein weiteres Gemisch mit Vaseline. Da wir ja auch noch Cetylalkohol final testen wollten, haben wir uns entschieden, ein Gemisch aus Vaseline und den Cetylalkoholplättchen herzustellen. Nach der Produktion des Gemischs erhielten wir eine robuste Masse. Davor hatten wir die Cetylalkoholplättchen mit der Vaseline Creme im Mörser vermischt und danach verrührt.

Ergebnis: Mit dem 50:50 Gemisch aus Cetylalkoholplättchen und Vaseline perlten die Wassertropfen zwar schnell auf der Glasscheibe ab, diese verhielten sich aber so wie auf einer normalen Glasscheibe. Die Versiegelung brachte nichts, sie war nur dafür verantwortlich, dass die Scheibe hinterher weißlich eingefärbt war. Des Weiteren verhielt sich die versiegelte Glasscheibe auch wie eine ganz normale, unversiegelte Glasscheibe.



Bild: Produkt Vaseline von Balea ®; Elias Mitropoulos

### 3.2.3: Silikon und Paraffin:

Zuerst haben wir 7,5 Gramm vom Paraffin mit dem Bunsenbrenner erhitzt und gaben anschließend das erhitzte Paraffin in eine Schüssel und verrührten dieses dann mit 7,5 Gramm Silikon. Das fertige Gemisch war eine pastenartige Creme und hatte keine wirklich flüssige Konsistenz, so wie wir es erwartet hatten. Das Paraffin wurde in der Schüssel hart und die zum Teil flüssige Silikonpaste konnte die Creme nicht mehr so verflüssigen. Beim Auftragen auf die gespülte Glasscheibe hatten wir Probleme, weil die Creme zu fest war. Die Scheibe färbte sich sehr weiß, sodass dieses Gemisch nicht wirklich erfolgreich war. Wir mussten das Gemisch noch flüssiger bekommen, um dieses verwenden zu können.



Bild: Gemisch aus Paraffin und Silikonpaste; Elias Mitropoulos

Weiterführend haben wir uns überlegt, das Paraffin direkt auf die Glasscheibe zu geben und bereits davor mit der anderen Substanz im Reagenz zu vermischen um das Verfestigen des Gemisches vor dem Auftragen zu verhindern. Wir versuchten in ersten Testphasen nur mit Paraffin, eine 50 °C erwärmte Glasscheibe sehr dünn zu versiegeln. Wir nahmen dazu eine Laminat Folie, um das Wachsgranulat glatt aufzutragen. Doch das Paraffin wurde trotz der erwärmten Glasscheibe sofort hart und es gelang uns nicht, dieses vollständig zu verstreichen. Nach dem Polieren der Glasscheibe war aber leider auch kein optimaler ABERLEFFEKT mehr vorzufinden.

### 3.2.4: Silikon und Paraffin mit Shellsol

Weil das Paraffin und Silikon als Gemisch selbst zu hart war, mussten wir uns überlegen, wie es möglich ist, dieses Gemisch noch flüssiger zu machen. Von einem früheren Projekt gab es in der Sammlung ein Lösungsmittel namens Shellsol (Isoaliphatenlösemittel), mit welchem wir weiter an dem Silikon und Paraffin Gemisch testeten. Q: 4, Q: 10

Wir nahmen 5 Gramm Silikonpaste und 5 Gramm Paraffin und erhitzen beides gleichzeitig in einem Wasserbad. Nachdem die beiden Substanzen erhitzt worden waren, gaben wir noch 10 Milliliter des Shellsol Lösemittels dazu und erhitzen noch zwei weitere Minuten. Danach gaben wir unser erhitztes Gemisch in einer kleinen Menge auf eine 45 °C im Wärmeschrank erwärmte Glasscheibe und

verstrichen das flüssige Gemisch zügig mit einem Spachtel auf der Glasscheibe. Anschließend ließen wir die versiegelte Glasscheibe im Abzug trocknen, bis die Versiegelung auf der Glasscheibe vollständig getrocknet war. Nach dem Trocknen konnten wir feststellen, dass die Wassertropfen auf der Glasscheibe einen Abperleffekt aufweist und - was für uns erst wichtiger war - die Glasscheibe war viel durchsichtiger als zuvor. Der erste Test mit Shellsol war erfolgreich und brachte uns ein ganzes Stück voran. Wir haben durch den Versuch bewiesen, dass auch das Gemisch aus Paraffin und Silikon gut ist und dass wir mit diesem erstmal weiter testen konnten.



*Bild: Reagenzglas mit Paraffin und Silikon im Abzug neben Shellsol; Elias Mitropoulos*

### 3.2.5: Silikon und Wachsgel mit Speiseöl:

Weil die Glasscheibe beim Versuch mit Paraffin und Silikon mit Shellsol am Ende zwar schon viel durchsichtiger als zuvor, aber eben nicht vollständig durchsichtig war. Daher haben wir weitere Recherchen über durchsichtige Wachse durchgeführt. Wir wählten für unsere weiteren Versuche ein farbloses Wachsgel aus dem *buttinette-* Bastelonlineshop aus. *Q: 17*

Zuerst gaben wir 5 Gramm des Wachsgels und 5 Gramm der Silikonpaste wieder in ein Reagenzglas und erhitzen dieses in einem Wasserbad. Wir gaben nachdem die beiden Substanzen erhitzt worden waren auch noch 10 Milliliter *Ja!* - Speiseöl hinzu und erhitzen noch etwa zwei weitere Minuten. Danach versiegelten wir eine gespülte Glasscheibe mit dem Gemisch und glätteten es mit einer Laminat Folie. Anschließend legten wir die versiegelte Glasscheibe in den Abzug und ließen die Glasscheibe dort einen Tag trocknen.



Weil sich das Speiseöl auf der Glasscheibe nicht verflüchtigte, probierten wir es danach mit Shellsol, um herauszufinden, ob der Versuch mit Silikon und Wachsgel mit Speiseöl auch wirklich am Öl scheiterte

*Bild: Fertig „getrocknete“ Silikon und Wachsgel mit Speiseöl Glasscheibe; Elias Mitropoulos*

### 3.2.6: Silikon und Wachsgel mit Shellsol:

Weil sich das Speiseöl auf der Glasscheibe nicht verflüchtigte, probierten wir es danach mit Shellsol, um herauszufinden, ob der Versuch mit Silikon und Wachsgel mit Speiseöl auch wirklich am Öl scheiterte.

Zuerst erhitzen wir 5 Gramm Silikonpaste und 5 Gramm Wachsgel in einem Reagenzglas, welches in einem Wasserbad stand und gaben nachdem die beiden Substanzen erhitzt worden waren 10 Milliliter des Shellsols in das Reagenzglas hinzu. Danach erhitzen wir noch eine kurze Zeit und versiegelten dann eine 45 °C erwärmte, gespülte Glasscheibe mit dem Gemisch. Wir strichen das Gemisch mit einem Fensterwischer in eine Richtung glatt, damit das Gemisch auf der Glasscheibe nicht unregelmäßig aufgetragen wird. Anschließend ließen wir die fertig versiegelte Glasscheibe im Abzug eine Woche lang trocknen.

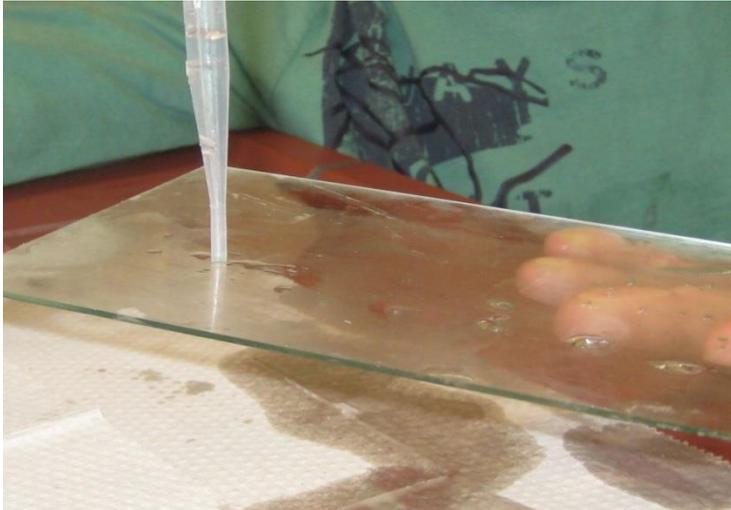
Nach einer Woche ist die Glasscheibe zwar durchsichtig, aber immer noch feucht, sodass man die Versiegelung einfach wegwischen könnte. Des Weiteren ist ein Abperleffekt nicht vorhanden, Wassertropfen spülen auf der Glasscheibe nur das feuchte Gemisch ab. Daraus folgerten wir, dass das Wachsgel für die Verflüssigung verantwortlich aber bei Raumtemperatur nicht flüchtig ist.



*Bild: Silikon und Wachsgel mit Shellsol Glasscheibe; Elias Mitropoulos*

### 3.2.7: Silikon und Paraffin mit Speiseöl:

Wir fanden heraus, dass das Wachsgel für eine Verflüssigung des Gemisches sorgte, doch im Gegensatz zum Lösungsmittel härtete das Gemisch nicht wieder aus, was dazu führte, dass die Versiegelung nicht auf der Oberfläche haften konnte. Daher beschlossen wir, das Speiseöl als Lösungsmittel weiterhin zu testen. Da sich somit das Wachsgel als unbrauchbar herausgestellt hat, fokussierten wir uns wieder auf Paraffin (Wachsgranulat). Hierfür nahmen wir zuerst 3 Gramm der Silikonpaste und 3 Gramm des Paraffins und erhitzen beides in einem Reagenzglas, welches in einem Wasserbad stand. Nachdem die beiden Substanzen erhitzt worden waren, gaben wir 10 Milliliter des Ja! – Speiseöls in das Reagenzglas dazu und erhitzen danach noch zwei weitere Minuten, ehe wir eine 45 °C erwärmte, gespülte Glasscheibe im Abzug sehr dünn mit dem Gemisch versiegelten. Wir strichen das Gemisch mit einem Fensterwischer glatt. Nach dem Trocknen der Glasscheibe im Abzug haben wir eine eigentlich komplett durchsichtige Glasscheibe erhalten. Doch der Abperleffekt ist nur mäßig und es bleiben Rückstände auf der Glasscheibe zurück. Auch mit einer noch dickeren Schicht konnten wir das Problem nicht lösen, weil auch dort der Abperleffekt nicht besser wird und die Rückstände sich sogar noch vermehren. Außerdem konnten wir beobachten, dass sich das Gemisch wegen des Speiseöls langsam abspülen lässt. Deswegen war Speiseöl nichtmehr für uns zu gebrauchen und wir mussten etwas anderes suchen.



*Bild: Die verschmutzte Silikon und Paraffin mit Speiseöl Glasscheibe; Elias Mitropoulos*

### 3.2.8: Silikon und Paraffin mit Aceton:

Auf der Suche nach einem weiteren Lösungsmittel für unsere Gemische, weil Speiseöl doch nichts für unsere Gemische war, wurde uns von unseren Betreuern Aceton empfohlen.

Für unser Gemisch nahmen wir 5 Gramm der Silikonpaste und 5 Gramm des Paraffins und füllten beides in ein großes Reagenzglas. Anschließend erhitzen wir dieses in einem Wasserbad. Nachdem die beiden Substanzen erhitzt worden waren gaben wir noch 10 Milliliter des Acetons hinzu und erhitzen noch weitere Momente. Danach versiegelten wir eine 45 °C erwärmte, gespülte Glasscheibe mit dem Gemisch und versuchten, das Gemisch mit einem Fensterwischer wieder zu glätten, damit das Gemisch auf der Glasscheibe nicht unregelmäßig aufgetragen wurde. Doch zu unserem Erstaunen siedete das Aceton so früh, dass das Paraffin in Teilen wieder direkt fest wurde und wir das Gemisch deshalb nicht verwenden konnten. *Q: 4, Q: 10*

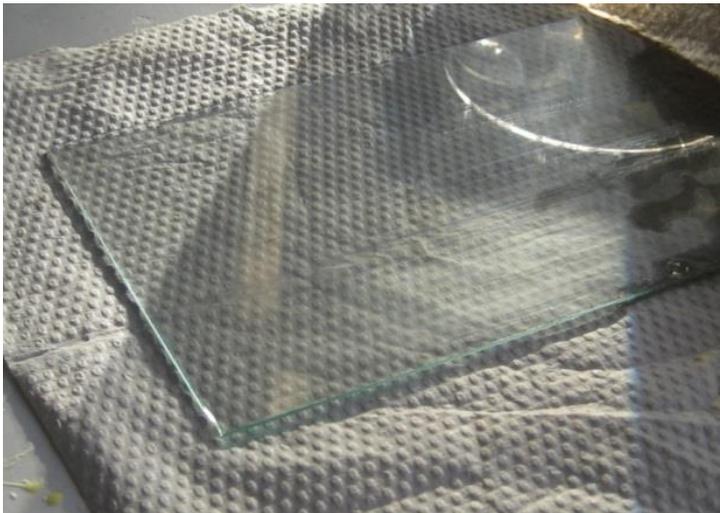


*Bild: Die „fertige“ Silikon und Paraffin mit Aceton Glasscheibe; Elias Mitropoulos*

### 3.2.9: Silikon mit Shellsol:

Weil wir uns zum Schluss dann noch die Frage stellten, ob wir das Paraffin in unserem Gemisch überhaupt brauchen oder ob auch Silikon mit einem Lösungsmittel eine gute Scheibe erzeugt, da Silikon ja als Reinstoff schon sehr gut war, die Tropfen bei geringem Scheibenwinkel aber nicht abperlten, sondern nur ihre Hydrophobität unter Beweis stellten, dachten wir uns, dass wir die mit Silikon versiegelte Scheibe vielleicht mit einem Lösungsmittel noch ein Stück durchsichtiger bekommen könnten.

Für das letzte Gemisch unserer Reihe nahmen wir 5 Gramm der Silikonpaste und 10 Milliliter von unserem bewährten Lösungsmittel namens Shellsol. Beides erhitzen wir in einem großen Reagenzglas, welches in einem Wasserbad stand. Nach dem Erhitzen der beiden Substanzen versiegelten wir eine 45 °C erwärmte, gespülte Glasscheibe und strichen anschließend unser Gemisch mit einem Fensterwischer auf der frisch versiegelten Glasscheibe glatt. Als die Scheibe einen Tag später getrocknet war, war die Glasscheibe komplett durchsichtig, aber trotzdem war der Abperleffekt nicht mehr so gut, wie bei der Glasscheibe mit reiner Silikonpaste. Es blieben des Weiteren sehr viele Rückstände auf der Glasscheibe, sodass für uns klar war, dass wir das Paraffin in unserem Gemisch doch brauchen, weil das Gemisch sonst nicht komplett hart wird. Die Scheibe ist mit dem Gemisch mit Paraffin zwar etwas trüb, aber trotzdem funktioniert sie eindeutig besser als die Silikon mit Shellsol Glasscheibe, die nicht an die Glasscheibe mit reiner Silikonpaste, welche wir am Anfang unter den Reinstoffen auch einzeln testeten, herankam.



*Bild: Die durchsichtige Silikon mit Shellsol Glasscheibe; Elias Mitropoulos*

## 4. Testreihen mit verschiedenen Stoffen

Immer nachdem wir einen Stoff bzw. ein Gemisch finden konnten, das uns bei den Abperltests total überzeugt hatte, machten wir mit diesem oft eine Reihe von Versuchen, um die Substanzen weiter zu testen und weitere Verbesserungsmöglichkeiten herauszufinden. Hierzu zählten unter anderem die schiefe Ebene, der Test mit der Tropfengröße und die Tests mit Schmutz.

### 4.1 Schiefe Ebene

Um die Abperlfähigkeit und die Abperldauer von Wassertropfen auf bestimmten versiegelten Glasscheiben zu testen, stellten wir die schiefe Ebene, auf verschiedene Winkel ein, legten eine Glasscheibe darauf und betropften diese am oberen Ende mit einem Wassertropfen und stoppten die Zeit, die dieser benötigte, um zur anderen Seite zu gelangen. *Q: 1*



*Bild: „Schiefe Ebene“ Versuch mit unversiegelter Scheibe; Joey Budnick*

#### 4.1.1 Untersuchungsergebnisse der Abperl- und Abtropfeffekte der hergestellten Scheiben auf der Schiefen Ebene

Art	Winkel	Menge	Größe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Normal	5°	1 ml	11,5 cm	12 s	5,0 s	4,4 s	4,5 s	7,0 s	26 s	6,0 s	20 s	10 s	9,6 s	12,5 s	9,9 s	3,5 s	5,8 s	8,0 s
Normal	10°	1 ml	11,5 cm	3,8 s	5,1 s	3,2 s	1,8 s	2,3 s	0,5 s	2,8 s	4,0 s	2,0 s	3,1 s	2,0 s	1,1 s	0,9 s	1,8 s	0,8 s
Normal	20°	1 ml	11,5 cm	0,9 s	0,6 s	0,6 s	0,3 s	0,5 s	1,0 s	0,7 s	0,9 s	0,6 s	0,2 s	1,1 s	0,8 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s

Art	Winkel	Menge	Größe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Silikon	5°	1 ml	11,5 cm	<b>Der Wassertropfen bewegt sich auf der Glasscheibe nicht!</b>														
Silikon	10°	1 ml	11,5 cm	0,9 s	0,9 s	0,5 s	1,0 s	0,7 s	0,9 s	1,5 s	0,7 s	0,5 s	0,4 s	1,0 s				
Silikon	20°	1 ml	11,5 cm	0,5 s	0,3 s	0,6 s	0,4 s	0,5 s	0,3 s	0,7 s	0,3 s	0,5 s	0,4 s	0,5 s	0,3 s	0,6 s	0,4 s	0,6 s

Art	Winkel	Menge	Größe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SPS*	5°	1 ml	11,5 cm	<b>Der Wassertropfen bewegt sich auf der Glasscheibe nicht!</b>														
SPS*	10°	1 ml	11,5 cm	1,0 s	0,9 s	0,9 s	2,0 s	1,2 s	3,2 s	1,5 s	1,3 s	1,5 s	1,7 s	1,8 s	1,2 s	0,8 s	0,9 s	0,7 s
SPS*	20°	1 ml	11,5 cm	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,8 s	0,6 s	0,6 s	0,4 s	0,8 s	0,5 s	0,6 s	0,6 s	0,4 s	0,5 s	1,0 s
SPS*	30°	1 ml	11,5 cm	0,3 s	0,2 s	0,1 s	0,5 s	0,3 s	0,4 s	0,3 s	0,2 s	0,3 s	0,3 s	0,3 s	0,4 s	0,2 s	0,1 s	0,3 s

\*Silikon und Paraffin mit Shellisol Glasscheibe



Die Versuche mit der Schiefen Ebene wurden nur mit dem besten Reinstoff und dem besten Gemisch durchgeführt und dokumentiert, wegen dem zeitlichen Aufwand, den so ein Versuch mit sich bringt.

## 4.2 Versuche zur Tropfengröße:

Um die unterschiedlichen hydrophoben (wasserabweisende) Eigenschaften der verschiedenen Substanzen feststellen zu können, haben wir die Tropfengröße exemplarisch auf einer versiegelten Glasscheibe bestimmt. Wir legten dafür Millimeterpapier unter eine versiegelte Glasscheibe. Dann nahmen wir immer einen Milliliter Wasser mit einer Glaspipette auf und tropften das Wasser anschließend sofort zügig auf die (versiegelte) Glasscheibe. Ablesen konnten wir den Durchmesser (DM) durch die Kästchen auf dem Millimeterpapier. Es gab bei jedem außer dem Versuch mit der unversiegelten Glasscheibe jeweils drei Testreihen.

### 4.2.1 Glasscheibe: Unversiegelt:

Tropfen	Menge	Durchmesser
1.	1 ml	8 mm
2.	1 ml	10 mm
3.	1 ml	8 mm
4.	1 ml	9 mm
5.	1 ml	7 mm
6.	1 ml	8 mm
7.	1 ml	10 mm
8.	1 ml	8 mm
9.	1 ml	12 mm
10.	1 ml	12 mm
11.	1 ml	10 mm
12.	1 ml	7 mm
13.	1 ml	10 mm
14.	1 ml	11 mm
15.	1 ml	10 mm
16.	1 ml	6 mm
17.	1 ml	9 mm
18.	1 ml	8 mm
19.	1 ml	9 mm
20.	1 ml	8 mm

### 4.2.2 Glasscheibe: Paraffin (Wachsgranulat):

Tropfen	Menge	1. DM	2. DM	3. DM
1.	1 ml	6 mm	6 mm	5 mm
2.	1 ml	5 mm	5 mm	5 mm
3.	1 ml	6 mm	6 mm	5 mm
4.	1 ml	6 mm	5 mm	6 mm
5.	1 ml	5 mm	5 mm	5 mm
6.	1 ml	5 mm	5 mm	6 mm
7.	1 ml	6 mm	5 mm	6 mm
8.	1 ml	5 mm	5 mm	7 mm
9.	1 ml	6 mm	4 mm	7 mm
10.	1 ml	4 mm	6 mm	5 mm
11.	1 ml	4 mm	6 mm	5 mm
12.	1 ml	5 mm	5 mm	6 mm
13.	1 ml	4 mm	6 mm	6 mm
14.	1 ml	5 mm	5 mm	6 mm
15.	1 ml	6 mm	6 mm	7 mm
16.	1 ml	5 mm	5 mm	6 mm
17.	1 ml	8 mm	7 mm	5 mm
18.	1 ml	5 mm	7 mm	5 mm
19.	1 ml	8 mm	6 mm	5 mm
20.	1 ml	5 mm	6 mm	5 mm

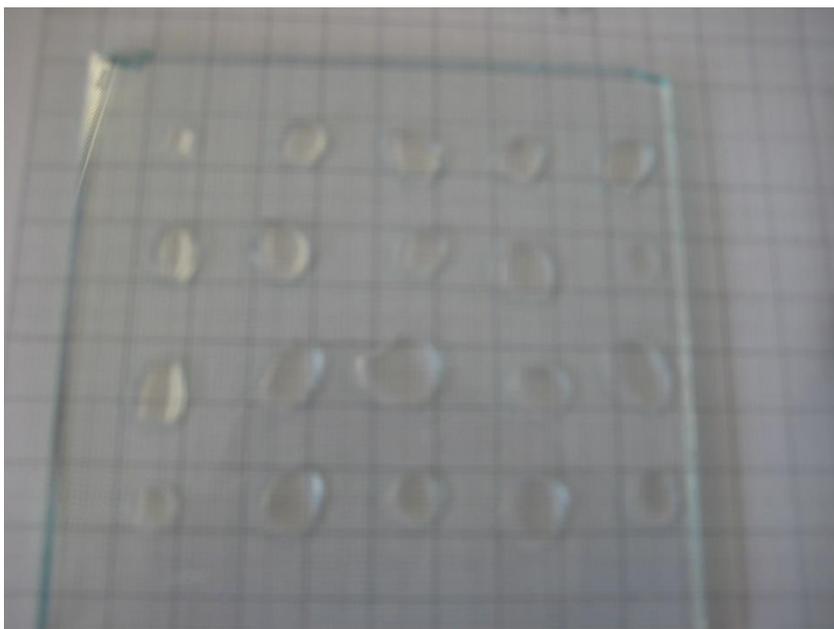


Bild: Wassertropfen auf einer unversiegelten Glasscheibe; Elias Mitropoulos

#### 4.2.3: Glasscheibe: Silikonpaste:

Tropfen	Menge	1.DM	2.DM	3.DM
1.	1 ml	6 mm	6 mm	7 mm
2.	1 ml	6 mm	5 mm	5 mm
3.	1 ml	5 mm	5 mm	5 mm
4.	1 ml	8 mm	4 mm	6 mm
5.	1 ml	5 mm	5 mm	6 mm
6.	1 ml	7 mm	4 mm	6 mm
7.	1 ml	7 mm	5 mm	5 mm
8.	1 ml	5 mm	4 mm	5 mm
9.	1 ml	6 mm	5 mm	7 mm
10.	1 ml	9 mm	5 mm	7 mm
11.	1 ml	6 mm	6 mm	7 mm
12.	1 ml	5 mm	5 mm	7 mm
13.	1 ml	7 mm	5 mm	5 mm
14.	1 ml	7 mm	4 mm	5 mm
15.	1 ml	9 mm	4 mm	7 mm
16.	1 ml	4 mm	5 mm	7 mm
17.	1 ml	5 mm	5 mm	5 mm
18.	1 ml	6 mm	4 mm	5 mm
19.	1 ml	6 mm	5 mm	5 mm
20.	1 ml	7 mm	5 mm	5 mm

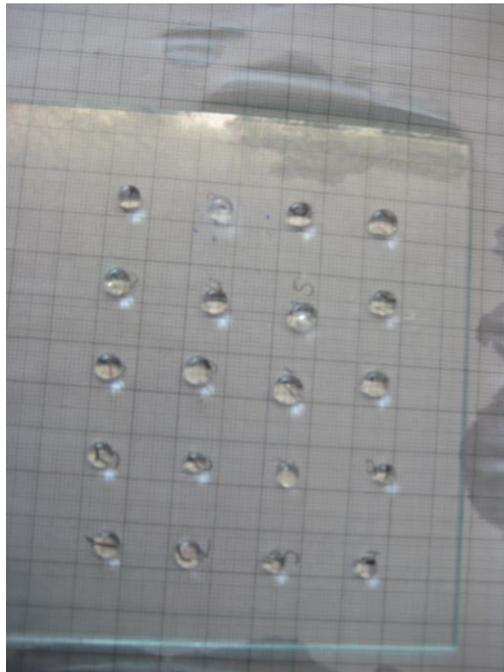


Bild: Wassertropfen auf einer Silikon Glasscheibe; Elias Mitropoulos

Wir konnten die typischen Eigenschaften des Lotus-Effektes anhand kugelförmiger Wassertropfen beobachten. Der Vergleich ist in den Bildern gut zu erkennen.

#### 4.3: Tests mit Schmutz:

Desweiteren haben wir noch ein paar Schmutzabperltests durchgeführt. Dazu haben wir Dreck bestehend aus verfaulten, alten Blättern, Erde und kleine Kieselsteinchen gesammelt und auf unsere ausgewählte Glasscheibe aufgetragen. Dieser wurde dann bestmöglich mit einem geringen Wasserstrahl abgespült.



Bild: Schmutz perlt auf der Scheibe von Silikon und Paraffin mit Shellsol gut ab; Elias Mitropoulos

Die Glasscheibe (Silikon und Paraffin mit Shellsol) zeigt auch bei diesem Versuch einen hervorragenden Abperleffekt und es bleiben nur wenige Schmutzreste zurück. Dagegen zeigte Glasscheibe (Silikon mit Shellsol) nur einen geringen Abperleffekt.

## 5. Zusammenfassung der Ergebnisse:

In diesem Abschnitt sind die gesammelten Ergebnisse unserer Arbeit zusammengefasst.

### 5.1 Das muss ein optimales Gemisch leisten

Für die Qualität des Gemisches sind viele verschiedene Faktoren verantwortlich:

**Qualität der Reinstoffe:** Die Reinstoffe müssen an sich gut wasserabweisen. Dies erreichen wir mit Stoffen wie Silikon oder Paraffin. Des Weiteren müssen sie auch durchsichtig sein, was im Falle von Silikon schon als Reinstoff der Fall ist und im Falle von Paraffin durch ein dünnes Auftragen erreicht werden kann.

**Glätte der Beschichtung:** Es ist wichtig, dass neben den Reinstoffen auch die Form der Beschichtung eine Rolle spielt. Dies war besonders an unserer Silikon Glasscheibe zu sehen, welche zwar beinahe perfekt die Tropfen abperlen lies, das Wasser jedoch trotzdem nur langsam und nicht rückstandslos abfließen konnte. Wir führten dies darauf zurück, dass unsere erste Silikon Glasscheibe nicht glatt genug beschichtet worden war und Erhebungen wie auch Vertiefungen besaß, die das Wasser am reibungslosen Abfließen hindern.

### 5.2 Was ist unser bestes Gemisch?

Wir konnten aus unserer Forschung zwei Mittel herausfiltern, welche die Kriterien (Durchsichtigkeit, Fließgeschwindigkeit, Rückstände auf der Glasscheibe, Tropfengröße) unseres gewünschten Endproduktes beinhalten. So zeigte das Gemisch aus Silikon und Shellsol keinerlei Trübung der Scheibe. Des Weiteren konnte das Favoritengemisch aus Paraffin und Silikon mit Shellsol sehr gute Ergebnisse erzielen. Dieses Gemisch zeigte einen hervorragenden Abperleffekt und es befanden sich keinerlei Rückstände mehr auf der Scheibe.

Das Gemisch aus Paraffin und Silikon mit Shellsol wurde aus den beiden Reinstoffen Paraffin und Silikonpaste hergestellt. Durch unsere ersten Experimente mit Reinstoffen entdeckten wir die Silikonpaste als eine gute Alternative zu den Nano-Teilchen, da sie bei den Abperltests gute Ergebnisse zeigte. Doch an der schiefen Ebene konnte man beobachten, dass die Wassertropfen auf der Silikonpasten Glasscheibe bei geringem Winkel (hier:  $5^\circ$ ) nicht abperlten, sondern nur ihre hydrophoben Eigenschaften in Form von kugelförmigen Wassertropfen unter Beweis stellten. Dieses Phänomen konnten wir bereits bei den Versuchen zur Tropfengröße beobachten. Zur gleichen Zeit etwa entdeckten wir auch die Haushaltschemikalie Paraffin (Wachsgranulat), die einen ebenfalls guten Abperleffekt vorwies. Zudem blieben auf der Paraffin Glasscheibe sogar weniger Rückstände, als bei der Silikonpasten Glasscheibe. Das bedeutet, dass das Wasser, nachdem wir es über die Glasscheibe haben fließen lassen rückstandslos abfloss. Deswegen vermischten wir im ersten Schritt Silikon und Paraffin. In Versuch 3.2.3 arbeiteten wir noch mit festen Wachsgranulatplättchen, eine Auftragung der Mischung auf eine Glasscheibe fast unmöglich machten. Daher erhitzen wir zunächst das Paraffin allein, um eine verbesserte Auftragung zu ermöglichen. Diese Idee führte aber nicht zum gewünschten Erfolg, da es auf der Glasscheibe zu schnell abkühlte. Auch durch das gemeinsame Erhitzen von Paraffin und Silikonpaste, wodurch die Mischung flüssiger wurde, konnte keine gute Beschichtung einer Glasscheibe erreicht werden. Auf der Suche nach einer Möglichkeit, um das Gemisch noch dünner zu machen, wurde uns das Lösungsmittel Shellsol empfohlen. Dieses ermöglichte uns tatsächlich die Verdünnung und Verflüssigung unseres Gemischs und bewirkte ein problemloses Auftragen auf die Glasscheibe. Außerdem war es so möglich, das Gemisch glatter und dünner aufzutragen. *Q: 4; Q: 10*

Wie zu Anfang beschrieben zeigte die Silikonpaste als Beschichtungsmaterial gute Ergebnisse bei den Abperltests, die Untersuchungen an der schiefen Ebene waren dagegen weniger erfolgreich. Zum Schluss war uns die Klärung folgender Frage wichtig. Brauchen wir in unserem besten Gemisch das Paraffin überhaupt oder würde eine genauso gute Beschichtung aus reinem Silikon mit Shellsol entstehen? Bei den dazugehörigen Untersuchungen stellte sich jedoch heraus, dass das Paraffin sehr

wichtig für unser finales Gemisch ist, weil die Silikonpaste mit Shellsol alleine zu flüssig war und nicht auf der Glasscheibe trocknete. Dennoch konnten wir bei diesem letzten Versuch eine komplett durchsichtige Scheibe herstellen und somit eine Lösungsidee für Durchsichtigkeit erlangen. Jedoch war es logischerweise nicht möglich, die beiden finalen Gemische zu einem Einigen zusammen zufügen.

### 5.3 Ein Vergleich mit der Industrie:

Für unsere Vergleichsuntersuchungen nutzen wir eine käuflich erworbene Nano-Versiegelung für Keramik und Glas. Die damit behandelten Glasscheiben zeigten einen guten Abperleffekt. Jedoch war es für die Nano Versiegelung zwingend notwendig, die verwendete Glasscheibe zuvor sorgfältig mit Alkohol zu reinigen. Anhand dieser Glasscheiben konnten wir den Lotus-Effekt eingehend untersuchen. Ohne Reinigung mit Alkohol war der Abperleffekt noch schlechter. Dagegen zeigt unser Gemisch aus Paraffin und Silikonpaste mit Shellsol die Fähigkeit, unter vereinfachten Bedingungen aufgetragen werden zu können und zeigt danach einen sehr guten Abperleffekt. Dennoch kann unser Gemisch aus Paraffin und Silikonpaste mit Shellsol im Punkt Durchsichtigkeit nicht mit dem industriell hergestellten Produkt mithalten. Das kann nur unser zweiter Lösungsvorschlag (Silikonpaste mit Shellsol), der dann aber wiederum einen schlechteren Abperleffekt vorweist.

## 6. Resümee

Nachfolgend wollen wir in diesem Resümee unsere Forschungsergebnisse beurteilen und einen Ausblick für weitere experimentelle Untersuchungen geben.

### 6.1: Erfolgreich – Mittel gefunden?

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, konnten wir zwei verschiedene Gemische mit guten Testergebnissen herstellen. Wie bereits in den Zusammenfassungen erwähnt, konnten wir nicht das eine, perfekte Gemisch herausfinden, sondern müssen unsere Verbesserungen auf zwei Gemische aufteilen. Wir konnten nämlich das Silikon und Paraffin mit Shellsol Gemisch für einen perfekten Abperleffekt und wenig Rückstände auf der Glasscheibe sowie für eine lange Haltbarkeit finden, jedoch ist dieses Gemisch dafür verantwortlich, dass sich die davon versiegelte Glasscheibe dann weißlich einfärbt. Für eine klare Durchsicht haben wir dann noch ein weiteres Gemisch entwickelt. Das Gemisch aus Silikon mit Shellsol ist beim und nach dem Auftragen nämlich komplett durchsichtig. Man kann also perfekt ohne Einschränkung durch Farbe oder Verlauf durch die Glasscheibe schauen. Es ist zwar durchsichtiger, jedoch konnte das Wasser nicht so gut von der Glasscheibe abweisen wie jenes mit Paraffin. So ist zum Beispiel der Abperleffekt auf der Glasscheibe nicht optimal, es bleiben mehr Rückstände zurück und die Haltbarkeit etwas kürzer, da das Gemisch auf der Glasscheibe flüssig ist und nicht trocknet. und die Wassertropfen die Versiegelung sogar abspülen. Dennoch ist es das einzige Gemisch, welches komplette Durchsichtigkeit vorweist und somit mussten wir dieses Gemisch zu den beiden Favoriten hinzufügen, um alle Faktoren eines perfekten Gemischs abzudecken.

Unsere jetzigen Forschungsergebnisse sind eine sehr gute Grundlage für den weiteren Weg zum perfekten Gemisch und geben uns zahlreiche neue Versuchsideen, auf die wir in Kapitel 6.3 näher eingehen.

### 6.2: Was war gut, was schlecht?

Das positive an unserer Forschung war, dass wir eine Alternative zu der Nano Versiegelung von Heureka herausgefunden haben. Doch leider ist diese noch nicht handelstauglich, weil die Durchsichtigkeit noch verbessert werden muss. Das haben wir zeitlich nicht mehr geschafft. Und genau das war das Negative. Denn unsere beiden Lösungsvorschläge kann man vermutlich nicht zu einem optimalen Gemisch zusammenfügen, weil beide Silikonpaste als Grundstoff beinhalten und dieses Gemisch dann wahrscheinlich zu flüssig werden würde. Gut war, dass wir am Schluss, nachdem wir erst spät die Lösungsmittel entdeckten, zahlreiche weitere Stunden von unseren

Fachlehrern und Lehrerinnen erhielten. So konnten wir unsere beiden Lösungsvorschläge schlussendlich erst herausfinden. Wir waren in weiten Teilen erfolgreich mit unserer Forschung zu einem Fensterversiegelungsmittel mit Lotus-Effekt. Wir haben eine Mischung gefunden, die viele der Anforderungen erfüllt, jedoch noch nicht perfekt ist, aber sich auf einem sehr guten Weg befindet. Bereits jetzt konnten wir viele Punkte der ursprünglichen Nano Versiegelung verbessern.

#### **Fähigkeit Wasser abzuweisen**

Das Mittel ist sehr Wasserabweisend und weist sogar Schmutz ab, sodass er vom Wasser weggespült wird.

#### **Rückstände**

Dank des hervorragenden Lotuseffektes gibt es, sobald man einen Wassertropfen auf die versiegelte Glasscheibe getan hat, keine weiteren Rückstände auf der Glasscheibe, wonach diese dadurch dann auch wieder fast ganz trocken ist.

### **Verteilung**

Es ist einfach, das Mittel, solange es gelöst ist glatt und gleichmäßig auf eine Glasscheibe aufzutragen. Unser Lösemittel ermöglicht uns das Auftragen und gleichmäßige Verteilen des Gemisches. Danach verflüchtigt es sich. Das Shellsol stinkt zwar kurzweilig streng, jedoch werden Fenster sowieso nur auf der Außenseite beschichtet und selbst bei einer Scheibe innerhalb eines Raumes sollte der Geruch verschwinden nachdem sich das Lösemittel innerhalb einiger Stunden verflüchtigt hat und gelüftet wurde.

### 6.3: Was muss verbessert werden?

An unserer Forschung muss am Ende eigentlich nur eins verbessert werden: und zwar, dass unsere beiden „finalen“ Gemische auch kombinierbar wären, sodass unsere Versiegelung einen perfekten Abperleffekt hätte, durchsichtig wäre, länger haltbar als die Heureka Nano Versiegelung wäre und wenige Rückstände auf der Glasscheibe wären. Eben alles, was bisher noch auf zwei Gemische aufgeteilt ist, müssten wir zusammenfassen. Leider ist es in dieser Konstellation noch nicht möglich diese beiden Gemische zu kombinieren. Folgendes müssten wir noch beheben:

#### **Wetterbeständigkeit**

Die Wetterbeständigkeit ist noch ungetestet und besonders starke Sonneneinstrahlung kann die Lebensdauer der Versiegelung verkürzen.

Neben der Hitze, die das Wachs schmelzen könnte wissen wir noch nicht, wie sich starker Wind darauf auswirkt.

#### **Durchsichtigkeit**

Es ist uns gelungen ein Produkt zu entwickeln, was fast durchsichtig ist und die Sicht kaum beeinträchtigt. Das weitere Forschungsziel wäre, die Durchsichtigkeit zu steigern, so dass die Glasscheibe schlussendlich trotz Zusatz von Paraffin völlig durchsichtig bleibt.

#### **Geruch**

Unsere Gemische mit Shellsol riechen kurzzeitig sehr streng und sind daher nicht zu hundert Prozent umweltfreundlich.

## 7. Quellen:

Die Quellenangaben sind nach Vorlage des Leitfadens für Schriftliche Arbeiten in der Sparte „Schüler experimentieren“ ( <http://www.jugend-forscht.de/teilnahme/ablauf/schriftliche-arbeit.html> ) verfasst und bestmöglich, vollständig aufgeführt. In der Arbeit werden Quellen Hinweise mit Q:[nr] gekennzeichnet.

### Personenverzeichnis:

<sup>1</sup> Sahra Braun, Mathematik und Physiklehrerin am Immanuel-Kant-Gymnasium, Heiligenhaus; Art der Unterstützung: Empfehlung „Schiefe Ebene“ und Betreuung der Arbeitsgemeinschaft.

<sup>2</sup> Konstantin Fischer, Mathematik und Physiklehrer am Immanuel-Kant-Gymnasium, Heiligenhaus; Art der Unterstützung: Betreuung der Arbeitsgemeinschaft ab Herbst 2016; Unterstützung durch Drehtürmodell.

<sup>4</sup> Bianca Gunzer, Chemie und Biologielehrerin am Immanuel-Kant-Gymnasium, Heiligenhaus; Art der Unterstützung: Projektbetreuerin

<sup>6</sup> Kathrin Korb, Mathematik und Physiklehrerin am Immanuel-Kant-Gymnasium, Heiligenhaus; Art der Unterstützung: Betreuung der Arbeitsgemeinschaft bis Sommer 2016, danach Elternzeit.

<sup>10</sup> Dr. Michaela Wahl, Chemielehrerin am Immanuel-Kant-Gymnasium, Heiligenhaus; Art der Unterstützung: Projektbetreuerin

<sup>11</sup> Linus Winter, Schüler der achten Klasse am Immanuel-Kant-Gymnasium, Heiligenhaus; Art der Unterstützung: Projektgründer, ausgeschiedenes Projektmitglied.

Wir danken allen Lehrern, die uns im Rahmen des Drehtürmodells vom Unterricht freigestellt haben.

### Quellenverzeichnis:

#### Quellen für Zeitschriften:

<sup>12</sup> Jürgen Kreuz-Preußker, Zdenek Cerman, Gregor von Borstel, Manuel Spaeth: „Selbstreinigende Blätter und Lotus-Effect®“ in Nanochemie, Unterricht Chemie, 18. Jahrgang, Heft 97, 2007, S. 20 ff.

#### Quellen für Internetseiten:

<sup>13</sup> <https://www.mpg.de/486455/pressemitteilung20040525>, 19.10.2016, Max-Planck-Gesellschaft, Nano-Kontakte optimieren Haftung.

<sup>14</sup> <https://www.heureka-shop.com/nano-glasversiegelung-set-mit-lotuseffekt>, 5.06.2016, Heureka Nano, Shop für unsere Nano Versiegelung.

<sup>15</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt>, 5.06.2016, Wikimedia Foundation, Informationen über den Lotuseffekt.

<sup>16</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Vaseline>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Petrolatum>, beides 28.06.2016, Wikimedia Foundation, Informationen über Vaseline/Petrolatum als Salbe und Kosmetikartikel.

<sup>17</sup> <https://basteln-de.buttinette.com/shop/a/gelwachs-farblos-44793?wmn=2016100&gclid=CLvT0de6ztACFeYK0wod7agEkQ>, 28.11.2016, buttinette Textil-Versandhaus GmbH, Shop für unser Kerzenwachs-gel

### Produktverzeichnis:

- 18 Nano Versiegelung mit Lotuseffekt: Nano Glasversiegelung mit Lotuseffekt von *Heureka* ® (siehe Quellen für Internetseiten)
- 19 Vaseline/Petrolatum: Vaseline Hautcreme von *Balea* ®
- 20 Silikonpaste und Silikon: Silikonpaste 15 Gramm von *Bayer SE Silikones*
- 21 Paraffin (Wachsgranulat): Wachsgranulat von *Glorex* ®
- 22 Cetylalkoholplättchen: Cetlalkohol (-plättchen) von *Glorex* ®
- 23 Speiseöl: Speiseöl von *Ja!*
- 24 Wachsgel: Kerzenwachsgel von *buttinette-bastelshop.de* (siehe Quellen für Internetseiten)

### Bildverzeichnis:

25 Pistia stratiotes Wassertropfen.JPG; Moritz Holzinger; Wikimedia Foundation; Lotuseffekt auf Muschelblume; Creative Commons Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>, 11.1.17, Creative Commons, Informationen über die Creative Commons Lizenz.

© Copyright 2017 by Elias Mitropoulos und Joey Budnick. Alle Bilder (sofern nicht anders angegeben) sind Eigentum von Elias Mitropoulos und Joey Budnick.