

Basic paper

WAS IST VERDAMPFEN



Inhalt

1. Was ist ein Rotationsverdampfer?
2. Was ist Verdampfen?
 - 2.1 Was passiert, wenn wir einen Topf mit Wasser auf einer Heizplatte platzieren und ihm Wärme zuführen?
 - 2.2 Welchen Einfluss hat der Druck?
3. Was ist Kondensation?
4. Was ist eine Destillation?
5. Was ist der Unterschied zwischen einer statischen Destille und einem Rotationsverdampfer?



1. Was ist ein Rotationsverdampfer?

Ein Rotationsverdampfer ist ein Laborgerät, das die Trennung von zwei oder mehreren Stoffen ermöglicht. Dieser Vorgang heißt **destillieren**. Um genauer zu verstehen, was ein Rotationsverdampfer ist und wie er funktioniert, muss man sich erst einmal mit dem Phänomen des **Verdampfens** auseinandersetzen. Dazu gehört, das physikalische Prinzip dahinter zu verstehen.

2. Was ist Verdampfen?

Verdampfen ist ein Prozess, der täglich um uns herum passiert, ohne dass wir bewusst Notiz davon nehmen:

- Wäsche trocknet auf der Leine, weil das Wasser im Stoff verdampft.
- Beim Kochen von Wasser auf dem Herd steigt der Wasserdampf aus dem Topf auf.

Verdampfen bedeutet: Eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, wird zu einem Gas. Sie ändert also ihren physikalischen Zustand (Aggregatzustand) von flüssig zu gasförmig. Man sagt auch: Die Substanz geht von der flüssigen Phase in die Gasphase über.

Bleiben wir bei unserem Topf mit Wasser: Wenn wir den Topf einfach auf dem Tisch platzieren, so wird nach einer langen Zeit das Wasser scheinbar verschwinden. Aber es ist nicht einfach weg: Es ist verdampft. Nach und nach geht das Wasser also von der flüssigen Phase in die Gasphase über – ohne, dass wir etwas dazu beitragen. Um zu verstehen, warum das passiert, müssen wir uns auf eine Ebene begeben, die das menschliche Auge nicht auflösen kann. Wir betrachten mit Hilfe von Prof. Hei's Moleküllupe das Wasser im Topf einmal näher:

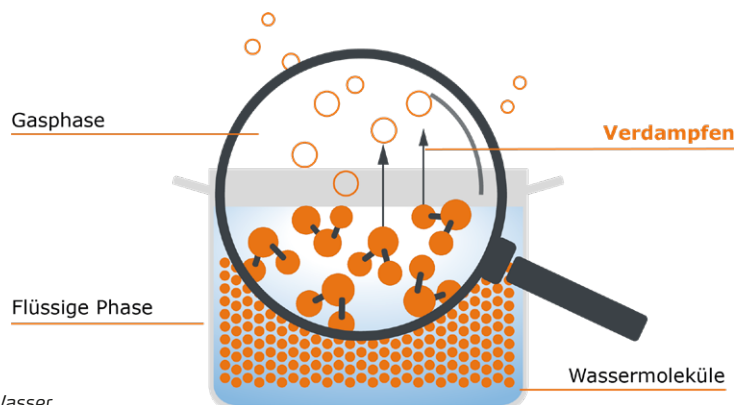


Abb. 1: Offener Topf mit Wasser

Im flüssigen Wasser befinden sich die Wassermoleküle sehr dicht beieinander und halten sich sogar durch sogenannte zwischenmolekulare Bindungen, also Bindungskräfte zwischen den einzelnen Molekülen, fest.



Abb. 2: Wassermoleküle mit zwischenmolekularen Bindungen

Dabei liegen sie jedoch nicht einfach statisch wie Murmeln im Topf, sondern sie bewegen sich ständig. Durch diese Bewegungen kommt es immer wieder zu Stößen der Moleküle gegeneinander, wodurch Bewegungsenergie vom einen auf das andere Molekül übertragen wird. Bekommt ein einzelnes Molekül besonders viele dieser Stöße, so erhält es die nötige Energie, um die Bindungen zu seinen Partnermolekülen aufzulösen – sich also aus der Enge der Flüssigkeit zu befreien und aus ihr aufzusteigen. Diese gewonnene Freiheit ist für das Molekül erstrebenswert – nachvollziehbar, oder? Wer lässt sich schon gerne einengen? Deshalb streben Moleküle immer danach, möglichst viel Freiheit zu gewinnen – sie gehen also von der Flüssigkeit in die Gasphase über, sobald sie die nötige Energie dafür bekommen.

Hierbei ist die benötigte Energie, um die Moleküle in die Gasphase zu bringen, abhängig von ihrem Gewicht (Molgewicht) und ihren Bindungskräften untereinander. Daraus resultieren zwei physikalische Größen, die für jede Substanz spezifisch sind: Der Siedepunkt, das ist die Temperatur, bei der ein Stoff zu kochen beginnt (für Wasser sind das 100 °C) und die Verdampfungsenthalpie. Sie gibt an, wie viel Energie aufgewendet werden muss, um ein Kilogramm des Stoffes zu verdampfen. Für Wasser liegt dieser Wert bei 2.261 kJ/kg, weitere sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die benötigte Energiemenge, um Moleküle in die Gasphase zu bringen, hängt von ihrem Molgewicht und ihren Bindungskräften untereinander ab. Der Siedepunkt der Substanz und die Verdampfungsenthalpie resultieren daraus.

Tabelle 1: Molgewichte, Siedepunkte und Verdampfungsenthalpien einiger Lösungsmittel

Substanz	Molgewicht [g/mol]	Siedepunkt [°C]	Verdampfungsenthalpie [kJ/kg]
Toluol	92,14	110	413
Wasser	18,02	100	2.261
Ethanol	46,07	78	837
Aceton	58,08	56	546
Diethylether	74,12	35	392

2.1 Was passiert, wenn wir unseren Topf mit Wasser auf einer Heizplatte platzieren und ihm Wärme zuführen?

Wärme ist eine Form der Energie. Sie sorgt dafür, dass unsere Moleküle diese Energie aufnehmen und somit viel agiler werden. Es kommt auch zu einer Erhöhung der Stöße der Moleküle untereinander. Daraus ergibt sich, dass durch die zugeführte Wärme wesentlich mehr Moleküle die nötige Energie erhalten, um sich aus der

flüssigen in die gasförmige Phase zu begeben. Durch die Wärmezufuhr verdampft also mehr Wasser. Die maximal mögliche Menge an Dampf wird beim Erreichen der Siedetemperatur (also für Wasser 100 °C) erzeugt.

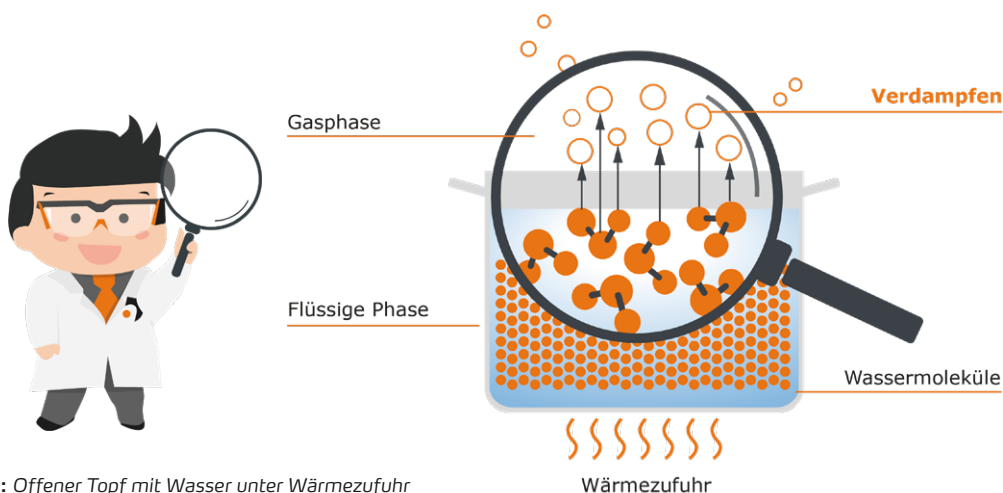


Abb. 3: Offener Topf mit Wasser unter Wärmezufuhr

2.2 Welchen Einfluss hat der Druck?

Eine weitere Größe, die wir uns bisher nicht angeschaut haben, ist der Luftdruck: Unser Topf mit Wasser ist, genauso wie alles andere, dem Atmosphärendruck ausgesetzt. Dieser schwankt je nach geographischer Höhe, kann aber grob mit 1000 mbar angegeben werden. Dieser Druck wirkt also dem Übergang unserer Wassermoleküle von der flüssigen in die Gasphase entgegen. Stellen wir uns nun vor, wir würden den

Atmosphärendruck reduzieren, z.B. von 1000 mbar auf 100 mbar: Trotz derselben zugeführten Energiemenge können nun wesentlich mehr unserer Moleküle aus der flüssigen Phase in die gasförmige Phase übergehen.

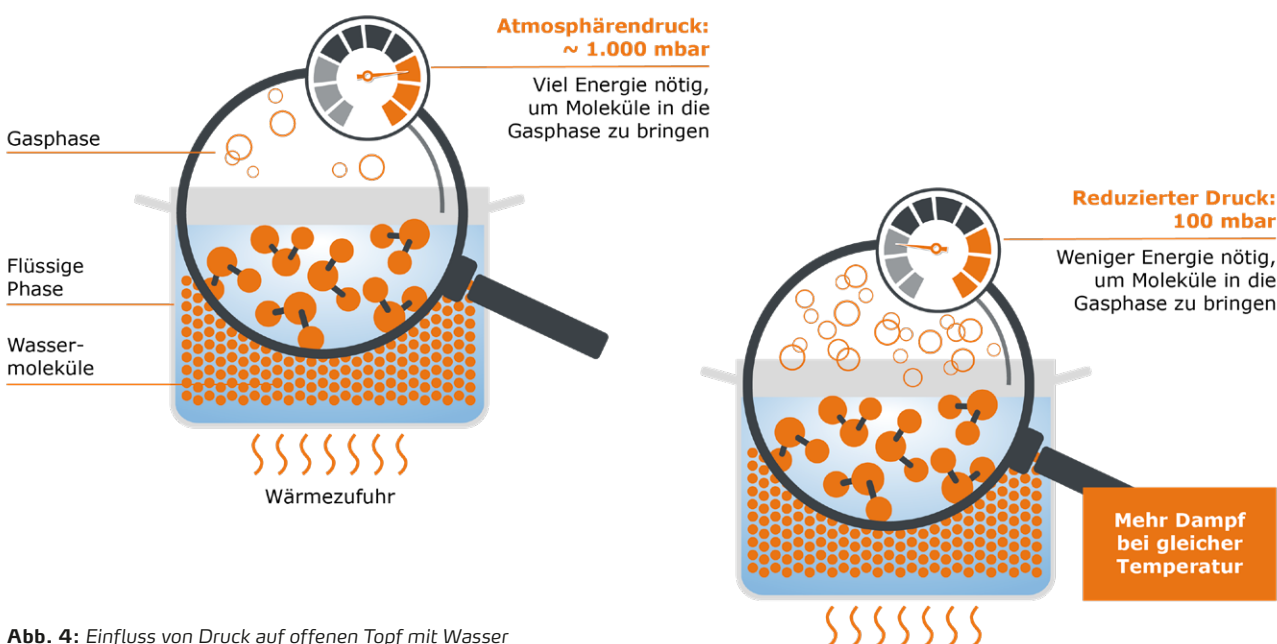


Abb. 4: Einfluss von Druck auf offenen Topf mit Wasser

Hieraus lässt sich ein einfacher Grundsatz ableiten: Je niedriger der Druck, desto einfacher kann eine Substanz verdampfen und desto weniger Hitze wird zum Verdampfen benötigt.

Die maximal mögliche Menge an Dampf kann also bereits bei niedrigeren Temperaturen erzeugt werden (z. B. 50 °C für Wasser bei 100 mbar).

Je niedriger der Druck, desto **einfacher** kann eine Substanz **verdampfen**.

Je niedriger der Druck, desto **weniger Hitze** wird zum Verdampfen benötigt.

3. Was ist Kondensation?

Kondensation ist sozusagen der umgekehrte Prozess zum Verdampfen: Eine Substanz geht von der gasförmigen in die flüssige Phase über. Das passiert, wenn unseren befreiten Wassermolekülen die Energie, die wir ihnen zugeführt haben, wieder entzogen wird. Dies geht am einfachsten durch Kälte.

Um uns dem Phänomen der Kondensation zu nähern, bedienen wir uns wieder unseres Beispiels des Topfes mit Wasser: Schließen wir den Topf mit einem Deckel, kann der Dampf nicht mehr einfach entweichen, sondern er wird in diesem geschlossenen System des Topfinneren

verbleiben. Gleichzeitig ist der Deckel des Topfes kühler als der Rest: Unsere befreiten Wassermoleküle stoßen also auf diese kühle Barriere und geben einen Teil ihrer Energie an den kühleren Deckel ab. Es findet ein Temperatenausgleich statt. Die Moleküle sammeln sich an der kalten Oberfläche zu Tropfen. Sie kondensieren, daher nennt man das kondensierte Wasser auch ‚Kondensat‘. Irgendwann sind die Tropfen schwer genug und fallen zurück in die Flüssigkeit, wo die Moleküle wieder mit Energie versorgt werden und erneut aufsteigen können.

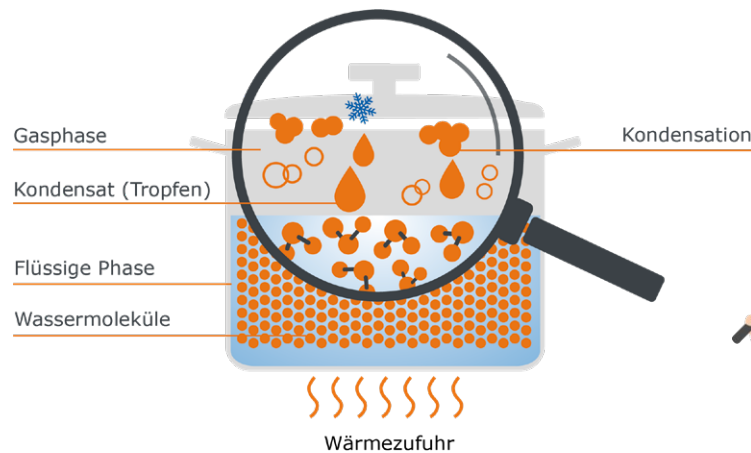


Abb. 5: Kondensation im geschlossenen Topf

Es bildet sich ein Kreislauf von Verdampfen und Kondensation, der im Gleichgewicht steht.

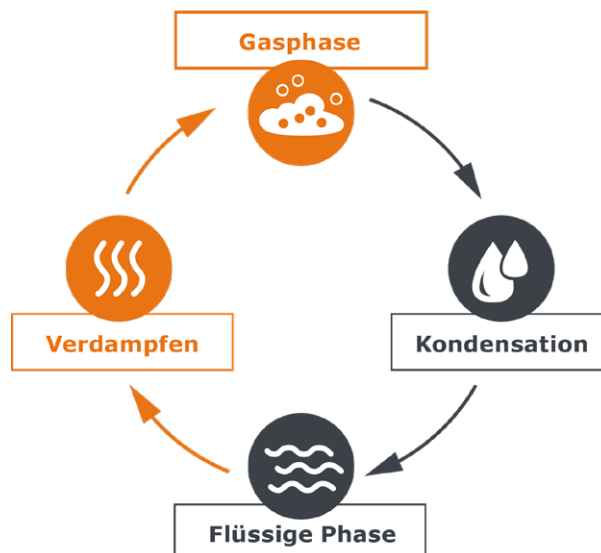


Abb. 6: Gleichgewicht zwischen Verdampfen und Kondensation

4. Was ist eine Destillation?

Bei einer Destillation handelt es sich um eine Trennung von Stoffen mit unterschiedlichem Siedepunkt. Hierbei wird zunächst der Stoff mit dem niedrigsten Siedepunkt verdampft und an anderer Stelle wieder kondensiert, dann durch Temperaturerhöhung der nächste Stoff und so weiter. Im Labor ist die Destillation eine wichtige Methode zur Stofftrennung oder Aufreinigung.

Eine klassische Apparatur für diesen Vorgang ist die statische Destille:

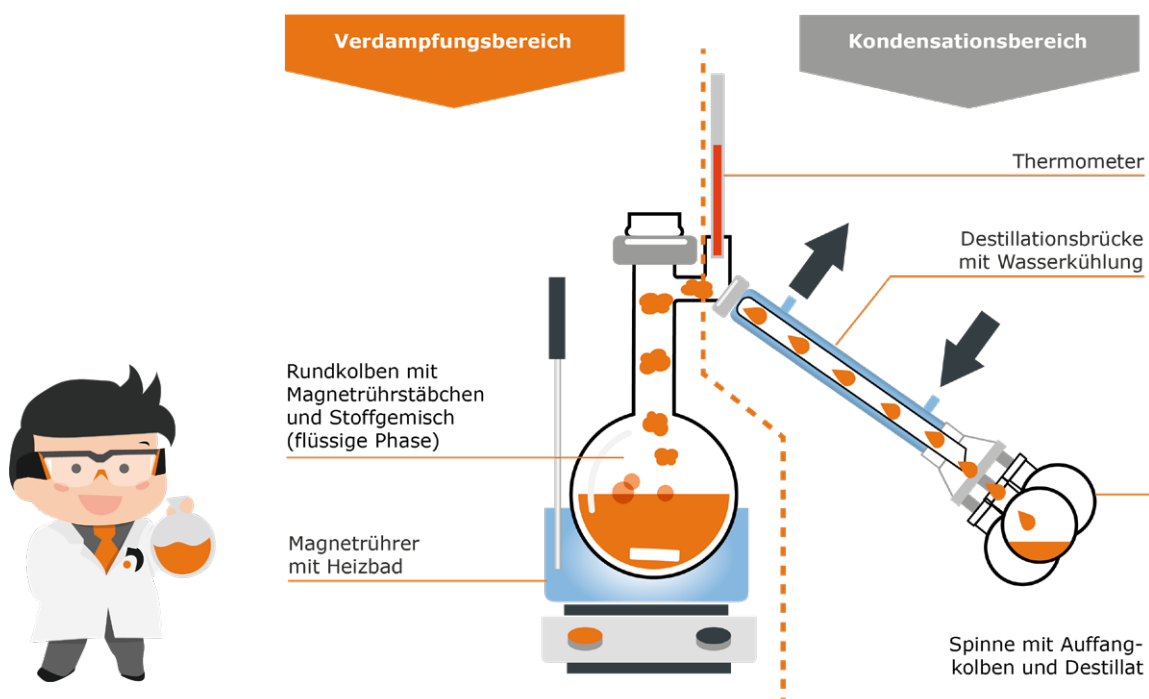


Abb. 7: Aufbau einer statischen Destille

Man kann die Apparatur grob in zwei Bereiche aufteilen: Den Verdampfungsbereich und den Kondensationsbereich. Im Verdampfungsbereich wird das Stoffgemisch in einem Kolben in einem Heizbad erwärmt. Der Dampf der am niedrigsten siedenden Substanz steigt nach oben auf und wird hinüber in den Kondensationsbereich in die sogenannte Destillationsbrücke geleitet. Sie wird mit Wasser gekühlt, was zur Kondensation des Dampfes führt. Die Tropfen laufen durch die Neigung der Brücke nach unten ab und tropfen in den Auffangkolben. Ist die erste Komponente (Fraktion) vollständig abgetrennt, so kann die sogenannte Spinne einfach so gedreht werden,

dass der nächste freie Auffangkolben nach unten zeigt und das Destillat auffangen kann. Die Temperatur am Heizbad wird erhöht, bis der Siedepunkt der nächsten Komponente (zweite Fraktion) erreicht ist. Am Ende des Vorgangs liegen die getrennten Stoffe sauber in den einzelnen Auffangkolben vor.

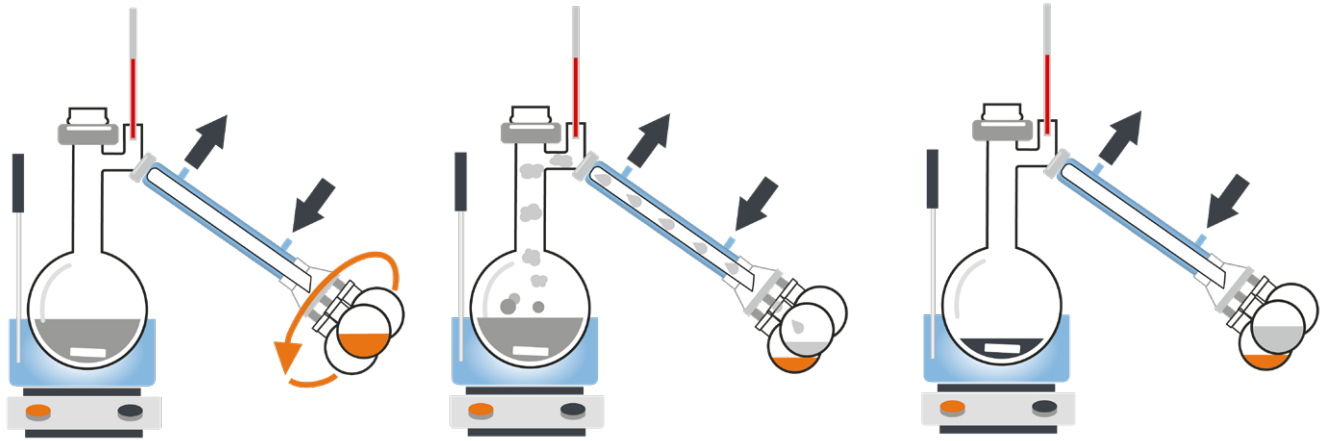


Abb. 8: Destillationsvorgang mit statischer Destille

Eine Destillation kann durch Anschluss der Destille an eine Vakuumpumpe auch unter reduziertem Druck erfolgen: So kann bei mildereren Temperaturen gearbeitet werden, was besonders bei hitzeempfindlichen Stoffen von Vorteil ist.

5. Was ist der Unterschied zwischen einer statischen Destille und einem Rotationsverdampfer?

Auch beim Rotationsverdampfer handelt es sich um ein Laborgerät, das zur destillativen Stofftrennung verwendet wird. So lässt sich auch der Rotationsverdampferaufbau in die beiden Bereiche Verdampfungs- und Kondensationsbereich aufteilen.

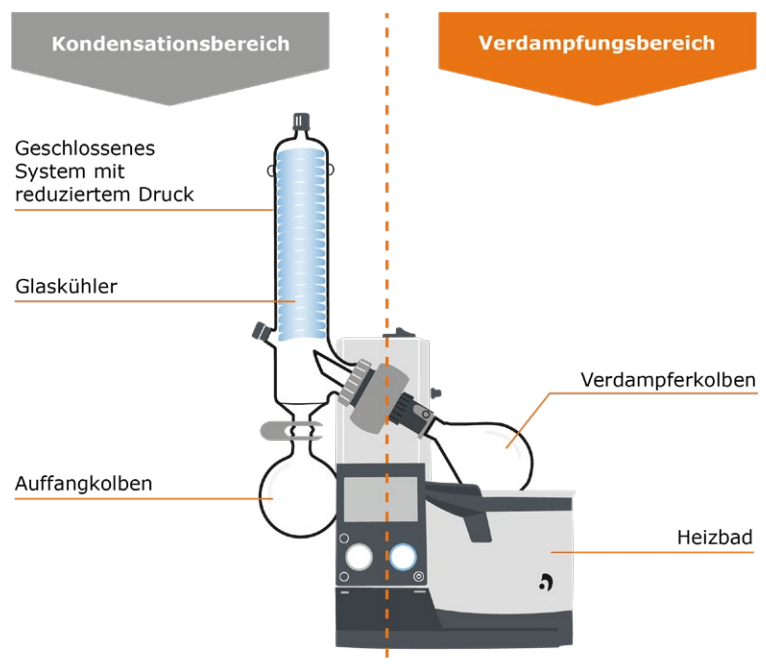


Abb. 9: Aufbau eines Rotationsverdampfers

Sehen wir uns zunächst den Verdampfungsbereich näher an: Der Bereich umfasst den Verdampferkolben, in dem sich das flüssige Medium befindet. Dieser Kolben wird in das Heizbad getaucht, das die zum Verdampfen nötige Energie zuführt. Im Unterschied zur statischen Destille wird der Kolben allerdings durch einen Motor in eine Rotation versetzt. Dies hat mehrere Effekte: Zum einen findet die Temperaturverteilung im Heizbad und innerhalb des Kolbens gleichmäßiger statt, zum anderen wird durch die Rotation die zum Verdampfen verfügbare Oberfläche deutlich erhöht. Dies wirkt sich positiv auf die Verdampfungsgeschwindigkeit aus und unterdrückt die Bildung von Blasen und Spritzern.

Durch das Dampfleitrohr steigt der erzeugte Dampf auf in die Kondensationszone: Hier befindet sich entweder ein mit einer Trockeneis-Kältemischung, Wasser oder einem Kühlmittel gekühlter Glaskühler, an dem der Dampf kondensiert und nach unten in den Auffangkolben tropft.

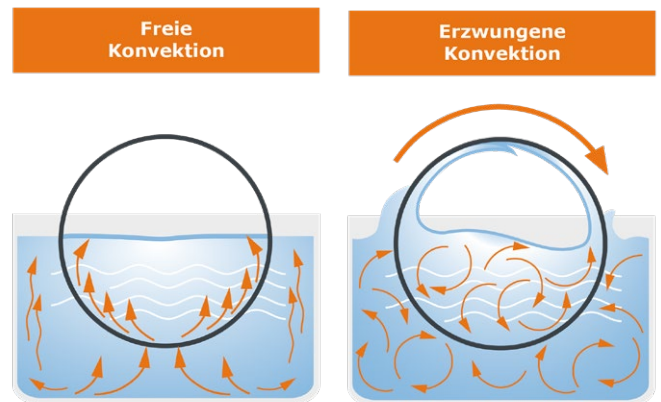


Abb. 10: Statisches System im Vergleich zum rotierenden System

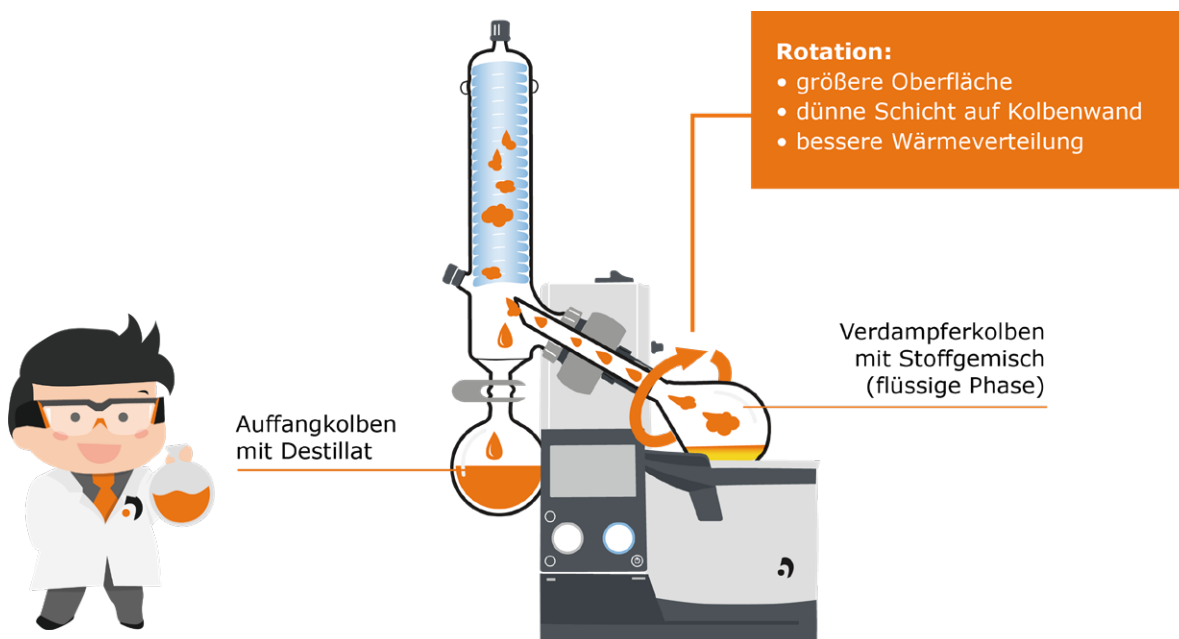


Abb. 11: Verdampfungsprozess am Rotationsverdampfer

Der ganze Prozess wird in der Regel unter durch eine Vakuumpumpe reduziertem Druck durchgeführt, um die oben bereits genannten Vorteile zu nutzen: Ein niedrigerer Energieeintrag ist notwendig, um das Verdampfen auszulösen und somit werden die Stoffe schonender bearbeitet. Zudem gewährt einem die Arbeit mit einer Vakuumpumpe Zugriff auf einen sehr schnell anpassbaren Parameter, um die Prozessgeschwindigkeit zu beeinflussen, da keine langen Wartezeiten, wie zum Beispiel durch die Trägheit eines Heizbades, erforderlich sind.

Die Trennleistung eines Rotationsverdampfers ist aufgrund der kurzen Strecke, die der Dampf zurücklegen muss, relativ gering: Um eine saubere Stofftrennung zu erreichen, sollten die Siedepunkte der zu trennenden Substanzen mindestens 80 °C auseinanderliegen.



NOCH FRAGEN

Kontaktieren Sie uns:

Heidolph Instruments GmbH & Co. KG

+49 9122 9920-0
redaktion@heidolph.de
www.heidolph.com