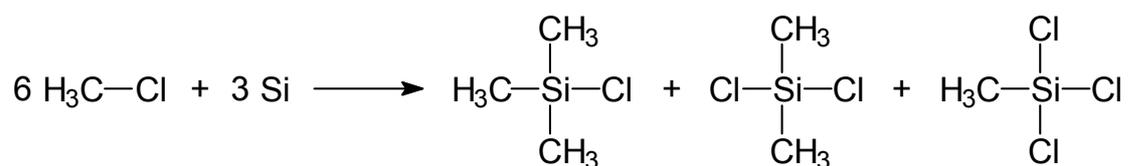


1.) Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen zu den in der Grafik mit Zahlen gekennzeichneten Prozessen:

**1** Chlormethansynthese:



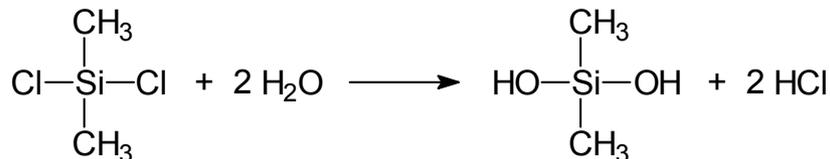
**2** Chlorsilansynthese (Mono-, Di-, Trichlorsilan):



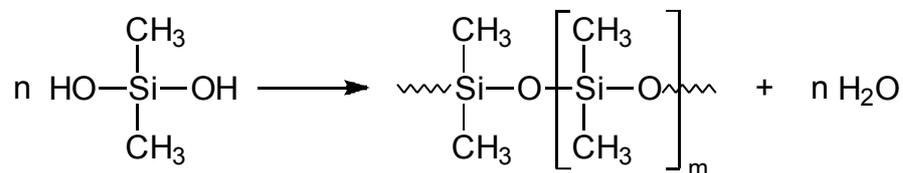
*(Diese Reaktion verläuft allerdings nicht in der angegebenen Stöchiometrie. Zudem treten weitere Silane auf.)*

Arbeitsblatt 1.2 Herstellung von Siliconen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

3] Hydrolyse von Dichlordimethylsilan:



4] Kondensation von Dihydroxydimethylsilan:



2.) Benennen Sie die Ausgangsstoffe und Endprodukte bei diesem industriellen Prozess.

*Als Ausgangsstoffe dienen bei diesem industriellen Prozess Methanol, Chlorwasserstoff sowie elementares Silicium.*

*Als Endprodukte erhält man zunächst Mono-, Di- und Trichlorsilane, die durch Hydrolyse und anschließender Kondensation in die entsprechenden Polysiloxane (Silicone) überführt werden können.*

3.) Erläutern Sie die beiden HCl-Kreisläufe. Worin unterscheiden sie sich bezüglich des recycelten Chlorwasserstoffgases?

*Der im Schema links befindliche HCl-Kreislauf speist das bei der Hydrolyse von Chlorsilanen gebildete Chlorwasserstoffgas wieder in den Prozess ein, während der rechte Kreislauf dafür sorgt, dass das nicht verbrauchte Chlorwasserstoffgas von der Silansynthese wieder dem Prozess zugeführt wird.*

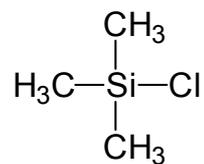
Arbeitsblatt 1.3 Herstellung von Siliconen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

4.) Welche Chlorverbindungen kommen bei der Siliconherstellung vor? Geben Sie die Formeln und die Namen an.

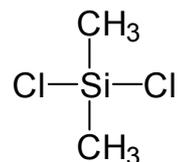
*Folgende Chlorverbindungen spielen bei der Siliconherstellung eine wichtige Rolle:*

*Chlorwasserstoff*      HCl      *Chlormethan*      H<sub>3</sub>C—Cl

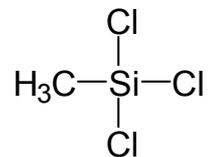
*Chlortrimethylsilan*



*Dichlordimethylsilan*



*Trichlormethylsilan*



5.) Warum ist bei diesem Prozess „Chlorchemie“ nötig, obwohl die Siliconprodukte chlorfrei sind?

*Bei diesem Prozess ist die „Chlorchemie“ nötig, da als Intermediate reaktive Chlorverbindungen benötigt werden, ohne die man nicht auf wirtschaftlichem Wege zum gewünschten Produkt gelangen würde.*

6.) Wieso ist es möglich, bei der Siliconherstellung chlorhaltige Emissionen zu vermeiden? Welche Vorteile sind damit verbunden?

*Bei der Siliconherstellung ist es möglich, den bei der Hydrolyse der Chlorsilane auftretenden Chlorwasserstoff wiederum dem Prozess zuzuführen.*

*Dadurch wird einerseits die Umwelt erheblich entlastet, zum anderen können dadurch Ressourcen und Geld eingespart werden.*

Arbeitsblatt 2.1 Hydrophobierung <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

1.) Papier hat eine hydrophile Oberfläche, Polyethylen (PE) eine hydrophobe. Woran liegt das?

- Papier ist natürlicher Herkunft (Cellulose), PE ist ein synthetischer Stoff.
- Wasser-Moleküle bilden mit Molekülen aus dem Papier stärkere Wechselwirkungen aus als mit den Molekülen einer PE-Folie.
- Papier ist weiß, PE ist durchsichtig.
- Papier hat eine rauhere Oberfläche als PE.

2.) In der folgenden Abbildung sehen sie links, stark vereinfacht, einige Strukturelemente aus Cellulose-Molekülen.

a) Zeichnen Sie in den rechten Kasten einen Ausschnitt von PE-Molekülen ein.

Schematischer Ausschnitt aus Cellulose-Molekülen	Ausschnitt aus PE-Molekülen

b) Zu welcher Art von zwischenmolekularen Kräften kommt es zwischen Wasser-Molekülen und Cellulose-Molekülen? Zeichnen Sie diese oben im linken Kasten ein.

*Zwischen Wassermolekülen und Cellulosemolekülen können Wasserstoffbrückenbindungen ausgebildet werden. Aus diesem Grunde werden Papieroberflächen gut von Wasser benetzt.*



Arbeitsblatt 2.3 Hydrophobierung <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede bezüglich der:

a) Schichtdicke des Überzugs

*Die Paraffinschicht im linken Bild ist wesentlich dicker als die Beschichtung mit Silicon im rechten Bild. Während die Paraffinschichtdicke im  $\mu\text{m}$ -Bereich liegt, stellt die Siliconbeschichtung eine molekulare Beschichtung im  $\text{nm}$ -Bereich dar.*

b) Haftung des hydrophoben Überzugs

*Im Falle der Siliconbeschichtung kommt es zur Ausprägung von relativ starken Wechselwirkungskräften zwischen dem Siliconmolekül und beispielsweise den Calciumionen, die Bestandteile des Betons sind, wodurch eine besonders starke Haftung gewährleistet wird.*

c) Beständigkeit des Schutzes bei mechanischen und thermischen Belastungen

*Der Siliconüberzug ist eindeutig beständiger gegen thermische und mechanische Belastungen als der Paraffinüberzug. Neben der hohen Hitzebeständigkeit der Silicone spielt die geringe (molekulare) Schichtdicke eine wesentliche Rolle, weil die Siliconbeschichtung dadurch wie eine elastische Haut wirken kann.*

Arbeitsblatt 2.4 Hydrophobierung <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

d) Verbrauch an Überzugssubstanz pro m<sup>2</sup>

*Wegen der molekularen Dimension des Siliconüberzugs wird im Vergleich zum Paraffin wesentlich weniger Substanz pro Quadratmeter benötigt.*

e) Auftragsverfahren

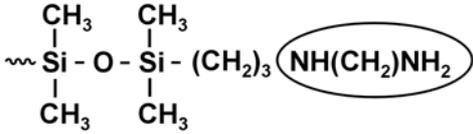
*Um das Paraffin aufzutragen, müsste es zunächst geschmolzen werden. Dabei ist zudem fraglich, ob es auch in sämtliche Vertiefungen und Zerklüftungen der Oberfläche des zu behandelnden Materials eindringt, was für einen ausreichenden Schutz unverzichtbar ist. Siliconöl ist flüssig und kann somit sämtliche Oberflächenunebenheiten erreichen und benetzen.*

4.) Welches der beiden Verfahren schneidet Ihrer Meinung nach besser ab? Begründen Sie!

*Wegen der unter a bis e aufgezählten Punkte, halte ich den Siliconüberzug für die bessere Lösung. Neben der geringen Auftragsmenge (geringe Kosten des Überzugs), halte ich es für wichtig, dass das behandelte Material sein eigenes Aussehen weiterhin behält. Im Falle des Paraffinüberzugs würde die Eigenfarbe des Materials durch die Farbe des Paraffins überdeckt werden.*

*(An dieser Stelle wären auch anders begründete Antworten denkbar.)*

Arbeitsblatt 3.1 Emulsionen und Antischaummittel <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

<p>Stark vereinfachtes Schema eines Tensidteilchens</p>  <p><u>hydrophober</u>      <u>hydrophiler</u> "Schwanz"      "Kopf"</p>	<p>a)      herkömmliches Tensid (Natriumsalz einer Fettsäure; Seife)</p>  <p>b)      Silicon-Tensid (Amino-Siliconöl)</p> 
---	--

1.) Beschriften Sie zunächst die beiden allgemeinen Baueinheiten eines Tensidteilchens und beschreiben Sie dann dessen Wirkungsweise.

*Wie bereits aus den obigen Abbildungen hervorgeht, bestehen Tensidteilchen aus einem hydrophilen Kopfteil und einem hydrophoben Schwanz. Die reinigende Wirkung beruht darauf, dass fetthaltige oder ölige Verschmutzungen mit dem hydrophoben Teil in Wechselwirkung treten und der Kopfteil von Wassermolekülen hydratisiert wird. Somit bauen Tensidteilchen Brücken zwischen unpolaren Verunreinigungen und dem polaren Lösungsmittel Wasser. Durch Wegspülen der „Schmutz-Tensid-Wasser-Partikel“ können somit Gegenstände oder Kleidungsstücke gereinigt werden.*

2.) Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden oben rechts angegebenen Tensiden a) und b).

*Beide Tensidteilchen bestehen aus einem polaren Kopfende und einem unpolaren Schwanzteil.*

*a) Im Falle des herkömmlichen anionischen Tensids besteht der unpolare Schwanzteil aus einer Kohlenwasserstoffkette und der polare Kopfteil aus einem Carboxylat- oder Sulfonatrest.*

*b) Beim Silicontensid besteht der Kopfteil hingegen aus polaren Aminogruppen und der Schwanzteil aus unpolaren aneinandergereihten Polydimethylsiloxaneinheiten.*

Arbeitsblatt 3.2

Emulsionen und Antischaummittel

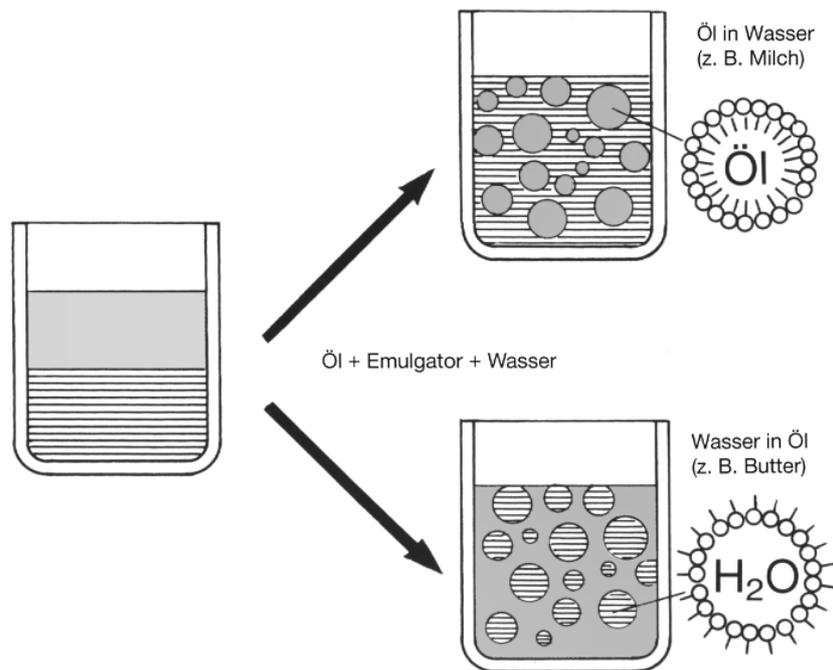
Lösungsvorschlag

Name:

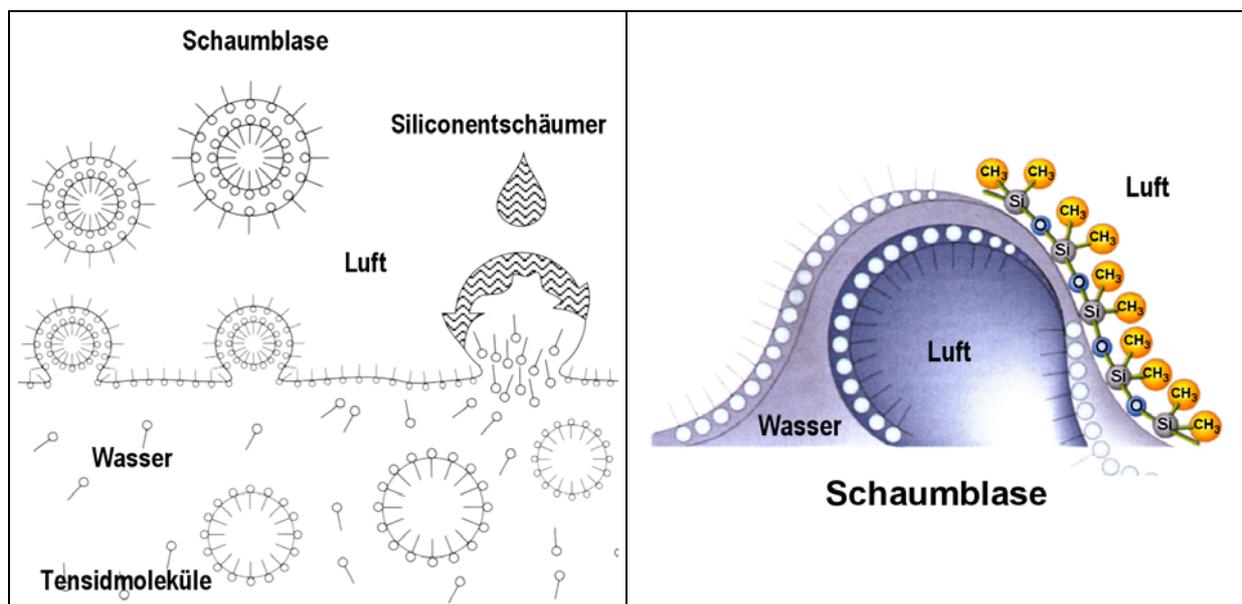
Klasse:

Datum:

3.) Zeichnen Sie jeweils ein Schema des Öl- bzw. Wassertropfens, indem Sie die Tensidteilchen am Rande der Tropfen richtig anordnen.



4.) Beschreiben Sie anhand des linken Bildes die Entstehung und den Aufbau einer Schaumblase.



Arbeitsblatt 3.3	Name:
Emulsionen und Antischaummittel	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

*Schaumblasen entstehen an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft. Reichern sich dort die Tensidteilchen an der Oberfläche der Lösung an und wird zusätzlich Luft eingebracht, entstehen Schaumblasen. Sie bestehen aus einer Doppeltensidschale, wobei sich die polaren Köpfe der Tensidteilchen im Wasserfilm gegenüber liegen. Im Innern der Schaumblase ist Luft eingeschlossen.*

5.) Erklären Sie mit Hilfe beider Abbildungen den Zerfall einer Schaumblase unter Einwirkung des Siliconentschäumers.

*Der Siliconentschäumer wechselwirkt mit der äußeren Tensidschicht der Schaumblase und verdrängt die Tensidteilchen von ihrer Oberfläche. Infolge dessen fließt die Wasserhaut ab, die Schaumblase wird instabil und bricht in sich zusammen.*

6.) Welche Art von Wechselwirkungen sind bei  
- der Schaumblase  
- beim Entschäumungsvorgang  
wirksam?

*Bei der Entstehung einer Schaumblase setzen die Tensidteilchen zunächst die Oberflächenspannung des Wassers herab. Durch elektrostatische Anziehungskräfte ordnen sich die Tensidteilchen beim Einblasen von Luft zu Schaumblasen an.*

*Da die Oberflächenspannung von Entschäumermolekülen noch geringer als die der Tensidteilchen ist, verdrängen sie diese durch elektrostatische Abstoßungskräfte von der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft. Dadurch wird die Schaumlamelle verdünnt, bis sie schließlich zusammenbricht.*

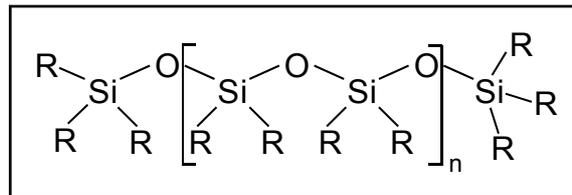
Arbeitsblatt 4.1 Siliconöle, -harze, -kautschuk <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

1.) Ausgangsstoffe bei der Herstellung von Siliconen sind:

„monofunktionelle Einheiten“ (Monochlorsilan)	„difunktionelle Einheiten“ (Dichlorsilan)	„trifunktionelle Einheiten“ (Trichlorsilan)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{Si}-\text{Cl} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Cl}-\text{Si}-\text{Cl} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{Si}-\text{Cl} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$
<i>Chlortrimethylsilan</i>	<i>Dichlordimethylsilan</i>	<i>Trichlormethylsilan</i>

Tragen Sie die korrekten Namen der angegebenen Verbindungen ein.

2.) In der folgenden Abbildung sehen Sie die typische Struktur eines Siliconöls. (Mit R wird ein beliebiger organischer Rest symbolisiert.)

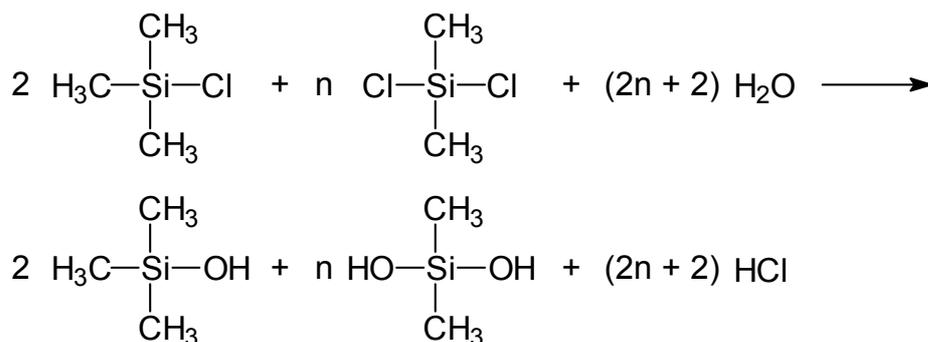


a) Welche der drei in Aufgabe 1 angegebenen Silan-Einheiten müssen bei der Herstellung eines Siliconöls eingesetzt werden?

*Für die Herstellung eines Siliconöls benötigt man difunktionelle Silaneinheiten („Kettenglieder“) und monofunktionelle Silaneinheiten (Kettenendglieder).*

b) Formulieren Sie die Synthese eines Siliconöls mit der o. a. Molekülstruktur in 2 Schritten und benennen Sie die Reaktionstypen.

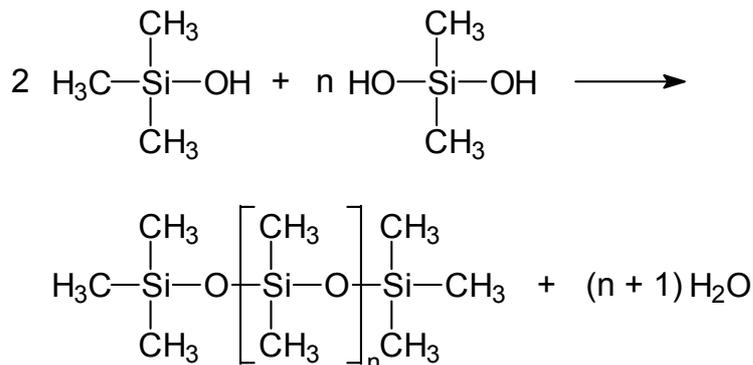
1. Schritt: *Umsetzung der Silane mit Wasser*



Arbeitsblatt 4.2	Name:
Siliconöle, -harze, -kautschuk	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

Reaktionstyp: *Nucleophile Substitution*

2. Schritt: *Kondensationsreaktion der Silanole*



Reaktionstyp: *Polykondensation*

c) Welche Funktion kommt den eingesetzten Silan-Einheiten in der Siliconöl-Kette zu?

*Difunktionelle Silaneinheiten sind Kettenglieder in einer Siliconölkette, während die monofunktionellen Einheiten die einzelnen Ketten abschließen (endständige Einheiten).*

d) Die Länge des Moleküls kann durch die Dosierung der funktionellen Einheiten gesteuert werden. Erklären Sie den Sachverhalt.

*Durch Zugabe von difunktionellen Einheiten in großem Überschuss werden überwiegend langkettige Polymere gebildet. Wird dagegen die Konzentration an monofunktionellen Einheiten heraufgesetzt, bilden sich überwiegend kurzkettige Polymere.*

*Begründung: Da die monofunktionellen Einheiten nur eine Bindung zu einer Nachbareinheit eingehen können, stellen sie endständige Kettenglieder dar. Bei hoher Konzentration bricht daher die Polykondensationsreaktion rasch ab, wobei überwiegend kurzkettige Polymere gebildet werden.*

*Die difunktionellen Einheiten können dagegen zwei Bindungen eingehen, weswegen es bei hoher Konzentration an difunktionellen Silaneinheiten zu langen Polymerketten kommt. Erst wenn an beiden Enden einer Kette eine monofunktionelle Einheit gebunden wird, ist das „Wachstum“ dieser Polymerkette abgeschlossen.*

Arbeitsblatt 4.3 Siliconöle, -harze, -kautschuk <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

2.) Ordnen Sie den Begriffen „Siliconöl“, „Siliconharz“, „Siliconkautschuk“ die folgenden Eigenschaften zu:  
fest, hart, elastisch, flüssig, hydrophob, elektrisch leitend, isolierend, chemikalienbeständig.

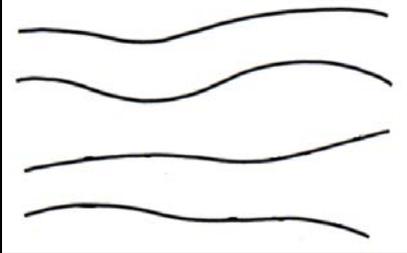
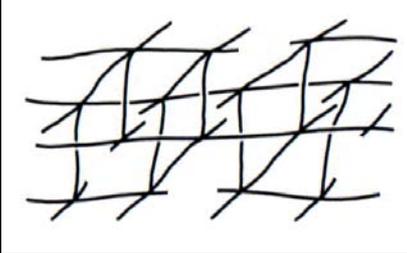
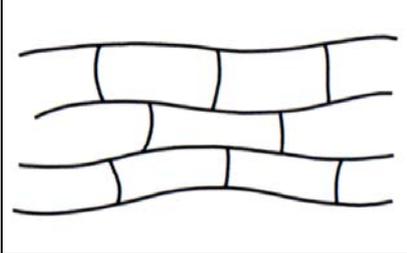
(Hinweis: Eine Eigenschaft kann mehrfach vorkommen.)

Siliconöl: *flüssig, hydrophob*

Siliconharz: *hart, hydrophob, isolierend, chemikalienbeständig*

Siliconkautschuk: *fest, elastisch, hydrophob, isolierend, chemikalienbeständig*

3.) Im folgenden sehen Sie drei Abbildungen mit Strukturausschnitten aus typischen Siliconprodukten:

		
<i>Siliconöl</i>	<i>Siliconharz</i>	<i>Siliconkautschuk</i>

a) Ordnen Sie den Bildern den jeweiligen Silicontyp (-kautschuk, -öl, -harz) zu.

b) Begründen Sie die Eigenschaften aus Aufgabe 2 mit Hilfe der obigen Strukturmodelle.

*Im Falle des Siliconöls liegen mehr oder weniger lange, lineare Polymerketten vor. Je nach Kettenlänge ist das Siliconöl weniger oder mehr viskos. Aufgrund dieser Tatsache können Siliconöle als Schmierstoffe eingesetzt werden.*

*Siliconharze bestehen dagegen aus dreidimensional vernetzten Makromolekülen. Diese Struktur gewährleistet die Härte und die schwere Löslichkeit des Materials, weil sich die Molekülteile nicht gegeneinander verschieben lassen und weil die Lösemittel-Moleküle nicht oder nur sehr schwer ins Netzwerk eindringen können. Da die*

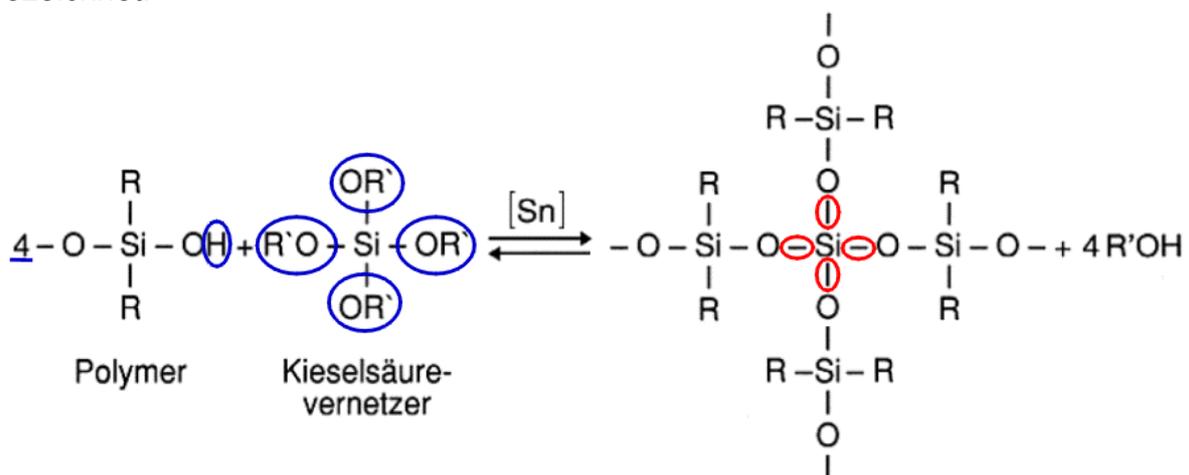


Arbeitsblatt 4.5 Siliconöle, -harze, -kautschuk <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

c) Welcher Substituent am Si-Atom ist beim Vernetzermolekül notwendig?

*Damit eine Additionsvernetzung stattfinden kann, muss am Si-Atom des Vernetzers ein Wasserstoffatom als Substituent vorhanden sein.*

5.) Die unten formulierte Vernetzungsreaktion wird als Kondensationsvernetzung bezeichnet.



a) Begründen Sie diese Bezeichnung.

*Die Bezeichnung Polykondensation kommt daher, dass bei dieser Reaktion Alkohol-Moleküle (kleine Teilchen) abgespalten werden und die Molekülreste aneinander geknüpft werden.*

b) Markieren Sie die neugeknüpften Bindungen und die abgespaltenen Moleküle.

c) Welches strukturelle Merkmal ist am Vernetzermolekül notwendig?

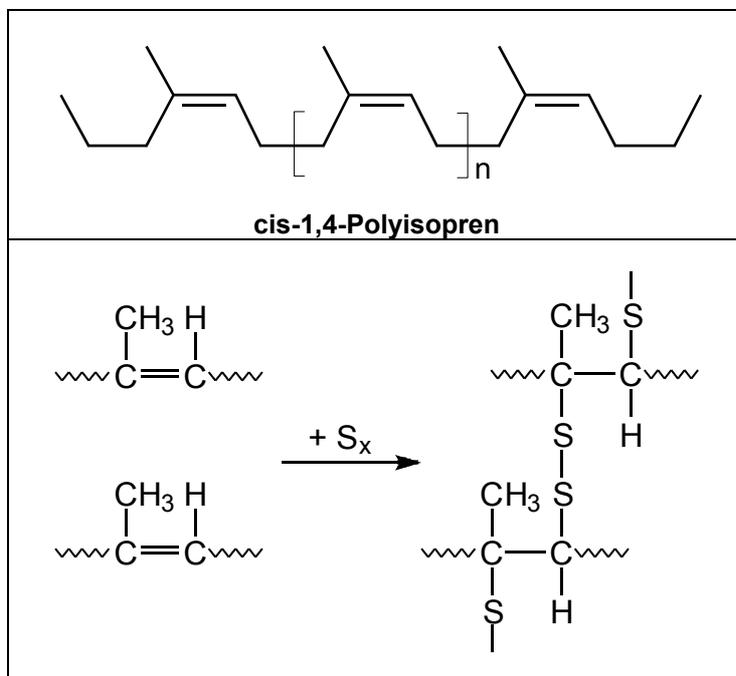
*Am Vernetzermolekül ist das Strukturelement Si-O-R' notwendig, damit es zu einer Kondensationsvernetzung kommen kann.*

6.) Bei welchem der beiden Vernetzungstypen (vgl. Aufgabe 4 + 5) kommt es am ehesten zu einer vollständigen Aushärtung des Materials? Begründen Sie.

*Bei der Additionsvernetzung sollte es eher zu einer vollständigen Aushärtung des Materials kommen, da es sich dabei um eine irreversible Reaktion handelt.*

Arbeitsblatt 4.6	Name:
Siliconöle, -harze, -kautschuk	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

Bei der Kondensation handelt es sich um eine Gleichgewichtsreaktion wobei der Umsatz stark von der Konzentration des gebildeten Alkohols abhängig ist. Dieser muss zunächst verdampfen, damit eine weitere Verschiebung des Gleichgewichts zugunsten der Produkte erfolgen kann.



7.) Links im Kasten sehen Sie die Struktur von Naturkautschuk (cis-1,4-Polyisopren) und darunter dessen Vulkanisationsreaktion.

a) Treffen Sie Aussagen über die elementare Zusammensetzung von vulkanisiertem Naturkautschuk (Gummi) und Siliconkautschuk.

Beim Gummi wird Schwefel als Vernetzer eingesetzt.

Bei der additiven Vernetzung von Siliconen wird kein Schwefel

benötigt. Somit ändert sich die elementare Zusammensetzung des Silicons bei der Vernetzung nicht, während bei der Vulkanisation von Naturkautschuk Schwefel als weiteres Element hinzu kommt.

b) Welchem der beiden Typen der Siliconvernetzung ist die Vulkanisation von Naturkautschuk ähnlicher? Begründen Sie.

Die Vulkanisation von Naturkautschuk ist dem Typ der Additionsvernetzung ähnlicher. Wie bei der Additionsvernetzung wird auch bei der Vulkanisation mit Schwefel die Existenz von Doppelbindungen ausgenutzt, um einzelne Monomereinheiten miteinander zu vernetzen. Es werden keine Teilchen abgespalten.

Arbeitsblatt 4.7	Name:
Siliconöle, -harze, -kautschuk	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

8.) Welche Verbrennungsprodukte entstehen bei der vollständigen Verbrennung von Gummi und Siliconkautschuk? Geben Sie Formeln und Namen an.

*Bei der vollständigen Verbrennung von Gummi entstehen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Wasser (H<sub>2</sub>O) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).*

*Bei der vollständigen Verbrennung von Siliconkautschuk entstehen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Wasser (H<sub>2</sub>O) und Siliciumdioxid (SiO<sub>2</sub>).*

9.) Die Bildungsenthalpien von Kohlendioxid, Siliciumdioxid, Schwefeldioxid und Wasser betragen:

$$\Delta H_B^0(\text{CO}_2) = -394 \text{ kJ/mol}; \quad \Delta H_B^0(\text{SiO}_2) = -910 \text{ kJ/mol}; \quad \Delta H_B^0(\text{SO}_2) = -297 \text{ kJ/mol} \quad \text{und} \\ \Delta H_B^0(\text{H}_2\text{O}) = -287 \text{ kJ/mol}.$$

Kann man aus diesen Angaben Aussagen über die unterschiedliche Wärmeentwicklung bei der Verbrennung von Gummi und Siliconkautschuk treffen? Erläutern Sie ausführlich.

*Aus diesen Angaben lässt sich abschätzen, dass bei der Verbrennung von Siliconkautschuk mehr Wärme frei wird als bei der Verbrennung von Gummi. Das liegt an der wesentlich höheren Bildungsenthalpie von SiO<sub>2</sub> im Vergleich zu den Bildungsenthalpien aller anderen Verbrennungsprodukte. Außerdem ist der Silicium-Anteil im Siliconkautschuk höher als der Schwefel-Anteil im Gummi. Allerdings wurde bei dieser Überlegung nicht berücksichtigt, dass sowohl im Gummi als auch im Siliconkautschuk die Elemente bereits gebunden vorliegen. Die entsprechenden Bindungsenergien (C-C, C-H, Si-O etc.) müssten in eine exakte Betrachtung einbezogen werden.*

10.) Welche positive Eigenschaft besitzt im Falle eines Brandes Siliconkautschuk gegenüber Gummi?

*Im Falle eines Brandes entstehen bei der Verbrennung von Siliconkautschuk keine giftigen Gase, während bei der Verbrennung von Gummi erhebliche Mengen an Schwefeldioxid gebildet werden.*



Arbeitsblatt 5.2	Name:
Vergleich: Siliconkautschuk – Gummi	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

2.) Bei Begasung mit Ozon entstehen im Gummi Risse. Siliconkautschuk zeigt keine Veränderungen. Informieren Sie sich in Lehrbüchern der Organischen Chemie über den Begriff der "Ozonolyse" und erklären Sie den Unterschied mithilfe der abgebildeten Strukturausschnitte.

*Verantwortlich für die starke Anfälligkeit gegenüber Ozon sind beim Gummi die Kohlenstoff-Kohlenstoff Doppelbindungen. Diese werden durch Ozon angegriffen. Im weiteren Verlauf wird das Molekül in zwei Fragmente mit endständigen Carbonyl-Gruppen gespalten. Entscheidend ist nun, ob das Gummi zusätzlich mechanisch beansprucht wird. Bei mechanischer Beanspruchung des Gummis reißt die Oberflächenschicht und gibt die darunter liegenden Schichten zur weiteren Ozonolyse frei. Da Siliconkautschuk im allgemeinen keine Doppelbindungen enthält, ist Siliconkautschuk gegenüber Ozon inert.*

3.) Die Bindungsenergien der C-C Bindung, bzw. der C-H Bindung und der Si-O Bindung betragen (die Angaben beziehen sich auf 298 K):

C-C: 607 kJ/mol

C-H: 338 kJ/mol

Si-O: 800 kJ/mol

Erklären Sie anhand der energetischen Angaben und der abgebildeten Strukturausschnitte die größere Hitzebeständigkeit von Siliconkautschuk im Vergleich zu Gummi.

*Entscheidend für diesen Sachverhalt ist die relativ hohe Bindungsenergie der Si-O Bindung. Da sie der einzige Bindungstyp in der Hauptkette eines Silicon-Moleküls ist, trägt sie entscheidend zu der großen Hitzebeständigkeit der Silicone bei. Um einen Siliconkautschuk thermisch zu zerstören, muss dementsprechend viel Energie aufgebracht werden.*

*Dagegen sind die beim Gummi relevanten Bindungsenergien vergleichsweise gering. Entsprechend wird Gummi bereits bei geringeren Temperaturen thermisch zersetzt.*

Arbeitsblatt 6.1 Eigenschaften von Tetrachlorsilan <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

Die Chlorverbindungen der Elemente der zweiten Periode lauten:

	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>	<b>SiCl<sub>4</sub></b>	PCl <sub>3</sub>	SCl <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>
	fest	fest	fest	<b>flüssig</b>	flüssig	flüssig	gasförmig
Schmp.	800 °C	712 °C	192,5 °C (unter Druck)	<b>- 67,7 °C</b>	- 92 °C	-78 °C	- 101 °C
Sdp.	1465 °C	1418 °C	sub. 180 °C	<b>56,7 °C</b>	74,5 °C	59 °C	- 34,1 °C
ΔEN	<i>2,1</i>	<i>1,8</i>	<i>1,5</i>	<b>1,2</b>	<i>0,9</i>	<i>0,5</i>	<i>0</i>
<i>Ionenbindung</i>		 partieller Ionencharakter nimmt zu				<i>unpolare Elektronenpaarbindung (kovalente Bindung)</i>	

1.) Ermitteln Sie die fehlenden Elektronegativitätsdifferenzen  $\Delta EN$  und tragen Sie diese in die entsprechenden Tabellenfelder ein.

Tragen Sie in die Felder links und rechts vom Pfeil den jeweiligen Bindungstyp ein, der für NaCl bzw. Cl<sub>2</sub> zutrifft.

2.) Erklären Sie den Zusammenhang zwischen der Elektronegativitätsdifferenz, dem partiellen Ionencharakter und dem Aggregatzustand bei Raumtemperatur.

*Mit Zunahme der Elektronegativitätsdifferenz nimmt auch der partielle Ionencharakter zu. Die entsprechenden Verbindungen haben immer höhere Schmelz- und Siedetemperaturen, d.h. sie werden bei Raumtemperatur immer "fester".*

*Salze wie NaCl und MgCl<sub>2</sub> sind reine Ionenverbindungen. Zwischen den Ionen, die in Gittern angeordnet sind, wirken starke elektrostatische Anziehungskräfte. Es ist ein hoher Energieaufwand nötig, um diese Kräfte zu überwinden, entsprechend ist die Schmelztemperatur hoch.*

*Das andere Extrem bilden molekulare Verbindungen aus unpolaren Molekülen. Die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen sind viel geringer als die Bindungskräfte der Atome in den Molekülen. Solche Verbindungen sind selbst bei Raumtemperatur gasförmig. Der Übergang zwischen den beiden Extremen ist "fließend".*

Arbeitsblatt 6.2 Eigenschaften von Tetrachlorsilan <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

3.) Ergänzen Sie die folgende Tabelle. Kreuzen Sie jeweils das Feld "Ja" oder "Nein" an und geben Sie gegebenenfalls die Ionen bzw. die Hydrolyseprodukte an.

	Ionen?		Hydrolyse?	
NaCl <small>Denken Sie an Kochsalzlösung.</small>	Ja <input checked="" type="checkbox"/>	$Na^+ (aq) + Cl^- (aq)$	Ja <input type="checkbox"/>	
	Nein <input type="checkbox"/>		Nein <input checked="" type="checkbox"/>	
AlCl <sub>3</sub>	Ja <input checked="" type="checkbox"/>	$Al^{3+} (aq) + 3 Cl^- (aq)$	Ja <input checked="" type="checkbox"/>	<i>wenig</i> $Al(OH)_3 (s, aq) + 3 HCl (aq)$
	Nein <input type="checkbox"/>		Nein <input type="checkbox"/>	
SiCl <sub>4</sub> <small>vgl. Versuch: Hydrolyse von Tetrachlorsilan</small>	Ja <input type="checkbox"/>		Ja <input checked="" type="checkbox"/>	$SiCl_4 + 4 H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + 4 HCl$ <i>Orthokieselsäure kondensiert zu Polykieselsäure</i>
	Nein <input checked="" type="checkbox"/>		Nein <input type="checkbox"/>	
PCl <sub>3</sub>	Ja <input type="checkbox"/>		Ja <input checked="" type="checkbox"/>	$H_3PO_3 (aq) + 3 HCl (aq)$
	Nein <input checked="" type="checkbox"/>		Nein <input type="checkbox"/>	
Cl <sub>2</sub> <small>Denken Sie an Chlorwasser.</small>	Ja <input type="checkbox"/>		Ja <input type="checkbox"/>	
	Nein <input checked="" type="checkbox"/>		Nein <input checked="" type="checkbox"/>	

4.) Erklären Sie das unterschiedliche Verhalten der Chloride in Wasser.

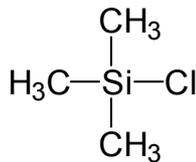
*Wenn sich das Salz Natriumchlorid in Wasser löst, wird das Ionengitter abgebaut, die Ionen gehen in hydratisierter Form in Lösung. Es findet keine Hydrolyse statt.*

*Chlor (das aus unpolaren Molekülen besteht) löst sich nur geringfügig als  $Cl_2 (aq)$ .*

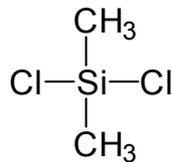
*Bei den anderen Verbindungen finden partielle ( $AlCl_3$ ) oder vollständige ( $SiCl_4$ ,  $PCl_3$ ) Hydrolysen statt, je nachdem, ob und inwiefern die Hydrolyseprodukte sich als Niederschläge abscheiden oder als stabile Ionen in Lösung gehen.*

Arbeitsblatt 7.1 Hydrolyse und Hydrolysegeschwindigkeit von Chlormethylsilanen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

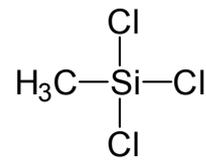
In den Versuchen "Hydrolyse von Chlormethylsilanen" und "Geschwindigkeit der Hydrolyse von Chlormethylsilanen" sind bei den drei Chlormethylsilanen



Chlortrimethylsilan



Dichlordimethylsilan



Trichlormethylsilan

Gemeinsamkeiten und Unterschiede festgestellt worden.

1.) Nennen Sie die beobachteten Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

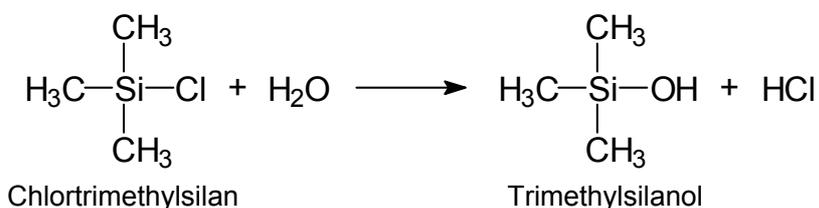
Gemeinsamkeiten: *Alle Chlormethylsilane hydrolysieren schnell in Wasser. Es bleiben immer zwei Phasen bestehen, wobei die flüssige Siliconphase auf der wässrigen Phase schwimmt. Der pH-Wert der wässrigen Phase sinkt. Die Hydrolyse ist stets exotherm.*

Unterschiede: *Die Hydrolysen von Chlortrimethylsilan und Dichlordimethylsilan ergeben klare, flüssige; die Hydrolyse von Trichlormethylsilan weiße, feste Produkte. Mit zunehmenden Chloranteil im Molekül wird die Hydrolyse heftiger und schneller, dabei entweicht im Gegensatz zum Chlortrimethylsilan auch gasförmiges HCl aus dem Reaktionsgefäß.*

2.) Erklären Sie die unterschiedlichen Eigenschaften der Hydrolyseprodukte mithilfe der Formeln.

a) Chlortrimethylsilan

Hydrolyse:



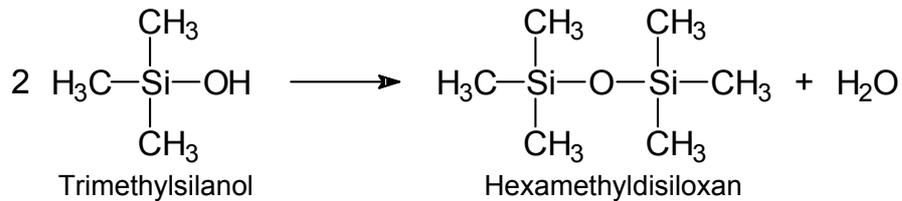
**Arbeitsblatt 7.2**Hydrolyse und Hydrolysegeschwindigkeit von  
Chlormethylsilanen**Lösungsvorschlag**

Name:

Klasse:

Datum:

Kondensation:



Produkt:

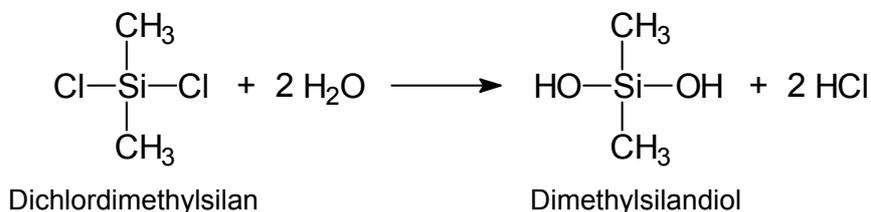


Eigenschaften:

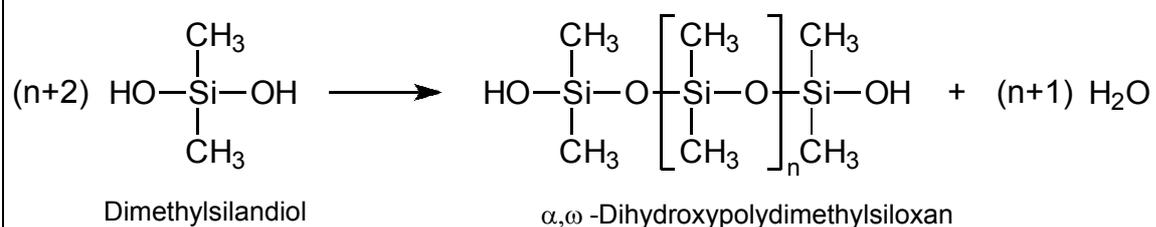
*Die Hydrolyse von Chlortrimethylsilan ergibt Trimethylsilanol. Dieses besitzt nur eine funktionelle Gruppe, die Hydroxygruppe. Deshalb gibt es nur ein mögliches Kondensationsprodukt, das Hexamethyldisiloxan. Dieses relativ kleine, symmetrische Molekül ist nicht polar und deshalb nicht mit Wasser mischbar. Es besitzt aufgrund geringer intermolekularer Wechselwirkungsmöglichkeiten geringe Viskosität und einen erheblichen Dampfdruck, also einen niedrigen Siedepunkt.*

b) Dichlordimethylsilan

Hydrolyse:



Kondensation:





<b>Arbeitsblatt 7.4</b> Hydrolyse und Hydrolysegeschwindigkeit von Chlormethylsilanen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:



Eigenschaften:

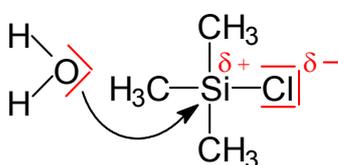
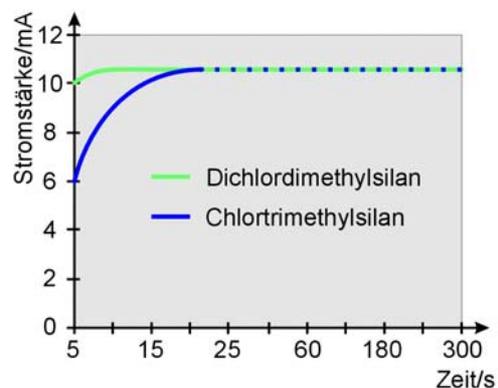
*Die Hydrolyse von Trichlormethylsilan ergibt Methylsilantriol. Dieses besitzt drei funktionelle Hydroxygruppen. Deshalb kann es zu großen, räumlich stark vernetzten Molekülen kondensieren.*

*Diese Makromoleküle bilden Feststoffe. Aufgrund von räumlichen Bedingungen kann nicht jede Hydroxygruppe im Innern des Moleküls kondensieren und an der äußeren*

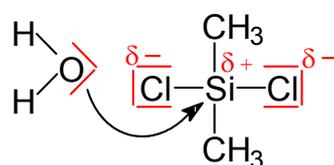
*Grenzfläche sind immer noch freie Hydroxygruppen zur weiteren Kondensation vorhanden, so dass das Molekül immer weiter wachsen kann. Die Riesenmoleküle, die im Verhältnis zu ihrer Größe wenige polare Hydroxygruppen besitzen, bilden einen wasserunlöslichen Feststoff.*

3.) In dem Versuch "Geschwindigkeit der Hydrolyse von Chlormethylsilanen" sind unterschiedliche Hydrolysegeschwindigkeiten festgestellt worden.

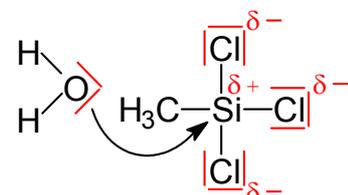
Worauf führen Sie die unterschiedlichen Hydrolysegeschwindigkeiten zurück? Zeichnen Sie in die folgenden Formeln der Chlormethylsilane ein, wo der nucleophile Angriff des Wassermoleküls am leichtesten erfolgt und begründen Sie dies.



Chlorotrimethylsilan



Dichlorodimethylsilan



Trichlormethylsilan

*Das Wasser-Molekül greift mit einem freien Elektronenpaar des Sauerstoff-Atoms nucleophil am Silicium-Atom an. Da das Chlor-Atom deutlich elektronegativer als das Silicium-Atom ist, wirkt es elektronenanziehend (– I-Effekt). Daher reagieren die Chlormethylsilane mit steigendem Chlorgehalt schneller mit Wasser.*

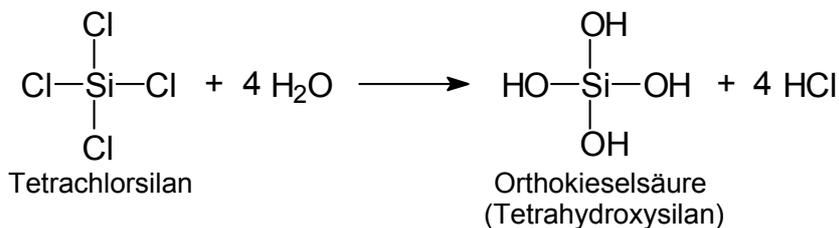
<b>Arbeitsblatt 7.5</b> Hydrolyse und Hydrolysegeschwindigkeit von Chlormethylsilanen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

4.) Welches Verhalten erwarten Sie für die Hydrolyse von Tetrachlorsilan?

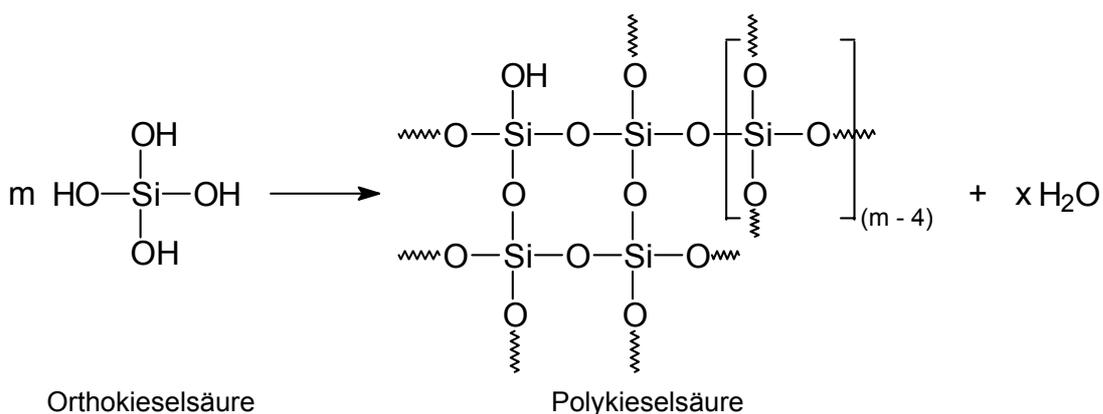
*Hier wird das Silicium-Atom am stärksten positiviert. Demnach müsste Tetrachlorsilan mit Wasser besonders heftig reagieren. Da das Silicium-Atom durch die großen partiell negativ geladenen Chlor-Atome räumlich stark abgeschirmt wird, ist es für den nucleophilen Angriff des Wasser-Moleküls relativ schlecht erreichbar. Die Hydrolyse von Tetrachlorsilan verläuft daher in etwa vergleichbar mit der des Dichlordimethylsilans.*

5.) Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der Hydrolyse und Kondensation von Tetrachlorsilan analog der Gleichungen aus Aufgabe 2.

*Hydrolyse:*



*Kondensation:*

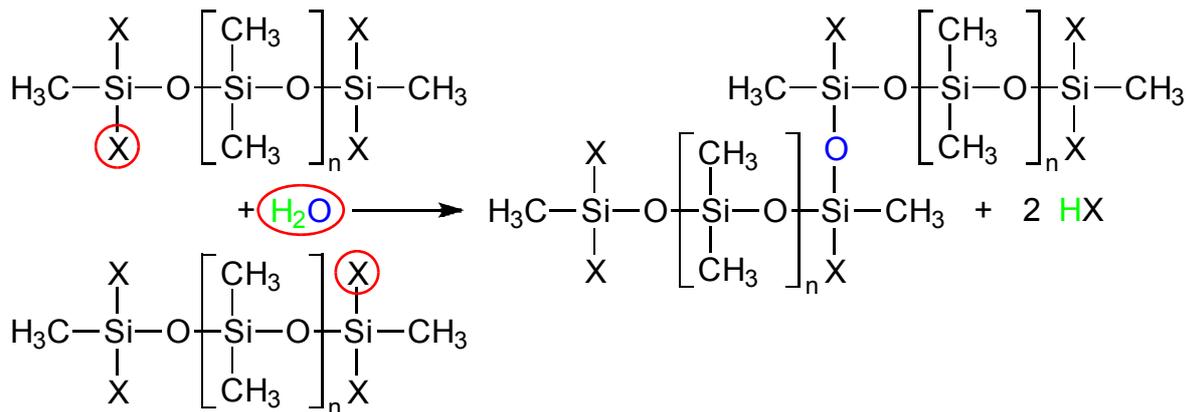


*Anmerkung: Es bildet sich zunächst gelartige höhere Kieselsäure, die nach Entwässerung in ein stark vernetztes, festes, weisses Produkt, welches kaum wasserlöslich ist, übergeht. Das Glühen der Polyokieselsäure über 1000 °C führt zum Siliciumdioxid (Quarz).*



Arbeitsblatt 8.2 RTV-1-Siliconkautschuke <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

3.) Das folgende Reaktionsschema steht für die Aushärtung des Siliconkautschuks aus Aufgabe 1 beim Zutritt von Luftfeuchtigkeit. Kreisen Sie die reagierenden Gruppen ein und benennen Sie X und HX.



$X = \textit{Ethoxy-Gruppe}$	$\text{HX} = \textit{Ethanol}$
------------------------------	--------------------------------

**Versuch:** Man klebt zwei U-Profilleisten mit einem Klebeband ab, spritzt eine der beiden Leistenhohlräume mit der Siliconmasse ELASTOSIL<sup>®</sup> E43 aus und drückt mit einem feuchten Finger die Masse an. Ebenso verfährt man mit der zweiten Profilleiste, hier verwendet man jedoch ELASTOSIL<sup>®</sup> N199. Eine dritte Profilleiste wird hohlraumfrei mit Gips befüllt und der Überstand mit einem Spatel abgezogen. Nun legt man auf den Rand von jedem U-Profil einen befeuchteten Streifen pH-Papier und lässt die Masse aushärten. Beobachtung?  
Nach dem Aushärten werden die Proben auf Schlagfestigkeit, Konsistenz und Überstreichbarkeit mit Wasserfarben geprüft.

4.) Tragen Sie die Beobachtungen in eine Tabelle ein und vergleichen Sie die Eigenschaften der Proben.

	ELASTOSIL <sup>®</sup> E43	ELASTOSIL <sup>®</sup> N199	Gips
Geruch	<i>Geruch nach Essig</i>	<i>nicht bestimmbar</i>	<i>geruchlos</i>
pH-Papier	<i>Rotfärbung</i>	<i>keine Änderung</i>	<i>keine Änderung</i>
Schlagfestigkeit	<i>elastisch</i>	<i>elastisch</i>	<i>zerbricht in kleine Stücke</i>
Konsistenz	<i>weich, gummiartig</i>	<i>weich, gummiartig</i>	<i>fest</i>
Überstreichbarkeit mit Wasserfarbe	<i>schlechte Haftung, abwaschbar</i>	<i>schlechte Haftung, abwaschbar</i>	<i>sehr gute Haftung, nicht abwaschbar</i>

Arbeitsblatt 8.3 RTV-1-Siliconkautschuke <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

5.) Erklären Sie die unterschiedliche Geruchsentwicklung sowie die unterschiedliche Färbung des pH-Papiers bei der Aushärtung der verschiedenen Proben.

ELASTOSIL<sup>®</sup> E43:

*Der saure, essigartige Geruch und die saure Reaktion des ELASTOSILS<sup>®</sup> E43 beruhen darauf, dass dieses System einen Acetoxy-haltigen Vernetzer enthält, wodurch bei der Vulkanisation Essigsäure entsteht.*

ELASTOSIL<sup>®</sup> N199:

*Der undefinierbare Geruch und die neutrale Reaktion des ELASTOSILS<sup>®</sup> N199 beruhen darauf, dass dieses System einen Oxim-haltigen Vernetzer enthält, wodurch bei der Vulkanisation ein Oxim abgespalten wird.*

(Hinweis: Die Schüler können diese Erklärung nur dann liefern, wenn ihnen die Produktbeschreibung vorgelegt und erläutert wird.)

Gips:

*Bei der Aushärtung von Gips findet ein Einbau der Wassermoleküle in das Ionengitter des Calciumsulfats statt. Dabei entsteht aus Calciumsulfat  $\text{CaSO}_4$  Calciumsulfatdihydrat (Gips)  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Da hier keine Spaltprodukte entstehen, ist auch keine Veränderung, insbesondere kein Geruch, zu beobachten.*

6.) Erklären sie mit Hilfe der Struktur der Proben, warum Gips bei starker mechanischer Einwirkung zerbricht, während sich die beiden anderen Proben elastisch verhalten.

*Bei der Aushärtung der Siliconkautschuke sind Querverbindungen zwischen den Molekülketten des Siliconkautschuks entstanden. Diese bewirken das elastische Verhalten.*

*Gips ist ein salzartiger Feststoff, welcher bei mechanischer Einwirkung (Schlag) zerbricht.*

Arbeitsblatt 8.4 RTV-1-Siliconkautschuke <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

7.) Womit ist die unterschiedlich gute Haftbarkeit von Wasserfarbe auf den verschiedenen Proben zu erklären?

*Silicone sind ausgesprochen hydrophob. Die Wasserfarbe kann daher nicht in den Siliconkautschuk eindringen und ist leicht wieder zu entfernen.*

*Gips ist dagegen ausgesprochen hydrophil, weswegen die Wasserfarbe sehr leicht eindringen kann und fest auf der Oberfläche haftet.*

8.) In der Bauindustrie werden Siliconkautschuke und Gips als Fugenmaterial verwendet. Welches der beiden Materialien würden Sie für Fugen mit ständigen Bewegungen und Spannungen verwenden?

*Es empfiehlt sich, den Siliconkautschuk zu verwenden, da der Gips unter den ständigen Spannungen mechanisch zerstört wird. Der Siliconkautschuk kann dagegen die Bewegungen durch sein elastisches Verhalten teilweise ausgleichen.*

9.) Erläutern Sie, warum ELASTOSIL<sup>®</sup> E43 zum Verbinden zweier Marmorstücke ungeeignet ist.

*ELASTOSIL<sup>®</sup> E43 ist hierfür ungeeignet, da bei der Vulkanisation Essigsäure frei wird, welche den Marmor zersetzt.*

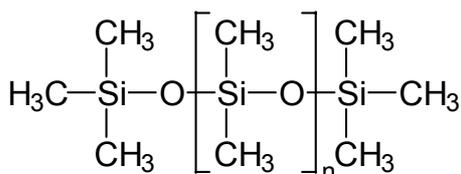
Arbeitsblatt 9.1 Eigenschaften von Siliconölen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

### Hydrophobe Eigenschaften von Siliconölen

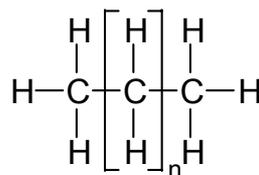
**Versuch 1:** Verschiedene glatte und saubere Oberflächen, z.B. Glas-, Kupfer-, Holzplatte, Papiertaschentuch usw., werden partiell einmal mit Siliconöl AK 5000 aus dem WACKER-Schulversuchskoffer und einmal mit Glycerin bestrichen. Zusätzlich überzieht man einen Pappdeckel mit einer Kerzenwachsschicht. Dann gibt man jeweils auf die behandelten und unbehandelten Oberflächen einen Tropfen mit Methyleneblau angefärbten Wassers. Beobachtung?

Beobachtung: *Auf den siliconisierten Oberflächen und auf dem mit Kerzenwachs behandelten Pappdeckel bilden die Wassertropfen einen vergleichsweise runden Tropfen und verlaufen nicht. Von der Seite betrachtet stehen sie auf den behandelten Oberflächen deutlich höher als auf den unbehandelten. Das Wasser wird vom Papiertaschentuch, vom Pappdeckel und vom Holz langsamer eingesaugt als bei den unbehandelten Oberflächen. Auf den mit Glycerin behandelten Oberflächen verlaufen die Wassertropfen dagegen sehr stark und werden schnell eingesaugt.*

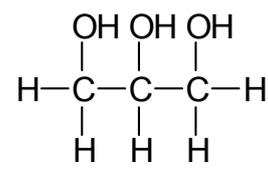
1.) Versuchen Sie mit Hilfe der Konstitutionsformeln von Siliconöl, Glycerin und Paraffin die Beobachtungen aus Versuch 1 zu erklären.



Siliconöl (Polydimethylsiloxan)



Paraffin (höheres Alkan)



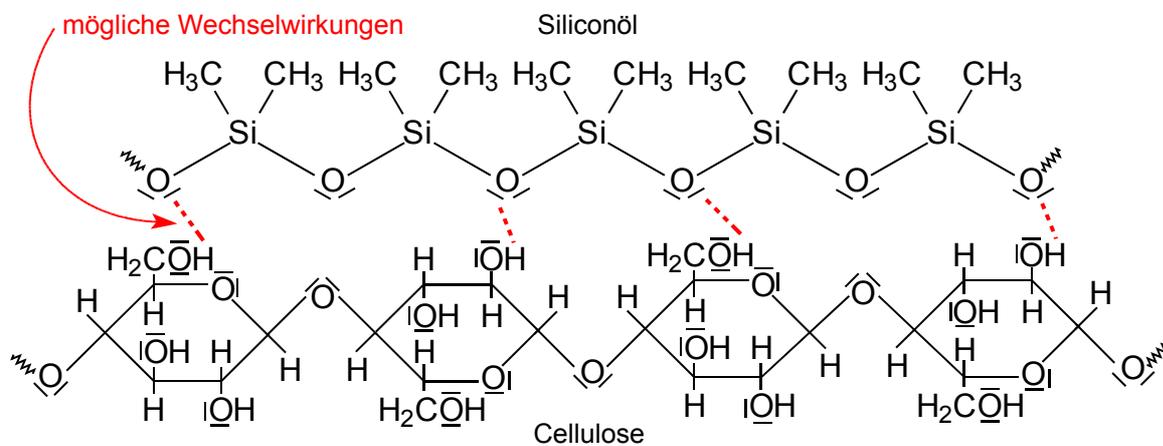
Glycerin

Erklärung: *Zwischen den unpolaren Alkan-Molekülen und den polaren Wassermolekülen sind nur schwache Wechselwirkungen möglich. Das Paraffin verhält sich daher ausgesprochen hydrophob. Analog dazu ist auch der hydrophobe Effekt des Siliconöls durch den Gehalt an unpolaren Methylgruppen zu erklären. Das Glycerin verfügt dagegen über drei Hydroxy-Gruppen, die aufgrund von Wasserstoffbrückenbindungen zu starken Wechselwirkungen zwischen den Glycerin- und Wassermolekülen führen. Diese starken Wechselwirkungen verursachen den hydrophilen Charakter der mit Glycerin behandelten Oberflächen.*

Arbeitsblatt 9.2 Eigenschaften von Siliconölen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

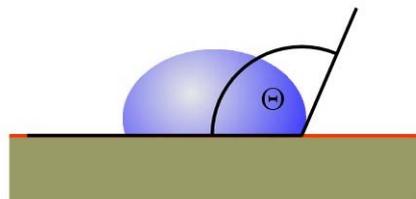
2.) Während sich die Paraffinschicht relativ leicht abkratzen lässt, haftet das Siliconöl aufgrund zwischenmolekularer Wechselwirkungen (elektrostatische Anziehungskräfte, Wasserstoffbrücken) verhältnismäßig gut auf Oberflächen wie Glas, Baustoffen und Textilien (z.B. Cellulose).

Zeichnen Sie in die nachfolgende Abbildung den Ausschnitt eines Silicon-Moleküls ein und markieren Sie durch gestrichelte Linien die Wechselwirkungen zwischen der Cellulose-Oberfläche und dem Siliconmolekül.



### Einbrennen von Siliconölen auf Glasoberflächen

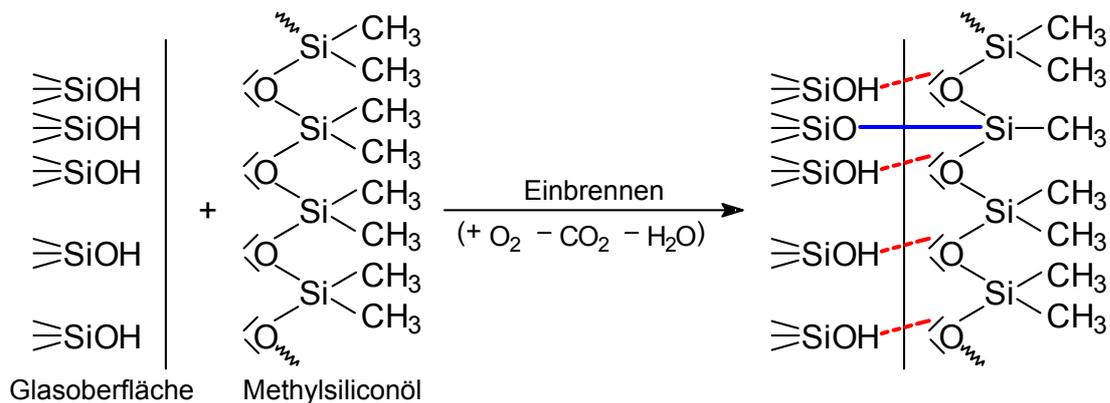
Die Haftfestigkeit und Filmbildung der Siliconschicht kann durch chemische Reaktionen mit funktionellen Gruppen der Oberfläche, z.B. Hydroxy-Gruppen, wesentlich verstärkt werden. So ist es möglich, dass bei hohen Einbrenntemperaturen Polydimethylsiloxanmoleküle an Glasoberflächen durch gelegentliche Spaltung einer Si-CH<sub>3</sub>-Bindung unter der Einwirkung von Sauerstoff und Wasser sowie anschließender Kondensation mit Siloxygruppen Si-OH der Oberfläche durch Hauptvalenzen verankert werden. Es kann beobachtet werden, dass durch diese Behandlung der Berührungswinkel  $\theta$  (vgl. Abb.), den das Wasser mit der siliconisierten Glasoberfläche bildet, auf bis zu 100-110° ansteigt.



Berührungswinkel  $\theta$  eines Wassertropfens auf einer (hydrophoben) Oberfläche

Arbeitsblatt 9.3 Eigenschaften von Siliconölen <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

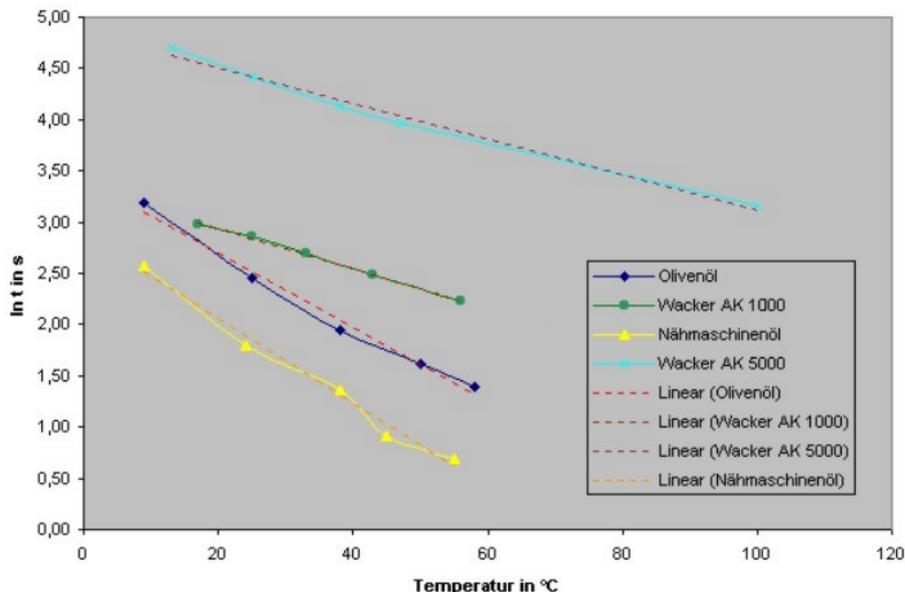
3.) Markieren Sie mithilfe der vorangegangenen Texterläuterungen in dem unten formulierten Produkt der Verankerung eines Methylsiliconöls auf einer Glasoberfläche die Wasserstoffbrückenbindungen und die Hauptvalenzen mit unterschiedlichen Farben. Tragen Sie auf der Edukt-Seite den Formelausschnitt des Siliconmoleküls ein.



### Viskosität von Siliconölen

**Versuch 2:** Bestimmen Sie die Fallzeit einer Metallkugel zwischen den Markierungen eines Glasrohrs (Becherglas-Viskosimeter) in Olivenöl, Nähmaschinenöl, Siliconöl AK 1000 und Siliconöl AK 5000 aus dem WACKER-Schulversuchskoffer bei 5 verschiedenen Temperaturen.

4.) Tragen Sie den natürlichen Logarithmus der Fallzeit (y-Achse) gegen die Temperatur auf. Fällt Ihnen dabei etwas auf?  
(Anmerkung: Messergebnisse aus Versuch "Viskosität von Siliconölen - Variante a")



Arbeitsblatt 9.4	Name:
Eigenschaften von Siliconölen	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

*Es fällt auf, dass der natürliche Logarithmus der Fallzeit linear mit der Temperatur abnimmt. Anhand der Steigung der Geraden ist zu erkennen, dass die Abhängigkeit der Viskosität (Fallzeit) von der Temperatur bei den Siliconölen wesentlich geringer ist als bei den anderen Vergleichsölen. Weiterhin kann festgestellt werden, dass die Viskosität mit steigender Kettenlänge bzw. steigendem Molekulargewicht zunimmt.*

5.) Erklären Sie, worauf die ermittelte Temperaturabhängigkeit der Viskosität zurückzuführen ist.

*Bei Temperaturerhöhung nimmt die Energie des Systems zu und die mittlere Geschwindigkeit der einzelnen Moleküle steigt an. Dies hat die Zunahme der ungeordneten Bewegungen der einzelnen Moleküle zur Folge. Die Flüssigkeit wird beweglicher, die Viskosität nimmt ab.*

6.) Angenommen Sie bekämen die Aufgabe, eines der vier untersuchten Öle für den Betrieb von hydraulischen Anlagen bei großen Temperaturschwankungen, zum Beispiel in einem Flugzeug, auszuwählen. Begründen Sie, für welches Öl Sie sich entscheiden würden

*Ich würde mich für ein Siliconöl entscheiden, da die Viskosität bei Siliconölen nicht so stark temperaturabhängig ist wie die Viskosität der anderen untersuchten Öle. So würde ein Mineralöl bei Höhen von etwa 10 bis 12 km (dort herrschen Temperaturen um  $-50^{\circ}\text{C}$  bis  $-60^{\circ}\text{C}$ ) fest werden und könnte seine Aufgaben nicht mehr erfüllen.*

Arbeitsblatt 9.5	Name:
Eigenschaften von Siliconölen	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

### Viskositätsmessungen

Außer von der Temperatur hängt die Viskosität einer Substanz auch von der Molekülmasse, der Molekülgestalt und den zwischenmolekularen Bindungen ab. Unter standardisierten Bedingungen kann man daher aus der Viskosität direkt auf die mittlere molare Masse des gelösten Polymers schließen. Viskositätsmessungen werden beispielsweise in der Produktionsüberwachung eingesetzt, um zu überprüfen, wie weit eine Polymerisation fortgeschritten ist, d.h. ob das synthetisierte Polymer schon die gewünschte Molekülmasse erreicht hat.

7.) Erläutern Sie, warum sich gerade Viskositätsmessungen für Routineuntersuchungen eignen.

*Die Viskosimetrie eignet sich deshalb so gut, da sie einfach, schnell und billig durchzuführen ist.*

8.) Überlegen Sie sich, welche Einsatzgebiete für Siliconöle aufgrund der ermittelten Eigenschaften in Frage kommen.

*Aufgrund ihrer Eigenschaften sollten sich Siliconöle als Imprägniermittel, Pflegemittel und als Hydrauliköl bei extremen Bedingungen eignen.*

Arbeitsblatt 10.1	Name:
Tenside und Antischaummittel	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

**Versuch 1:** Man füllt eine mittelgroße Glasschale mit Wasser und legt vorsichtig eine Büroklammer auf die Oberfläche des Wassers. Anschließend gibt man mit einer Pipette am Rand der Glasschale einige Tropfen Wasser und danach einige Tropfen einer Spülmittellösung hinzu. Beobachtung?

Beobachtung: *Bei der Zugabe der Tensidlösung ist zu beobachten, dass die Büroklammer mit jedem Tropfen Tensidlösung tiefer ins Wasser eindringt, bis sie plötzlich ganz untergeht.*

1.) Wie würden Sie ihre Beobachtungen aus Versuch 1 deuten und erklären?

Deutung: *Vermutlich tritt an der Wasseroberfläche eine Kraft auf, die verhindert, dass die Büroklammer untergeht. Durch die Tensidlösung wird diese Kraft herabgesetzt, so dass die Büroklammer allmählich untergeht.*

Erklärung: (Die Erklärung erfolgt mit Hilfe des Lehrers)

*An der Grenzfläche einer Flüssigkeit ist eine Oberflächenspannung wirksam. Sie äußert sich in dem Bestreben, die Flüssigkeitsoberfläche möglichst klein zu halten. In dem durchgeführten Versuch ist die Oberflächenspannung größer als die auf die Büroklammer einwirkende Schwerkraft, daher geht die Büroklammer nicht unter. Durch die Tensidlösung wird die Oberflächenspannung herabgesetzt, die Büroklammer versinkt.*

2.) Wie würden Sie aufgrund ihrer Erfahrungen in Versuch 1 die besonderen Fähigkeiten des Wasserläufers (vgl. Foto) erklären?



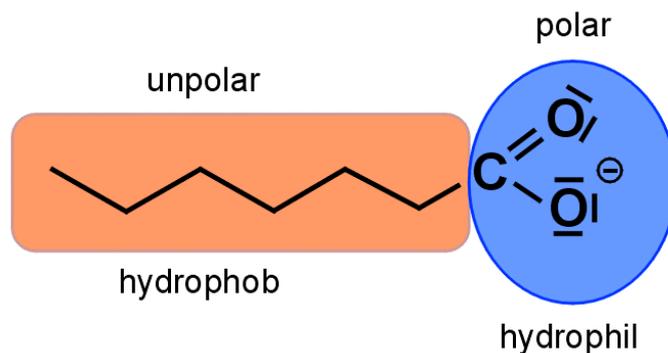
Arbeitsblatt 10.2	Name:
Tenside und Antischaummittel	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

Erklärung: *Die Fähigkeit des Wasserläufers beruht ebenfalls auf der Oberflächenspannung des Wassers. Auch in diesem Falle ist wieder die Oberflächenspannung größer als die Schwerkraft, die auf den Wasserläufer wirkt.*

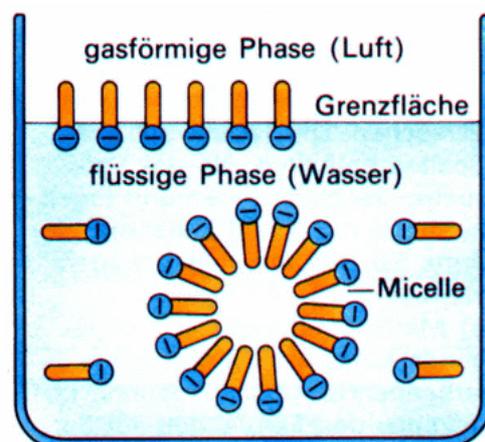
3.) Die eigentlich aktiven Substanzen in den Waschmitteln sind die Tenside. Diese können Anionen, Kationen, Zwitterionen oder Moleküle sein. Charakteristisch für alle Tensid-Teilchen ist, dass sie alle über ein hydrophiles und ein hydrophobes Ende verfügen.

Zeichnen Sie mit Hilfe dieser Angaben das Modell eines anionischen Tensids mit der Formel:  $\text{H}_3\text{C}(\text{CH}_2)_n\text{COO}^-\text{Na}^+$  ( $n = 9$  bis  $19$ ).

Zeichnung:



4) Tenside werden auch als grenzflächenaktive Stoffe bezeichnet. Beschreiben Sie zeichnerisch (in Abb. rechts), wie sich die Tensid-Teilchen an der Wasseroberfläche und im Wasser ausrichten und erklären Sie, wie dadurch die Oberflächenspannung des Wassers herabgesetzt wird.



Erklärung: *An der Oberfläche einer Seifenlösung ordnen sich die Tensid-Teilchen so an, dass die hydrophoben Enden aus der Wasseroberfläche ragen. Da die Anziehungskräfte zwischen den unpolaren Kohlenwasserstoffenden der Tensid-Teilchen wesentlich geringer sind als zwischen den Wassermolekülen, sinkt die Oberflächenspannung des Wassers.*

Arbeitsblatt 10.3	Name:
Tenside und Antischaummittel	Klasse:
<b>Lösungsvorschlag</b>	Datum:

**Versuch 2:** Ein Schnappdeckelglas wird zu 2/3 mit Wasser gefüllt und mit einigen Tropfen Spülmittel versetzt. Nach dem Verschließen wird kräftig geschüttelt. Beobachtung? Wie verändert sich der Schaum im Laufe der Zeit?

Beobachtung: *Beim Schütteln des Schnappdeckelglases entsteht im oberen Drittel Schaum. Dieser besteht zuerst aus kleinen kugelförmigen Blasen, die sich mit zunehmender Zeit zu größeren Polyederblasen vereinigen.*

5) Wie würden Sie ihre Beobachtungen aus Versuch 2 erklären?

Erklärung: *Schaum wird gebildet, wenn sich Tenside an der Grenzfläche zur Luft in der Lösung anreichern und damit die Oberflächenspannung des Wassers erniedrigen. Die Schaumblasen bleiben stabil, wenn das Tensid nicht zu stark abfließt. Zunehmendes Abfließen der Tensid-Teilchen (Drainage) läßt die Blasen immer dünner werden, die Gasblasen rücken enger zusammen, deformieren sich gegenseitig und werden zu Polyedern.*

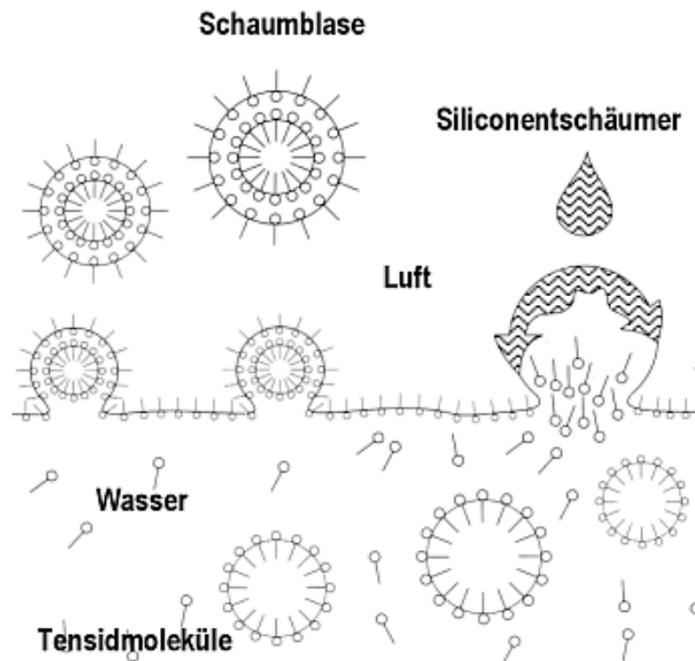
**Versuch 3:** Man legt eine Tensidlösung vor und gibt nach dem Schütteln einen Tropfen der Antischaumemulsion AS-EM SRE aus dem WACKER-Schulversuchskoffer dazu. Beobachtung? Was beobachtet man bei erneutem Schütteln?

Beobachtung: *Bei Zugabe der Antischaumemulsion zerfällt der Schaum. Dabei ist ein Knistern zu hören. Es bildet sich eine leichte Trübung. Beim nochmaligen Schütteln bildet sich etwas Schaum, welcher jedoch sofort wieder zerfällt.*

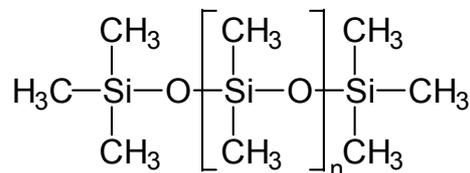
Arbeitsblatt 10.4 Tenside und Antischaummittel <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

6.) Erklären Sie Ihre Beobachtungen aus Versuch 3 mithilfe der Abbildung rechts.

Erklärung: *Auch die Siliconöl-Teilchen reichern sich an der Oberfläche des Wassers an. Dort verdrängen sie die Tensid-Teilchen, wodurch die Schaumblase in sich zusammenfällt.*



7.) Entscheidend für die Wirkung eines Antischaummittels ist eine sehr geringe Oberflächenspannung, Unlöslichkeit im schäumenden Medium und ein hohes Spreitungsvermögen. Gleichzeitig beruht die Tendenz zur Schaumbildung ebenfalls auf einer geringen Oberflächenspannung. Im Versuch wurde ein Methylsiliconöl (siehe Abb.) als Antischaummittel eingesetzt. Erklären Sie mithilfe der Struktur des Methylsiliconöls, warum dieses trotz einer im Vergleich zu den Tensiden geringeren Oberflächenspannung (Methylsiliconöl ca. 20 mN/m, Tenside ca. 30 mN/m) als Antischaummittel wirkt.



Valenzstrichformel eines Methylsiliconöls

Erklärung: *Im Gegensatz zu den Tensid-Teilchen sind die Siliconölmoleküle unpolar. Deshalb können sie kein Wasser in der Haut der Schaumblasen einschließen. Aufgrund ihrer Wechselwirkung mit den Tensid-Teilchen entfernen sie diese aus der Blasenhaut; die Blase zerfällt.*

Arbeitsblatt 10.5 Tenside und Antischaummittel <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

**Versuch 4:** Schütteln Sie im Reagenzglas 2 ml Wasser, 0,5 ml Olivenöl und 1 ml Tensidlösung kräftig durch, stellen Sie das Reagenzglas in den Ständer und beobachten Sie die Entmischung. Führen Sie den gleichen Versuch mit der Tensidlösung aus Versuch 3 und ohne Zusatz von Tensidlösung durch.

Beobachtung: *Beim Schütteln der Reagenzgläser bilden sich gelbliche Emulsionen.*

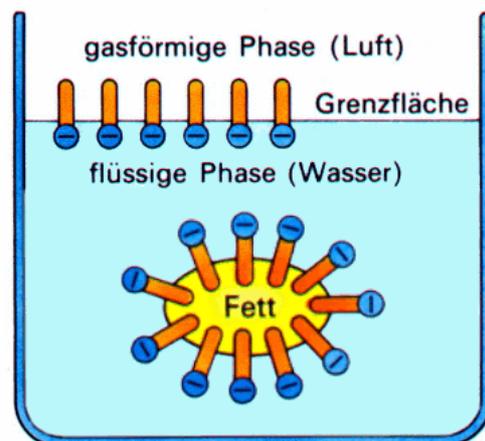
*Ohne Tensidlösung entmischt sich die Emulsion relativ schnell und es entsteht eine Öl- und eine Wasserphase.*

*Mit Tensidlösung bleibt die Emulsion bestehen und es tritt keine merkliche Entmischung auf.*

*Gleiches ist bei der mit Antischaummittel versetzten Tensidlösung zu beobachten. Allerdings bildet sich hier kaum Schaum.*

8.) Wie würden Sie ihre Beobachtungen aus Versuch 4 mithilfe des Tensid-Modells erklären. Zeichnen Sie dazu die Anordnung der Tensid-Teilchen an den Grenzflächen Luft-Wasser und Wasser-Öl ein.

Erklärung: *Tenside stabilisieren Fett/Wasser-Emulsionen durch Fett/Tensid-Micellen. Das Tensid-Teilchen wendet dabei dem Fett seine hydrophobe (lipophile) Seite und den  $H_2O$ -Dipolen seine die hydrophile Seite entgegen.*



Arbeitsblatt 11.1 Müller-Rochow Synthese Lösungsvorschlag	Name:
	Klasse:
	Datum:

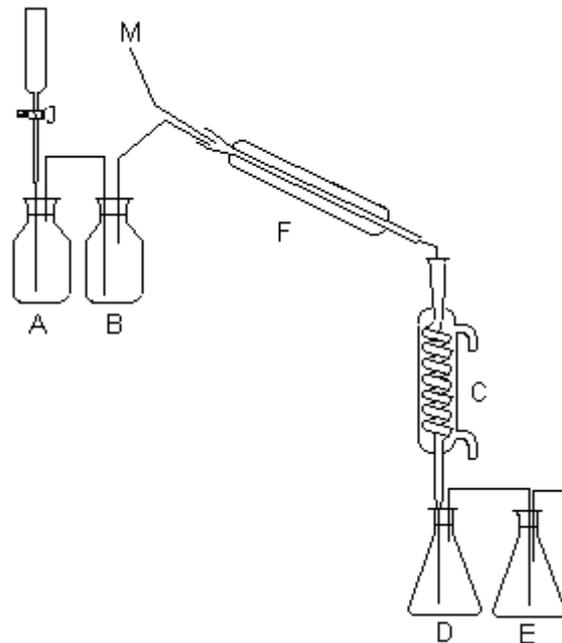
### Historisches

Am 9. und 10. Mai 1940 machte der Chemiker E. G. Rochow ein Experiment zur Herstellung von Siliconen, welches als Direkt- bzw. Müller-Rochow Synthese (R. Müller kam parallel und unabhängig ein dreiviertel Jahr später zu den gleichen Ergebnissen wie Rochow) in die Chemiegeschichte einging. In seinem damaligen Laborjournal hat Rochow das durchgeführte Experiment festgehalten:

#### 9. Mai 1940

Ich zerkleinerte eine Menge 50 % Cu-Si von der Niagara Falls Smelting Co. im Backenbecher und füllte ein Nonex-Rohr mit dem Material (Körnung etwa 6-7 mm herunter bis zu feinem Pulver). Ich brachte das Rohr im Ofen unter und schloß es an Zuleitungen für  $\text{CH}_3\text{Cl}$  &  $\text{HCl}$  an. Nur eine  $\text{CO}_2$ -Kühlfalle am Austrittsende.

- A = Chlorwasserstoffquelle
  - B = Blasenzähler
  - C = Kühler für Reaktionsprodukte
  - D = Vorlage auf  $0^\circ\text{C}$  gekühlt
  - E = Vorlage auf  $-80^\circ\text{C}$  gekühlt
  - F = Ofen mit innenliegenden Reaktionsrohr
- M = Chlormethan



Ursprüngliche von Rochow für die Reaktion von Chlormethan aus Silicium eingesetzte Apparatur

**10. Mai 1940** Ich erhitzte das Rohr im Ofen auf  $370^\circ\text{C}$  und hielt es auf dieser Temperatur. Ich leitete zuerst etwas  $\text{HCl}$  durch, um die Legierung oberflächlich anzuätzen, dann leitete ich einen langsamen Strom von  $\text{CH}_3\text{Cl}$  ein. Apparatur lief den ganzen Tag.

**4.40 Uhr Nachmittags** Ich unterbrach den  $\text{CH}_3\text{Cl}$ -Strom. Etwa  $5\text{ cm}^3$  Flüssigkeit hatten sich in der Kühlfalle angesammelt sowie etwas Flüssigkeit am kalten Rohrende. Ich brachte die Gesamtmenge in Eiswasser ein, das mit Ether überschichtet war, und rührte. Das Material hydrolysierte unter Bildung einiger Trübung, es bildete sich aber keine große Menge Kieselsäure; es scheint auch nur wenig  $\text{CH}_3\text{Cl}$  zu enthalten.

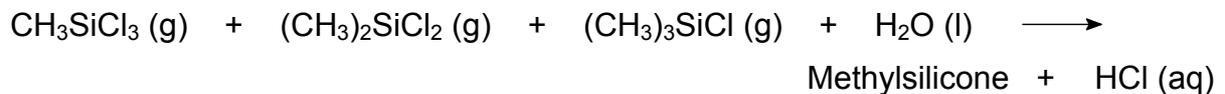
Ich dekantiere etwas von der etherischen Lösung in eine Petrischale und verjagte den Ether. Eine klare dickflüssige glycerinartige Substanz blieb zurück. Diese Flüssigkeit fühlt sich klebrig an, hat sehr große Ähnlichkeit mit Methylsilicon.

Arbeitsblatt 11.2 Müller-Rochow Synthese <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

1.) Erläutern Sie, welche Reaktionen im beschriebenen Versuch bis zur Hydrolyse ablaufen. (Achtung, das eingesetzte Kupfer wird bei der Reaktion nicht verbraucht!)



2.) Welche Reaktionen laufen bei der Hydrolyse ab? (Geben Sie die Reaktionsgleichung nicht stöchiometrisch an.)



3.) Wie bereits gesagt, wird das Kupfer bei der Reaktion nicht verbraucht. Andererseits läuft der Versuch mit reinem Silicium nicht ab. Erklären Sie diesen Sachverhalt.

*Das Kupfer wirkt bei der Reaktion als Katalysator. Es nimmt daher zwar an der Reaktion teil, wird aber nicht verbraucht. Ohne Katalysator läuft die Reaktion nicht ab, da ihre Aktivierungsenergie zu hoch ist.*

4.) Beschreiben Sie, wie sich eine Temperatur- bzw. Druckerhöhung auf den Verlauf der bei Aufgabe 1 formulierten Reaktionsgleichung auswirkt. (Hinweise: 1. Bei der Reaktionstemperatur sind alle Reaktionsteilnehmer außer Silicium gasförmig. 2. Die Hinreaktion verläuft exotherm.)

*Bei Druckerhöhung sollte sich das Gleichgewicht nach rechts verschieben, da aus 6 mol Chlormethan 3 Mol Chlormethylsilane gebildet werden.*

*Da die Reaktion exotherm ist, sollte das Gleichgewicht bei einer Temperaturerhöhung nach links verschoben werden.*

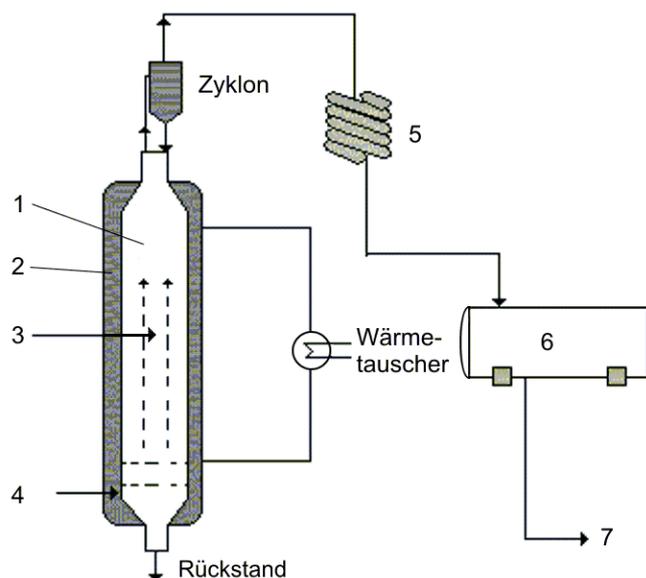
### **Industrielle Umsetzung**

Die Bedeutung des oben beschriebenen Versuches lässt sich daran erkennen, dass heutzutage die großtechnische Synthese von Chlormethylsilanen ausschließlich durch Umsetzung von Chlormethan mit Silicium in Gegenwart von Kupfer als Katalysator durchgeführt wird.

Arbeitsblatt 11.3 Müller-Rochow Synthese <b>Lösungsvorschlag</b>	Name:
	Klasse:
	Datum:

Die technische Durchführung der Direktsynthese geschieht in der Weise, dass man staubfein gemahlenes Silicium (mit etwas Kupfer als Katalysator) in einen Wirbelschichtreaktor einbringt und bei 280 °C sowie einem Druck von 1 – 5 bar mit einem tangential eingeführten Strom von Chlormethan verwirbelt.

Das entstandene Gemisch von Chlormethylsilanen wird kondensiert und durch fraktionierte Destillation in die einzelnen Bestandteile zerlegt. Durch Hydrolyse der Chlormethylsilane bilden sich die entsprechenden Silanole, welche direkt kondensieren und auf verschiedene Weise zu den gewünschten Siliconprodukten aufgearbeitet werden.



5.) Ordnen Sie den folgenden Begriffen die Nummern 1 bis 7 im oben abgebildeten Schema zur großtechnischen Darstellung von Chlormethylsilanen zu:

Kühlmantel	2	CH <sub>3</sub> Cl	4	Kondensator	5	Si/Cu	3
zur Destillation	7	Wirbelschichtreaktor	1	Rohsilangemisch	6		

6.) Als Edukte werden bei der Direktsynthese Chlormethan und Silicium eingesetzt. Das Silicium wird dabei aus Quarz (SiO<sub>2</sub>) und Kohlenstoff im Lichtbogenreduktionsofen gewonnen. Stellen Sie das entsprechende Reaktionsschema auf und geben Sie an, wie das benötigte Chlormethan hergestellt werden kann.

