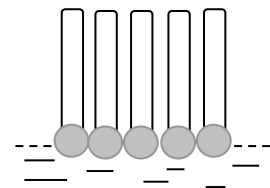


## Antworten zu den Fragen

1. Heptan schwimmt auf dem Wasser und ist damit spezif. leichter als Wasser ( $\rho_{\text{Heptan}} = 0.684 \text{ g/ml}$ ).
2. Die Heptan-Moleküle sind lipophil und können aufgrund des Fehlens einer hydrophilen Komponente nicht mit den Wassermolekülen wechselwirken. Die Heptanmoleküle ziehen sich jedoch untereinander an. Sie werden durch zwischenmolekulare Anziehungskräfte (hier: Van-der-Waals-Kräfte, vgl. später GF-Skript Teil D) zusammengehalten. Die Heptanmoleküle liegen deshalb etwa so auf dem Wasser wie dicht zusammengedrängtes Treibholz auf einem See.
3. Das hydrophobe Pulver wird durch Ausbreitung des ebenfalls hydrophoben Heptans auf dem Wasser kreisförmig weggedrängt und zieht sich dann wieder zusammen. Interpretation: Heptan verdunstet sehr schnell, da dessen Oberfläche beim Ausbreiten auf der Wasseroberfläche stark zugenommen hat.
4. Hydrophil (wasserliebend) oder lipophob (fettmeidend).
5. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist bei einem modernen Tensid (Abwaschmittel) massiv grösser, bei einem traditionellen Tensid (Seife) ähnlich oder eher grösser als bei Heptan.
6. Das Pulver weicht wie im ersten Versuch aus, zieht sich aber nicht mehr zurück, weil die Seife nicht verdunstet wie Heptan. Es ist erstaunlich, wie schnell sich das Tensid auf der Wasseroberfläche ausbreitet. Noch merkwürdiger ist aber die Tatsache, dass die Ausbreitung plötzlich aufhört. Dieses Verhalten kann nur mit dem Teilchenmodell erklärt werden: Die Tensid-Teilchen breiten sich so lange auf der Wasseroberfläche aus, bis sie nur noch eine einzige Schicht bilden. (= monomolekularer Film). Warum geht die Ausbreitung nicht noch weiter? Offenbar ziehen sich die Teilchen gegenseitig an, sie haften aneinander. Auch hier wirken die zwischenmolekularen Kräfte. Man könnte hier allerdings einwenden, dass die Anziehungskraft zwischen den Teilchen zu einer Tropfenbildung führen müsste. Man beachte zu diesem Thema die energetischen Überlegungen unter der Antwort zu Frage 9.

Gibt man nochmals Pulver auf den Tensidfilm auf der Wasseroberfläche, so werden im Falle der Holzkohle die Kohlepartikel durch die Tensidwirkung benetzbar und sinken ab. Bei den Bärlappsporen ist dieses Verhalten merkwürdigerweise weniger bis gar nicht zu beobachten. Auf dieser Benetzbarmachung basiert die waschaktive Wirkung von Tensiden in Waschmitteln: Die Tensid-Moleküle können aufgrund ihrer ambiphilen Eigenschaften Schmutzpartikel von nicht wasserbenetzbaren Oberflächen lösen und die Mischbarkeit mit Wasser vermitteln.

7. Anordnung der Tensidteilchen auf der Wasseroberfläche: Die Ausbreitung eines Tensids kann dadurch erklärt werden, dass der hydrophile Teil der Teilchen ins Wasser gehen möchte, während der lipophile Teil das Wasser meidet. So kommt es zum bevorzugten Aufenthalt an der Wasseroberfläche, wie in der Abbildung rechts dargestellt.



8. Das Öl verdunstet im Gegensatz zum Heptan nicht.
9. Auch hier wird eine monomolekulare Schicht (gemäss obiger Abbildung) gebildet. Wie Tensidmoleküle weisen Ölmoleküle zwar eine hydrophile Komponente auf, der lipophile Teil ist bei den Ölmolekülen jedoch massiv grösser und verleiht dem Ölmolekül insgesamt hydrophobe Eigenschaft.

Weshalb breitet sich überhaupt ein Öl aus, weshalb bildet es nicht ein Tropfen auf der Wasseroberfläche? Um dies zu verstehen, wird im Folgenden ein Exkurs zur Theorie der Oberflächenspannung gemacht:

Eine Oberflächenvergrösserung braucht Energie (Einheit: Joule). Die Oberflächenspannung  $\sigma$  ist definiert als Energie  $\Delta W$ , die es braucht, um die Oberfläche (resp. Grenzfläche) um den Betrag  $\Delta A$  zu vergrössern:

Oberflächenspannung:  $\sigma = \Delta W / \Delta A$  (Einheit: Joule pro Quadratmeter [ $\text{J/m}^2$ ])

Die Oberflächenspannung ist für Flüssigkeiten wie Wasser mit grossen zwischenmolekularen Kräften besonders gross:

Grenzfläche	Oberflächenspannung
Wasser/Luft	73 Millijoule pro m <sup>2</sup>
Öl/Luft	21 mJ/m <sup>2</sup>
Öl/Wasser	38 mJ/m <sup>2</sup>

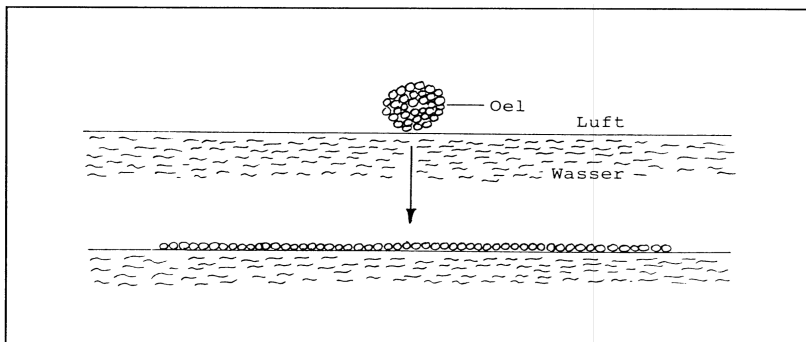
Wenn sich ein Öltropfen auf dem Wasser ausbreitet, ergeben sich folgende Verhältnisse:

Die Grenzflächen Öl/Luft und Öl/Wasser werden um den gleichen Betrag vergrössert. Das braucht eine Energie von  $(21 + 38) \text{ mJ/m}^2 = 59 \text{ mJ/m}^2$ . Gleichzeitig wird aber die Grenzfläche Wasser/Luft verkleinert; das liefert eine Energie von  $73 \text{ mJ/m}^2$ . Insgesamt werden also  $(73 - 59) \text{ mJ/m}^2 = 14 \text{ mJ}$  pro m<sup>2</sup> frei. Die Ausbreitung von Öl auf Wasser ist also energetisch günstig. Es ist eine Entspannung. Der Vorgang hört aber auf, sobald eine monomolekulare Schicht erreicht ist. Eine weitere Ausbreitung würde die Oberflächenverhältnisse nicht mehr verändern. Damit fehlt der nötige Antrieb, damit sich die Moleküle noch mehr verteilen respektive sich gänzlich voneinander lösen.

Wenn sich Hexan auf Wasser ausbreitet, müssen folgende Grenzflächen beachtet werden:

Grenzfläche	Oberflächenspannung
Wasser/Luft	73.0 mJ/m <sup>2</sup>
Hexan/Luft	18.4 mJ/m <sup>2</sup>
Hexan/Wasser	51.1 mJ/m <sup>2</sup>

In diesem Beispiel ist der Energiegewinn durch Oberflächenverkleinerung gleich wie vorher ( $73 \text{ mJ/m}^2$ ). Der Energieaufwand zur Oberflächenvergrösserung für Hexan ist aber wesentlich grösser  $(18.4 + 51.1) \text{ mJ/m}^2 = 69.5 \text{ mJ/m}^2$ . Die Ausbreitung von Hexan auf Wasser setzt damit lediglich  $(73 - 69.5) \text{ mJ/m}^2 = 3.5 \text{ mJ/m}^2$  an Energie frei und ist damit energetisch weniger begünstigt. Die Ausbreitung von Hexan auf Wasser erfolgt daher viel weniger stürmisch als jene von Öl.



Die Bildung einer monomolekularen Schicht (Film) auf einer Wasseroberfläche ist letztlich eine Folge des **Energieminimumprinzips**:

Alle Stoffe respektive deren Teilchen sind bestrebt, einen möglichst energiearmen und damit stabilen Zustand einzunehmen. Der Film entspricht dem Zustand der geringstmöglichen Energie des Öls auf dem Wasser.

Nun begreift man auch, weshalb im ersten Vorversuch Heptan sich nicht ausbreitet, wenn die Wasseroberfläche mit Tensid oder Öl verunreinigt ist: Die antreibende Energie für eine Oberflächenvergrösserung ist bei Heptan wesentlich kleiner als bei Öl.