



# Der Lotuseffekt

## Der Natur auf der Spur

**Autoren:** Marc Widmayer  
Lilienweg 6  
9472 Grabs

Philipp Hutter  
Ragazerstrasse 20  
7320 Sargans

**Zeitraum:** September 2013 bis März 2014

**Betreuung:** Gregor Lenherr, BMS-Lehrer

**Eingereicht am:** Buchs, 13.03.2014

## Abstract

Die Natur bildet immer wieder die Grundlage für von Menschenhand geschaffene Technologien, so auch für den Lotuseffekt. Dieser wird im Rahmen dieser interdisziplinären Projektarbeit näher unter die Lupe genommen. Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, wie der Lotuseffekt zustande kommt und was ihn so einzigartig macht.

Grosse Teile dieser Projektarbeit basieren auf Internetrecherchen. Offene Wissenslücken wurden durch Gespräche mit einem Chemielaboranten sowie einem Oberflächenforscher der Interstaatlichen Hochschule für Technik in Buchs (NTB) fundiert geklärt und in dieser Arbeit wiedergegeben.

Diese Arbeit gliedert sich in fünf Kapitel. Im ersten Kapitel wird auf die biologischen Aspekte der Lotusblüte eingegangen. Der Aufbau der Pflanze und deren Blätter stehen im Mittelpunkt. Das zweite Kapitel widmet sich der Physik, welche hinter dem Lotuseffekt steckt. Kontaktwinkel und die Benetzbarkeit spielen eine wichtige Rolle, auch wird der Nachteil eines zu grossen Kontaktwinkels erläutert. Kapitel Nummer Drei beschreibt das Beschichtungsverfahren und vergleicht die Vor- und Nachteile einer künstlichen Beschichtung. Im nächsten Kapitel wird näher auf die Selbstreinigung der Lotusblume bei hydrophoben sowie hydrophilen Schmutzpartikel eingegangen und anhand eines praktischen Beispiels aufgezeigt. Das letzte Kapitel befasst sich mit den praktischen Anwendungen und den Einsatzgebieten des Lotuseffekts. Abschliessend wird die Zukunft des künstlichen Lotuseffekts unter die Lupe genommen. Es werden die Erfolgchancen aufgezeigt und eine Kosten-Nutzen-Analyse anhand einer Beschichtung einer Photovoltaik-Anlage aufgestellt, mit der gemäss Hersteller Kosten eingespart werden können.

A lot of examples show that man-made technologies are often copied from nature. The same applies to the lotus effect, which is the subject of this interdisciplinary paper. The paper covers the question of how the lotus effect works and what makes it so unique.

The majority of the input for this paper is based on internet research. Any knowledge gaps have been filled with the feedback received from the discussions with a laboratory assistant as well as with a researcher of surfaces from the Interstaatliche Hochschule für Technik in Buchs (NTB).

This paper is divided in five chapters. In the first chapter we deal with the biological aspects of the lotus blossom. The focus lies on the plants architecture and its leaves. The second chapter addresses the physical principle of the lotus blossom where contact angle and wettability are considered the main topics. Furthermore a more profound analysis will be given in terms of the disadvantages of a too big contact angle. Chapter three describes the lamination procedure and presents the advantages as well as the disadvantages of an artificial lamination. The next chapter focuses on the self-purification of the lotus flower with both hydrophobic and hydrophilic dirt particles which will be illustrated in a concrete example. The last chapter is concerned with the question of practical application. The paper will be concluded with information about the chances of success as well as a cost-benefit analysis of a lamination of a specific photovoltaic construction, which is considered to be economical.

## Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Einleitung .....	5
2 Geschichte des Lotuseffekts.....	6
3 Biologie .....	7
3.1 Die Lotusblume .....	7
3.1.1 Allgemein .....	7
3.1.2 Rhizom.....	7
3.1.3 Verwendung.....	7
3.1.4 Die Lotusblume als Symbol.....	7
3.1.5 Pflanzen und Tiere mit selbstreinigender Oberfläche .....	8
3.1.6 Salvinia-Effekt .....	8
3.2 Bionik .....	10
3.3 Aufbau und Mikrostruktur der Lotusblume .....	11
4 Physik .....	12
4.1 Molekularkräfte: Kohäsions- und Adhäsionskräfte .....	12
4.2 Kontaktwinkel und Benetzbarkeit.....	13
4.3 Youngsche Gleichung .....	14
4.4 Nachteile eines zu grossen Kontaktwinkels .....	15
5 Künstliche Beschichtung .....	16
5.1 Sol-Gel-Verfahren .....	16
5.1.1 Allgemein .....	16
5.1.2 Herstellung.....	16
5.1.3 Beschichtungsverfahren.....	17
5.2 Vor- und Nachteile des künstlich hergestellten Lotuseffekts .....	17
6 Selbstreinigung.....	18
6.1 Funktion der Selbstreinigung .....	18
6.1.1 Theoretisches Beispiel .....	18
6.1.2 Praktisches Beispiel anhand Fassadenproben der Sto AG .....	19
6.2 Zerstörung des Selbstreinigungseffekts.....	19
7 Praktische Anwendung des Lotuseffektes .....	20
8 Die Zukunft des Lotuseffekts .....	21
8.1 Lotusbeschichtung für Solaranlagen.....	21
8.2 Kosten-Nutzen-Analyse.....	21

9	Experiment.....	22
9.1	Test des Lotuseffektes .....	22
9.1.1	Stoffproben .....	22
9.1.2	Fassadenprobe .....	23
9.1.3	Weisskohl .....	24
9.2	Untersuchung unter dem Mikroskop .....	24
9.2.1	Mikroskop .....	24
9.2.2	Weisskohl .....	25
9.2.3	Fassadenprobe .....	25
9.2.4	Lotusblatt .....	26
10	Fazit .....	26
10.1	Schlusswort.....	26
10.2	Gruppenreflexion.....	26
10.3	Persönliche Reflexion - Philipp Hutter.....	27
10.4	Persönliche Reflexion - Marc Widmayer .....	27
11	Danksagung .....	28
	Anhang.....	A
	Begriffserklärung Biologie .....	A
	Begriffserklärung künstliche Beschichtung .....	B
	Oberflächenspannungswerte für Flüssigkeiten .....	C
	Zeitplan .....	D
	Projektanmeldung .....	E
	Themensuche für Projektdokumentation .....	F
	Projektjournal .....	G
	Abbildungsverzeichnis.....	P
	Quellverzeichnis.....	Q
	Eidesstattliche Erklärung .....	S

## 1 Einleitung

Dieses Projekt entstand im Rahmen unserer Interdisziplinären Projektarbeit für die Berufsmatura im Berufs- und Weiterbildungszentrum Buchs. Als Informationsquelle wurde ausschliesslich das Internet verwendet, damit aber alle Informationen korrekt sind, wurden nur vertrauenswürdige Webseiten verwendet. Wenn nötig wurde eine weitere Webseite als Bestätigung genutzt. Zu Beginn haben wir mithilfe eines Zeitplanes Meilensteine und Projektphasen definiert, an welche wir uns während der Durchführung des Projekts zu halten hatten.

Bei der Themenauswahl beschränkten wir unsere Ideen zuerst nur auf den Bereich Informatik, da beide Gruppenmitglieder eine Lehre als Informatiker machen. Doch da in der IDPA zwei Schulfächer integriert werden müssen (z.B. Physik oder Mathematik), erweiterten wir unseren Bereich. Durch Recherchen im Internet kamen wir schlussendlich auf das Thema Lotuseffekt. Der Lotuseffekt mit seinen spannenden Eigenschaften und vielfältigen Einsatzgebieten hat uns von Anfang an fasziniert. Diese Arbeit soll dem Leser einen tieferen Einblick in den Lotuseffekt bieten. Das beinhaltet seine Herkunft, das genaue Funktionsprinzip, die künstliche Herstellung des Effektes und die Einsatzgebiete. Der Lotuseffekt wird im Zusammenhang mit dem Klimaschutz untersucht, da unser Projekt bei der Stiftung myclimate angemeldet wird. Myclimate setzt sich für den Klimaschutz ein und zeichnet jedes Jahr Projekte aus, welche Themen bearbeiten, die zum Klimaschutz beitragen können.

Beim Experiment untersuchten wir mit dem Lotuseffekt beschichtete Materialien auf ihre Eigenschaften und ihre Grenzen. Dies haben wir mit verschiedenen Oberflächen und unterschiedlichen Flüssigkeiten gemacht. Wir konnten unsere Materialien zusätzlich in der Interstaatlichen Hochschule für Technik in Buchs unter einem Mikroskop untersuchen.

Wir betrachten unser Projekt als gelungen, wenn das Prinzip des Lotuseffektes und auch seine Herstellung verstanden wurden. Unser Ziel beinhaltet, dass wir eine Dokumentation und eine Präsentation erstellt haben, welche dem Leser beziehungsweise dem Zuhörer das Thema Lotuseffekt verständlich und interessant erklärt. Es sollte kein Vorwissen nötig sein, um mithilfe unserer Dokumentation oder der Präsentation den Lotuseffekt verstehen zu können.

Wir wollen unseren Dank an die Schöller AG und die Sto AG aussprechen, welche uns Materialien zugesendet haben. Mit diesen konnten wir den Lotuseffekt genauer untersuchen. Ein weiterer Dank geht an das NTB, da wir dort die Geräte verwenden konnten, um Materialien genauer zu untersuchen und an Herrn Cem Yavaser vom NTB, der sich für uns Zeit genommen hat. Er half uns bei der Untersuchung und beriet uns auch dabei.

## 2 Geschichte des Lotuseffekts

In den siebziger Jahren haben der Botaniker Wilhelm Barthlott (siehe Abbildung 1) zusammen mit seiner Kollegin Nesta Ehler verschiedenste Pflanzenblätter unter dem Mikroskop auf Ähnlichkeiten hin untersucht. Das Ziel der Untersuchung war, anhand der Oberflächenstruktur der einzelnen Blätter die Verwandtschaft zwischen den verschiedensten Pflanzengruppen herstellen zu können.



Abbildung 1: Wilhelm Barthlott  
([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), 26.01.2014)

Zunächst scheint es eine reine botanische Routinearbeit zu werden. Doch bald schon erkennt das Forscherteam die Merkwürdigkeit, dass ausschliesslich jene Blätter, welche eine feine und glatte Oberfläche aufweisen, zuerst gereinigt werden müssen, wohingegen die rauen und genoppten Blätter bereits mit einigen Tropfen Wasser sauber werden.

Besonders ausgeprägt zeigt sich dieser Effekt bei der Lotusblume. Auf ihrer rauen und mit Wachskristallen übersäten Oberfläche bleiben die Wassertropfen nicht haften. Es bilden sich Wasserkugeln, welche über die Wachsschicht gleiten, Schmutzpartikel aufnehmen und somit eine rückstandslos saubere Oberfläche hinterlassen.

Trotz dieser Erkenntnis beschrieb das Forscherteam 1977 diesen Fund lediglich in einer Randnotiz. Das Phänomen schien ihnen zu trivial, um diesem mehr Bedeutung beizumessen. Auf die geniale Idee, diese Oberflächen künstlich nachzubilden und sie somit für die Industrie nutzbar zu machen, kamen sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht.

Erst 1989 griff Wilhelm Barthlott, der inzwischen als Professor an der Universität Bonn unterrichtete, die alte Entdeckung wieder auf und untersuchte diese mit einem Doktoranden im Detail. Barthlott schloss eine Entdeckung, welche der Menschheit zu Gute kommen könnte, nie komplett aus. Und so gelang es dem Team nach umfangreichen Forschungen und Experimenten an über 200 Pflanzenarten den „Lotus-Effekt“ künstlich auf einer Oberfläche nachzubilden.

Das erste Mal wurde die Forschung 1996 für die Menschheit zugänglich. Barthlott demonstrierte seine Erkenntnisse anhand zweier Testobjekte, welche sie zuvor mit Russpartikel bestäubt hatten. Eines der Testobjekte wies eine stark wasserabweisende Struktur auf, während das andere eine herkömmliche, glatte Struktur besass. Schnell war zu erkennen, dass auf der wasserabweisenden Oberfläche das Wasser den Schmutz einsammelt und in den Wasserkugeln festhält. Nach dem Abperlen der Tropfen war die Oberfläche trocken und sauber, wohingegen sich das Wasser auf der unbeschichteten Oberfläche grossflächig verteilte. Der hartnäckige Schmutz wurde nur zu einem kleinen Teil aufgenommen.

Für die Forschungsarbeit und der daraus entstandene „Lotus-Effekt“ wurde Wilhelm Barthlott mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet.

Im Jahre 2014 existieren bereits viele namhafte Firmen, welche den „Lotus-Effekt“ nutzen um Ihre Produkte zu veredeln. Die Firma Schoeller AG in Sevelen beispielsweise genießt weltweit einen sehr guten Ruf mit ihren selbst hergestellten Stoffen für die Textilindustrie. Auch die Firma Sto AG, welche zurzeit das Patentrecht des Lotuseffekts besitzt, hat Ihren Hauptsitz in der Schweiz ([library.thinkquest.org](http://library.thinkquest.org), [de.wikipedia.org](http://de.wikipedia.org)).

## **3 Biologie**

### **3.1 Die Lotusblume**

#### **3.1.1 Allgemein**

Die Lotusblume ähnelt vom Aussehen her einer Seerose. Sie besteht aus grünen Blättern, welche bis zu 1m Durchmesser erreichen können, und einer rosaroten Blüte. Im Untergrund bildet die Pflanze ein stärkehaltiges, knollenförmiges Rhizom. Sie kommt aus Süd- und Ostasien, kommt aber auch in Nordamerika vor, da sie dort eingebürgert wurde. Die Blume ist vorzugsweise in Seen, Teichen und Sümpfen anzutreffen ([www.biologie.uni-hamburg.de](http://www.biologie.uni-hamburg.de)).

#### **3.1.2 Rhizom**

In der Botanik bezeichnet das Rhizom einen Erdspross, der unterirdisch oder dicht über dem Boden wächst. Die Lotusblume speichert im Rhizom über den Sommer Stärke. Dadurch wird die Pflanze winterfest, solange die Rhizome nicht einfrieren ([www.derkleingarten.de](http://www.derkleingarten.de)).

#### **3.1.3 Verwendung**

Die Lotusblume kann für den Menschen auch als Nahrung dienen, dabei wird aber nur das Rhizom verspeist. Das Rhizom wird dabei in Sojasauce eingelegt und als Beilage oder in einem Salat verspeisen.

Aus den Hüllblättern der Blüte wird in China Tee gemacht, die Staubbeutel dienen dabei für die Farbgebung. Neben dem Tee können die Staubbeutel für die Duftgebung in Potpourris verwendet werden. In der Wissenschaft wird die Lotusblume aber hauptsächlich als Forschungsobjekt zur Oberflächenbeschichtung genutzt ([www.biologie.uni-hamburg.de](http://www.biologie.uni-hamburg.de)).

#### **3.1.4 Die Lotusblume als Symbol**

Die Lotusblume erreichte ihre Berühmtheit durch ihren starken ABERLEFFekt sowie durch das Phänomen, dass sich die Pflanze in der Nacht schliesst und unter Wasser sinkt. Diese Effekte wurden schon früh von der Menschheit wahrgenommen. Die Lotusblume erreichte so Anerkennung und wurde von verschiedenen Völkern als Symbol angesehen. So stand die Lotusblume in der ägyptischen Mythologie für die Sonne, die Schöpfung und die Wiedergeburt, in der indischen für Göttlichkeit, Fruchtbarkeit, Reichtum, Wissen und Erleuchtung. Weit verbreitet im asiatischen Raum ist die Lotusblume als Symbol der Reinheit, Treue, Schöpfbarkeit und Erleuchtung ([www.ka-gold-jewelry.com](http://www.ka-gold-jewelry.com)).

### 3.1.5 Pflanzen und Tiere mit selbstreinigender Oberfläche

Neben der Lotuspflanze kann der Lotuseffekt beziehungsweise die selbstreinigende Oberfläche auch bei anderen Pflanzen beobachtet werden. Beispielsweise bei der Kapuzinerkresse (siehe Abbildung 2). Weiter zeigen das Schilfrohr, der Weisskohl oder der Wassersalat den Lotuseffekt. Auch im Tierreich ist die selbstreinigende Oberfläche zu finden. Bei Schmetterlingsflügeln entsteht der Effekt mithilfe mikroskopisch kleiner Schuppen auf den Flügeln (siehe Abbildung 3), durch die luftgefüllte Hohlräume entstehen. Wassertropfen berühren dank diesem Luftpolster den Flügel kaum, ähnlich wie beim Lotuseffekt ([www.presstext.com](http://www.presstext.com), [de.wikipedia.org](http://de.wikipedia.org)).



Abbildung 2: Kapuzinerkresse  
([www.wildebeete.de](http://www.wildebeete.de), 21.11.2013)

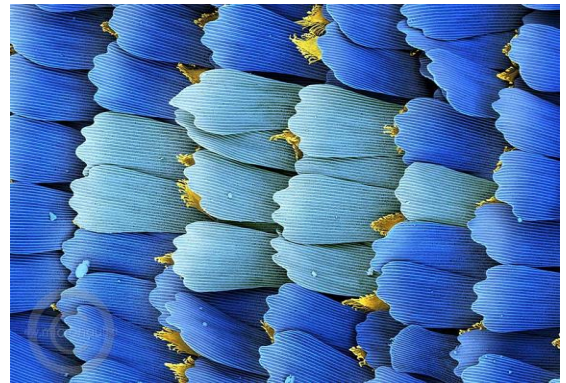


Abbildung 3: Schmetterlingsflügel  
([www.fotocommunity.de](http://www.fotocommunity.de), 28.11.2013)

### 3.1.6 Salvinia-Effekt

Ein mit dem Lotuseffekt stark verwandter Effekt ist der Salviniaeffekt. Dieser bezeichnet das Phänomen, dass sich unter Wasser eine Luftschicht um ein Objekt bildet. Ein Beispiel dafür ist die Wasserspinne, bei der feine Härchen unter Wasser die Luft festhalten (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Wasserspinne ([swisseduc.ch](http://swisseduc.ch), 21.11.2013)



Auch der Wasserfarn (siehe Abbildungen 5 und 6) kann Luft unter Wasser durch seine spezielle Struktur bei sich behalten.



Abbildung 5: Wasserfarn vergrößert  
([www.biotechnologie.de](http://www.biotechnologie.de), 21.11.2013)



Abbildung 6: Wasserfarn Unterwasser  
([swisseduc.ch](http://swisseduc.ch), 21.11.2013)

Daraus lassen sich Vorteile ziehen wie unter Wasser trocken zu bleiben, sich unter Wasser vor Auskühlung zu schützen, als Luftreserve oder sich unter Wasser befindende Apparaturen vor Korrosion zu schützen.

Versuche haben bereits gezeigt, dass es möglich ist, Textilien mit diesem Effekt zu beschichten. Dadurch blieb das Textil 4 Tage unter Wasser trocken. Wie der Lotus-Effekt kann auch der Salvinia-Effekt zum Umweltschutz beitragen. Ein Schiff, das mit dem Salvinia-Effekt beschichtet ist, verbraucht über 10% weniger Treibstoff. Dies kommt dadurch, dass die Reibung zwischen dem Schiff mit der Lufthülle und dem Wasser kleiner ist, als wenn das Wasser direkt das Schiff berührt. Die Lufthülle besitzt eine viel glattere Oberfläche als das Schiff ([www.lotus-salvinia.de](http://www.lotus-salvinia.de), [www.spiegel.de](http://www.spiegel.de), [swisseduc.ch](http://swisseduc.ch)).

### 3.2 Bionik

Der Begriff Bionik setzt sich aus **Biologie** und **Technik** zusammen. In der Bionik werden die geheimen Baupläne für die heutige Technik geschmiedet. Forscher und Ingenieure lassen sich von der Natur dazu inspirieren, Methoden und Techniken in die künstliche, vom Menschen geschaffene Welt zu übertragen.

Leonardo da Vinci war ein Pionier der Bionik. So erforschte er die Pflanzenwelt und stiess auf die spiralförmigen Früchte des Schneckenklee (siehe Abbildung 7). Mit den Erkenntnissen, welche er der Natur abschaute, konnte er anschliessend eine eigene Rotorflugmaschine (siehe Abbildung 8) konstruieren.



Abbildung 7: Schneckenklee  
(fr.academic.ru, 26.01.2014)

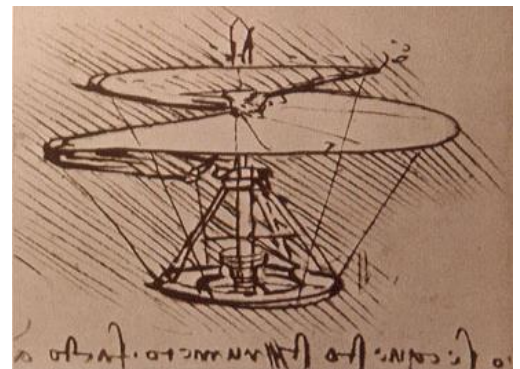


Abbildung 8: Rotorflugmaschine  
(www.bionik-vitrine.de, 26.01.2014)

Doch nicht nur die Flugmaschine wurde der Natur abgeschaut. Wenn wir in unserem Alltag umherschauen, entdecken wir überall die eine oder andere Kopie der Natur. So wurde der Lotusblume (siehe Abbildung 9), wie der Name bereits schon verrät, der Lotuseffekt (siehe Abbildung 10) nachempfunden (www.bionik-vitrine.de).



Abbildung 9: Lotusblume  
(www.nanotrends.eu, 26.01.2014)



Abbildung 10: Lotuseffekt  
(www.wz-newsline.de, 26.01.2014)

### 3.3 Aufbau und Mikrostruktur der Lotusblume

Die Cuticula schützt das Blattinnere vor Wasserverlust und gibt zudem der oberen Epidermis noch mehr Stabilität. Die Hauptaufgabe der Epidermis ist, die darunterliegenden Gewebeteile zu schützen. Darunterliegend befindet sich das Palisadengewebe. Das Gewebe ist hauptsächlich für die Fotosynthese verantwortlich und besteht aus einem Zellkern, einer Vakuole sowie Chloroplasten. Wie die Oberseite, so wird auch die Unterseite des Blattes durch eine Epidermis und einer dazugehörigen Cuticula vor äusseren Einflüssen geschützt. Jedoch besitzt die Unterseite zusätzlich die sogenannten Stomas, durch die das  $\text{CO}_2$  ins Blattinnere gelangen kann (www.biologie-schule.de).

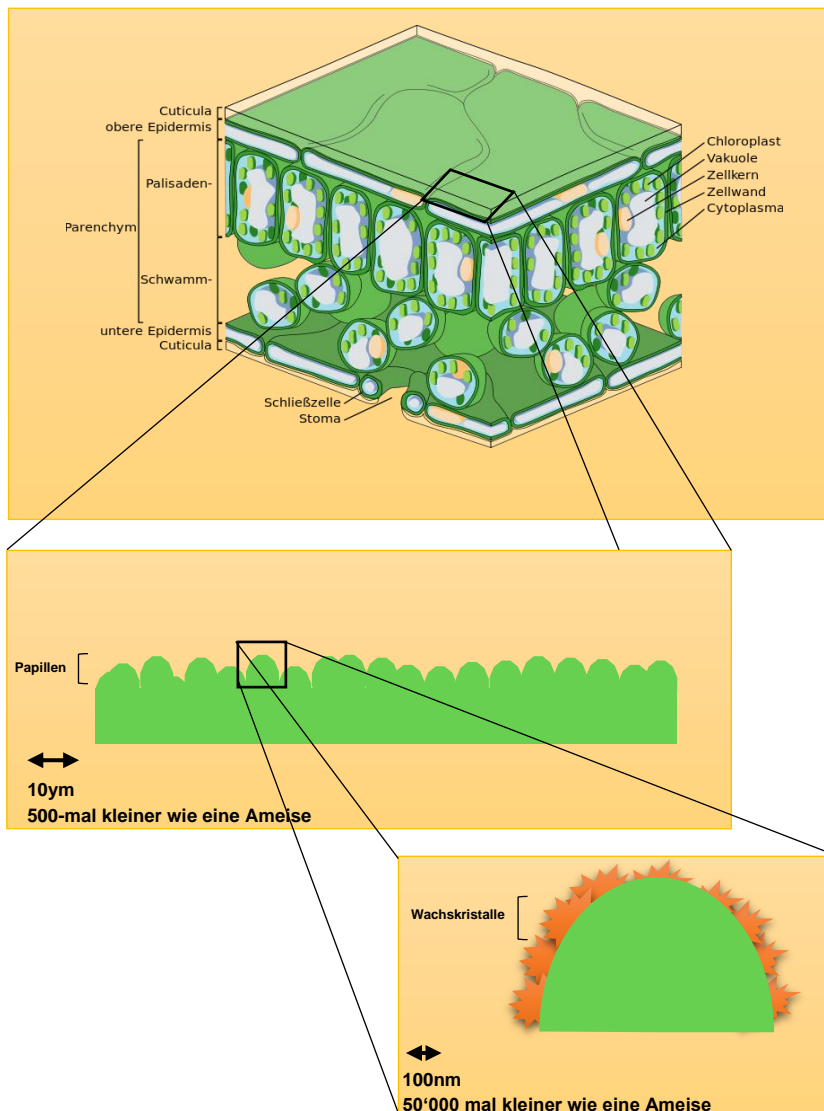


Abbildung 11: Struktur der Lotusblume  
(selbst erstellt und <http://commons.wikimedia.org,01.02.2014>)

Wenn wir die Cuticula unter einem Mikroskop betrachten, sehen wir kleine Erhebungen, welche ca. 10–20 Mikrometer in die Höhe ragen. Vergrössert man nun das gesamte Bild nochmals um den Faktor 100, so erkennt man feine Wachskristalle, welche die Papillen überziehen.

Diese Oberflächenstruktur trägt massgeblich zum Erfolg der Lotusblüte bei. Mit dieser einzigartigen Oberflächenstruktur ist es möglich, die Wassertropfen abperlen zu lassen.

Eine detaillierte Begriffserklärung befindet sich im Anhang unter „Begriffserklärung Biologie“.

## 4 Physik

### 4.1 Molekularkräfte: Kohäsions- und Adhäsionskräfte

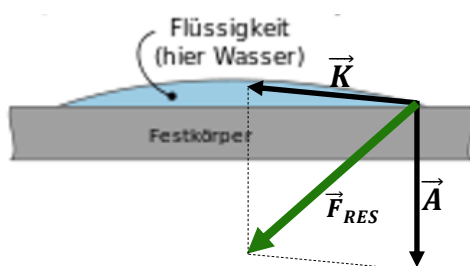
In der Chemie sowie auch in der Physik spielen Kräfte zwischen Atomen und Molekülen, welche Molekularkräfte genannt werden, eine wichtige Rolle. Dabei unterscheiden wir zwischen zwei verschiedenen Kräften, den Kohäsions- sowie den Adhäsionskräften.

Unter den Kohäsionskräften versteht man die Bindungskräfte zwischen Atomen und Molekülen innerhalb eines Stoffes. Sie tragen dazu bei, dass kleinste Wasserteilchen zusammenhaften und somit einen Wassertropfen bilden können. Die Adhäsionskräfte wirken zwischen Atomen und Molekülen von verschiedenen Stoffen. Sie sorgen dafür, dass ein Wassertropfen auf einer Glasscheibe haften bleibt.

Wenn wir nun die Adhäsionskräfte mit den Kohäsionskräften in einen direkten Vergleich stellen, können wir feststellen, welches die Auswirkungen dieser Kräfte auf den Lotuseffekt sind. Überwiegen die Kohäsionskräfte, so bildet der Wassertropfen eine Kugelform. Die Stärke der Kohäsionskräfte hängt von verschiedensten Faktoren ab, wie beispielsweise der Flüssigkeit, der Raumtemperatur, aber auch der Oberflächenstruktur eines Festkörpers. Eine mikroskopisch fein genoppte Oberfläche, welche mit Wachskristallen übersät ist, begünstigt die Tropfenbildung zudem. Im Gegenzug zieht der Festkörper regelrecht das Wasser an, wenn die Adhäsionskräfte stärker als die Kohäsionskräfte sind.

Eine Vektorkette der Kohäsionskräfte ( $\vec{K}$ ) und Adhäsionskräfte ( $\vec{A}$ ) verdeutlicht den Effekt. Zeigt die resultierende Kraft ( $\vec{F}_{RES}$ ) in Richtung des Festkörpers, so wird der Wassertropfen auseinanderfließen. Wenn die resultierende Kraft in Richtung Flüssigkeit weist, bilden die Wasserteilchen eine kompakte Tropfenform (daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de).

#### Adhäsionskräfte überwiegen



#### Kohäsionskräfte überwiegen

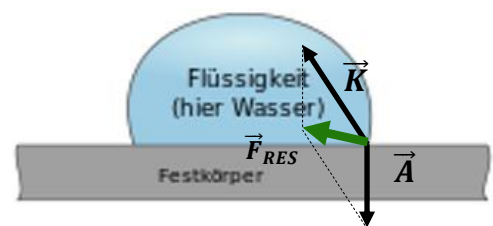


Abbildung 12: Adhäsions- und Kohäsionskräfte im Vergleich

## 4.2 Kontaktwinkel und Benetzbarkeit

Der Kontaktwinkel kann durch speziell dafür angefertigte Messinstrumente analysiert werden. Bei der Methode des liegenden Tropfens oder auch „sessile drop method“ genannt, wird ein Tropfen mithilfe einer Pipette auf ein Testobjekt gelegt (siehe Abbildung 13). Anschliessend kann der Kontaktwinkel gemessen werden.

Dieser Winkel liegt an einem Dreiphasenpunkt, an welchem sich Flüssigkeit, Festkörper sowie die Gasphase treffen. Der Kontaktwinkel kann durch Anlegen einer Tangente an den Punkt ermittelt werden. Je kleiner dieser Winkel (Theta) wird, desto besser ist der Festkörper benetzbar. Für die Tropfenbildung, welche wir beim Lotuseffekt vorfinden können, ist es wichtig eine möglichst superhydrophobe Oberfläche herzustellen. Die Benetzbarkeit einer Oberfläche muss somit so gering wie möglich gehalten werden ([www.tu-chemnitz.de](http://www.tu-chemnitz.de), [tuprints.ulb.tu-darmstadt.de](http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de)).

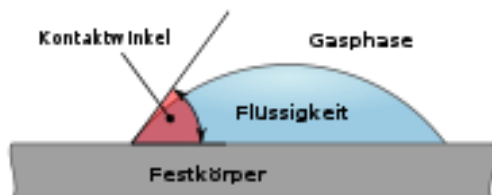


Abbildung 13: Kontaktwinkel  
([de.academic.ru](http://de.academic.ru), 02.01.2014)

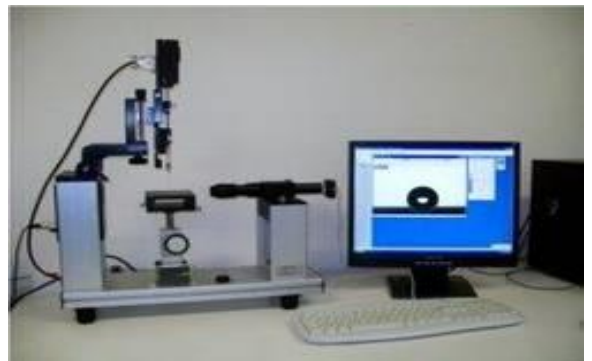


Abbildung 14: Kontaktwinkelmessung  
([www.fh-kiel.de](http://www.fh-kiel.de), 07.02.2014)

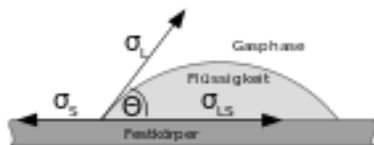
Um die Benetzbarkeit eines Festkörpers zu bestimmen, werden drei verschiedene Werte benötigt.

1. Die Oberflächenspannung der Flüssigkeit, welche durch verschiedenste Messmethoden zu bestimmen ist. Ein Beispiel für eine geeignete Messtechnik wäre die Ringmethode nach Du Noüy. Im Anhang befindet sich eine Tabelle mit bereits ausgewerteten Flüssigkeiten (siehe „Oberflächenspannungswerte für Flüssigkeiten“).
2. Die Oberflächenenergie von festen Körpern welche nicht direkt messbar ist.
3. Die Grenzflächenenergie zwischen Flüssigkeit und Festkörper welche nur analytisch zu bestimmen ist.

Der Zusammenhang dieser Kräfte veranschaulicht die Youngsche-Gleichung.

### 4.3 Youngsche Gleichung

Methode des liegenden Tropfens



$\sigma_L$  = Oberflächenenergie der Flüssigkeit  
 $\sigma_S$  = Oberflächenenergie des Festkörpers  
 $\sigma_{LS}$  = Grenzflächenenergie zwischen Flüssigkeit und Festkörper  
 $\theta$  = Kontaktwinkel

Abbildung 15: Berechnung des Kontaktwinkels  
(de.academic.ru, 02.01.2014)

$$\cos \theta = \frac{\gamma_S - \gamma_{LS}}{\gamma_L}$$

$$\gamma_L = \frac{\gamma_S - \gamma_{LS}}{\cos \theta}$$

$$\gamma_S = \gamma_{LS} + \gamma_L * \cos \theta$$

$$\gamma_{LS} = \gamma_S - \gamma_L * \cos \theta$$

Abbildung 16: Berechnung des Kontaktwinkels  
(de.academic.ru, 02.01.2014)

Bei der Eigenschaft, die ein Festkörper besitzt, sich von einer Flüssigkeit benetzen zu lassen, gibt es drei Zustände.

Ist der Winkel Theta...

**$\theta = 0^\circ$**  entsteht eine totale Benetzung.

Es bildet sich keine Kugel, sondern ein hauchdünner Flüssigkeitsfilm.

**$\theta > 0^\circ$  &  $\theta < 180^\circ$**  entsteht eine partielle Benetzung.




Es bildet sich ein Tropfen welcher mit dem Festkörper teilweise in Kontakt kommt.

**$\theta = 180^\circ$**  entsteht eine vollständige Unbenetzbarkeit.

Es bildet sich eine Kugel, welche nur an einem Punkt den Kontakt zum Festkörper herstellt.

Da sich die Hydrophobie antiproportional zu der Benetzbarkeit eines Festkörpers verhält, ist die Kontaktwinkelmessung eine der schnellsten Methoden einen Gegenstand hinsichtlich seiner Hydrophobie zu untersuchen ([www.ipfdd.de](http://www.ipfdd.de), [www.kruss.de](http://www.kruss.de), [www.nanotol.de](http://www.nanotol.de)).

Tabelle 1: Hydrophobie ([de.academic.ru](http://de.academic.ru), 02.01.2014)

Hydrophobie:	Kontaktwinkel:	Grafik:
<b>Hydrophil</b> (Wasser anziehend)	$\leq 90^\circ$	
<b>Hydrophob</b> (Wasser abstossend)	90-120°	
<b>Superhydrophob</b> (stark Wasser abstossend)	$\geq 120^\circ$	

#### 4.4 Nachteile eines zu grossen Kontaktwinkels

Viele Hersteller von Versiegelungen werben mit einem sehr grossen Kontaktwinkel (beinahe  $180^\circ$ ), respektive mit einer superhydrophoben Beschichtung. Doch steht nur der Abperleffekt im Vordergrund und die Oberfläche kann nicht mehr mit Wasser gereinigt werden, da der Tropfen keine Auflagefläche mehr besitzt und somit keinen Schmutz lösen und aufnehmen kann.

Die Tropfen auf einer superhydrophoben Oberfläche sehen zwar optisch sehr schön aus, da die Kugelform beinahe perfekt aussieht und das Wasser sofort abperlt, jedoch ist der Kundennutzen sehr eingeschränkt.

Empfehlenswert ist ein Kontaktwinkel zwischen  $150^\circ$  und  $160^\circ$  ([www.nanotol.de](http://www.nanotol.de)).

## 5 Künstliche Beschichtung

### 5.1 Sol-Gel-Verfahren

#### 5.1.1 Allgemein

Eine detaillierte Begriffserklärung befindet sich im Anhang unter „Begriffserklärung künstliche Beschichtung“. Es wird empfohlen, sich diese vor dem Durchlesen des Kapitels anzuschauen. Das Sol-Gel-Verfahren ist eines der wichtigsten Verfahren für die Beschichtung. Dabei werden stabile Dispersionen von Nanopartikeln durch Verdampfen des Lösungsmittels zu einem Gel verdichtet. Eine Dispersion ist ein Gemenge aus Stoffen, ohne dass diese eine chemische Verbindung eingehen. Das Verfahren besteht aus zwei grundlegenden Schritten, die Herstellung des Sols und die Beschichtung im Tauchbeschichtungsverfahren ([www.swissnanocube.ch](http://www.swissnanocube.ch), [www.sign-lang.uni-hamburg.de](http://www.sign-lang.uni-hamburg.de)).

#### 5.1.2 Herstellung

Beim Sol-Gel-Verfahren ist der Ausgangsstoff das Sol, welches eine kolloidale Lösung ist, in der Makromoleküle oder Nanopartikel stabil dispergiert sind. Das bedeutet, dass die Partikel nur schwach miteinander wechselwirken, sie verbinden sich nicht und lösen sich gegenseitig auch nicht auf. Häufig wird für eine Oberflächenbeschichtung eine speziell modifizierte Siliziumdioxid-Nanopartikel Dispersion verwendet. Um diese Nanopartikel herzustellen, werden Silane durch Hydrolyse und anschließender Kondensation zu Nanopartikeln aggregiert. Eine Hydrolyse bedeutet, dass man eine chemische Verbindung durch Anlagerung eines Wassermoleküls (H<sub>2</sub>O) aufspaltet.

Siliziumdioxid-Nanopartikel entstehen am einfachsten, wenn man Tetraethoxysilan bei tiefem pH-Wert hydrolysiert und kondensiert (siehe Abbildung 17).

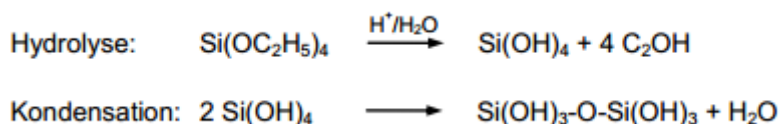


Abbildung 17: Sol-Gel-Verfahren Hydrolyse und Kondensation  
([www.swissnanocube.ch](http://www.swissnanocube.ch), 05.12.2013)

Die Nanopartikel wachsen heran, nachdem durch die Kondensation Siliziumdioxid-Agglomerate entstanden sind. Der pH-Wert spielt eine wichtige Rolle, wie schnell und stark die Hydrolyse und Kondensation ablaufen. Bei einem tiefen Wert spricht die Hydrolyse besser an und bei einem hohen die Kondensationsreaktion. Bei einem bestimmten pH-Wert entsteht ein Gleichgewicht zwischen den beiden Reaktionen, dadurch wird eine weitere Agglomeration gestoppt. Dadurch stabilisieren sich die Partikel bei einer gewissen Grösse (5–50nm).

Damit das Sol später als superhydrophobe Beschichtung verwendet werden kann, benötigt es im Sol zusätzlich noch Nanopartikel mit hydrophober Oberflächenmodifikation. Dazu werden bei der Herstellung zusätzlich noch Silane mit hydrophoben Seitenketten verwendet. Dabei entstehen Siliziumdioxid-Nanopartikel, welche an der Oberfläche eine hydrophobe Struktur aufweisen ([www.swissnanocube.ch](http://www.swissnanocube.ch), [www.sign-lang.uni-hamburg.de](http://www.sign-lang.uni-hamburg.de), [flexikon.doccheck.com](http://flexikon.doccheck.com), [www.zentrum-der-gesundheit.de](http://www.zentrum-der-gesundheit.de)).



### 5.1.3 Beschichtungsverfahren

Um ein Material mit dem Gel zu beschichten, wird das Tauchbeschichtungsverfahren verwendet. Das Ziel dabei ist, eine möglichst dünne Schicht an eine Oberfläche zu binden. Diese nimmt dabei superhydrophobe Eigenschaften an.

Das Prinzip des Verfahrens ist sehr simpel, die zu beschichtende Oberfläche wird in das Sol getaucht und langsam wieder herausgezogen. Dabei verdunstet während und auch nach dem Herausziehen das Lösungsmittel und es bildet sich ein Hydro-Gel auf der Oberfläche (siehe Abbildung 18) ([www.swissnanocube.ch](http://www.swissnanocube.ch)).

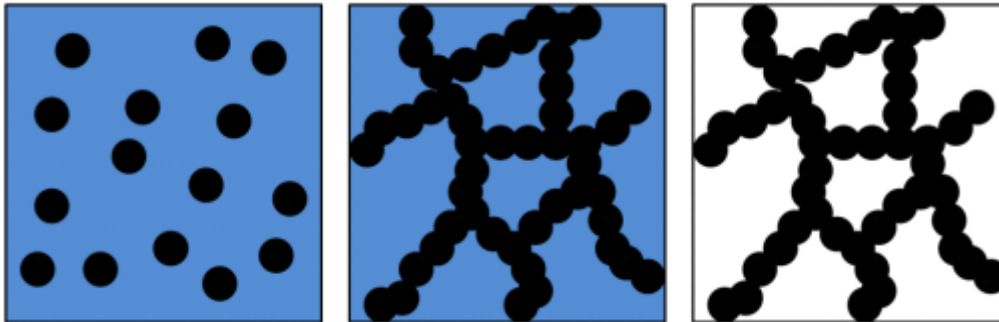


Abbildung 18: Verdampfung Nanopartikel ([www.swissnanocube.ch](http://www.swissnanocube.ch), 05.12.2013)

- Links** Stabil dispergierte Nanopartikel mit hydrophober Oberflächenmodifizierung.
- Mitte** Durch das Verdampfen des Lösungsmittels (blau) bilden die Sol-Partikel ein Netzwerk. Sobald das Lösungsmittel vollständig verdunstet ist, bildet sich ein Hydro-Gel.
- Rechts** Es bleibt das hydrophobe Netzwerk aus Nanopartikel zurück

## 5.2 Vor- und Nachteile des künstlich hergestellten Lotuseffekts

Die Vorteile liegen klar auf der Hand. Gegenstände jeglicher Art, ob Plastik, Glas bis hin zu Fassadenfarben und Pflastersteinen können mit einer Lotusbeschichtung überzogen werden. Schmutz haftet nicht mehr auf der Oberfläche und wird bei der nächsten Witterung durch den Regen weggeschwemmt. Teure Reinigungskosten sowie deren meist umweltschädlichen Reinigungsmittel können eingespart werden. Auch eine Algen- oder Moosentfernung an einer Fassade entfällt, da die Fassade nach einem Wetterschauer nach kurzer Zeit wieder austrocknet.

Doch leider ist nicht alles Gold was glänzt. So hat auch der künstliche Lotuseffekt seine Tücken und Macken. Die künstlich hergestellte Oberfläche besitzt eine mikroskopisch feine Struktur, wie die der Lotuspflanze. Doch die feinen mit Wachskristallen übersäten Papillen wachsen bei der natürlichen Variante immer wieder nach und regenerieren so die durch Umwelteinflüsse beschädigte Oberfläche. Die künstlich erzeugte Struktur nutzt sich langsam ab und der Effekt lässt langsam nach. Erst ein erneutes Behandeln der Oberfläche repariert die abgenutzte Oberfläche wieder. Jedoch nicht nur das Abnutzen der Oberfläche lässt den Lotuseffekt verschwinden sondern auch Fette und mikroskopisch kleine Schmutzpartikel, welche sich über eine längere Zeitspanne zwischen den Papillen anlagern. Diese füllen die Unebenheiten auf und zerstören somit die spezielle Struktur, welche den Lotuseffekt auszeichnet ([www.cenano.de](http://www.cenano.de), [www.maler-kempf.de](http://www.maler-kempf.de)).

## 6 Selbstreinigung

### 6.1 Funktion der Selbstreinigung

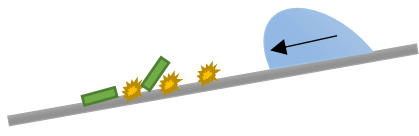
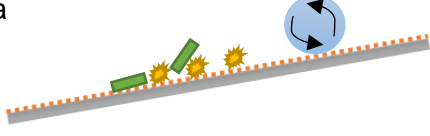
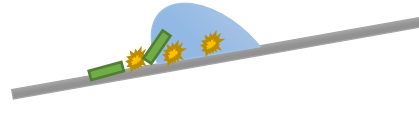
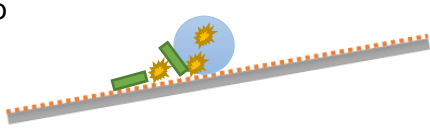
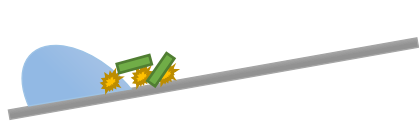
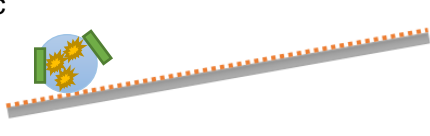
Im direkten Vergleich werden eine Oberfläche ohne den Lotuseffekt und eine Oberfläche, welche mit dem Lotuseffekt beschichtet wurde, gegenübergestellt. Auf den Bildern (1.a) sowie (2.a) ist die unterschiedliche Kugelform ersichtlich. Die Kugelform ist ausschlaggebend für die Fortbewegungsart des Wassertropfens. Auf dem Körper, welcher keinen Lotuseffekt aufweist, „rutscht“ der Tropfen über den Schmutz (1.b). Auf der rechten Seite jedoch rollt die Kugel über den Schmutz und zieht in an (2.b). Durch die genoppte Oberfläche ist die Adhäsionskraft zwischen Schmutzpartikel und Wassertropfen grösser als zwischen den Schmutzpartikeln und der Oberfläche. Die Partikel haften an der Wasserkugel und werden mit dieser vom Objekt weggetragen (2.c). Die Oberfläche ist wieder sauber.

Um die Funktion der Selbstreinigung an einem praktischen Beispiel veranschaulichen zu können, haben wir einen Versuchsaufbau nachgebaut. Hierfür haben wir die Fassadenproben der Firma Sto AG verwendet. Es wurden beide Testobjekte mit Flugasche bestreut. Anschliessend wurden Wassertropfen auf die Oberflächen gegeben und durch leichtes Neigen wurde versucht mit den Tropfen so viel Schmutz wie möglich aufzusammeln.

Das Ergebnis nach einem inszenierten Regenschauer ist bei den Bildern (1.c) sowie (1.c) zu erkennen. Bei der Oberfläche ohne eine Beschichtung bleiben Rückstände vorhanden, wohingegen sich die Oberfläche mit der Beschichtung selbst gereinigt hat (hps.hs-regensburg.de, swis-educ.ch).


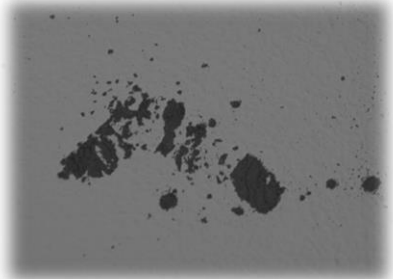
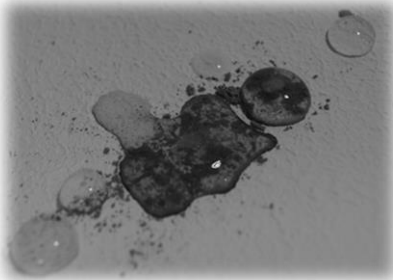
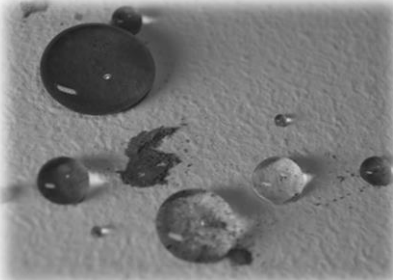


#### 6.1.1 Theoretisches Beispiel

Tabelle 2: Funktion der Selbstreinigung anhand hydrophoben (■) und hydrophilen (☀) Schmutzpartikeln

Oberfläche ohne Lotuseffekt	Oberfläche mit Lotuseffekt
1.a 	2.a 
1.b 	2.b 
1.c 	2.c 

### 6.1.2 Praktisches Beispiel anhand Fassadenproben der Sto AG

Tabelle 3: Praktisches Beispiel zur Selbstreinigung

Oberfläche ohne Lotuseffekt	Oberfläche mit Lotuseffekt
1.a 	2.a 
1.b 	2.b 
1.c 	2.c 

### 6.2 Zerstörung des Selbstreinigungseffekts

Die künstlich hergestellte Oberfläche hat einen enormen Nachteil gegenüber der natürlichen Oberfläche. Ist sie einmal beschädigt, wächst sie nicht mehr nach und muss erneut durch eine Oberflächenbehandlung repariert werden.

Die Nanostruktur kann durch Druckeinwirkung, Reibung oder bei Kleidungsgegenständen bei zu häufigen Waschgängen zerstört werden. Die Folgen sind abgebrochene Papillen auf der Oberfläche und fehlende Wackskristalle. Die Oberfläche besitzt somit einen höheren Benetzungsgrad. Der Tropfen erhält einen grösseren Kontaktwinkel und der Tropfen fängt an über die Oberfläche zu „kriechen“ (swisseduc.ch).

## 7 Praktische Anwendung des Lotuseffektes

Durch die Untersuchung und das Verständnis des Lotuseffekts entstand die Möglichkeit, ihn nachzubilden und einen praktischen Nutzen in sehr vielen verschiedenen Anwendungsgebieten zu erzielen.

So zum Beispiel in der Medizin. Im Zusammenhang mit Desinfektionsmitteln kann der Selbstreinigungseffekt das Säubern von Instrumenten erheblich vereinfachen. Er kann bei Alltagsgegenständen sehr von Nutzen sein, so zum Beispiel bei Kleidern wie einer Regenjacke, Badekleidern oder bei Schuhen. Die Textilien werden wasserabweisend und selbstreinigend.

Bei einem Haus kann die komplette Fassade mit dem Lotuseffekt beschichtet werden sowie auch die Scheiben. So wird das Haus bei jedem Regen automatisch gesäubert beziehungsweise erleichtert die Arbeit, wenn man von Hand putzt. Der gleiche Vorteil kann zum Beispiel bei einem Auto angewendet werden, hier wird auch der Regen zum Vorteil und das eigenhändige Waschen wird erheblich vereinfacht.

Der künstliche Lotuseffekt kann so aufgebaut werden, dass sogar viskose Flüssigkeiten abperlen. Der Begriff viskos stammt von dem zähflüssigen Saft der Beeren der Pflanzengattung Misteln (lat. Viscum) her und steht für eine zähe Flüssigkeit. Daraus entstand das Mass Viskosität, in dem gemessen wird, wie zähflüssig eine Flüssigkeit ist.

Doch der Lotuseffekt ist noch lange nicht ausgereift. Wissenschaftler tüfteln immer noch daran, die Beschichtung zu verbessern und vor allem widerstandsfähiger zu gestalten. So wäre der Effekt auf Tragflächen eines Flugzeuges von grossem Vorteil, da dadurch Wassertropfen und Eis nicht mehr entstehen können und das Enteisen im Winter wegfällt. Doch die Beschichtung hält die hohen Geschwindigkeiten noch nicht aus, die Oberflächenstruktur würde sofort zerstört werden.

Der Lotuseffekt hat aber seine Grenzen bei Flüssigkeiten, welche eine zu geringe Oberflächenspannung besitzen, so zum Beispiel Benzin oder Alkohol ([www.helpster.de](http://www.helpster.de), [swisseduc.ch](http://swisseduc.ch), [www.br.de](http://www.br.de)).

## 8 Die Zukunft des Lotuseffekts

### 8.1 Lotusbeschichtung für Solaranlagen

Solarpanels produzieren in der Schweiz im Schnitt rund 100–150 kWh/m<sup>2</sup> Strom pro Jahr. (ewl-luzern.ch,2014)

Forscher tüfteln an einer Lösung wie sie die Energieeffizienz von Photovoltaik-Anlagen noch weiter steigern können, denn die Oberflächenverschmutzung führt zu einer Ertragseinbusse von bis zu 25%.



Abbildung 19: Photovoltaik (www.welt.de, 2013)

Der Lotuseffekt schien anfangs prädestiniert für das Vorhaben gewesen zu sein, doch nach einigen ernüchternden Tests musste man feststellen, dass die behandelte Oberfläche weniger Licht durchliess wie das Exemplar vor der Behandlung. Durch die Behandlung bildete sich eine hauchdünne Schicht, welche die Sonnenstrahlen nicht mehr vollständig durchliess.

Es gibt jedoch bereits erste Ansätze für eine Beschichtung, welche ausschliesslich Vorteile für die Solarzellen bringen sollte, so verspricht es zumindest eine deutsche Firma namens CeNano GmbH. Die Versiegelung hält gemäss Hersteller bis zu 3 Jahre und man soll zudem richtig Geld sparen können (www.welt.de, www.cenano.de).

### 8.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Wir möchten anhand eines Beispiels die Kosten für eine Photovoltaik-Anlage mit einer Grösse von 40 m<sup>2</sup> aufstellen

Tabelle 4: Kosten-Nutzen-Analyse Photovoltaik-Anlage mit Lotuseffektbeschichtung

	Ohne Lotuseffekt	Mit Lotuseffekt
<b>Einnahmen</b>		
Stromertrag pro m <sup>2</sup>	111.25 kWh	125 kWh
Gesamtstromertrag (Gesamtfläche: 40 m <sup>2</sup> )	4450.00 kWh	5000 kWh
Stromeinnahmen (1 Jahr) (0.30 CHF/kWh)	1335.00 CHF	1500.00 CHF
Stromeinnahmen (3 Jahre) (0.30 CHF/kWh)	4005.00 CHF	4500.00 CHF
<b>Ausgaben</b>		
Versiegelung (einmalig)		73.30 CHF
<b>Gesamtgewinn</b>	<b>4005.00 CHF</b>	<b>4426.70 CHF</b>

Durch eine Lotusversiegelung auf einer Photovoltaikanlage der Grösse (40 m<sup>2</sup>) wird in 3 Jahren 421.70 CHF gespart. Wenn die Versiegelung soweit entwickelt ist, dass sie eine längere Zeitdauer wie 3 Jahre unbeschadet überstehen wird, wird sich der Trend der Nanoversiegelung auch in diesem Bereich der Technik mit grosser Wahrscheinlichkeit durchsetzen können.

## 9 Experiment

### 9.1 Test des Lotuseffektes

Um den Lotuseffekt zu testen, wurden Experimente an Stoff- und Fassadenproben sowie an Kohl durchgeführt. Für die Tests wurden Stoffproben der Firma Schöller AG und Fassadenproben der Sto AG verwendet. Indem die Tests mit einer Fassadenprobe ohne Beschichtung und einer mit Beschichtung durchgeführt wurden, konnten direkte Vergleiche erstellt werden. Um den natürlichen Lotuseffekt zu untersuchen, wurde Kohl verwendet. Das ganze wurde mit einer Spiegelreflexkamera dokumentiert.

#### 9.1.1 Stoffproben

Um den Lotuseffekt auf einer beschichteten Stoffprobe sichtbar zu machen, wurde er zuerst mit Wasser getestet. Dabei wurden einzelne Tropfen auf dem Material platziert.



Abbildung 20: Lotuseffekt auf Stoff: Wasser

Um zu testen, ob der Effekt auch noch bei einer dickflüssigeren Flüssigkeit auftritt, wurde dem Wasser Sirup beigegeben sowie auch Honig verwendet.

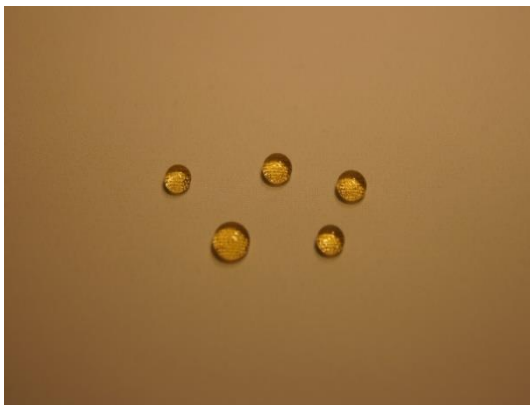


Abbildung 21: Lotuseffekt auf Stoff: Honig

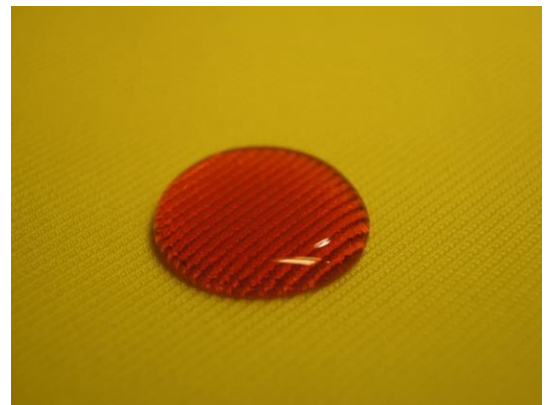


Abbildung 22: Lotuseffekt auf Stoff: Wasser mit Sirup

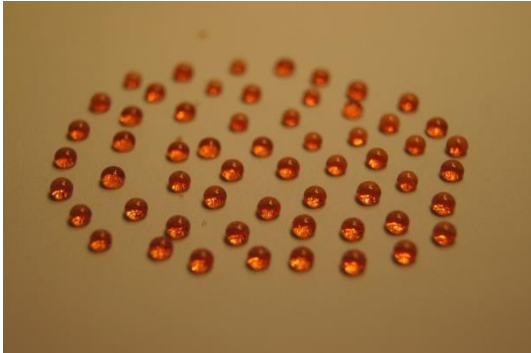


Abbildung 23: Lotuseffekt auf Stoff: Wasser mit Sirup

Giesst man Wachs über die Oberfläche, so kann dieser nach dem Aushärten ganz einfach von Hand entfernt werden. Dieser Versuch zeigt, dass der Lotuseffekt auch bei heisser Flüssigkeit immer noch funktioniert.



Abbildung 24: Lotuseffekt auf Stoff: Wachs flüssig



Abbildung 25: Lotuseffekt auf Stoff: Wachs getrocknet

### 9.1.2 Fassadenprobe

Die Fassadenproben wurden schon im Kapitel „Praktisches Beispiel“ anhand Fassadenproben der Sto AG behandelt, Deshalb folgt hier nur der Vergleich zwischen der beschichteten und nicht beschichteten Oberfläche bei der Reinigung.

Mit Beschichtung:



Abbildung 26: Lotuseffekt auf Fassadenprobe: Wasser und Dreck

Ohne Beschichtung:



Abbildung 27: Fassadenprobe ohne Lotuseffekt: Wasser und Dreck

### 9.1.3 Weisskohl

Auch der Weisskohl wurde zuerst mit Wasser getestet, doch da Wasser nicht sehr gut sichtbar war, wurde es mit Sirup eingefärbt. So ist der Lotuseffekt auch auf dem Weisskohl sehr gut zu erkennen.

Wasser:



Abbildung 28: Lotuseffekt auf Weisskohl: Wasser

Wasser mit Sirup:



Abbildung 29: Lotuseffekt auf Weisskohl: Wasser mit Sirup

## 9.2 Untersuchung unter dem Mikroskop

Für die genaue Untersuchung der Oberfläche wurde ein Termin bei der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs vereinbart. Leider konnte die Struktur der Beschichtung dabei nicht sichtbar gemacht werden, doch der Besuch gewährte uns einen tieferen Einblick in die Struktur der Oberfläche unserer Proben. Auch die Unterschiede zwischen den Fassadenproben mit und ohne Beschichtung wurden dadurch nicht sichtbar.

Die Untersuchung wurde mit einer Spiegelreflexkamera sowie mit einer integrierten Kamera im Mikroskop dokumentiert.

### 9.2.1 Mikroskop

Das genutzte Mikroskop konnte eine bis zu 100-fache Vergrößerung erreichen, doch diese konnte leider nicht genutzt werden. Unsere Oberflächen waren zu grob, dadurch wurde es sehr schwierig, einen Bereich so zu fokussieren, dass etwas erkennbar wurde.

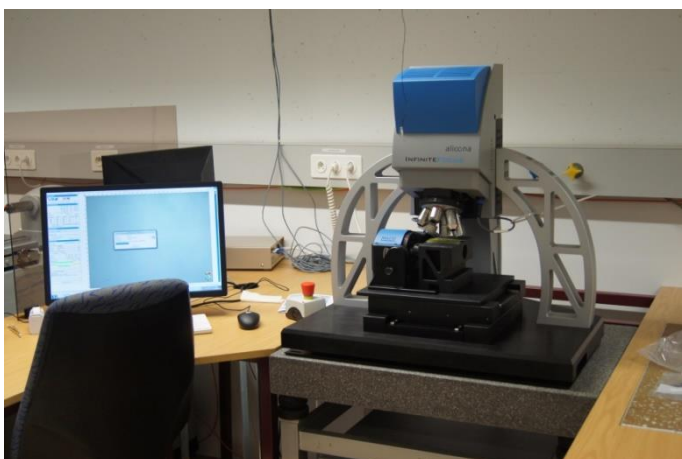


Abbildung 30: Mikroskop: Arbeitsplatz



Abbildung 31: Mikroskop: Linsen



### 9.2.2 Weisskohl

2.5-fache Vergrößerung:



Abbildung 32: Mikroskop: Weisskohl 2.5-fach

2.5-fache Vergrößerung:

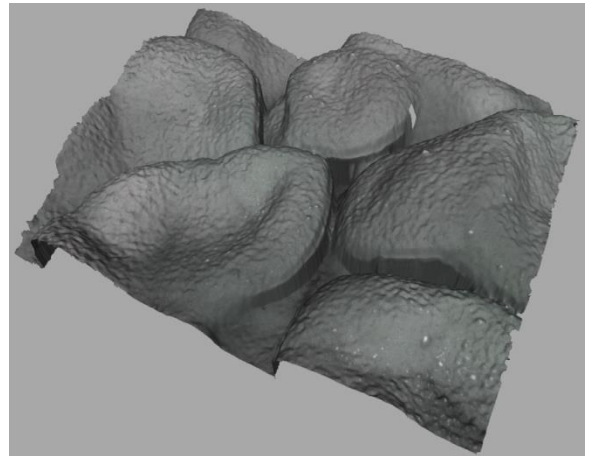


Abbildung 33: Mikroskop: Weisskohl 2.5-fach

### 9.2.3 Fassadenprobe

Mit Lotuseffekt, 2.5-fache Vergrößerung:

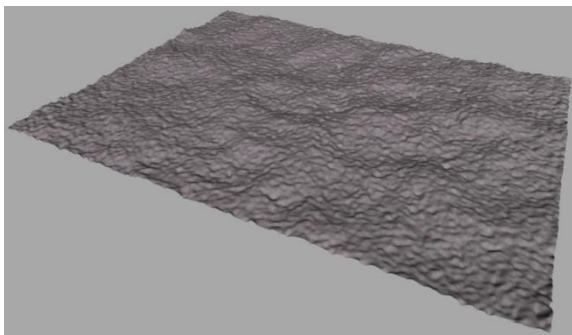


Abbildung 34: Mikroskop: Fassadenprobe mit Lotuseffekt 2.5-fach

Mit Lotuseffekt, 50-fache Vergrößerung:

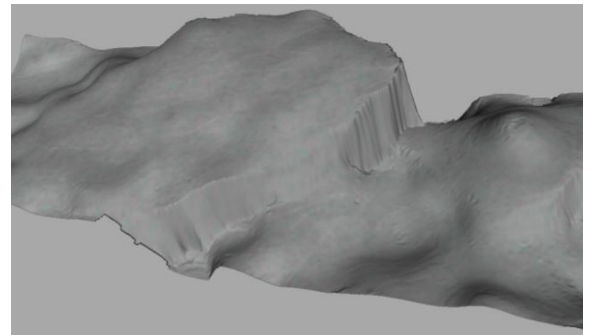


Abbildung 35: Mikroskop: Fassadenprobe mit Lotuseffekt 50-fach

Ohne Lotuseffekt, 2.5-fache Vergrößerung:

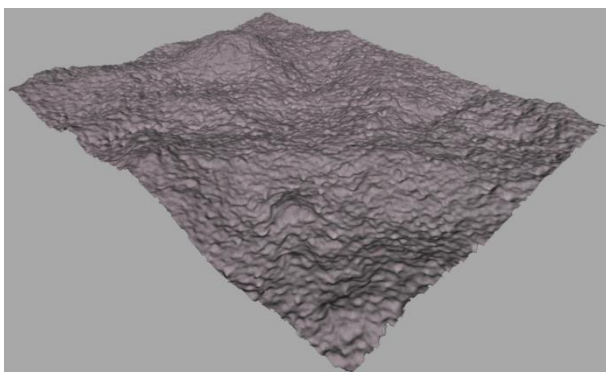


Abbildung 36: Mikroskop: Fassadenprobe ohne Lotuseffekt 2.5-fach

Ohne Lotuseffekt, 50-fache Vergrößerung:

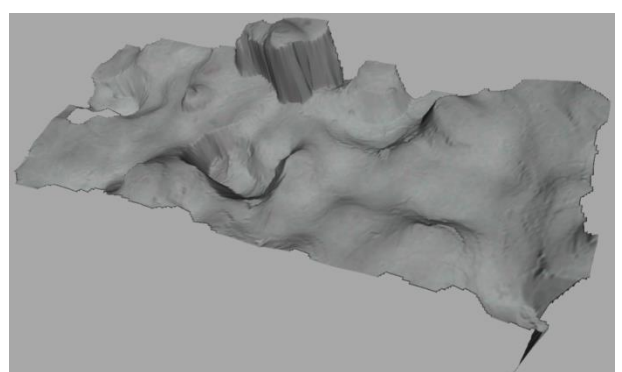


Abbildung 37: Mikroskop: Fassadenprobe ohne Lotuseffekt 50-fach

### 9.2.4 Lotusblatt

Da leider keine Aufnahmen der Oberfläche unter einem Elektronenrastermikroskop möglich waren, doch diese die Struktur sehr gut veranschaulichen, stammen folgende Bilder aus dem Internet.

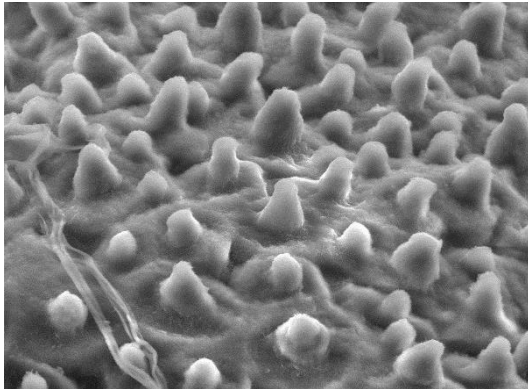


Abbildung 38: Lotusblatt unter dem Elektronenrastermikroskop (swisseduc.ch, 06.03.2014)

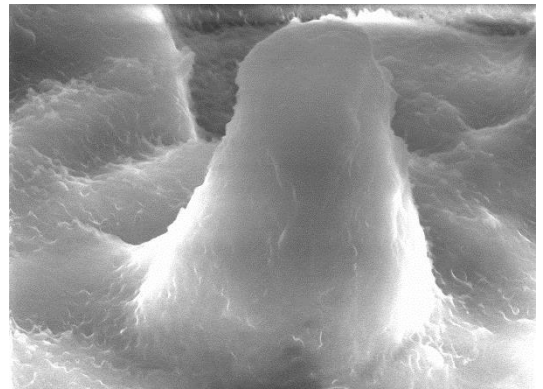


Abbildung 39: Lotusblatt unter dem Elektronenrastermikroskop (swisseduc.ch, 06.03.2014)

## 10 Fazit

### 10.1 Schlusswort

Das Ziel dieser Arbeit war das Erforschen des Lotuseffekts und dessen ausgeklügelter Funktionsweise. Uns hat das Thema von Anfang an bis zum Ende fasziniert, nicht zuletzt wegen der sehr guten Gruppendynamik. Wir hoffen, dass wir unser neu gewonnenes Wissen mit dieser Dokumentation auch an weitere Personen weitergeben können und somit die eine oder andere spannende Wissenslücke füllen dürfen.

Unserer Meinung nach steckt hinter dem Lotuseffekt noch eine Menge Potenzial, das zu erforschen gilt. Denn die Natur besitzt noch viele Geheimnisse, die der Menschheit sicherlich noch nicht alle bekannt sind.

### 10.2 Gruppenreflexion

Wir waren uns bereits im Vorhinein im Klaren, dass unser ausgewähltes Projektthema ein sehr spannendes und womöglich nicht ganz einfaches Thema sein wird.

Anfangs war eine grosse Euphorie in der Gruppe spürbar, doch bald schon wurde deutlich, dass wir bei der Erstellung des Zeitplanes nicht alle Eckpunkte miteinbezogen hatten. So konnten beispielsweise keine Gegenstände mit dem Lotuseffekt beschichtet werden, da die zuerst dafür vorgesehene Firma die benötigten Chemikalien nicht besass. Die Arbeit ging aber weiter und wir suchten nach einer anderen Lösung. Umso erfreuter waren wir, als die Firma Schöller sich bereit dazu erklärte, uns Stoffproben zukommen zu lassen. Durch die Verzögerung blieb uns aber nichts anderes übrig als einen neuen Terminplan zu erstellen. Die fehlende Zeit, mussten wir an den Wochenenden wettmachen. Nur so war es möglich das Projekt termingerecht fertig zu stellen.

Nichts desto trotz war die Zusammenarbeit im Team sehr zielorientiert und engagiert. So wurden Teilarbeiten meist ohne weiteren Einwand angenommen und auf das dafür vorgesehene Enddatum durchgeführt.

### 10.3 Persönliche Reflexion - Philipp Hutter

Mein Teamkollege Marc und ich haben über die Zeitdauer von beinahe 7 Monaten an einem Ziel gearbeitet. Dass wir das Thema Lotuseffekt für unser Thema wählten, war schon früh klar, denn wir wollten ein Thema wählen, welches uns fordert und uns gleichzeitig neue Erkenntnisse liefert. Die Teamarbeit war meiner Meinung nach sehr gut, Ich konnte mich auf Marc verlassen und die Termine wurden, wie im Voraus vereinbart, eingehalten. Auch nach der Absage der Schöller AG in Sevelen blieben wir zuversichtlich und bemühten uns, die Termine einzuhalten. Das zahlte sich schlussendlich mit dem Besuch im NTB-Buchs aus.

Was ich schade fand, war die geringe Zeit, welche ich in der Schule zur Verfügung hatte. Diese reichte meist nicht aus, um wirklich in Fahrt zu kommen und die Arbeit zu verfassen. Ich habe viele Aufgaben zuhause erledigt, da es mir da leichter fiel, mich mit dem Thema auseinanderzusetzen. Wir nutzten die Schulstunde nur noch für den Wissensabgleich und für die weitere Projektplanung. Da mein Interesse an dem Thema sehr gross war, war es für mich auch kein Problem meine Freizeit für das Projekt zu nutzen.

Was mich jedoch am meisten ärgert, war mein Krankenstand, weshalb ich zwei Wochen nicht am Projekt weiterarbeiten konnte und die zu erledigenden Arbeiten Marc übernehmen musste. Umso erfreuter war ich, dass wir trotz der Krankheit nicht zu weit ins Hintertreffen gerieten, da Marc die meisten Aufgaben zuverlässig erledigt hatte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ich das Projekt sehr spannend fand, und wenn es die Gelegenheit gäbe sicherlich nochmals eine Arbeit mit dem Ausmasse durchführen würde. Denn ich bin nicht nur mit dem Willen und dem Ziel eine gute Note zu erreichen an die Projekt herangetreten, sondern mit dem Ziel etwas Neues zu erforschen und zu entdecken. Das sollte das Ziel jeder Arbeit sein.

### 10.4 Persönliche Reflexion - Marc Widmayer

Zu Beginn des Projektes wusste ich zwar, was der Lotuseffekt ist, doch aus welchem Grund er auftritt war mir nicht bekannt. Ich war für das Thema Lotuseffekt, da mich das Phänomen des Abperlens sehr fasziniert und mich die Hintergründe dafür interessieren. Ich merkte auch sehr schnell, dass es sehr viel über den Lotuseffekt zu dokumentieren gibt. Dies freute mich, da ich am Anfang noch ein bisschen Sorge hatte, dass es über den Lotuseffekt zu wenig Material gibt.

Ich fand es passend, dass ich einen Bekannten habe, der Textillaborant ist. Er konnte uns zwar in Bezug auf unser Experiment nicht helfen, doch er bot uns seine Hilfe an, falls wir Fragen über die Chemie hätten. Ich hatte während der Projektzeit das Gefühl, dass wir sehr gut vorankommen und auch im Nachhinein betrachtet sind wir nie gross von unserem Zeitplan abgekommen. Es gab zwar diverse Rückschläge wie die Krankheit von Philipp und die Absagen von meinem Bekannten und auch der Schöller AG, doch wir fanden dafür immer eine Lösung.

Die Teamarbeit von Philipp und mir war sehr gut. Meiner Meinung liegt dies daran, dass wir in unserer Klasse nur zu zweit sind und so schon mehrmals zusammenarbeiten konnten. Wir haben immer wieder über eine Pendenzenliste unsere Arbeiten aufgeteilt und hatten so immer den Überblick über den Status.

Rückblickend betrachtet halte ich unser Projekt für einen Erfolg und bin sehr zufrieden. Bei der Durchführung eines solchen Projektes lernt man immer wieder etwas Neues dazu, davon habe ich sicher auch profitiert, da dies sicher nicht meine letzte Arbeit gewesen ist.

## 11 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser interdisziplinären Projektarbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt hierbei der Firma Schöller AG in Sevelen sowie der Sto AG in Chur, von welchen wir kostenlose Test- und Untersuchungsobjekte zur Verfügung gestellt bekommen haben.

Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei Herrn Cem Yavaser, welcher als Oberflächenforscher an der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs angestellt ist. Ohne seine Hilfe wäre eine Untersuchung der Testobjekte nicht möglich gewesen. Zudem erhielten wir zahlreiche neue und wichtige Informationen über die Beschaffung der Oberflächenstruktur.

Grosser Dank gebührt nicht zuletzt all jenen, die sich für uns Zeit genommen haben, um unsere Arbeit auf Fehler und Korrektheit hin zu überprüfen.

## Anhang

### Begriffserklärung Biologie

Tabelle 5: Begriffserklärung Biologie

Begriff:	Erklärung
Cuticula	Die Cuticula liegt über der Epidermis und besteht aus bis zu 90% aus Cutin. Cutin ist ein Polymer (chemische Verbindung), welches aus Wachsen besteht ( <a href="http://www.biologie-schule.de">www.biologie-schule.de</a> , <a href="http://de.wikipedia.org">de.wikipedia.org</a> ).
Epidermis	Die Epidermis schützt die darunterliegenden Pflanzengewebe, und gibt einem Blatt die benötigte Stabilität ( <a href="http://www.biologie-schule.de">www.biologie-schule.de</a> ).
Parenchym	Das Parenchym ist ein Gewebe, welches das Palisaden- sowie das Schwammgewebe umfasst ( <a href="http://de.wikipedia.org">de.wikipedia.org</a> ).
Palisadengewebe	Das Palisadengewebe ist für die Photosynthese verantwortlich ( <a href="http://www.biologie-schule.de">www.biologie-schule.de</a> ).
Schwammgewebe	Das Schwammgewebe regelt den Gasaustausch ( $\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$ ) ( <a href="http://www.biologie-schule.de">www.biologie-schule.de</a> ).
Schliesszelle / Stoma	Sollte der Wassergehalt im Blatt zunehmen, öffnen sich die Schliesszellen / Stoma. Wasserdampf kann entweichen und $\text{CO}_2$ ins Innere gelangen ( <a href="http://www.biologie-schule.de">www.biologie-schule.de</a> ).
Chloroplast	In den Chloroplasten läuft die Photosynthese ab ( <a href="http://de.wikipedia.org">de.wikipedia.org</a> ).
Vakuole	Dient als Speicher für Zucker, Vitamine usw. ( <a href="http://de.wikipedia.org">de.wikipedia.org</a> ).
Zellkern	Der Zellkern dient als Steuerzentrale einer Zelle.
Zellwand	Trennt die einzelnen Zellen voneinander.
Cytoplasma	Das Cytoplasma ist die flüssige Grundsubstanz einer Zelle ( <a href="http://de.wikipedia.org">de.wikipedia.org</a> ).
Papille	Die Papillen sind Erhöhungen auf dem Blatt. Je nach Blatt können diese schwach bis stark ausgeprägt sein.
Wachskristalle	Wachskristalle bilden die oberste Schicht des Blattes.

## Begriffserklärung künstliche Beschichtung

Tabelle 6: Begriffserklärung künstliche Beschichtung

Begriff:	Erklärung
Kolloidale Lösung	Eine Lösung aus Wasser und organischen Makromolekülen, welche in der Lage ist, durch kolloidosmotischen Druck grosse Mengen Wasser an sich zu binden (flexikon.doccheck.com).
Makromolekül	Chemische Verbindungen, welche aus vielen Atomen, normalerweise mehr als 1000, bestehen und ein hohes Molekulargewicht aufweisen. Das Molekulargewicht ist die Summe der Massen der Atome eines Moleküls (flexikon.doccheck.com).
Kolloidosmotischer Druck	Ein osmotischer Druck, der durch Kolloide in einer Lösung ausgeübt wird. Die Höhe des Drucks wird durch die Anzahl der gelösten Teilchen (Kolloide) bestimmt (flexikon.doccheck.com).
Osmose	<p>Eine Diffusion einer Flüssigkeit durch eine semipermeable Membran entlang eines Konzentrationsgefälles der Lösungsmittel in Bezug auf die gelösten Teilchen. Die Diffusion erfolgt in Richtung der höheren Konzentration (flexikon.doccheck.com).</p> <p>Abbildung 40: Osmose (<a href="http://dccc.de">http://dccc.de</a>, 12.12.2013)</p>
Diffusion	Das Vermischen von Stoffen durch ihre zufällige Eigenbewegung (flexikon.doccheck.com).
Semipermeabel	Eine Membran, welche nur bestimmte Substanzen oder Substanzen nur in eine Richtung durchlassen (flexikon.doccheck.com).
Membran	Eine dünne Material- oder Gewebeschicht, die zwei Räume voneinander abtrennt (flexikon.doccheck.com).
Kolloid	Makromoleküle, Teilchen oder Tröpfchen, welche in einem anderen Medium fein verteilt sind (flexikon.doccheck.com).
Silane	Chemische Verbindungen mit einem Silizium-Grundgerüst (de.wikipedia.org)
Aggregieren	Ansammeln, zusammenführen (www.wortbedeutung.info)
Tetraethoxysilan	Kurz TEOS, Chemische Verbindung ( $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ) ( <a href="http://www.swissnanocube.ch/">http://www.swissnanocube.ch/</a> )
Nanopartikel	Verbände von Atomen, die Anzahl kann stark variieren von ein paar wenige bis tausende (de.wikipedia.org).
Agglomerat	Eine verfestigte Anhäufung von vorher losen Teilen (flexikon.doccheck.com).
pH-Wert	Definiert, wie sauer eine Lösung ist. Die Werte beginnen bei 0 (=stark sauer). Der „Neutralwert“ liegt bei 7 (www.zentrum-der-gesundheit.de).

**Oberflächenspannungswerte für Flüssigkeiten**

Tabelle 7: Oberflächenspannungswerte für Flüssigkeiten (dodo.fb06.fh-muenchen.de, 07.02.2014)

<b>Flüssigkeit</b>	<b>Oberflächenspannung</b>	<b>dispersiver Anteil</b>	<b>polarer Anteil</b>
N,N-dimethyl-Formamid	37,1	29,0	8,1
n-Decan	23,9	23,9	0,0
n-Heptan	20,4	20,4	0,0
n-Hexan	18,4	18,4	0,0
n-Octan	21,8	21,8	0,0
n-Tetradecan	25,6	25,6	0,0
nitro-Ethan (Schultz)	31,9	27,5	4,4
nitro-Methan (Schultz)	36,8	29,8	7,0
Phthalicsäure-diethylester 22°	37,0	30,0	7,0
sym-tetrabrom-Ethan (Ström)	49,7	49,7	0,0
sym-tetrachlor-Ethan (Ström)	36,3	36,3	0,0
tetrachlor-Methan (Schultz)	27,0	26,7	0,3
Toluol (Schultz)	28,4	26,1	2,3
Tricresyl-phosphat (Fowkes)	40,9	39,2	1,7
Wasser	72,8	26,0	46,8
Wasser (Busscher)	72,1	19,9	52,2
Wasser (Rabel) 22°	72,3	18,7	53,6
Wasser (Ström) 20°	72,8	21,8	51,0
$\alpha$ -brom-Naphthalin (Busscher)	44,4	44,4	0,0
$\alpha$ -brom-Naphthalin (Ström)20°	44,6	44,6	0,0

## Zeitplan

Tabelle 8: Zeitplan

Beschreibung	Dauer	Anfangstermin	Endtermin
<b>IDPA - Lotuseffekt</b>	<b>162 Tage</b>	<b>Do 12.09.13</b>	<b>Fr 25.04.14</b>
<b>Meilensteine</b>	<b>162 Tage</b>	<b>Do 12.09.13</b>	<b>Fr 25.04.14</b>
Themenauswahl abgeschlossen	0 Tage	Do 12.09.13	Do 12.09.13
Abgabe Projektanmeldung	0 Tage	Do 26.09.13	Do 26.09.13
Unterkategorien des Projektes sind definiert	0 Tage	Do 03.10.13	Do 03.10.13
Arbeitsjournalvorlage erstellt	0 Tage	Fr 11.10.13	Fr 11.10.13
Gesamte Vorlage für Projektdokumentation erstellt	0 Tage	Fr 25.10.13	Fr 25.10.13
Alle Experimente und Ressourcen definiert	0 Tage	Do 07.11.13	Do 07.11.13
Experiment vollständig vorbereitet	0 Tage	Mo 09.12.13	Mo 09.12.13
myclimate: Anmeldung Projektteam	0 Tage	Do 19.12.13	Do 19.12.13
Gesamte Projektdokumentation erstellt	0 Tage	Do 16.01.14	Do 16.01.14
Projektpräsentation erstellt	0 Tage	Mo 17.02.14	Mo 17.02.14
Abgabe Dokumentation	0 Tage	Do 13.03.14	Do 13.03.14
Präsentation mündlich vorbereitet	0 Tage	Mo 17.03.14	Mo 17.03.14
Probepäsentation	0 Tage	Do 27.03.14	Do 27.03.14
Präsentation IDPA	0 Tage	Fr 25.04.14	Fr 25.04.14
<b>Dokumentationen</b>	<b>162 Tage</b>	<b>Do 12.09.13</b>	<b>Fr 25.04.14</b>
Projektanmeldung fertigstellen	10 Tage	Do 12.09.13	Mi 25.09.13
Präsentationskategorien definieren	2 Tage	Do 26.09.13	Fr 27.09.13
Dokumentationskategorien definieren	2 Tage	Mo 30.09.13	Di 01.10.13
Arbeitsjournalvorlage erstellen	6 Tage	Fr 04.10.13	Fr 11.10.13
Vorlage Projektdokumentation erstellen	10 Tage	Mo 14.10.13	Fr 25.10.13
myclimate Anmeldung erstellen	3 Tage	Di 17.12.13	Do 19.12.13
Projektdokumentation fertigstellen	28 Tage	Di 10.12.13	Do 16.01.14
Projektpräsentation erstellen	22 Tage	Fr 17.01.14	Mo 17.02.14
Präsentation mündlich vorbereiten	20 Tage	Di 18.02.14	Mo 17.03.14
Vollständig auf IDPA Präsentation vorbereitet	29 Tage	Di 18.03.14	Fr 25.04.14
<b>Experiment</b>	<b>49 Tage</b>	<b>Mi 02.10.13</b>	<b>Mo 09.12.13</b>
Experimentkategorien definieren	2 Tage	Mi 02.10.13	Do 03.10.13
Experimente gem. Experimentkategorien definieren	5 Tage	Mo 28.10.13	Fr 01.11.13
Ressourcen für Experiment definieren	4 Tage	Mo 04.11.13	Do 07.11.13
Alles Benötigte für Experiment beschafft und vorbereitet, Experiment fertig vorbereitet	22 Tage	Fr 08.11.13	Mo 09.12.13



## Projektanmeldung

<b>Sozialform:</b> Partnerarbeit (2er Gruppe)		<b>Datum:</b> 26.09.2013
<b>Name</b>	<b>Vorname</b>	<b>Klasse</b>
Widmayer	Marc	ISB4
Hutter	Philipp	ISB4

<b>Projekttitel</b>	<b>Der Lotuseffekt - Der Natur auf der Spur</b>						
<b>Projektleiter</b>	Welche Funktion, Rollen und Kompetenzen haben die Teammitglieder? <table> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Funktion</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Marc Widmayer</td> <td>Dokumentation, Planung,</td> </tr> <tr> <td>Philipp Hutter</td> <td>Dokumentation, Planung,</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Funktion	Marc Widmayer	Dokumentation, Planung,	Philipp Hutter	Dokumentation, Planung,
Name	Funktion						
Marc Widmayer	Dokumentation, Planung,						
Philipp Hutter	Dokumentation, Planung,						
<b>Projektziele</b>	Was wollen wir nachher wissen ? Welche Ergebnisse wollen wir vorweisen? etc. Welche Eigenschaften besitzt der Lotuseffekt? Wie funktionierten diese Eigenschaften? Wo werden die Eigenschaften des Lotuseffektes vom Menschen eingesetzt? Welche weiteren Einsatzgebiete gibt es noch, oder wurde der Lotuseffekt schon vollkommen ausgeschöpft? Was sind die finanziellen oder ökologischen Aspekte des Lotuseffektes? Gibt es eine Alternativen zum Lotuseffekt?						
<b>Kurzbeschreibung</b>	Beschreiben Sie stichwortartig den Inhalt Ihrer Projektarbeit Eigenschaften, Funktion und Einsatzgebiet des Lotuseffekt Lotuseffekt-Beschichtung selber herstellen Gegenstände beschichten und Vorzeigen						
<b>Interdisziplinarität</b>	Welche Fachgebiete (z.B. Physik, Biologie, Geographie, Mathematik, Geschichte etc.) wollen Sie wie berücksichtigen? Physik & Biologie						
<b>Themenbegründung</b>	Was interessiert Sie an diesem Thema? Warum haben Sie dieses ausgewählt? Man trifft den Lotuseffekt oft im Alltag und ist dafür dankbar wie z.B. bei Schuhen, Taschen, Kleidern, Helmvisiere oder bei der Frontscheibe eines Autos, doch wieso der Lotuseffekt entsteht weiss kaum jemand, deshalb wollen wir uns in dieses Thema einarbeiten und das Wissen weitergeben.						
<b>Versuch rsp. Experiment</b>	Was für ein Versuch rsp. Experiment machen wir? Fallen Kosten an? Wie hoch sind diese? Was für Material wird verwendet? etc. Gegenstände beschichten, anschliessend Veranschaulichung des Lotuseffekts anhand der Beispiele.(Würde der Lotuseffekt unsere Umwelt schonen?). Die Mischung selber herstellen und die Schwierigkeiten und Bestandteile aufzeigen und worauf es ankommt. Für die Zutaten der Mischung fallen sehr warscheinlich Kosten an.						
<b>Bewertung des Projektergebnis</b>	Wann sind wir mit dem Projekt zufrieden? Wie kontrollieren wir das? Es sollen Gegenstände beschichtet werden können und der Lotuseffekt soll sichtbar sein, das ganze soll in einer Dokumentation zusammengefasst und für jedermann verständlich sein, der sich in dem Thema nicht auskennt. Das gleiche gilt selbstverständlich auch für die Präsentation.						
<b>Terminplanung</b>	Termine, Fristen, Abhängigkeiten und Verantwortlichkeit zu den Tätigkeiten planen. Oder: Wann macht wer was? Die Planung wird vollständig im MS Project abgebildet.						
<b>Ergänzung</b>	z.B. Gründe für die Wahl der Aufgabe, Lernziele, Vorarbeiten, Kontakte, Literatur, Beurteilung der Durchführbarkeit, etc. Um die Mischung herzustellen, müssen wir uns vermutlich auf das Wissen eines Chemielaboranten						

Abbildung 41: Projektanmeldung

## Themensuche für Projektdokumentation

Im Team wurde ein Mindmap mit den wichtigsten Eckpunkten, welche in die Dokumentation hineinfließen werden, herausgearbeitet. Dieses Mindmap gilt als Leitfaden unserer Arbeit.

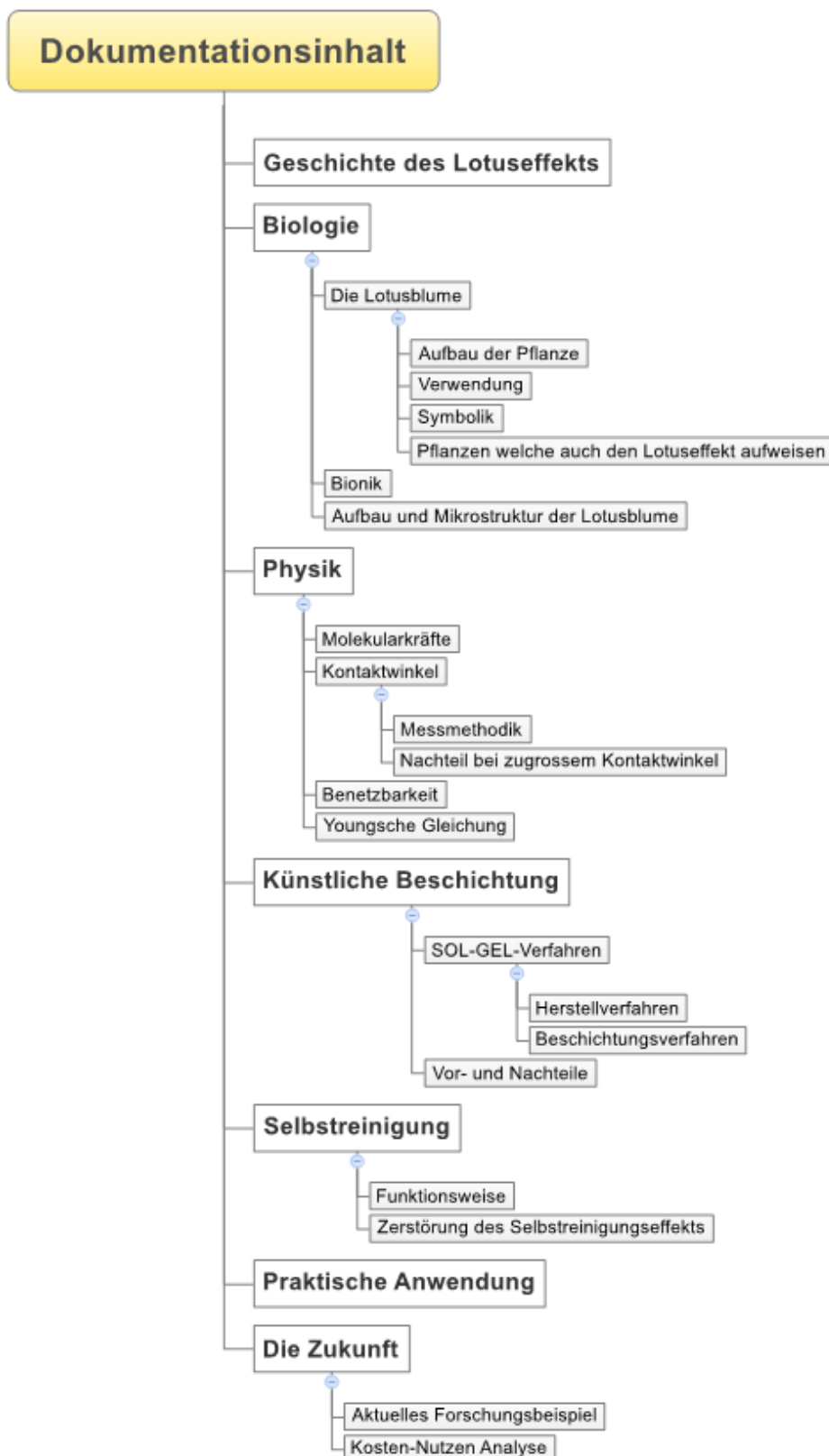


Abbildung 42: Mindmap

## Projektjournal

<b>Thema:</b> Projektstart	<b>Datum, Dauer:</b> 26.09.2013, 2 Stunden
----------------------------	--------------------------------------------

### Tätigkeiten

Zum Projektstart haben wir mit einem Brainstorming begonnen um die Themenbereiche, welche wir später in die Dokumentation übernehmen werden, herauszufinden. Dabei wurde das Ergebnis mithilfe eines Mindmaps visualisiert. Die Grundlage für die weiteren Arbeitsschritte wurde somit geschaffen.

Für den besseren Dateiaustausch haben wir einen MyDrive-Account erstellt. Damit wir beide gleichzeitig an den Dokumenten arbeiten können, wurde ein Namenspräfix definiert (Projekt\_<Datum>\_<fortlaufende Nummer>).

### Reflexion

**Marc Widmayer:** Wir haben in der Schule sowie auch zuhause Themen für unsere Dokumentation und für die Präsentationskategorien gesucht sowie eine Excel-Datei erstellt. In diese haben wir unsere Ideen geschrieben. Des Weiteren haben wir auch alle benötigten Dokumente definiert, wie zum Beispiel den Zeitplan und das Arbeitsjournal.

**Philipp Hutter:** Das Brainstorming ist eher zögerlich gestartet und wir haben erst eine gewisse Zeit benötigt, bis die ersten Themen auf dem Blatt gestanden sind. Da die Lektion leider nur 45 Minuten dauert, und wir unseren Zeitplan einhalten wollten, haben wir die Themensuche auf zuhause verschoben. So konnte jeder selbständig die Themen, welche für ihn selbst relevant erschienen, aufschreiben. Anschliessend haben wir uns auf die wichtigsten Themen geeinigt und die Restlichen von der Liste gestrichen.

<b>Thema:</b> Dokumentationsvorlagen erstellen	<b>Datum, Dauer:</b> 24.10.2013, 1 Stunde
------------------------------------------------	-------------------------------------------

### Tätigkeiten

In dieser Woche haben wir die Vorlagen für unsere Dokumentationen entworfen. Hierzu zählen die Dokumentation selbst sowie das Arbeitsjournal. Wir haben darauf geachtet, dass wir sämtliche uns gestellten Vorgaben einhielten. Wir haben uns darauf geeinigt, das Arbeitsjournal rückblickend auf die letzte Schulwoche zu ergänzen.

### Reflexion

**Marc Widmayer:** Da wir definiert haben, welche Dokumente alle erstellt werden müssen, habe ich in Microsoft Project einen Zeitplan erstellt.

**Philipp Hutter:** Ich habe mich den Vorlagen für das weitere Projekt angenommen und diese gemäss den Projektrichtlinien erstellt. Dies war eine schnell erledigte Aufgabe und wir haben die restliche Zeit in unseren Wissensaufbau investieren können. Wir haben uns diverse Internetseiten durchgeschaut und uns wichtige Wörter, welche wir nicht auf Anhieb verstanden haben, herausgeschrieben. Diese haben wir später zusammen im Internet nachgeschlagen um einen möglichst tiefen Einblick in die Materie erhalten zu können.

<b>Thema:</b> Experiment durchführen	<b>Datum, Dauer:</b> 31.10.2013, 2 Stunden
--------------------------------------	--------------------------------------------

**Tätigkeiten**

Wir wollten zuerst mit der Mithilfe eines Chemielaboranten den Lotuseffekt im Labor nachbilden. Doch leider hat er uns kurzfristig absagen müssen, da die dafür benötigten Chemikalien in seinem Labor nicht vorhanden sind. Wir haben uns daraufhin überlegt, wie wir die weiteren Schritte planen sollten, da durch diese Absage unser Zeitplan durcheinander gekommen ist. Marc hat ein Schreiben verfasst, welches wir der Firma Schöller AG in Sevelen zusenden werden. Darin fragen wir nach, ob es eine Möglichkeit gibt, dass wir unser Experiment bei ihnen durchführen können.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Für mich ist die Absage einerseits sehr ärgerlich, da wir der Annahme gewesen sind, dass wir die Beschichtung der Gegenstände, welche wir bereits geplant haben, auch durchführen können. Nichtsdestotrotz haben wir den Entschluss gefasst, nach einer anderen Lösung zu suchen. Wir haben auf Empfehlung von Herrn Lehnerr sowie auch des Chemielaboranten die Firma Schöller AG in Sevelen kontaktiert. Diese potentielle Möglichkeit kommt uns sehr gelegen und unser Zeitplan hat sich doch nicht komplett verschoben. Wir hoffen auf eine positive Rückmeldung der Schöller AG.

**Philipp Hutter:** Krankgeschrieben - Bindehautentzündung

<b>Thema:</b> Dokumentation erweitern	<b>Datum, Dauer:</b> 07.11.2013, 1 Stunde
---------------------------------------	-------------------------------------------

**Tätigkeiten**

Leider haben wir bisher keine Rückmeldung von der Schöller AG erhalten, wir werden noch abwarten aber werden uns, falls nötig, telefonisch nach dem Status unserer Anfrage erkundigen. Unterdessen machen wir an unserer Dokumentation weiter.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Ich habe angefangen, in unserer Dokumentation einen Abschnitt über die Lotusblume zu verfassen.

**Philipp Hutter:** Krankgeschrieben - Bindehautentzündung

**Thema:** Dokumentation erweitern**Datum, Dauer:** 14.11.2013, 6 Stunden**Tätigkeiten**

In dieser Woche haben wir unsere Dokumentation weitergeführt. Marc hat an dem Abschnitt über die Lotusblume weitergeschrieben und Philipp die Einleitung der Dokumentation angefangen. Die beiden Texte sind jeweils vom anderen Teampartner gelesen und allenfalls korrigiert worden. Wir haben darauf geachtet, so wenige Fremdwörter wie möglich zu verwenden, um es für den Leser so etwas angenehmer zu gestalten.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Ich habe weitere Informationen über die Lotusblume gesucht und dokumentiert. Des Weiteren bin ich auf den Salvinia-Effekt gestossen, doch ehe ich mich noch genauer darüber informiere, beende ich zuerst den Abschnitt über die Lotusblume.

**Philipp Hutter:** Für mich persönlich war die Krankheit, welche ich hatte, sehr ärgerlich. Ich konnte während dieser Zeit Marc nicht weiterhelfen und wir kamen dadurch in ein zeitliches Hintertreffen. Damit ich meinen Text schreiben kann, habe ich zunächst einige Zeit gebraucht, um mich in das gesamte Thema wieder einzulesen, dies auch noch nach der Lektion.

**Thema:** Erweitern der Dokumentation**Datum, Dauer:** 21.11.2013, 1 Stunde**Tätigkeiten**

Auch diese Woche haben wir an unserer Dokumentation weitergearbeitet. Wir haben uns dazu entschieden, dass wir die Projektarbeit ausschliesslich in Einzelarbeit zuhause erledigen werden. Die Schulstunde, welche uns jede Woche zur Verfügung steht, werden wir für den Gedankenaustausch und die weitere Planung nutzen.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Ich habe mich diese Woche dem Salvinia-Effekt gewidmet. Da mir bewusst geworden ist, dass es auch hier sehr viele Informationen gibt und die Dokumentation dann zu gross werden würde, habe ich nur grundlegende Eigenschaften, Informationen sowie Beispiele dokumentiert.

**Philipp Hutter:** Ich fand die Idee von Marc, dass wir die Schullektion für die weitere Planung und Zusammenführung der einzelnen Dokumentationsschritte nutzen, sehr gut, und willige selbstverständlich ein, da wir in 45 Minuten meist gar nicht erst dazu kommen, die Dokumentation weiterzuführen. Weiter habe ich mich mit einem Verwandten, der ausgebildeter Chemielaborant ist, in Verbindung gesetzt um mich nach dem Lotuseffekt zu erkundigen und erhoffte dadurch noch mehr Informationen zu erhalten, doch leider konnte er mir nicht weiterhelfen. Er konnte mir jedoch eine Webseite nennen, worauf gewisse Informationen frei verfügbar sind. So fokussierte ich meine Recherchen wieder auf das Internet.

<b>Thema:</b> Erweitern der Dokumentation	<b>Datum, Dauer:</b> 28.11.2013, 2 Stunden
-------------------------------------------	--------------------------------------------

### Tätigkeiten

Wir haben eigene Grafiken entworfen, um den Blattaufbau einer Lotusblüte näher zu erklären und die Dokumentation weitergeführt. Wir werden uns über die nächste Woche weiteres Wissen über die Lotusblume aneignen.

### Reflexion

**Marc Widmayer:** Der Lotuseffekt ist zwar nach der Lotusblume benannt, doch es gibt auch andere Pflanzen und sogar Tiere, die den Effekt der Selbstreinigung aufweisen. Ich habe mich darüber informiert und das Ganze dokumentiert.

**Philipp Hutter:** Mit Hilfe von Onlineskizzen und Fotografien, welche ich im Internet gefunden habe, habe ich den Aufbau und die Mikrostruktur der Lotusblume auf einfache Weise aufzeigen können. Nächste Woche werde ich die Skizze mit der Dokumentation zusammenführen und die Erklärung dazu schreiben.

<b>Thema:</b> Erweitern der Dokumentation	<b>Datum, Dauer:</b> 05.12.2013, 3 Stunden
-------------------------------------------	--------------------------------------------

### Tätigkeiten

Diese Woche hat sich Philipp mit der Biologie der Pflanzenwelt auseinandergesetzt. Marc hat sich über die Beschichtung mit dem Lotuseffekt informiert.

### Reflexion

**Marc Widmayer:** Ich habe angefangen, mich über die Beschichtung zu informieren. Mir ist schnell klar geworden, dass dies ein grosses und kompliziertes Thema ist. Zum Glück gibt es viele Informationen dazu im Internet. Ich habe angefangen, das Sol-Gel Verfahren zu dokumentieren.

**Philipp Hutter:** Da ich in den vergangenen dreieinhalb Jahren, in welchen ich die BMS besuchte, keinen Biologieunterricht besucht habe, ist es mir anfangs sehr schwer gefallen, einen Einstieg in das Thema zu finden. Ich habe jedoch verschiedenste Internetseite gefunden, die den Aufbau des Pflanzenblattes auf einfachste Weise erklären.

**Thema:** Erweitern der Dokumentation**Datum, Dauer:** 12.12.2013, 3 Stunden**Tätigkeiten**

Während dieser Woche haben wir verschiedenste Themen wie beispielsweise Kontaktwinkel und Benetzbarkeit sowie die künstliche Beschichtung studiert. Marc hat nochmals der Schöller AG angerufen, da wir bisher immer noch keine Antwort erhalten haben. Sie haben Marc gesagt, dass er das Mail nochmals senden soll, aber mit dem Vermerk, dass es an die Entwicklungsabteilung weitergeleitet werden soll. Philipp hat noch weitere Firmen herausgesucht, die uns eventuell Proben zusenden können oder bei denen wir als Alternative das Labor benutzen können, um selber Materialien zu beschichten und zu untersuchen.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Ich habe die Dokumentation zum Sol-Gel Verfahren erweitert. Leider komme ich sehr langsam vorwärts, da es zwar viele Informationen darüber im Internet gibt, welche aber viele Fachbegriffe beinhalten. Um sie zu verstehen, muss ich dann wiederum die Definition im Internet suchen. Ich habe nochmals mit der Schöller AG und weiteren Firmen Kontakt aufgenommen.

**Philipp Hutter:** Ich habe viele Webseiten gefunden, auf denen die Physik, welche hinter dem Lotuseffekt steckt, erklärt wird. Nach längerem Recherchieren habe ich eine Seite mit Informationen füllen können. Nächste Woche werde ich die gefundenen Texte zusammenführen und umschreiben, damit es für den Leser leichter zu verstehen ist.

Zudem bin ich sehr erstaunt gewesen, dass es viele Firmen in der Umgebung gibt, die den Lotuseffekt für Ihre Produkte nutzen. So zum Beispiel die Sto AG in Chur, welche das Patent für den Lotuseffekt besitzt.

**Thema:** myclimate: Anmeldung Projektteams**Datum, Dauer:** 19.12.2013, 2 Stunden**Tätigkeiten**

Wir haben unser Projekt auf myclimate.ch angemeldet und den Benutzer auf Philipp Hutter registriert. Wir haben auch am Inhalt der Dokumentation weitergearbeitet. Des Weiteren haben wir von der Schöller AG eine Antwort erhalten. Leider ist es nicht möglich, ihr Labor zu benutzen, da ihre Verfahren für die Beschichtung nicht herausgegeben werden können. Sie werden uns aber Proben zusenden. Wir haben diese Woche auch von der Sto AG Proben erhalten, diese umfassen Fassadenproben mit und ohne die Lotuseffektbeschichtung. Hiermit können wir einen direkten Vergleich der verschiedenen Oberflächen machen.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Ich habe mich wieder dem Sol-Gel Verfahren gewidmet und denke, dass ich es diese Woche abschliessen kann.

**Philipp Hutter:** Die Zugangsdaten, welche ich erstellt habe, werde ich an Marc weiterleiten, damit wir beide einen Zugriff für das Portal haben. Weiter habe ich mir Gedanken dazu gemacht, wie wir die Proben der Schöller AG in unsere Projektdokumentation einbinden können. Sehr wahrscheinlich werden wir die Proben für eine Live-Demonstration während der Präsentation nutzen. Ich werde das genaue Vorgehen mit Marc zusammen nächste Woche besprechen.

<b>Thema:</b> Erweitern der Dokumentation	<b>Datum, Dauer:</b> 09.01.2013, 2 Stunden
-------------------------------------------	--------------------------------------------

<b>Tätigkeiten</b>
--------------------

Das Layout des Dokuments musste nochmals überarbeitet werden, da die Formatierung der Bilder nicht immer korrekt eingestellt wurde. Zudem haben wir beide unsere Projektteile zusammengeführt und generell am Inhalt der Dokumentation weitergearbeitet. Wir haben sehr viele Stoffproben von der Schöller AG erhalten. Die Unterschiede liegen jeweils in den Eigenschaften wie zum Beispiel ihrer Dehnbarkeit oder Luftdurchlässigkeit.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Reflexion</b>
------------------

<b>Marc Widmayer:</b> Ich habe diese Woche angefangen, zu recherchieren, wo der Lotuseffekt überall eingesetzt werden kann. Praktisch dabei war, dass ich schon zuvor genutzte Quellen verwenden konnte.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Philipp Hutter:</b> Wir haben beim Erstellen der Dokumentation nicht auf die Formatierung der Bilder geachtet. Als wir beide Teile zusammengeführt haben, wurden die Bilder nicht mehr korrekt angezeigt und meist verschoben. Wir mussten somit sämtliche Bilder von Hand bearbeiten. In Zukunft werden wir auch für Bilder und Tabellen eine Formatvorlage erstellen, damit solche Probleme nicht mehr auftreten werden.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Thema:</b> Erweitern der Dokumentation	<b>Datum, Dauer:</b> 16.01.2013, 1 Stunde
-------------------------------------------	-------------------------------------------

<b>Tätigkeiten</b>
--------------------

In dieser Woche haben wir die Dokumentation erweitert sowie ein ansprechendes Titelbild erstellt, welches nicht nur optisch sondern auch sinngemäss dem Projektthema entspricht.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Reflexion</b>
------------------

<b>Marc Widmayer:</b> Diese Woche habe ich die Einleitung erstellt. Ich finde es gut, dass ich damit erst gegen Ende angefangen habe, da ich so auch weiss, was schlussendlich auch in der Dokumentation vorhanden ist. Zudem gehören in die Einleitung Informationen, welche ich erst im Nachhinein besitze.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Philipp Hutter:</b> Diese Woche habe ich mein Ziel ohne weitere Zeiteinbussen erreicht. Da mir beim Titelbild noch das gewisse Etwas fehlt, werde ich es auf nächste Woche nochmals überarbeiten und einen Entwurf an Marc senden.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



<b>Thema:</b> Erweitern der Dokumentation	<b>Datum, Dauer:</b> 23.01.2013, 1 Stunde
-------------------------------------------	-------------------------------------------

<b>Tätigkeiten</b>
Wir haben die Vor- und Nachteile des Lotuseffekts abgewogen und einen kleinen Text dazu im Dokument verfasst. Zudem haben wir an der Einleitung weitergearbeitet.

<b>Reflexion</b>
<b>Marc Widmayer:</b> Ich habe mit Philipp die Einleitung angesehen und er hat gute Vorschläge gemacht, welche ich so umgesetzt habe. Die Einleitung ist nun soweit fertig.
<b>Philipp Hutter:</b> Ich habe per Zufall einen Artikel in einer Zeitschrift gefunden, welcher sich mit dem Lotuseffekt befasst. Darin werden die Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Dieser Artikel scheint sich gut in unsere Projektarbeit integrieren zu lassen.

<b>Thema:</b> myclimate: Zukunft des Lotuseffekts	<b>Datum, Dauer:</b> 30.01.2013, 1 Stunde
---------------------------------------------------	-------------------------------------------

<b>Tätigkeiten</b>
Wir haben eine Kosten-Nutzen Analyse für eine Photovoltaik-Anlage erstellt, welche mit dem Lotuseffekt versiegelt werden soll. Dabei haben wir unter anderem die ökologischen sowie die ökonomischen Aspekte berücksichtigt. Marc hat mit dem Abstract angefangen.

<b>Reflexion</b>
<b>Marc Widmayer:</b> Da alle wichtigen Informationen in unserer Dokumentation nun vorhanden sind, habe ich angefangen, ein Abstract zu schreiben. Das Ganze hat sich als schwieriger erwiesen als gedacht, da es wirklich nur grundlegende Informationen enthalten aber trotzdem viel über die Dokumentation aussagen und den Leser ansprechen soll.
<b>Philipp Hutter:</b> Es hat mich erstaunt, dass der Stromverlust bei einer Photovoltaik-Anlage um bis zu 11% minimiert werden könnte, wenn der Lotuseffekt zum Einsatz käme. Dies bestätigt unsere Meinung, dass der Lotuseffekt noch lange nicht vollständig erforscht worden ist beziehungsweise noch nicht perfekt dem natürlichen Vorbild nachempfunden werden kann.

<b>Thema:</b> Zusammenführung der Projektteile	<b>Datum, Dauer:</b> 13.02.2013, 2 Stunden
------------------------------------------------	--------------------------------------------

### Tätigkeiten

Zum zweiten Mal haben wir unsere beiden Projektteile zusammengeführt. Dabei hat es keine weiteren Probleme gegeben und wir haben die fast fertige Arbeit durchlesen können. Danach haben wir einige Abschnitte neu ordnen müssen, damit sie einen sauberen Übergang zum nächsten Thema bilden können.

### Reflexion

**Marc Widmayer:** Diese Woche habe ich mich der Überarbeitung des Dokumentes gewidmet und habe mir vor allem die Grammatik angeschaut.

**Philipp Hutter:** Die Erleichterung, dass wir unsere Projektarbeit nun fast fertig haben, ist sehr gross, nichtsdestotrotz muss ich mir nochmals einen Ruck geben, damit ich in den letzten Wochen vor dem Schluss nochmals alles geben kann. Es gibt nach wie vor noch einige kleinere Arbeiten, die durchgeführt werden müssen. So etwa die Begriffserklärungstabellen, welche wir separat vom Text in den Anhang verschieben müssen.

<b>Thema:</b> Zusage für Experiment in NTB	<b>Datum, Dauer:</b> 20.02.2013, 2 Stunden
--------------------------------------------	--------------------------------------------

### Tätigkeiten

Herr Lehnherr hat uns einen Kontakt (Michael Marxer) im NTB gegeben, bei dem wir nachgefragt haben, ob wir dort Materialien unter dem Mikroskop untersuchen dürfen. Dieser hat noch am selben Tag geantwortet und uns einen weiteren Kontakt gegeben, der uns mehr weiterhelfen kann. Wir konnten mit diesem einen Termin vereinbaren.

### Reflexion

**Marc Widmayer:** Ich habe einen Termin für die Untersuchung im NTB vereinbart. Wir werden nun noch planen, was wir dort genau machen werden.

**Philipp Hutter:** Es hat mich sehr gefreut, dass wir nun in letzter Minute doch noch eine Zusage erhalten haben. Für die folgende Woche werden die benötigten Materialien, welche wir für das Projekt benötigen, zusammentragen sowie einen Ablauf für den Besuch im NTB erstellen.

**Thema:** Experiment im NTB**Datum, Dauer:** 27.02.09.2013, 12 Stunden**Tätigkeiten**

Wir haben die von der Schöller AG und der Sto AG erhaltenen Proben ins NTB mitgenommen und gemäss unseres zuvor geplanten Ablaufes mit Herrn Yavaser vom NTB genauer unter dem Mikroskop untersucht. Dabei ist eine Vergrösserung bis zu maximal 100-mal möglich gewesen, welche wir jedoch durch die Rauigkeit der Proben fast nicht erreicht haben. Wir haben den Untersuchungsvorgang mit Bildern festgehalten und dokumentiert, sowie Kugelbildungen fotografiert. Diese sollen unserer Dokumentation einen persönlichen Touch verleihen.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Leider habe ich nicht alles, was ich für den Besuch im NTB mitbringen wollte, besorgen können. Dass wir keine Lotusblume bekommen würden, wussten wir schon vorher. Leider haben wir aber auch weitere Pflanzen, welche den Effekt aufweisen, nicht organisieren können, da sie in dieser Jahreszeit nicht gedeihen. Dazu gehören zum Beispiel die Kapuzinerkresse oder das Schilfrohr. Ich war aber sehr überrascht, dass ein Kohl auch einen deutlichen Lotuseffekt aufweist.

**Philipp Hutter:** Es ist eine strenge und doch erfolgreiche Woche gewesen. Herr Yavaser vom NTB hat uns wichtige Tipps und Hinweise liefern können, welche, so behaupte ich, in keinem Internetartikel nachzulesen sind. Wir haben die Informationen notiert und werden diese in die bereits schon fast fertige Dokumentation mit einbinden. Bis jetzt war es die anstrengendste Woche, doch der Teamzusammenhalt hat uns beide angespornt und wir haben konzentriert auf unser Ziel hin arbeiten können.

**Thema:** Projektabschluss**Datum, Dauer:** 06.03.2013, 12 Stunden**Tätigkeiten**

Da unsere Dokumentation nun bald komplett ist, haben wir damit angefangen, die Dokumentation komplett durchzulesen und zu korrigieren. Die Arbeit wurde auch anderen Personen zur Korrektur gegeben.

Da nun auch Fotos von unserem Experiment vorhanden sind und weitere von den Proben gemacht wurden, konnten diese in unsere Dokumentation eingefügt werden.

**Reflexion**

**Marc Widmayer:** Ich habe diese Woche unsere Dokumentation nochmals durchgelesen und mit Philipp Vorschläge für Änderungen besprochen. Ich habe auch das Kapitel für unser Experiment erstellt und die Bilder eingefügt. Philipp hat mit seiner Spiegelreflexkamera Aufnahmen unserer Proben gemacht, diese habe ich auch in unsere Dokumentation aufgenommen.

**Philipp Hutter:** Die letzte Woche habe ich intensiv damit verbracht, alles aus unserer Dokumentation rauszuholen. Ich habe den Abstract ins Englische übersetzt und letzte Formatierungen vorgenommen, bevor wir unsere Dokumentation fürs Korrekturlesen weitergereicht haben. Bis zum Abgabetermin werden noch diverse Korrekturen sowie das Binden der Dokumentation anstehen. Ich bin zuversichtlich, dass wir auf den Abgabetermin hin eine perfekte Projektarbeit abliefern können.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wilhelm Barthlott ( <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Barthlott">http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Barthlott</a> , 26.01.2014).....	6
Abbildung 2: Kapuzinerkresse ( <a href="http://www.wildebeete.de/wp-content/uploads/2011/09/kapuzinerkresse_regen.jpg">http://www.wildebeete.de/wp-content/uploads/2011/09/kapuzinerkresse_regen.jpg</a> , 21.11.2013) .....	8
Abbildung 3: Schmetterlingsflügel ( <a href="http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/5708081">http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/5708081</a> , 28.11.2013).....	8
Abbildung 4: Wasserspinne ( <a href="http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt">http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt</a> , 21.11.2013).....	8
Abbildung 5: Wasserfarn vergrößert ( <a href="http://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/Bilder/de/Forscherprofile/barthlott-farn-2,property=bild,bereich=bio,sprache=de.jpg">http://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/Bilder/de/Forscherprofile/barthlott-farn-2,property=bild,bereich=bio,sprache=de.jpg</a> , 21.11.2013) ..	9
Abbildung 6: Wasserfarn Unterwasser ( <a href="http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt">http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt</a> , 21.11.2013).....	9
Abbildung 7: Schneckenklee ( <a href="http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/718340">http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/718340</a> , 26.01.2014) .....	10
Abbildung 8: Rotorflugmaschine ( <a href="http://www.bionik-vitrine.de/leonardo-da-vinci.html">http://www.bionik-vitrine.de/leonardo-da-vinci.html</a> , 26.01.2014).....	10
Abbildung 9: Lotusblume ( <a href="http://www.nanotrends.eu/Nanoversiegelung/Lotusbluete.php">http://www.nanotrends.eu/Nanoversiegelung/Lotusbluete.php</a> , 26.01.2014) .....	10
Abbildung 10: Lotuseffekt ( <a href="http://www.wz-newsline.de/lokales/krefeld/krefeld-2025-0">http://www.wz-newsline.de/lokales/krefeld/krefeld-2025-0</a> ).....	10
Abbildung 11: Struktur der Lotusblume (Selbst erstellt & <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leaf_Tissue_Structure_de.svg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leaf_Tissue_Structure_de.svg</a> , 01.02.2014) .....	11
Abbildung 12: Adhäsions- und Kohäsionskräfte im Vergleich .....	12
Abbildung 13: Kontaktwinkel ( <a href="http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/790120">http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/790120</a> , 02.01.2014).....	13
Abbildung 14: Kontaktwinkelmessung ( <a href="http://www.fh-kiel.de/index.php?id=7394">http://www.fh-kiel.de/index.php?id=7394</a> , 07.02.2014) .....	13
Abbildung 15: Berechnung des Kontaktwinkels ( <a href="http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/790120">http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/790120</a> , 02.01.2014) .....	14
Abbildung 16: Berechnung des Kontaktwinkels ( <a href="http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/790120">http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/790120</a> , 02.01.2014) .....	14
Abbildung 17: Sol-Gel-Verfahren Hydrolyse und Kondensation ( <a href="http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/Lehreranleitung_Lotus_V2.pdf">http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/Lehreranleitung_Lotus_V2.pdf</a> , 05.12.2013) .....	16
Abbildung 18: Verdampfung Nanopartikel ( <a href="http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/Lehreranleitung_Lotus_V2.pdf">http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/Lehreranleitung_Lotus_V2.pdf</a> , 05.12.2013) .....	17
Abbildung 19: Photovoltaik ( <a href="http://www.welt.de/wissenschaft/article119555184/Forscher-tuefteln-an-Lotus-Effekt-fuer-Solarmodule.html">http://www.welt.de/wissenschaft/article119555184/Forscher-tuefteln-an-Lotus-Effekt-fuer-Solarmodule.html</a> , 2013) .....	21
Abbildung 20: Lotuseffekt auf Stoff: Wasser .....	22
Abbildung 21: Lotuseffekt auf Stoff: Honig .....	22
Abbildung 22: Lotuseffekt auf Stoff: Wasser mit Sirup .....	22
Abbildung 23: Lotuseffekt auf Stoff: Wasser mit Sirup .....	23
Abbildung 24: Lotuseffekt auf Stoff: Wachs flüssig.....	23
Abbildung 25: Lotuseffekt auf Stoff: Wachs getrocknet .....	23
Abbildung 26: Lotuseffekt auf Fassadenprobe: Wasser und Dreck .....	23
Abbildung 27: Fassadenprobe ohne Lotuseffekt: Wasser und Dreck .....	23
Abbildung 28: Lotuseffekt auf Weisskohl: Wasser .....	24
Abbildung 29: Lotuseffekt auf Weisskohl: Wasser mit Sirup .....	24
Abbildung 30: Mikroskop: Arbeitsplatz .....	24
Abbildung 31: Mikroskop: Linsen .....	24
Abbildung 32: Mikroskop: Weisskohl 2.5-Fach .....	25
Abbildung 33: Mikroskop: Weisskohl 2.5-Fach .....	25
Abbildung 34: Mikroskop: Fassadenprobe mit Lotuseffekt 2.5-Fach .....	25
Abbildung 35: Mikroskop: Fassadenprobe mit Lotuseffekt 50-Fach .....	25
Abbildung 36: Mikroskop: Fassadenprobe ohne Lotuseffekt 2.5-Fach .....	25
Abbildung 37: Mikroskop: Fassadenprobe ohne Lotuseffekt 50-Fach .....	25
Abbildung 38: Lotusblatt unter dem Elektronenrastermikroskop ( <a href="http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt">swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt</a> , 06.03.2014) .....	26
Abbildung 39: Lotusblatt unter dem Elektronenrastermikroskop ( <a href="http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt">swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt</a> , 06.03.2014) .....	26
Abbildung 40: Osmose ( <a href="http://dccdn.de/pictures.doccheck.com/photos/c/8/cb980d884e5bab2aa8aceb0d61112108_m.jpg">http://dccdn.de/pictures.doccheck.com/photos/c/8/cb980d884e5bab2aa8aceb0d61112108_m.jpg</a> , 12.12.2013).....	B
Abbildung 41: Projektanmeldung.....	E
Abbildung 42: Mindmap.....	F

## Quellverzeichnis

- Kontaktwinkel. (2013). <http://www.kruss.de/de/service/schulung-theorie/glossar/kontaktwinkel/>. 23.11.2013
- Nachteile eines zu grossen Kontaktwinkels. (2013). <http://www.nanotol.de/nanotechnologie/lotuseffekt.htm>. 23.11.2013
- Oberflächenspannung. (2013). <http://www.unimeter.net/interim/Oberflaechenspannung/ZurOberflaechenspannung1.htm>. 24.11.2013
- Forscher tüfteln an Lotus-Effekt für Solarmodule. (2013). <http://www.welt.de/wissenschaft/article119555184/Forscher-tuefteln-an-Lotus-Effekt-fuer-Solarmodule.html>. 01.12.2013
- Erfindungsgeschichte. (2014). <http://library.thinkquest.org/27468/d/erfindung.htm>. 26.01.2014
- Leonardo da Vinci. (2014). [http://www.bionik-vitrine.de/mediapool/99/996537/data/PDFs/Bionikpioniere/Leonardo\\_Da\\_Vinci.pdf](http://www.bionik-vitrine.de/mediapool/99/996537/data/PDFs/Bionikpioniere/Leonardo_Da_Vinci.pdf). 26.01.2014
- Aufbau eines Blattes. (2014). <http://www.biologie-schule.de/blatt.php>. 01.02.2014
- Aufbau eines Blattes. (2014). [http://de.wikipedia.org/wiki/Blatt\\_%28Pflanze%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Blatt_%28Pflanze%29). 01.02.2014
- Young'sche Gleichung. (2007). [http://www.ipfdd.de/fileadmin/user\\_upload/pg/arbeitsgebiete/Dissertation-deutsch\\_dutschk.pdf](http://www.ipfdd.de/fileadmin/user_upload/pg/arbeitsgebiete/Dissertation-deutsch_dutschk.pdf). 01.02.2014
- Kontaktwinkel. (2010). <http://www.tu-chemnitz.de/chemie/physchem/files/praktika/bmp/V-C-Anleitung09.pdf>. 01.02.2014
- Benetzung & Molekularkräfte. (2011). <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/benetzung/benetzung.htm>. 08.02.2014
- Benetzungseigenschaften. (2011). [http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/960/6/Dissertation\\_B.Viel\\_Kap.4.pdf](http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/960/6/Dissertation_B.Viel_Kap.4.pdf). 08.02.2014
- Nachteile des Lotuseffekts. (2014). [http://www.maler-kempf.de/html/thema\\_lotusan.html](http://www.maler-kempf.de/html/thema_lotusan.html). 08.02.2014
- Vor- und Nachteile des Lotuseffekts. (2014). <http://www.cenano.de/lotuseffekt/>. 08.02.2014
- Selbstreinigungseffekt. (2009). <https://hps.hs-regensburg.de/heh39273/aufsätze/selbstreinigend.pdf>. 15.02.2014
- Die Lotusblume als Symbol.(2014).<http://www.ka-gold-jewelry.com/german/p-articles/lotus-flower.php>.07.11.2013
- Eigenschaften der Lotusblume.(2014).[http://www.biologie.uni-hamburg.de/bzf/museum/nutzpfl\\_a\\_z/lotus.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/bzf/museum/nutzpfl_a_z/lotus.htm). 07.11.2013
- Rhizom.(2014).<http://www.derkleinegarten.de/mehr-infos-bilder/lexikon-gaertnerischer-fachbegriffe/r/rhizom-definition.html>. 07.11.2013
- Andere Pflanzen mit dem Lotuseffekt.(2014).<http://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt>.28.11.2013
- Eigenschaften der Lotusblume.(2014).<http://www.seerosenfarm.de/lotosblumen.htm>.14.11.2013
- Salviniaeffekt.(2014).<http://www.lotus-salvinia.de/>.21.11.2013
- Salviniaeffekt.(2009). <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/selbstreinigende-materialien-bluetenrein-dank-lotus-effekt-a-640664-4.html>.21.11.2013
- Anwendung des Lotuseffekt.(2014).[http://www.helpster.de/lotuseffekt-anwendung\\_210619](http://www.helpster.de/lotuseffekt-anwendung_210619).14.11.2013
- Anwendung des Lotuseffekt.(2014).<http://www.br.de/themen/wissen/bionik-lotuseffekt-natur100.html>.09.01.2013
- Viskosität.(2014).<http://de.wikipedia.org/wiki/Viskosit%C3%A4t>.05.12.2013
- Sol-Gel Verfahren.(2011).[http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx\\_rfnanoteachbox/Lehreranleitung\\_Lotus\\_V2.pdf](http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/Lehreranleitung_Lotus_V2.pdf).05.12.2013
- Die Anwendung des Lotuseffektes (2009).[http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs\\_2009\\_bern/w\\_schatz\\_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.doc](http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.doc).14.11.2013
- Dispersionen.(2014).<http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/tlex/lemmata/1/112.htm>.05.12.2013
- Kolloidale Lösung.(2014).[http://flexikon.doccheck.com/de/Kolloidale\\_L%C3%B6sung](http://flexikon.doccheck.com/de/Kolloidale_L%C3%B6sung).05.12.2013
- Makromolekül.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Makromolek%C3%BCl>.05.12.2013
- Molekulargewicht.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Molekulargewicht>.12.12.2013
- pH-Wert.(2006). <http://www.zentrum-der-gesundheit.de/ph-wert.html>.12.12.2013
- Kolloidosmotischer Druck.(2014).[http://flexikon.doccheck.com/de/Kolloidosmotischer\\_Druck](http://flexikon.doccheck.com/de/Kolloidosmotischer_Druck).12.12.2013
- Osmose.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Osmose>.12.12.2013
- Diffusion.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Diffusion>.12.12.2013
- Silan.(2013).<http://de.wikipedia.org/wiki/Silane>.12.12.2013
- Semipermeable.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Semipermeable>.19.12.2013
- Membran.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Membran>.19.12.2013
- Kolloid.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Kolloid>.19.12.2013
- Hydrolyse.(2014).<http://flexikon.doccheck.com/de/Hydrolyse>.19.12.2013
- Aggregieren.(2014).<http://www.wortbedeutung.info/aggregieren/>.19.12.2013
- Nanoteilchen.(2014).<http://de.wikipedia.org/wiki/Nanoteilchen>.19.12.2013
- Agglomerat.(2011).[http://de.wikipedia.org/wiki/Agglomerat\\_\(Technik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Agglomerat_(Technik)) .19.12.2013

Wasserfarn.(2009).[http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs\\_2009\\_bern/w\\_schatz\\_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt](http://swisseduc.ch/chemie/zentralkurs_2009_bern/w_schatz_brennstoffzelle/docs/lotuseffekt.ppt).21.11.2013

Schmetterlingsflügel.(2003).<http://www.presetext.com/news/20030221003>.28.11.2013

## Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben sowie wörtlich und sinngemässe Zitate gekennzeichnet habe.“

Buchs, den 11.03.2014

---

Marc Widmayer

---

Philipp Hutter