LÖSUNGSBEISPIELE ZUM THEMA

MODELLVORSTELLUNG

Autor: Katrin Schüßler

Herausgeber: Katrin Schüßler, Markus Emden und Elke Sumfleth

» TEIL I: Diffusion .....

» TEIL II: Aggregatzustandsänderungen .....

» TEIL III: Elemente, Atome und Moleküle .....

» TEIL IV: Unvollständige Verbrennung als chemische Reaktion .....

» TEIL V: Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion .....

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
University of Education

Müller-Reitz-Stiftung

Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Texts lernst du, dass – nach den Annahmen des Teilchenmodells – alle Materialien aus kleinsten kugelförmigen Teilchen aufgebaut sind. Diese Kugelteilchen sind die kleinsten Bausteine, aus denen ein Stoff besteht. Die Teilchen ordnen sich in einem Teilchenverbund aus vielen Teilchen an, weil sie sich gegenseitig anziehen. Gleichzeitig bewegen sich die Teilchen auch immer ein wenig auf ihrer Position im Teilchenverbund: Sie schwingen. Diese Teilchenbewegung kann, wenn sie stark genug ist, auch dafür sorgen, dass die Teilchen eines Stoffes sich selbstständig mit den Teilchen eines anderen Stoffes vermischen (Diffusion).

Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.

Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.

Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.

Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.

Jetzt geht es los mit

TEIL I: Diffusion

Jedes Jahr, zu Beginn der Sommerferien, veranstaltet die Familie von Lisa und Max eine Gartenparty für alle Freunde, Nachbarn und Bekannte. In diesem Jahr sollen Lisa und ihr kleiner Bruder Max bei den Vorbereitungen helfen. Lisas und Max' Mutter war den ganzen Vormittag unterwegs, um all die Würstchen, Brote, Salate und Getränke zu kaufen, die es am Abend geben wird. Leider hat sie die Duftkerzen vergessen, die die Mücken fernhalten sollen. Daher schickt sie Lisa und Max, als sie aus der Schule kommen, in den Laden um die Ecke, um die Kerzen zu kaufen, während sie noch einen leckeren Nachtisch zubereitet.

Im Geschäft gibt es unzählig viele Kerzen, aber die Verkäuferin hilft Lisa und Max beim Aussuchen und so verlassen sie nach kurzer Zeit mit einem Päckchen schwimmender Duftkerzen das Geschäft.

Am späten Nachmittag bereitet die ganze Familie den Garten für die Party vor. Lisa verteilt Glasschüsseln mit Wasser auf allen Tischen und fragt anschließend Max, wo das Päckchen mit den Kerzen ist. Max läuft sofort ins Haus, um sie zu holen.

Kurze Zeit später ist er wieder da und während Lisa die Kerzen auf die Schalen verteilt, läuft er hinter ihr her und verhandelt mit ihr, wie viele Kerzen er später anzünden darf, wenn es dunkel wird.

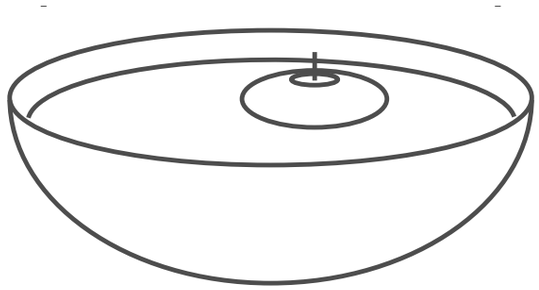


Bild 1: schwimmende Duftkerze

Nachdem Lisa die letzte Kerze ins Wasser gesetzt hat, sieht sie sich noch einmal im Garten um, um sicherzugehen, dass sie nichts vergessen hat. Max ist währenddessen immer noch mit dem mittlerweile leeren Kerzenpäckchen beschäftigt.

„Das Päckchen riecht jetzt wie die Kerzen, Lisa“, sagt er, nachdem er es ausgiebig untersucht hat. Lisa hört ihm nur mit halbem Ohr zu, weil gerade die ersten Gäste eingetroffen sind.

„In meinem Zimmer riecht es auch so”, erzählt Max weiter und schnüffelt noch einmal an dem Päckchen. Lisa begrüßt erst mal Aylin, die mit ihr in eine Klasse geht, und Aylins großen Bruder Sinan.

„Was hast du da?“, fragt Aylin Max, nachdem auch sie sich begrüßt haben, und deutet auf das Päckchen, das Max immer noch in der Hand hält.

„Riech mal!”, fordert Max sie sofort auf und hält erst Aylin und dann Sinan das Päckchen unter die Nase. „Das Päckchen riecht jetzt so wie die Kerzen!“

Lisa wirft ihm einen genervten Blick zu „Weil die da drin waren. Das ist doch immer so.”

„Aber warum?”, hakt Max nach und blickt erwartungsvoll in die Runde.

Beschreibe das Problem, das Max entdeckt hat, mit eigenen Worten, bevor du weiter liest.

Darauf weiß Lisa leider auch keine Antwort. Sie wirft Aylin einen fragenden Blick zu – in der Schule sagen sie sich schließlich im Notfall auch immer die richtigen Antworten vor – aber auch sie sieht ratlos aus und schnuppert lieber nochmal an dem Paket, anstatt etwas zu sagen.

Weil weder Lisa noch Aylin so aussehen, als würden sie seine Frage beantworten, wendet Max sich schließlich an Sinan: „Weißt du, warum das Päckchen und mein Zimmer jetzt so riechen wie die Kerzen?“

„Ja“, sagt Sinan und grinst, als er die erstaunten Blicke von Lisa und Aylin sieht.

„Und warum?“, quengelt Max.

„Wenn ihr möchtet, erkläre ich es euch“, bietet Sinan an, „aber dafür müssen wir vorher einige andere Fragen klären.

„Dann mach!“, ruft Max begeistert. Nach einem strengen Blick von Lisa nuschelt er noch schnell „Bitte“ hinterher.

„Die erste Frage, die wir klären müssen“, beginnt Sinan, „ist: Woraus bestehen die Dinge um uns herum? Klar, der Tisch besteht aus Plastik, die Schale besteht aus Glas, der Grill besteht aus Metall und die Kohle im Grill besteht aus Holz. Aber woraus besteht zum Beispiel das Holz?“

„Aus Sägespänen?“, fragt Max.

„Nicht ganz“, erwidert Sinan, „aber auch dann bliebe ja noch die Frage, woraus die Sägespäne bestehen.“

Lisa und Aylin tauschen einen irritierten Blick. Max sieht Sinan mit großen Augen an. Keiner der drei scheint eine Idee zu haben.

„Wenn ich zum Beispiel ein Stück Holzkohle nehme, kann ich es in zwei Hälften teilen“, erklärt Sinan, „und die Hälfte kann ich wieder teilen und immer so weiter, bis ich nur noch Krümel habe … aber auch aus den Krümeln könnte ich noch immer kleinere Krümel machen … die immer noch wie Holzkohle aussehen. Irgendwann sind die Krümel dann so klein, dass wir sie mit einem Messer nicht mehr treffen würden. Aber nur weil wir es nicht schaffen, heißt das ja nicht, dass man den Krümel nicht noch weiter teilen könnte.

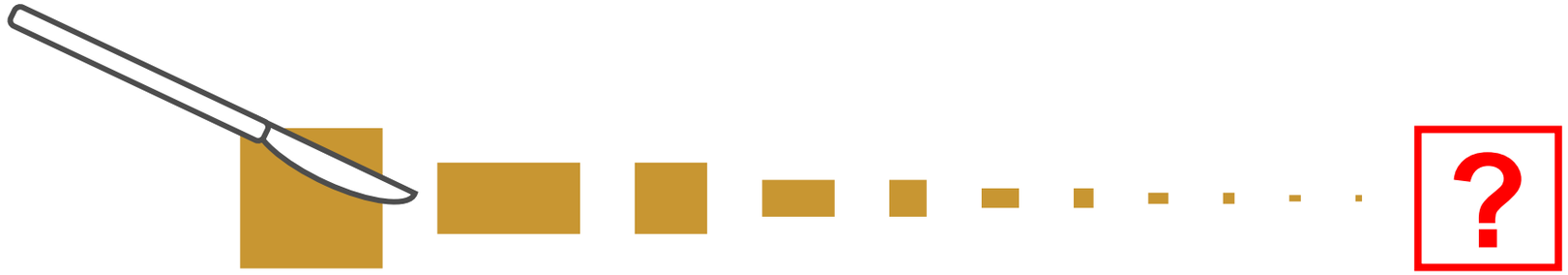


Bild 2: Zerteilen einer Stoffportion

Schon früher haben sich die Menschen gefragt, ob man alle Materialien – oder wie Chemiker sagen **Stoffe** – immer weiter zerteilen kann oder ob man irgendwann auf etwas stößt, das man nicht mehr zerteilen kann“, fährt Sinan fort.

Sinan bemerkt, wenn er in Aylins, Lisas und Max' fragende Augen schaut, dass sie Schwierigkeiten haben seinen Ideen zu folgen.

Er holt daher ein bisschen weiter aus: „Ihr könnt euch das Problem vielleicht etwas besser vorstellen, wenn ihr euch das Stück Holzkohle wie einen Lego-Turm vorstellt. Wir können den Lego-Turm immer weiter in kleinere Bruchstücke zerteilen, bis wir irgendwann bei den einzelnen Lego-Steinen ankommen. Sie sind die kleinsten Bausteine, aus denen der Turm aufgebaut ist, und die kann man nicht weiter zerteilen, ohne den Baustein zu zerstören.

Man geht davon aus, dass es mit der Holzkohle ähnlich ist“, erklärt Sinan weiter: „Auch beim Zerteilen der Holzkohle, würden wir irgendwann auf kleinste Bausteine stoßen, aus denen die Kohle aufgebaut ist. Auch diese kleinsten Bausteine könnten wir dann nicht mehr weiter zerteilen.

Bei jedem anderen Stoff ist es genauso“, fährt Sinan fort: „Wenn es uns gelingen würde, einen Stoff immer wieder zu teilen, würden wir irgendwann auf kleinste Bausteine stoßen, aus denen der Stoff aufgebaut ist. Diese kleinsten Bausteine der Stoffe werden **Teilchen** genannt. Wissenschaftler bezeichnen die Vorstellung, dass alles auf der Erde aus solchen kleinsten Teilchen aufgebaut ist, daher als **Teilchenmodell**.“

„Also kann man alles immer weiter zerteilen, bis man irgendwann zu diesen Teilchen kommt?“, fragt Aylin.

„Du kannst die Dinge nicht wirklich selbst so weit zerteilen, zum Beispiel mit deinen Händen oder einem scharfen Messer“, verbessert Sinan sie. „Irgendwann sind die Bruchstücke einfach zu klein für deine Hände und du schaffst es nicht mehr, sie zu zerteilen, aber theoretisch ist es möglich.“

„Aber woher weiß man dann, dass diese Teilchen überhaupt existieren?“, fragt Lisa. „Wenn ich die Dinge nicht wirklich soweit zerteilen kann, dass ich auf die Teilchen stoße.“

„Es ist eher eine Vorstellung als sicheres Wissen“, erklärt Sinan. „Weil die Teilchen so winzig klein sind, dass ihr sie nicht sehen könnt … “

„Auch nicht mit einer Lupe?“, fragt Max.

„Nein, auch nicht mit einer Lupe“, antwortet Sinan; Max wirkt ein bisschen enttäuscht.

„Also, man kann nicht beweisen, dass es mit den Teilchen wirklich ganz genau so ist, wie wir es uns vorstellen,“ erklärt Sinan weiter, „aber das Teilchenmodell hilft uns dabei **Phänomene** – also solche Vorgänge, die wir direkt wahrnehmen können – zu verstehen. Wir können das Teilchenmodell zum Beispiel nutzen, um zu erklären, warum es in deinem Zimmer nach den Duftkerzen riecht.“

„Und wie macht es das?“, fragt Lisa.

„Was haben denn die Teilchen mit dem Geruch von den Kerzen in meinem Zimmer zu tun?“, fragt auch Max.

„Sicher weißt du, aus welchem Stoff Kerzen bestehen?“, fragt Sinan weiter.

„Aus Wachs“, antwortet Max.

„Richtig“, sagt Sinan und nickt. „Und mit dem Wachs ist es genau wie mit der Kohle. Wenn du dir vorstellst, dass du das Wachs in immer kleinere Wachsportionen zerteilen könntest … “

Beschreibe, was passieren würde, wenn du Wachs immer weiter zerteilen könntest, bevor du weiter liest.

„ … dann hätte man erst immer kleiner werdende Wachsportionen und würde dann irgendwann zu den Wachsteilchen kommen!“, ergänzt Lisa stolz.

„Ganz genau“, bestätigt Sinan. „Die Kerze besteht aus unvorstellbar vielen Wachsteilchen. Die Wachsteilchen liegen sehr dicht nebeneinander und übereinander. Jedes Wachsteilchen ist von vielen anderen Wachsteilchen umgeben. Wir tun mal so, als ob wir einen Ausschnitt der Kerze mit einer Super-Lupe so weit vergrößern könnten, dass wir die einzelnen Teilchen sehen könnten. Dann könnten wir etwas sehen, dass vielleicht so aussieht: Viele kleine **kugelförmige Wachsteilchen**, die ordentlich angeordnet sehr dicht nebeneinander liegen.

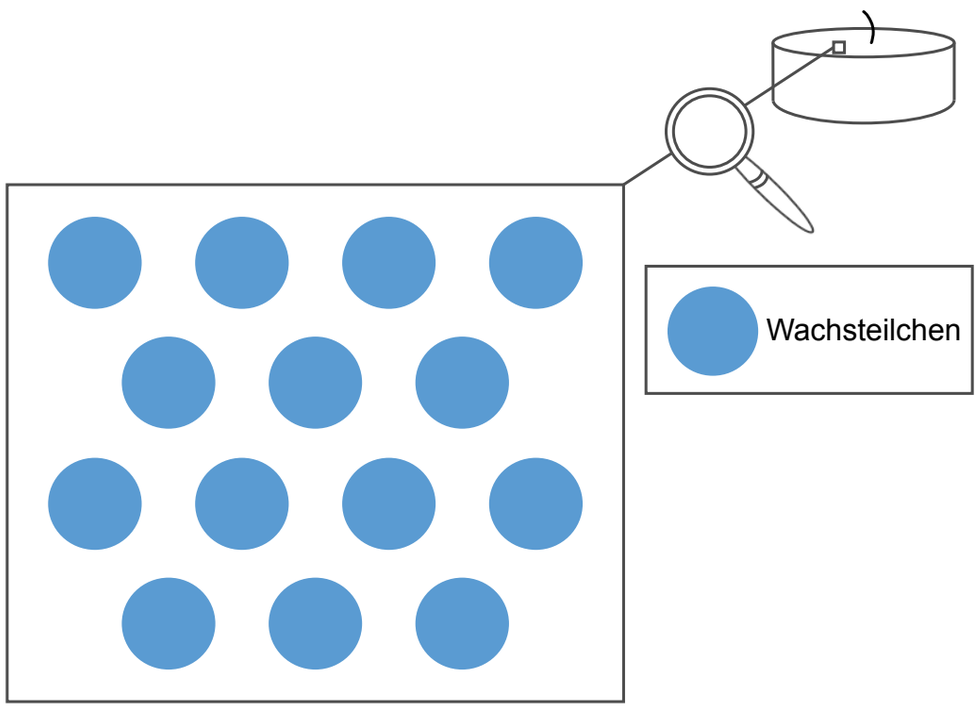


Bild 3: Wachs im Teilchenmodell

Wenn Teilchen so dicht nebeneinander angeordnet sind, wie in der Abbildung, sprechen wir von einem **Teilchenverbund**.“

„Aber Sinan, warum sind die Wachsteilchen denn blau? Das Wachs in unserer Kerze ist doch weiß“, fragt Lisa.

„Ein einzelnes Teilchen eines Materials hat nicht die gleichen Eigenschaften wie das Material. Nur weil das Wachs weiß und fest ist, muss das Wachsteilchen nicht auch weiß und fest sein. Genauso wenig wie Holzteilchen kleine Holzkugeln sind.

Weil mein Stift zufällig blau schreibt, stelle ich unsere Wachsteilchen jetzt blau dar.“

„Aha“, sagt Lisa, auch wenn sie sich das nur schwer vorstellen kann.

Sinan erklärt weiter: „Die Teilchen ziehen sich gegenseitig mit **Anziehungskräften** an und halten so den Teilchenverbund zusammen. Eine Kerze steht ja fest auf dem Tisch und zerfließt nicht einfach so. Ich zeichne die Anziehungskräfte mal als violette Pfeile zwischen diesen beiden Teilchen ein. Ein Pfeil veranschaulicht die **Anziehungskraft**, die von einem **Teilchen** auf ein benachbartes Teilchen wirkt.

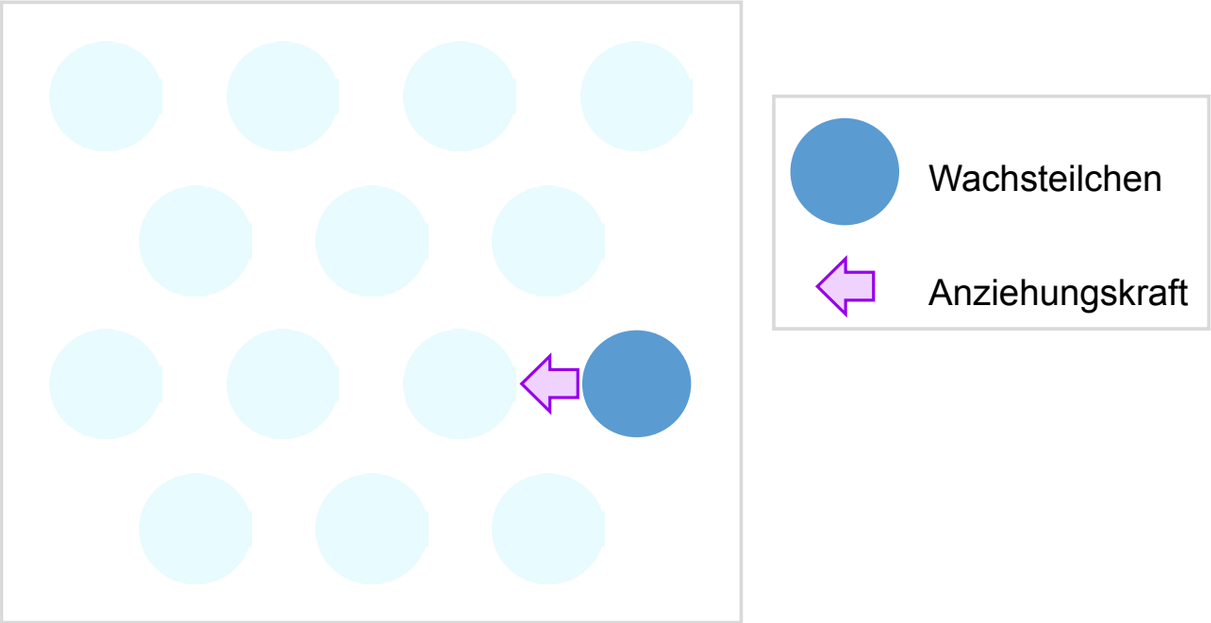


Bild 4: Anziehungskraft, die von einem Teilchen auf ein benachbartes Teilchen wirkt

Da benachbarte Teilchen sich gegenseitig anziehen, zeichne ich auch für das andere Teilchen einen solchen Pfeil“, fährt Sinan fort. „Der zeigt dann natürlich in die entgegengesetzte Richtung, weil er die **Anziehungskraft** darstellt, die von dem Nachbarteilchen auf unser **Teilchen** wirkt.

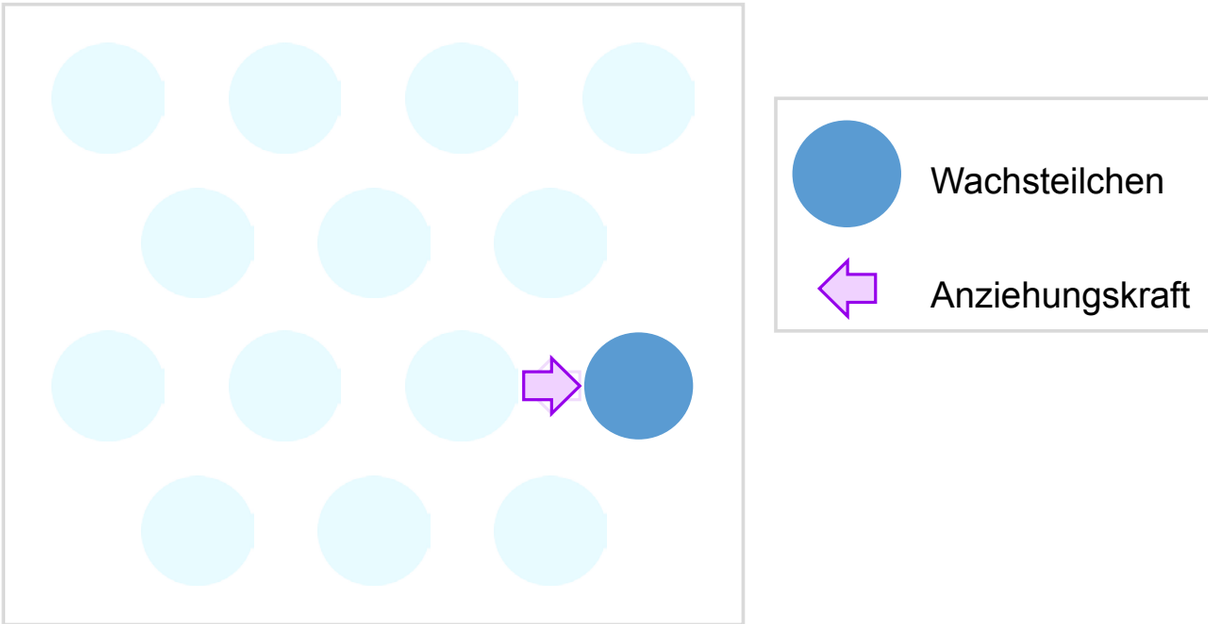


Bild 5: Anziehungskraft, die von einem benachbarten Teilchen auf ein Teilchen wirkt

Jetzt können wir uns vorstellen, dass die **beiden Teilchen** sich umso stärker **anziehen**, je mehr sich die beiden Pfeile überlappen.

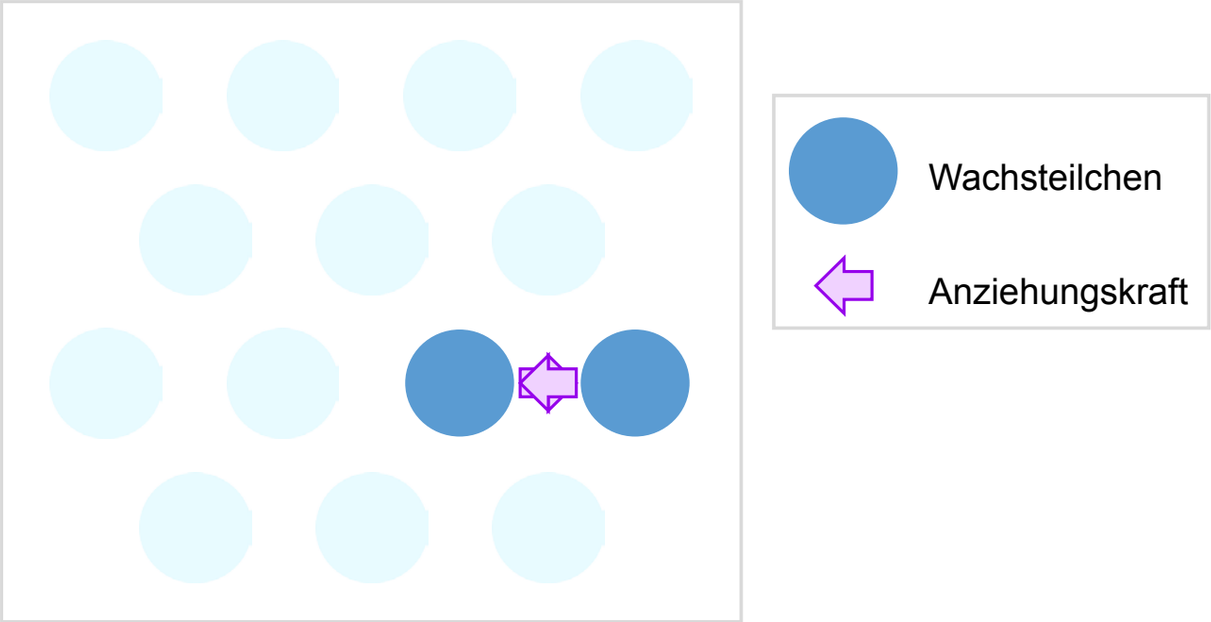


Bild 6: Anziehungskräfte zwischen zwei Teilchen

Natürlich wirken nicht nur zwischen diesen beiden Teilchen Anziehungskräfte, sondern das **Teilchen** in der Mitte **zieht** auch alle anderen benachbarten Teilchen an“, fährt Sinan fort.

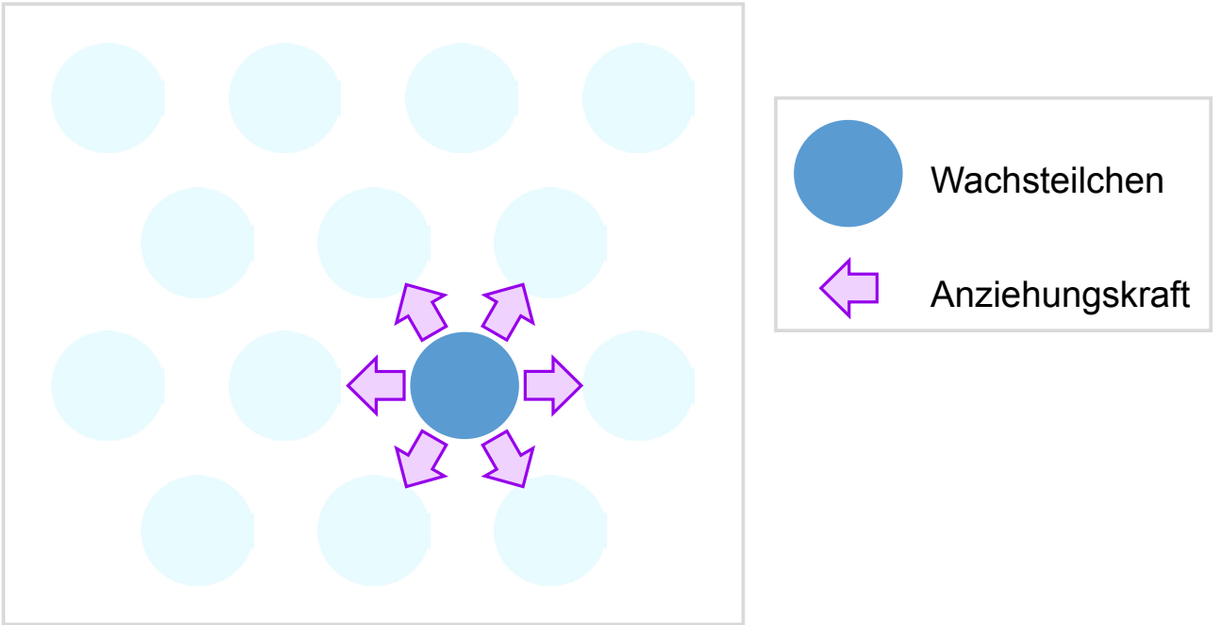


Bild 7: Anziehungskräfte eines Teilchens auf seine Nachbarn

„Und das Teilchen in der Mitte wird selbst natürlich auch von allen **benachbarten Teilchen** angezogen."

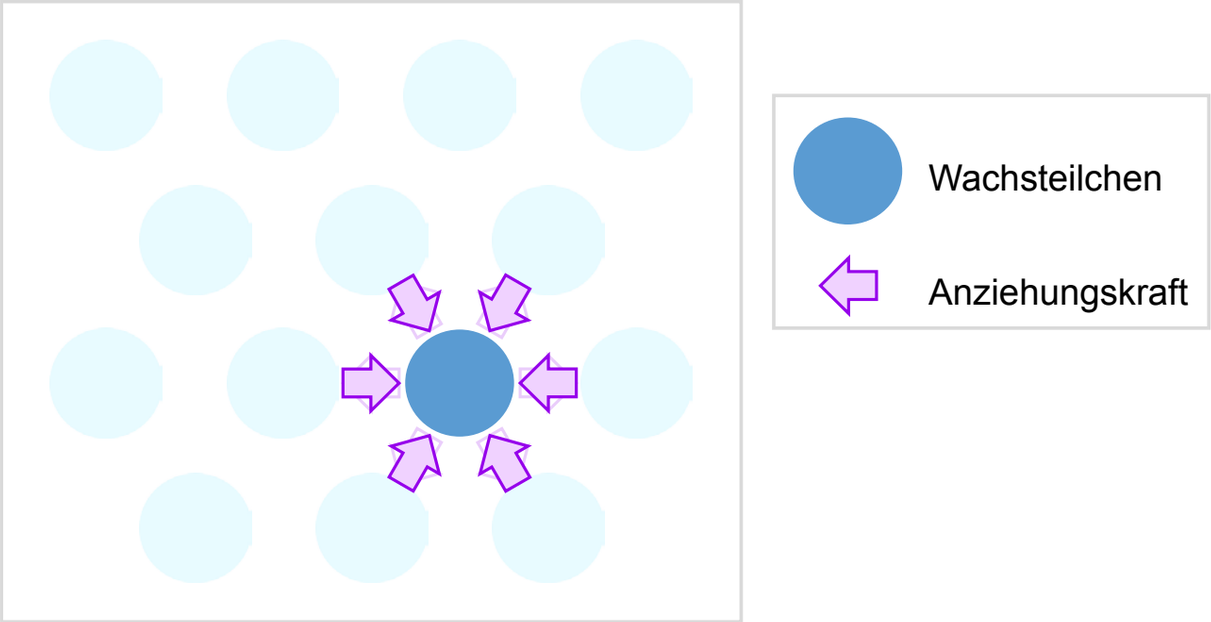


Bild 8: Anziehungskräfte der benachbarten Teilchen

„Also hat dieses **Teilchen** in der Mitte sechs Nachbarn, mit denen es sich **anzieht**?“, fragt Lisa.

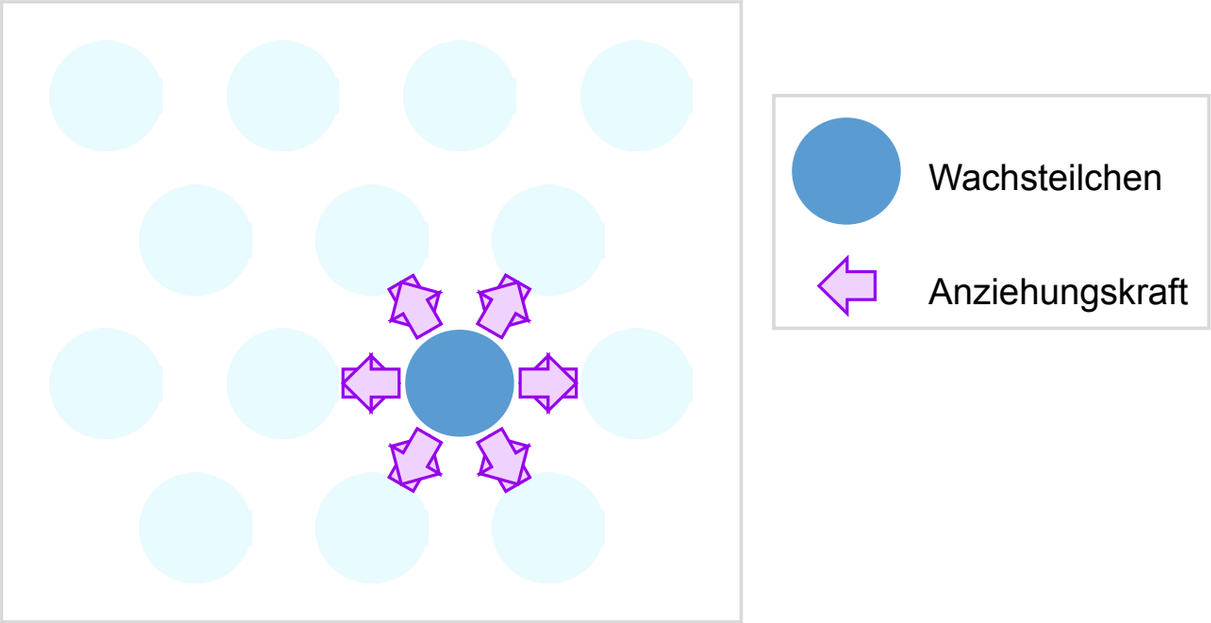


Bild 9: Anziehungskräfte zwischen benachbarten Teilchen

„Richtig“, bestätigt Sinan.

„Aber da sind doch zwölf Pfeile“, beschwert sich Max.

„Das Teilchen hat sechs Nachbarn. Die Doppelpfeile zeigen nur, dass nicht nur unser Teilchen seine Nachbarn anzieht, sondern dass es selbst auch von diesen angezogen wird“, erklärt Sinan.

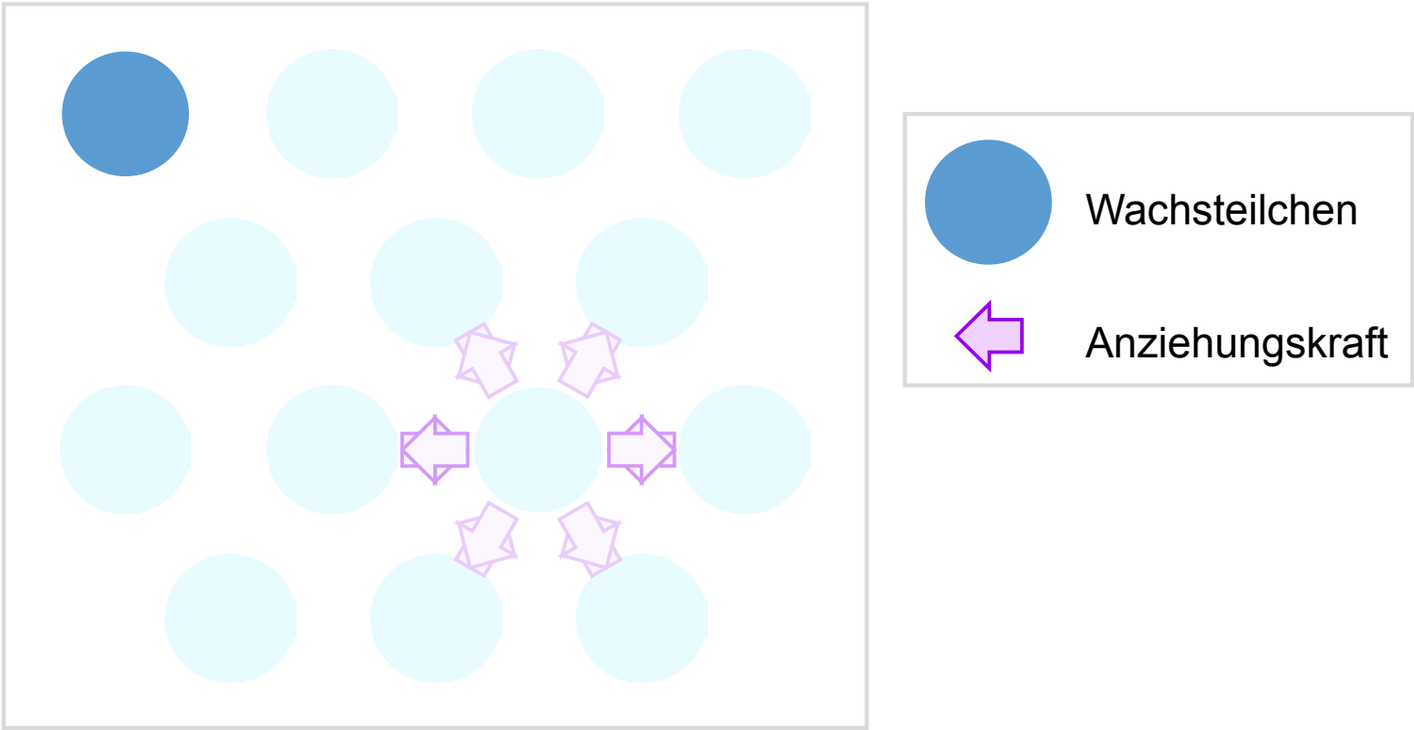
„Aha“, murmelt Max.

„Könnt ihr für dieses **Teilchen** am Rand alle Anziehungskräfte einzeichnen, die zwischen ihm und den benachbarten Teilchen wirken?“, fragt Sinan.

Lisa nimmt den Stift und zeichnet. Die beiden anderen sehen ihr genau zu und geben ihr Tipps.

Gib für das Teilchen am Rand die Anzahl der benachbarten Teilchen an.

Das Teilchen am Rand hat _____ benachbarte Teilchen.



Ergänze anschließend in der Abbildung Pfeile für die Anziehungskräfte, die zwischen dem Teilchen am Rand und den benachbarten Teilchen wirken, bevor du weiter liest.

Leider werden die drei sich nicht ganz einig, mit wie vielen Teilchen sich das **Teilchen** am Rand gegenseitig anzieht. Weil Lisa nichts Falsches einzeichnen möchte, zeichnet sie zunächst nur die **Anziehungskräfte** zu zwei weiteren Teilchen ein.

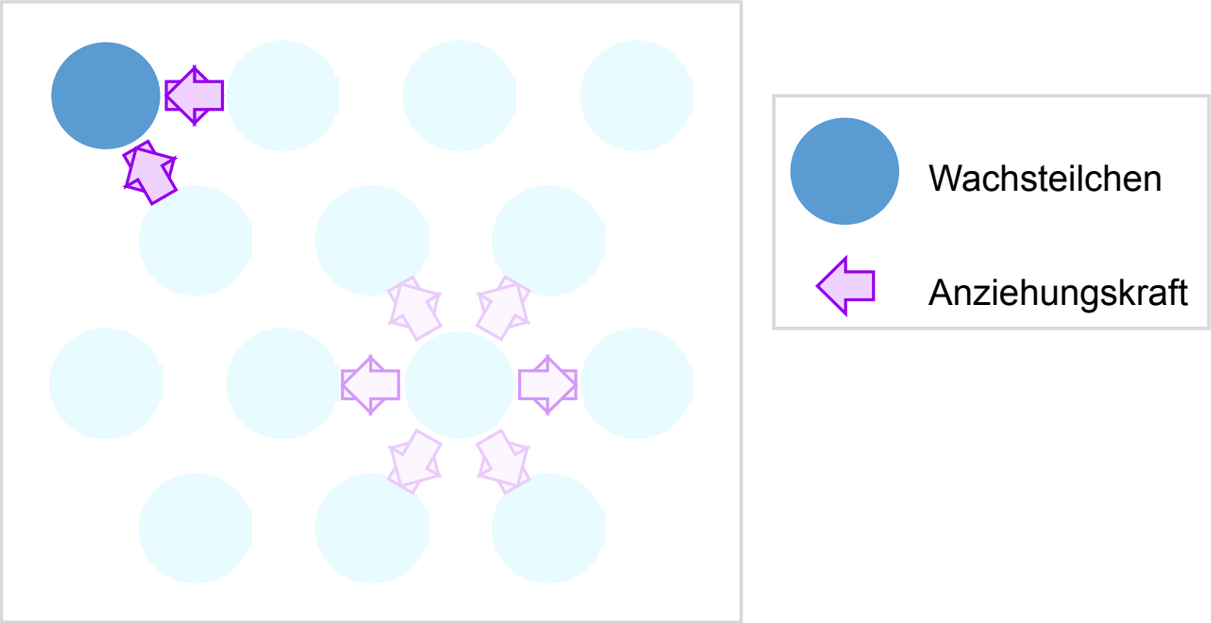


Bild 10: Anziehungskräfte, die zwischen dem Teilchen am Rand und seinen Nachbarn wirken

„Aber warum sollen denn auf dieses Teilchen nur zwei andere Teilchen Anziehungskräfte ausüben?“, beschwert Aylin sich bei ihrem großen Bruder.

„Weil es auch nur zwei Nachbarn hat!“, argumentiert Max sofort.

„Ja, aber trotzdem … “, setzt Aylin an.

Lisa unterbricht sie: „Aber da ist doch kein anderes Teilchen mehr, das es anziehen kann.“

„Ach so!“, ruft Aylin.

„Kann es immer nur Anziehungskräfte geben, wenn da ein Nachbarteilchen ist, mit dem das Teilchen sich gegenseitig anziehen kann?“, fragt Aylin dann.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Das **Teilchen** in der Mitte, das wir uns gerade angesehen haben, hat sechs Nachbarn, also wirken hier auch aus sechs Richtungen und in sechs Richtungen **Anziehungskräfte**.

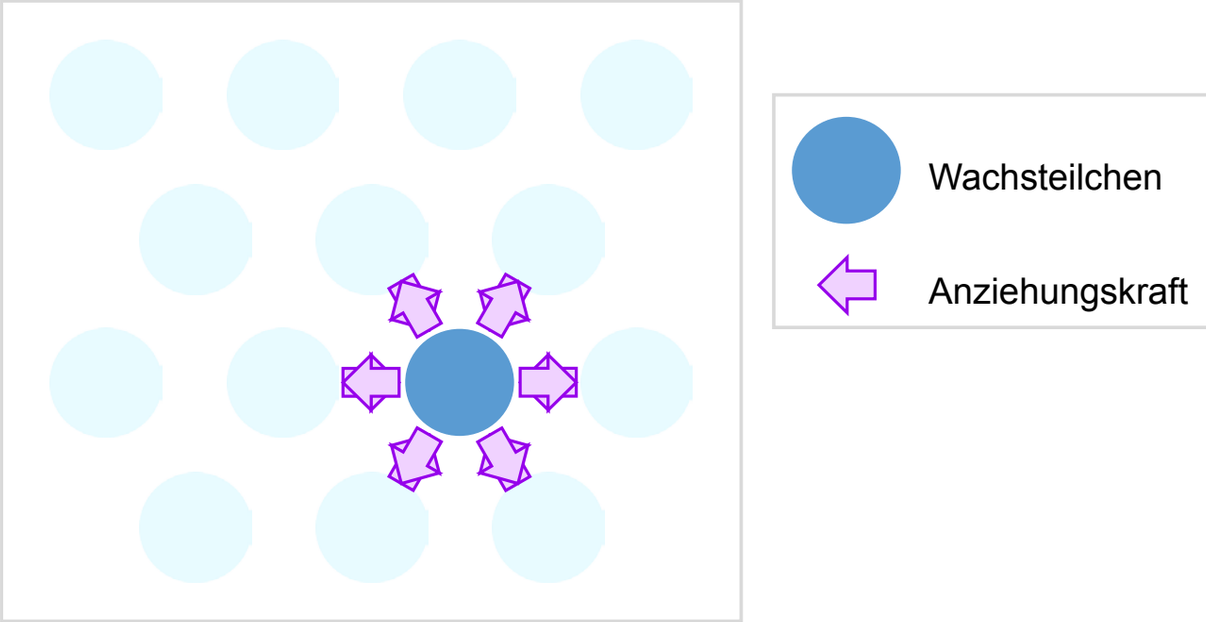


Bild 11: Anziehungskräfte, die zwischen dem Teilchen in der Mitte und benachbarten Teilchen wirken

Das **Teilchen** am Rand hat aber nur zwei Nachbarn“, erklärt Sinan, „daher können auch nur **Anziehungskräfte** von und zu zwei Teilchen wirken.“

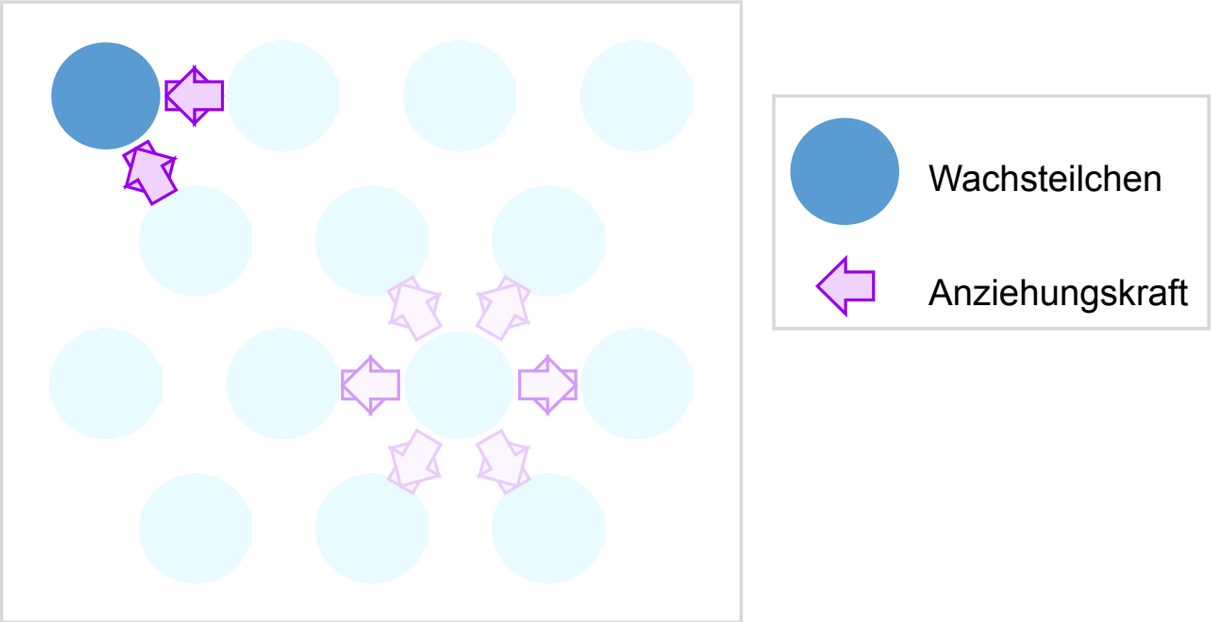


Bild 12: Anziehungskräfte, die zwischen dem Teilchen am Rand und benachbarten Teilchen wirken

„Ach so“, sagt Aylin noch mal.

„Also ist das hier jetzt richtig?“, fragt Lisa trotzdem noch mal nach und präsentiert Sinan ihre Zeichnung.

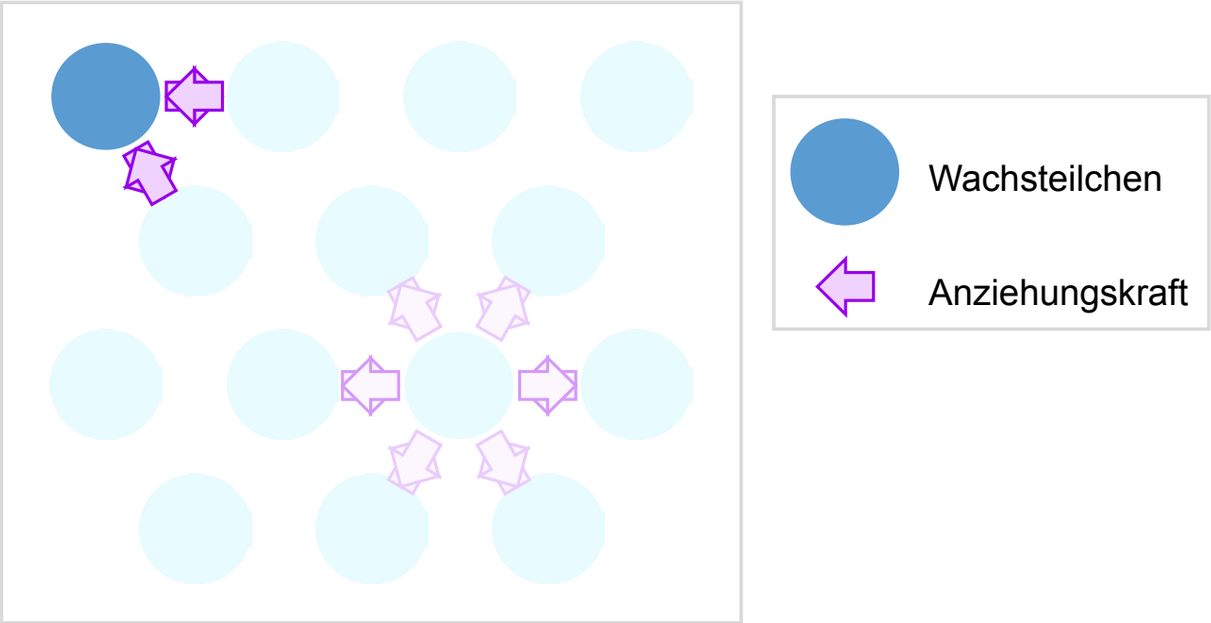


Bild 13: Anziehungskräfte, die zwischen dem Teilchen am Rand und benachbarten Teilchen wirken

„Ja, das ist so richtig“, bestätigt Sinan.

Vergleiche Lisas Zeichnung mit deiner eigenen Zeichnung. Korrigiere deine Zeichnung und erläutere, warum deine eigene Zeichnung falsch war, falls es notwendig ist. Lies erst danach weiter.

„Obwohl die Teilchen im Teilchenverbund so eng angeordnet sind, liegen sie nicht einfach ruhig nebeneinander“, erklärt Sinan weiter, „Sie bewegen sich immer ein bisschen hin und her, ohne dass sie sich aber wirklich von der Stelle bewegen.“

„So wie, wenn man auf dem Stuhl rumzappelt?“, unterbricht Max ihn.

„Ja, ein bisschen“, stimmt Sinan zu. „Du kannst es dir auch so vorstellen wie dein Handy, wenn es vibriert. Physiker sagen, die Teilchen **schwingen**. Ich zeichne für die **Bewegung** der Teilchen mal diesen geschwungenen roten Pfeil an das **Teilchen** in der Mitte, damit ihr euch die **Teilchenbewegung** besser vorstellen könnt.

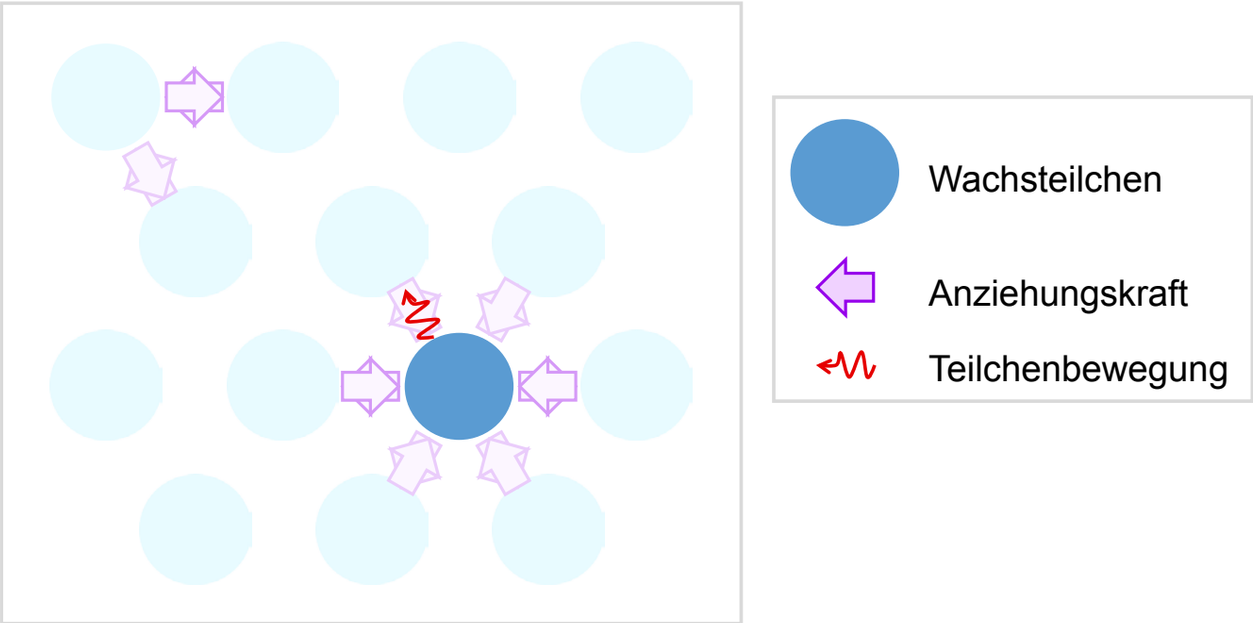


Bild 14: Teilchenbewegung

Das **Teilchen** bewegt sich aber nicht nur nach oben links, sondern **schwingt** in alle Richtungen“, erklärt Sinan.

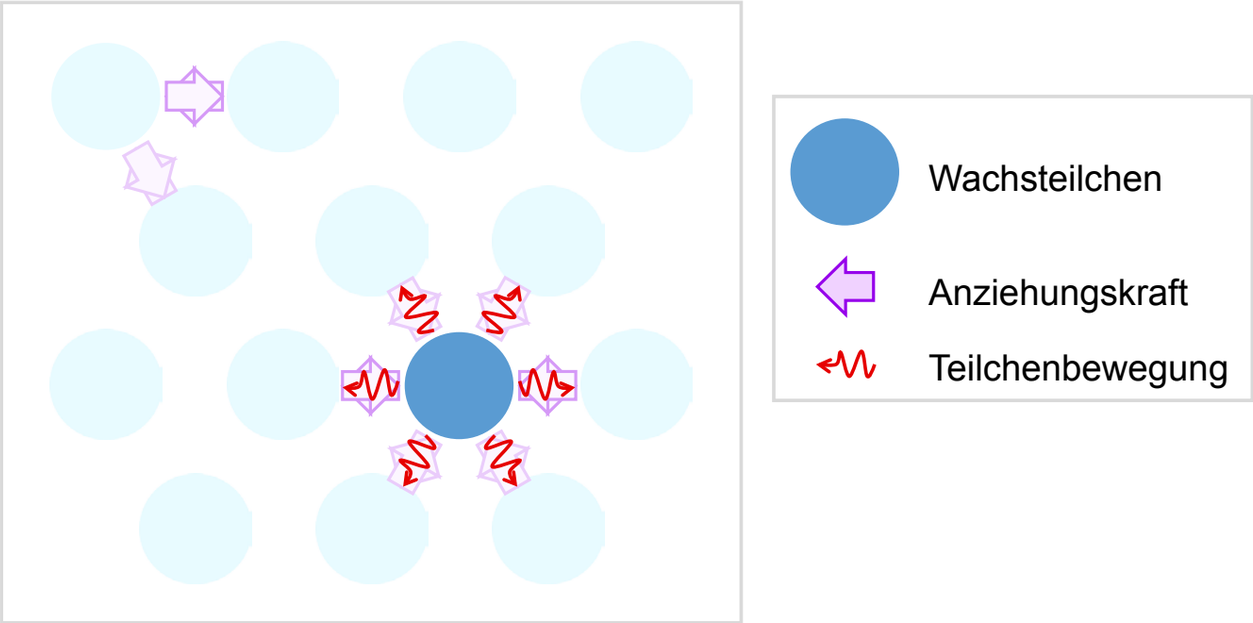
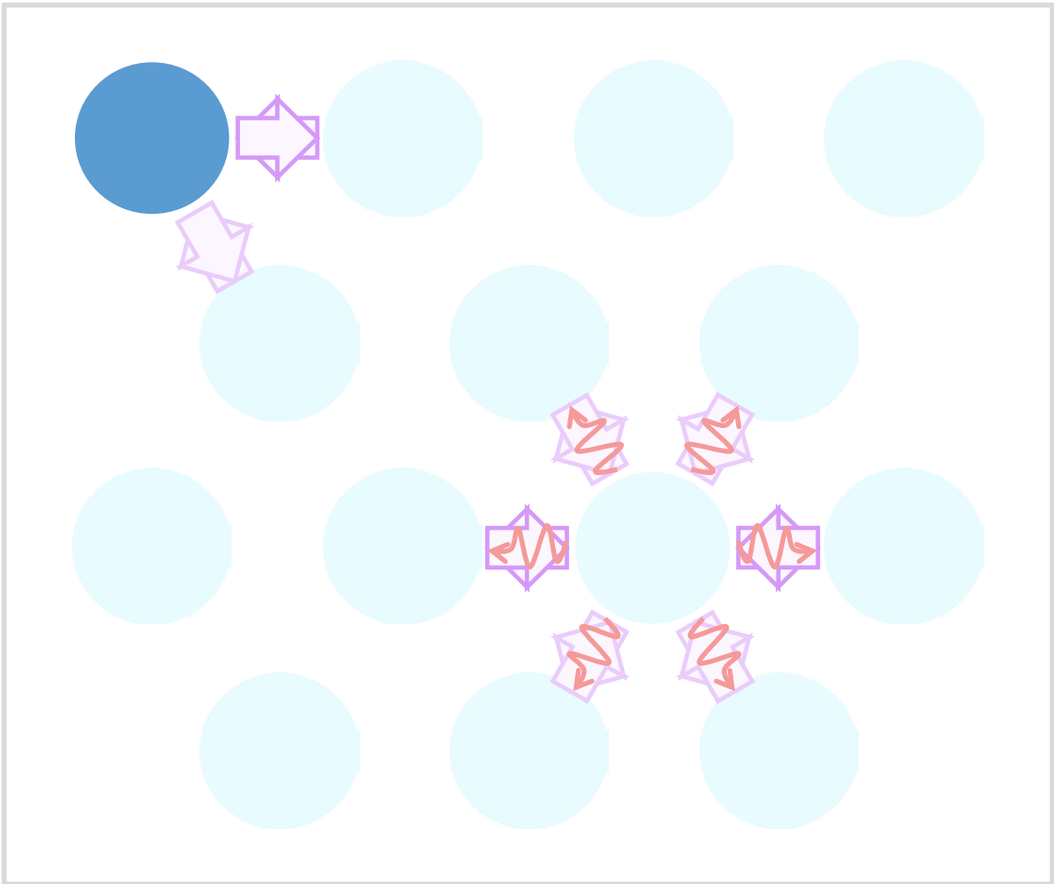


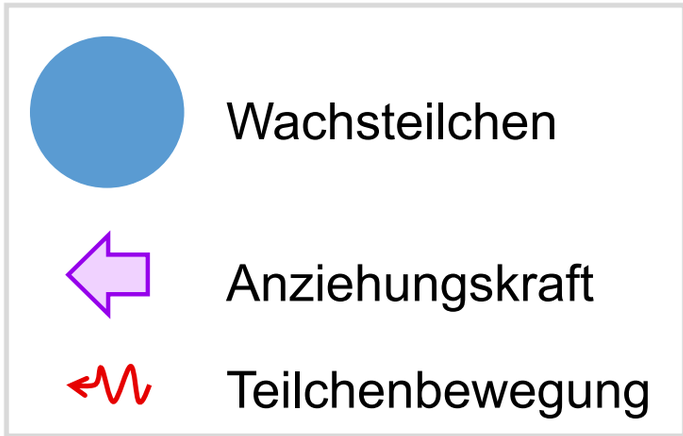
Bild 15: Teilchenbewegung

„Natürlich schwingt nicht nur das Teilchen in der Mitte, sondern auch alle Nachbarteilchen schwingen“, fährt Sinan fort. „Könnt ihr die **Teilchenbewegung** für unser anderes **Teilchen** – das am Rand – selbst einzeichnen?“

„Ich glaub’ schon“, sagt Aylin.

Zeichne in die Abbildung geschwungene Pfeile für die Bewegung des Teilchens am Rand ein. Begründe, warum du die Pfeile so eingezeichnet hast, bevor du weiter liest.





Aylin zeichnet in Sinans Skizze auch für das Teilchen am Rand rote geschwungene Pfeile ein, um anzudeuten, dass die Wachsteilchen schwingen. Währenddessen betrachtet Max die Schwimmkerze im Wasser, als würde er erwarten, dass sie gleich aus dem Wasser springt oder sich zumindest mal kräftig schüttelt. Die Vorstellung, dass die kleinsten Teilchen der Kerze ununterbrochen in Bewegung sind, ohne dass die Kerze sich auch nur einen Millimeter bewegt, findet er ganz schön verwirrend.

Als Aylin mit ihrer Zeichnung fertig ist, zeigt sie sie Sinan. Er betrachtet Aylins Zeichnung und nickt zustimmend.

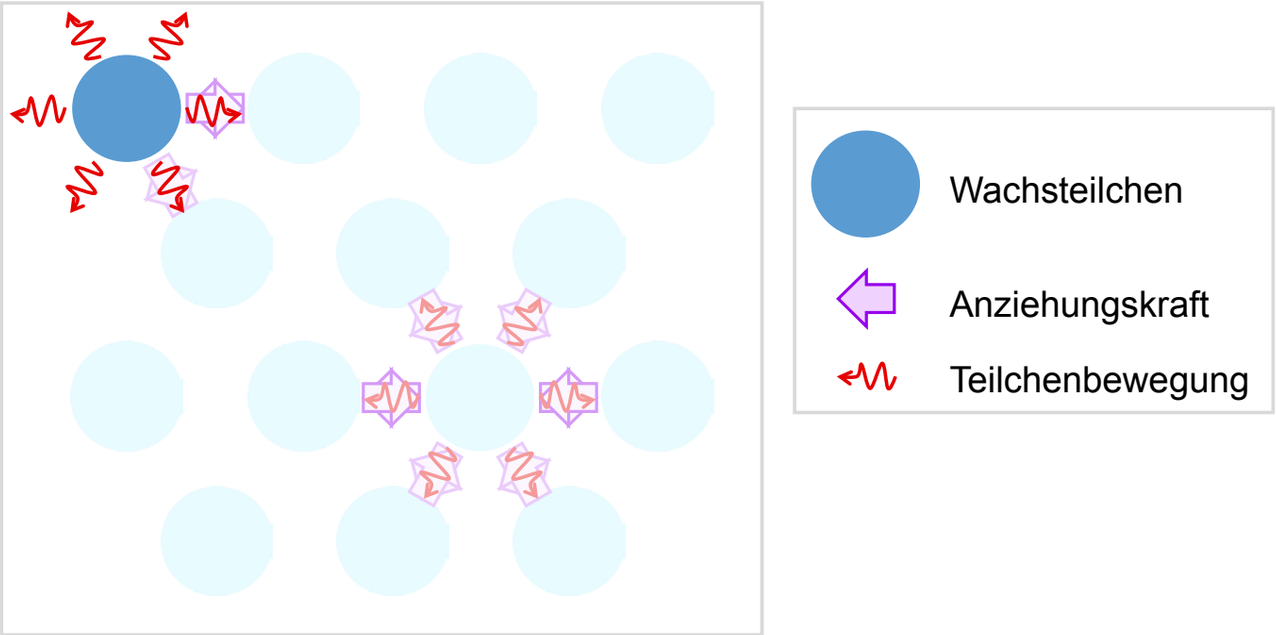


Bild 16: Teilchenbewegung

Lisa ist mit der Zeichnung allerdings nicht zufrieden. „Aber wir haben doch gerade gesagt: Wenn ein Teilchen keine Nachbarteilchen hat, dann gibt's es auch keine Anziehung. Warum schwingt das hier denn jetzt trotzdem so oft?“, fragt sie und deutet auf das Teilchen am Rand.

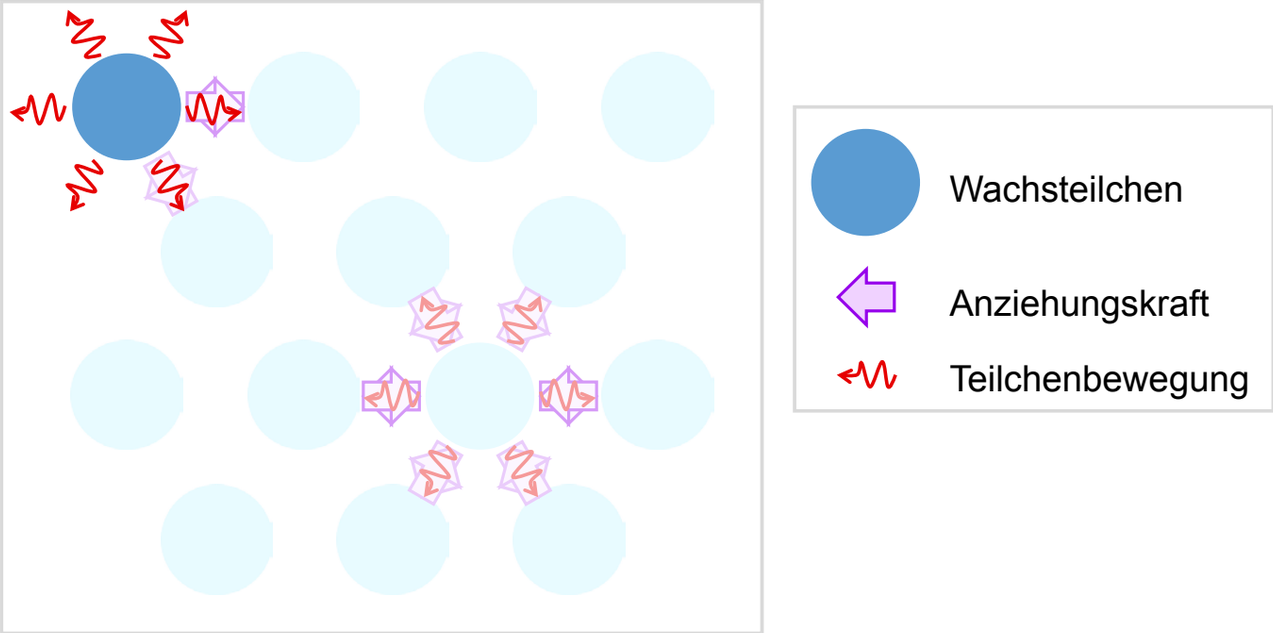


Bild 17: Teilchenbewegung

„Weil es auch ohne Nachbar schwingen kann!“, verteidigt Aylin ihre Zeichnung.

Lisa überlegt: „Also können die Teilchen immer in alle Richtungen schwingen, aber das mit den Anziehungskräften können sie nur zu den Seiten, wo auch ein Nachbar ist?“

Max nickt kräftig. Auch Sinan stimmt zu: „Richtig. Ein **Teilchen**, das links keinen Nachbarn hat, wird von dort auch nicht **angezogen**, aber **bewegen** kann es sich trotzdem. Es kann sich sogar besser bewegen, wenn es dabei nicht von einem benachbarten Teilchen gestört wird.“

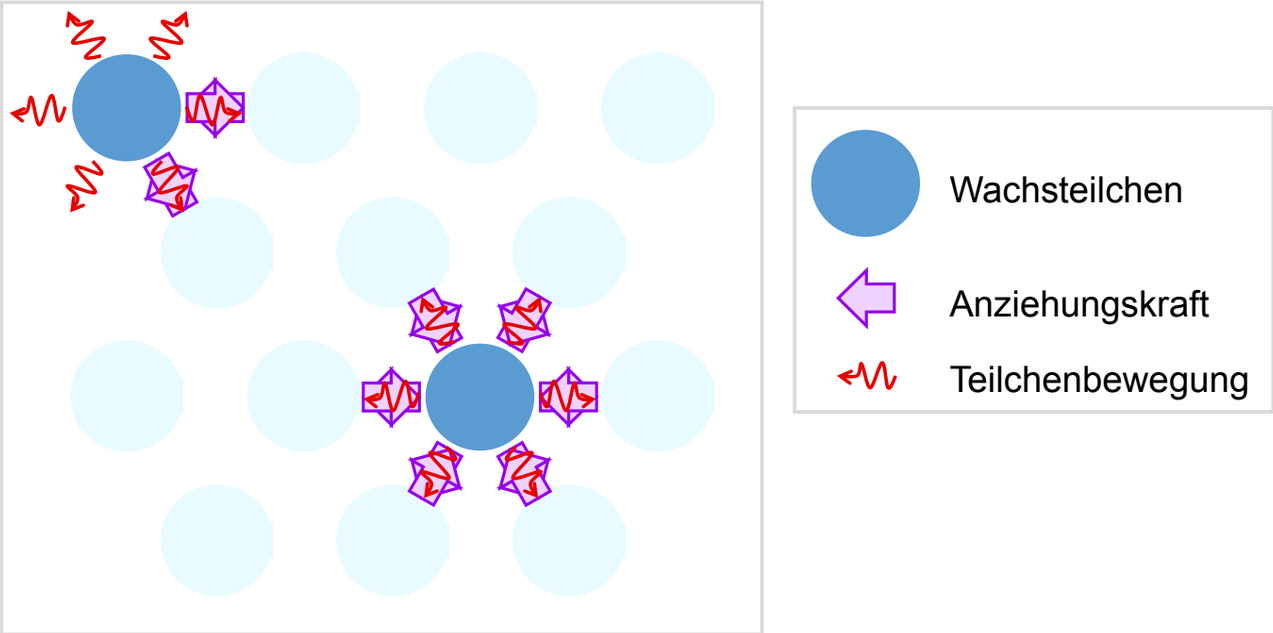


Bild 18: Anziehungskräfte zwischen den Teilchen und Bewegung der Teilchen

„Ich glaube, jetzt hab ich es verstanden“, sagt Lisa.

Stelle in einer kurzen Zusammenfassung alle Informationen über die Anziehungskräfte und die Schwingungen dar, bevor du weiter liest.

„Dann könnt ihr euch jetzt vorstellen, dass eine Kerze aus kleinsten, kugelförmigen Wachsteilchen aufgebaut ist, die sich gegenseitig anziehen. Gleichzeitig schwingen die Teilchen dauernd auf ihrer Position im Teilchenverbund“, fasst Sinan zusammen.

„Die Kerzen, die ihr heute gekauft habt, unterscheiden sich allerdings von normalen Kerzen in einem ganz wichtigen Punkt“, fährt Sinan fort. „Ihr wollt damit ja die Insekten fernhalten … “

„Unsere Kerzen riechen gut. Normale Teelichter riechen nach nichts“, erklärt Max.

„Genau“, bestätigt Sinan. „Das Teilchenmodell, mit dem wir uns gerade den Aufbau der Kerze erklärt haben, beschreibt also noch nicht eure Duftkerzen, sondern beispielsweise ein ganz normales Teelicht.

Für den Geruch der Duftkerzen ist ein Duftstoff verantwortlich, der aus anderen Teilchen als den Wachsteilchen besteht.“

„Duftstoffteilchen!“, wirft Lisa ein.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Dieser Duftstoff wird bei der Herstellung der Kerzen zum Wachs gemischt. Wenn wir jetzt eure Duftkerze im Teilchenmodell zeichnen wollen, müssen wir in unseren Zeichnungen zwei Teilchensorten unterscheiden: Wachsteilchen und Duftstoffteilchen.

Die Teilchen sollten aber weiterhin rund sein und dicht nebeneinander in einem ordentlichen Teilchenverbund angeordnet werden. Probiert es mal.“

Lisa, Aylin und Max zeichnen eifrig drauf los. Als sie stolz ihre Ergebnisse präsentieren, stellen sie fest, dass die Zeichnungen recht unterschiedlich geworden sind.

Alle drei haben versucht die Wachsteilchen genau so zu zeichnen, wie Sinan es gemacht hat: rund und regelmäßig angeordnet.

Um die Duftstoffteilchen von den Wachsteilchen unterscheiden zu können, hat sich aber jeder etwas anderes überlegt. Lisa hat die Duftstoffteilchen genauso groß gezeichnet, wie die Wachsteilchen. Sie hat aber verschiedene Farben verwendet, um die Teilchen unterscheiden zu können. Aylin hat nur eine Farbe verwendet und zur Unterscheidung Kreuze in die Duftstoffteilchen gemalt. Max hat zwischen seine Wachsteilchenkugeln einige kleine Striche gemalt, die die Duftstoffteilchen darstellen sollen.

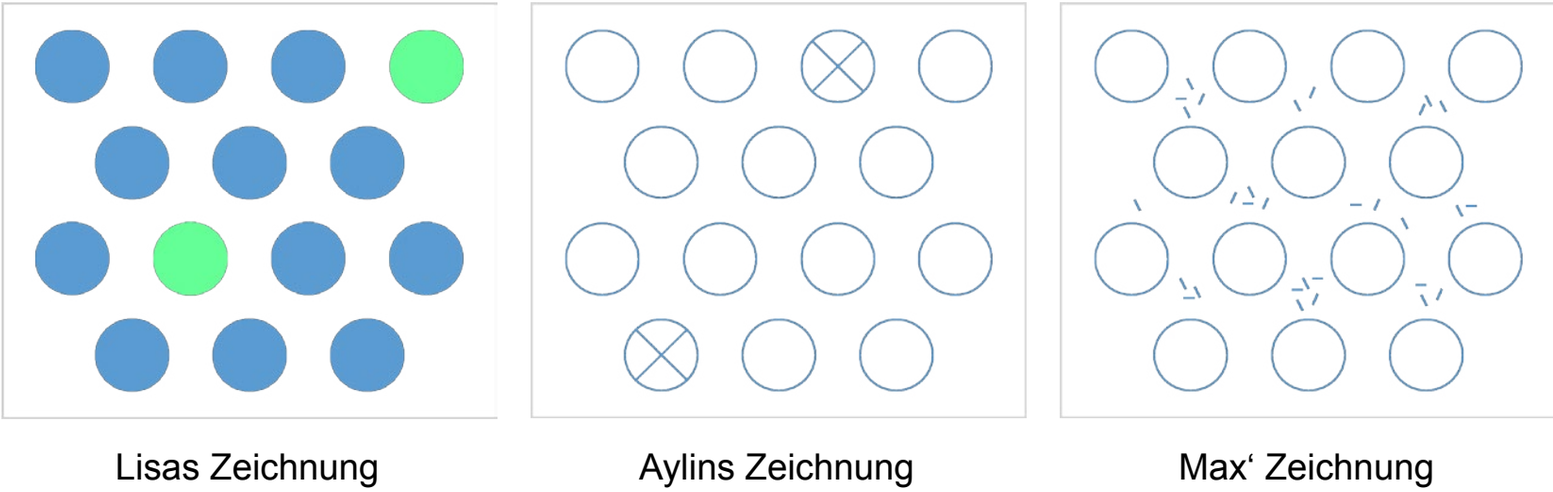


Bild19: Ausschnitt aus einer Duftkerze auf Teilchenebene

Irritiert vergleichen die drei ihre Zeichnungen, dann sehen sie Sinan erwartungsvoll an.

„Ich weiß auch nicht, welche Zeichnung richtig ist“, antwortet Sinan. „Wir haben zu Anfang gesagt, dass wir die Teilchen nicht sehen können und uns nur vorstellen, wie sie aussehen. Daher kann jeder selbst entscheiden, wie er die Teilchen in seinen Zeichnungen unterscheidet.

Häufig verwendet man bei Darstellungen im Teilchenmodell unterschiedliche Farben, so wie Lisa es gemacht hat.

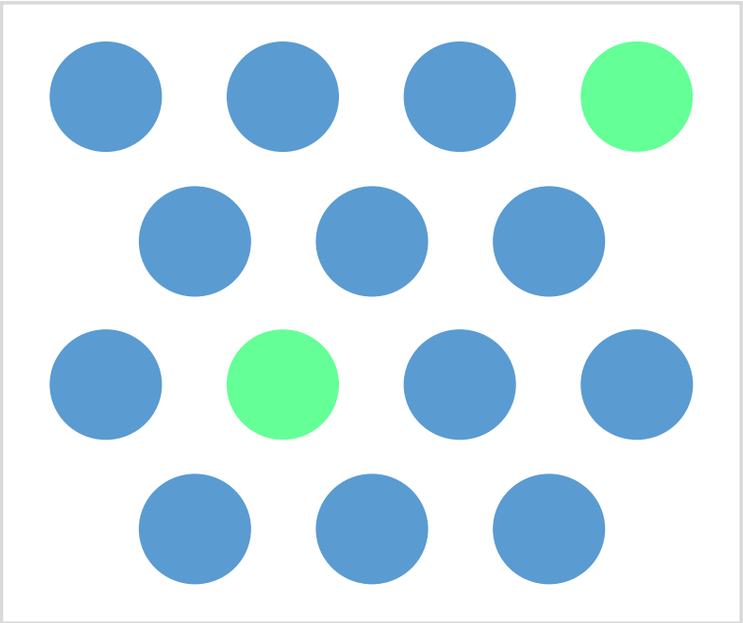


Bild 20: Ausschnitt aus einer Duftkerze auf der Teilchenebene (Lisa)

Wenn man aber nur einen Stift hat, kann man unterschiedliche Teilchen auch durch ein Kreuz unterscheiden, so wie Aylin es gemacht hat“, erklärt Sinan. „Auch das findet man häufig, zum Beispiel in Büchern, die nur in schwarz-weiß gedruckt werden.

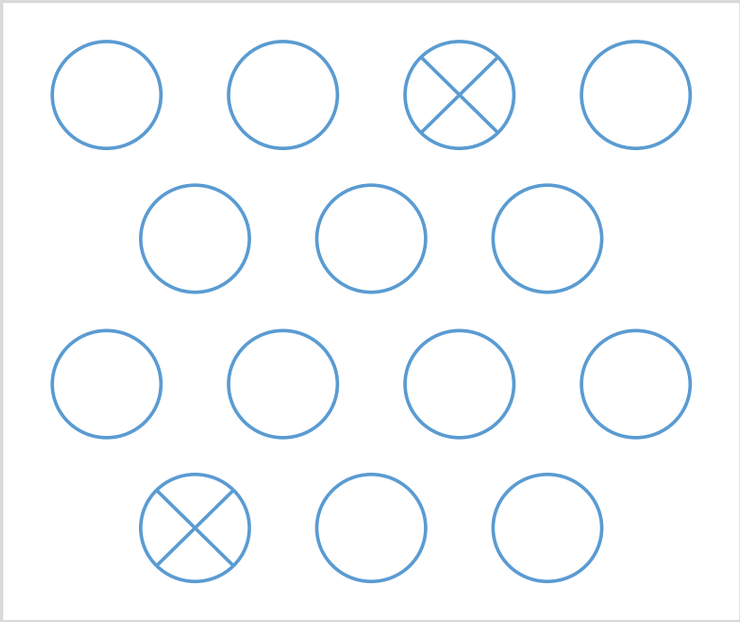


Bild 21: Ausschnitt aus einer Duftkerze auf der Teilchenebene (Aylin)

Wichtig ist nur, dass ihr deutlich macht, welche Kugel für welche Teilchensorte steht“, fährt Sinan fort. „Ihr solltet eure Zeichnungen also immer beschriften. Am einfachsten ist es, wenn ihr am Rand jeweils ein Teilchen von jeder Sorte zeichnet und daran schreibt, wofür es stehen soll. Man nennt das Legende.“

Alle drei ergänzen ihre Zeichnung.

„So?“, fragt Lisa als erste.

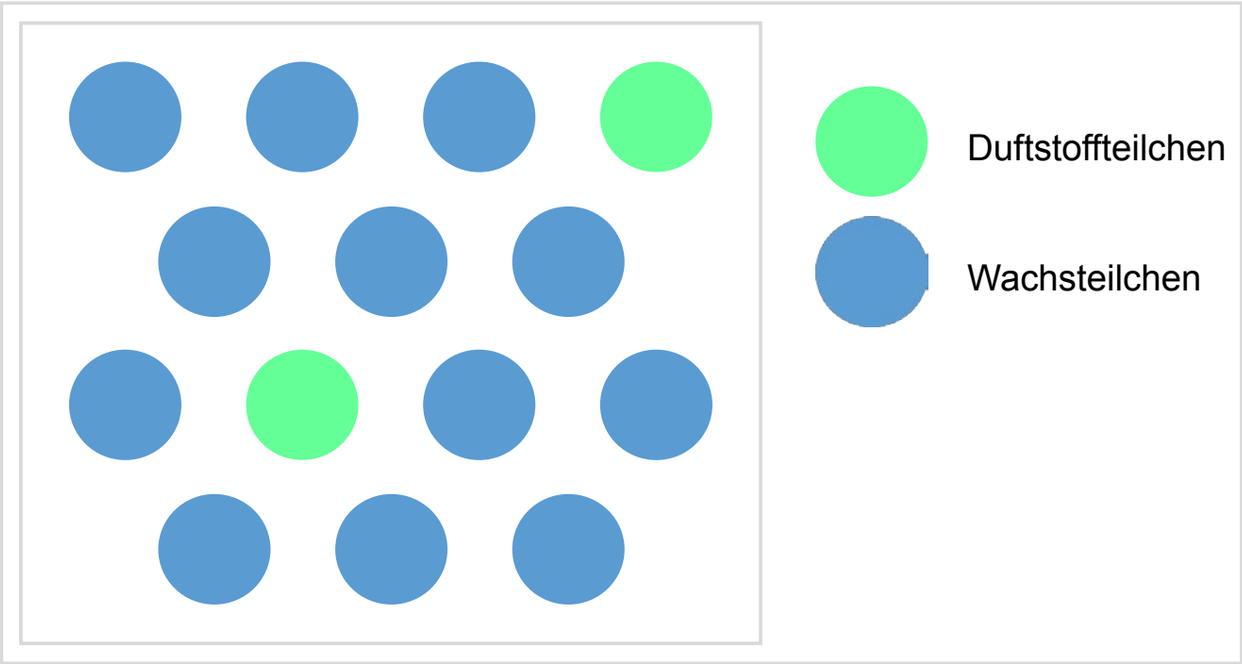


Bild 22: Ausschnitt aus einer Duftkerze auf der Teilchenebene mit Beschriftung (Lisa)

Sinan nickt zustimmend.

Max schiebt Sinan als nächster seine Zeichnung hin: „Geht das auch?“

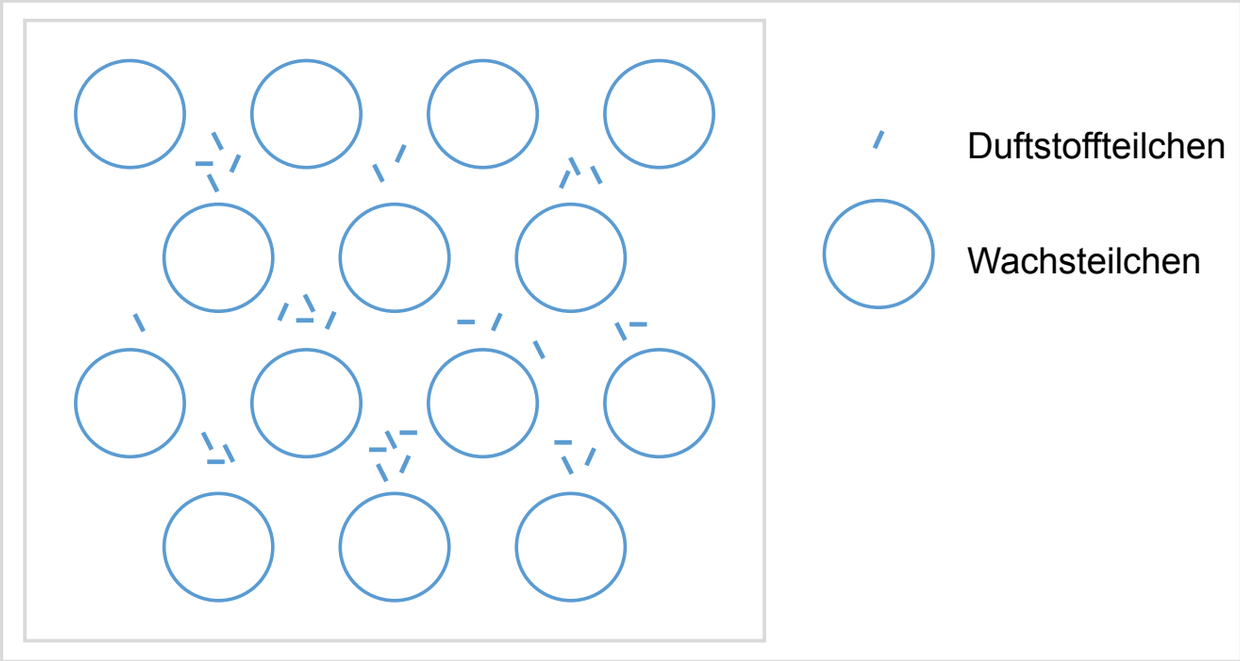


Bild 23: Ausschnitt aus einer Duftkerze auf der Teilchenebene (Max)

„Hmm. Deine Zeichnung ist nicht völlig verkehrt“, antwortet Sinan. „Vielleicht sind die Duftstoffteilchen kleiner als die Wachsteilchen; das wissen wir nicht, weil wir sie ja nicht sehen können. Aber ich würde dir trotzdem raten, sie als kleine Kugeln darzustellen und nicht als kleine Striche. Auch wenn man Teilchen nicht sehen kann, geht man davon aus, dass sie kugelförmig sind. Außerdem kann man so kleine Striche, wie du sie gemalt hast, leicht übersehen.

Wichtig ist auch, dass ihr daran denkt, dass die Kerze ja hauptsächlich aus Wachs besteht und nur ein wenig Duftstoff enthält, daher solltest du in deiner Zeichnung immer mehr Wachsteilchen als Duftstoffteilchen haben.“

„Ok“, murmelt Max und verbessert schon seine Zeichnung.

Jetzt sind Max' Duftstoffteilchen zwar immer noch kleiner als die Wachsteilchen, aber sie sind viel besser zu erkennen und keiner kann sie für Schmutz halten, der versehentlich auf dem Bild gelandet ist.

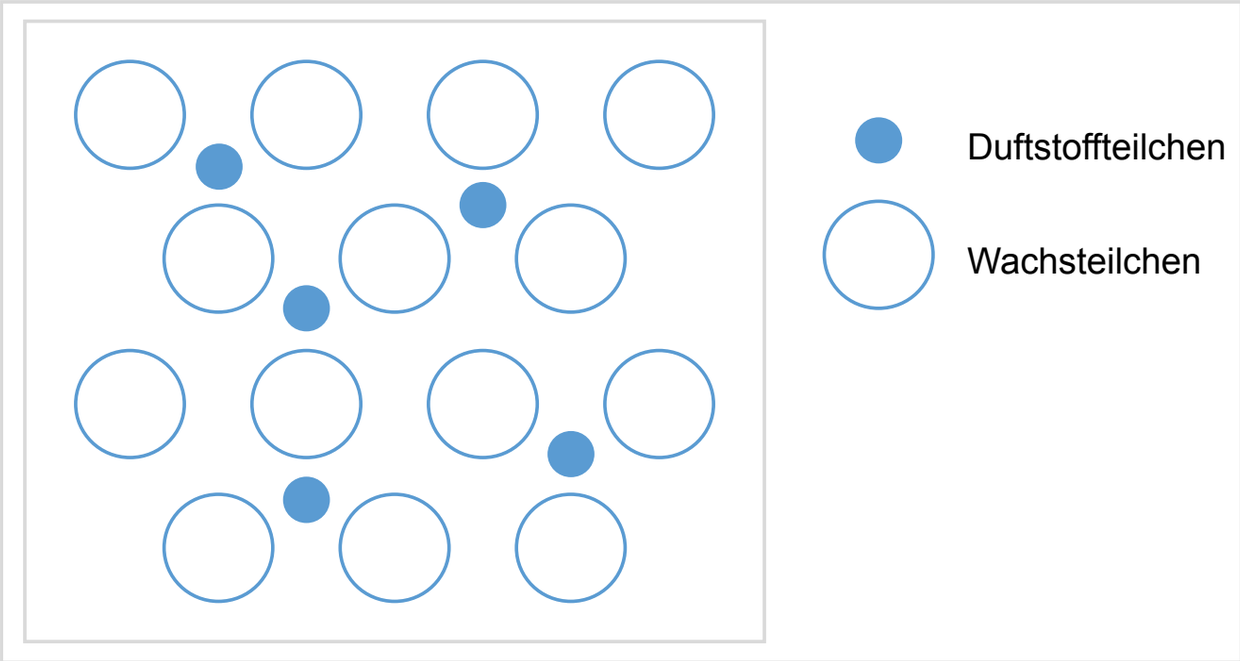
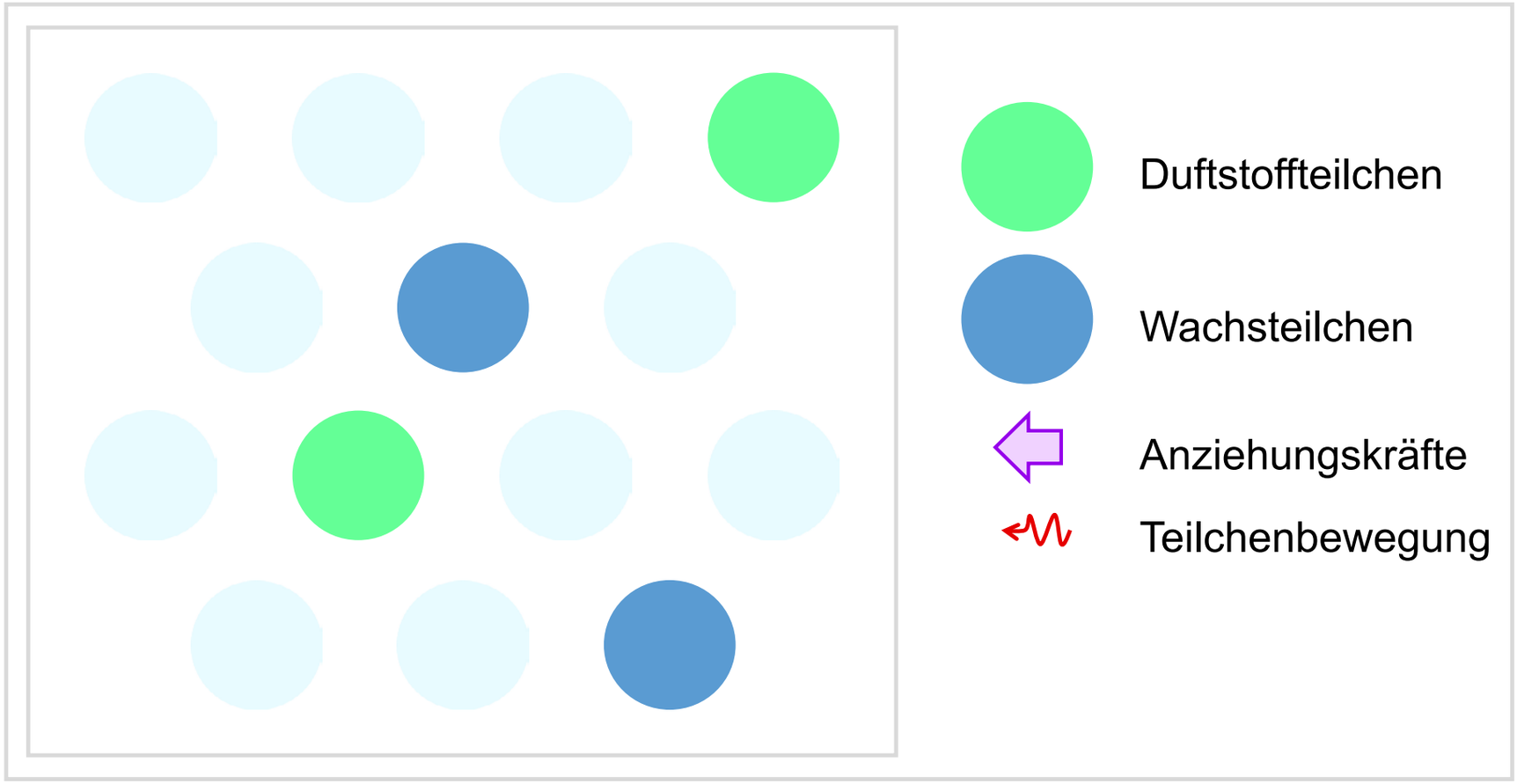


Bild 24: Ausschnitt aus einer Duftkerze auf der Teilchenebene (Max)

„Genau wie die Wachsteilchen werden die Duftstoffteilchen von benachbarten Teilchen **angezogen** und **schwingen** auf ihren Positionen“, erklärt Sinan weiter.

Ergänze in der Abbildung für die vier markierten Teilchen Anziehungskräfte und Schwingungen, bevor du weiter liest.



Lisa präsentiert wieder als erste ihr Ergebnis. Aylin ist mit ihrer Zeichnung auch fast fertig.

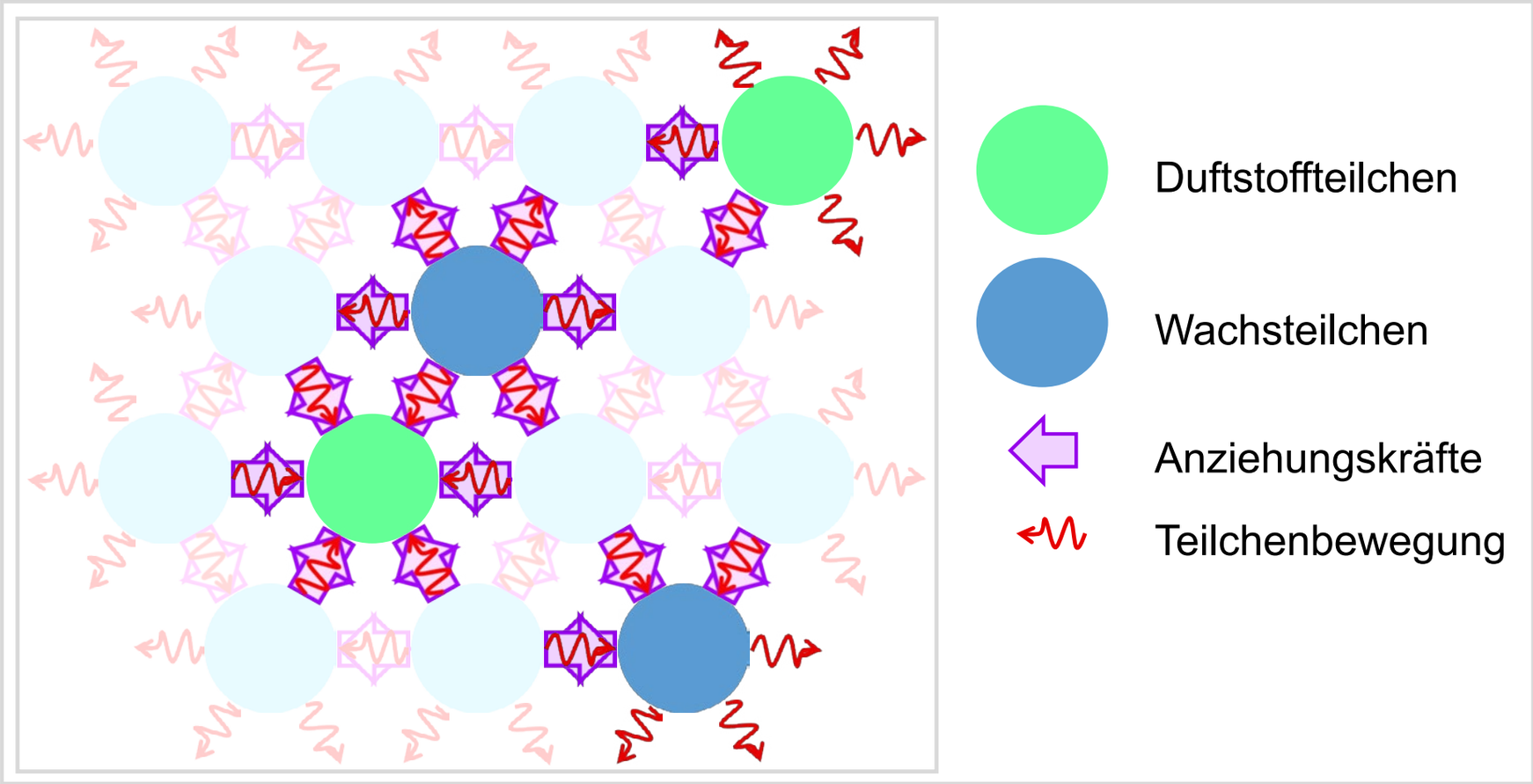


Bild 25: Teilchenbewegung und Anziehungskräfte zwischen den Teilchen (Lisa)

„Sehr gut“, lobt Sinan. „Du hast Anziehungskräfte nur zwischen den benachbarten Teilchen und Schwingungen für jedes Teilchen in *alle* Richtungen eingezeichnet.“

Max hat währenddessen einige Schwierigkeiten damit, die vielen verschiedenen Informationen in seiner Zeichnung unterzubringen und schmollt ein wenig.

Sinan ermutigt ihn: „Wenn man so viele Teilchen zeichnet, wird es irgendwann schwierig und unübersichtlich für jedes Teilchen die Anziehungskräfte und Schwingungen einzuzeichnen, daher werden sie in vielen Zeichnungen weggelassen. Es genügt meistens, wenn ihr nur die Teilchen einzeichnet. Ihr dürft aber nicht vergessen, dass es die Anziehungskräfte und die Schwingungen gibt.“

Max legt erleichtert den Stift zur Seite, betrachtet Lisas Zeichnung und hört Sinan zu, der weiter erklärt: „Die Duftstoffteilchen schwingen etwas stärker als die Wachsteilchen. Außerdem werden die Duftstoffteilchen ein bisschen weniger angezogen.

Weil die Duftstoffteilchen stärker schwingen und weniger stark angezogen werden“, fährt Sinan fort, „kann es passieren, dass Duftstoffteilchen ihre Position verlassen. Das passiert immer dann, wenn die Duftstoffteilchen soweit „raus“-schwingen, dass sie nicht mehr durch die Anziehungskraft anderer Teilchen festgehalten werden.

Vielleicht könnt ihr es euch so vorstellen wie einen Luftballon, den ihr an einer Schnur festhaltet“, schlägt Sinan vor: „Solange ihr die Schnur in der Hand habt, kann der Ballon zwar hin und her fliegen, aber er kann nicht sehr weit von euch weg. Wenn ihr die Schnur aber loslasst, kann der Ballon plötzlich überall hin fliegen. Und sobald er erst einmal ein Stückchen von euch weg ist, kommt ihr auch nicht mehr so leicht an die Schnur heran und könnt ihn nur schwer wieder einfangen.

Besonders am Rand eines Teilchenverbundes – also am Rand der Kerze – passiert es, dass **Duftstoffteilchen** ihre Position verlassen können, da sie nicht mehr stark genug von den anderen Teilchen angezogen werden“, erklärt Sinan.

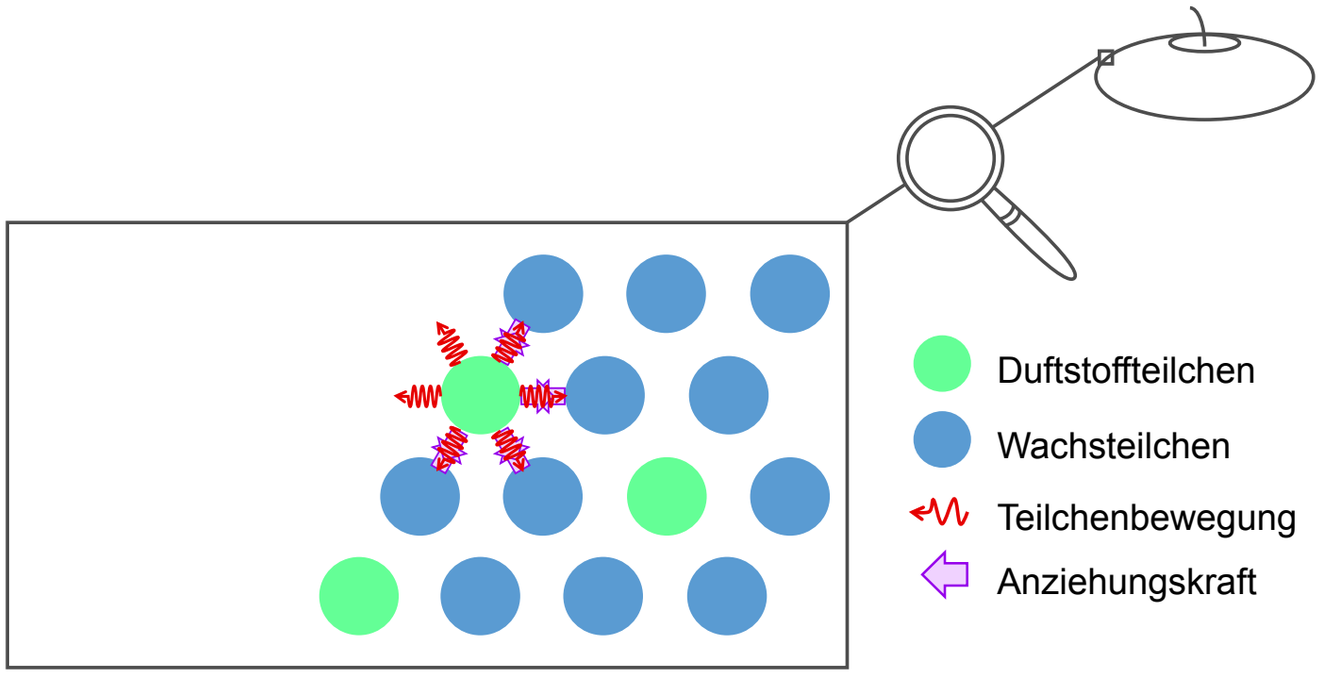


Bild 26: Teilchenbewegung am Rand des Teilchenverbunds

„Wenn ein **Duftstoffteilchen** seine Position im Teilchenverbund verlässt, kann es sich frei bewegen und vermischt sich mit den Teilchen der Luft“, sagt Sinan. „Denn natürlich sind nicht nur feste Stoffe, die wir sehen können, aus Teilchen aufgebaut, sondern auch durchsichtige Materialien wie die Luft.

Luft besteht hauptsächlich aus Stickstoff, daher stellen wir die Luft hier durch **Stickstoffteilchen** dar.

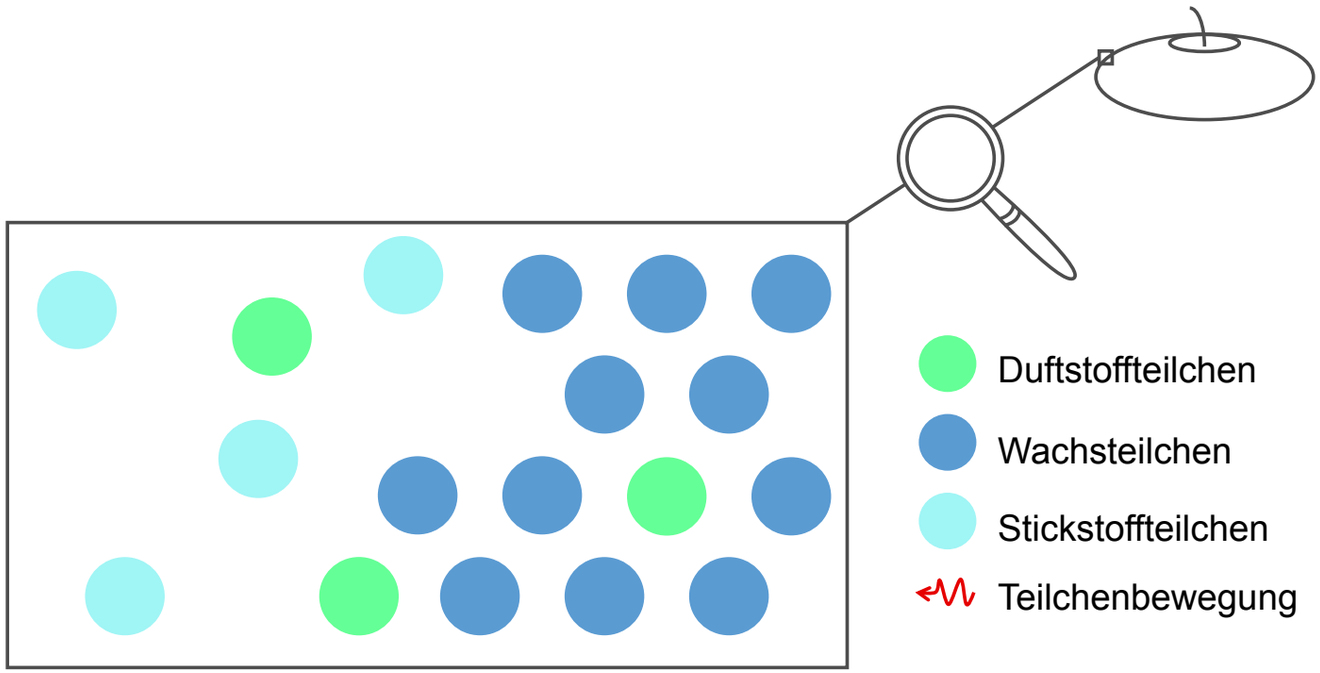


Bild 27: Vermischung eines Duftstoffteilchens mit den Teilchen der Luft

Denkt daran, dass auch die Stickstoffteilchen schwingen“, erinnert Sinan, „ich zeichne das hier für dieses Stickstoffteilchen noch mal zur Erinnerung ein.

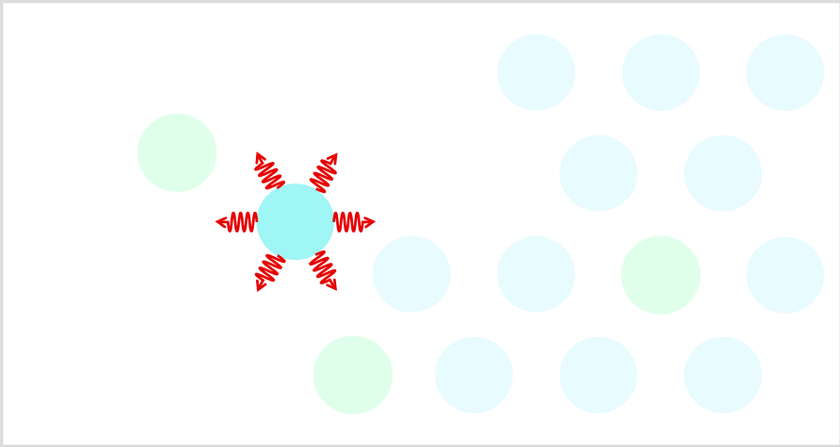


Bild 28: Teilchenbewegung der Stichstoffteilchen

Je mehr Zeit vergeht, desto mehr Duftstoffteilchen verlassen ihre Position“, erklärt Sinan weiter.

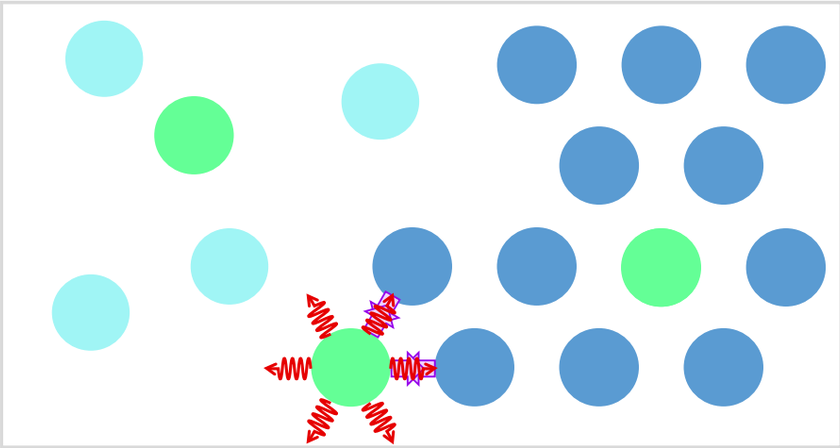


Bild 29: Teilchenbewegung am Rand des Teilchenverbunds

„Sowohl die Stickstoffteilchen als auch die „freien“ Duftstoffteilchen bewegen sich danach durch den Raum“, fährt Sinan fort. „Dieser Raum kann entweder dein Zimmer sein oder das Päckchen, in dem die Kerzen eingepackt sind. Chemiker sprechen von **Diffusion**, wenn sie sagen wollen, dass Teilchen sich von selbst im Raum verteilen.“

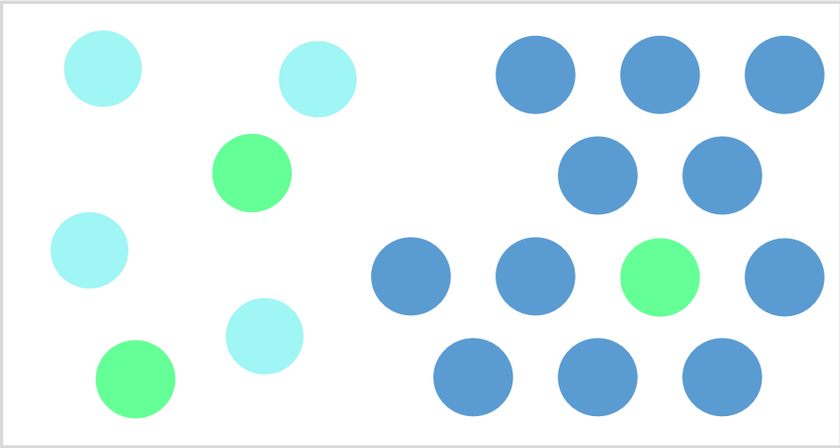


Bild 30: Vermischung der Duftstoffteilchen mit Stickstoffteilchen

„Das heißt, die Duftstoffteilchen gehen aus der Kerze raus und verteilen sich von alleine im Raum?“, fragt Lisa nach.

Überlege, ob du Lisas Aussage zustimmst und begründe deine Einschätzung, bevor du weiter liest.

„Genau“, bestätigt Sinan. „Du kannst dir das ein bisschen so vorstellen, wie einen Beutel mit Murmeln. Im geschlossenen Beutel bewegen sich die Murmeln nur im Beutel hin und her. Wenn du den Beutel aber ausschüttest, rollen die Murmeln kreuz und quer durcheinander. Einige rollen ganz weit weg in die hinterste Ecke des Zimmers, andere rollen nur ein kleines Stückchen weg.

Manche Murmeln stoßen unterwegs auch mit anderen Murmeln zusammen oder prallen gegen Gegenstände und ändern dadurch ihre Richtung.

Mit den Duftstoffteilchen ist es so ähnlich“, erklärt Sinan weiter. „Zuerst verlassen einzelne Teilchen ihre Positionen. Diese prallen mit Stickstoffteilchen aus der Luft zusammen. Mit jedem weiteren Duftstoffteilchen, das seine Position in der Kerze verlässt, verlieren die übrigen Teilchen natürlich einen Nachbarn, der sie anzieht und auf ihrer Position hält. Daher können danach immer mehr Teilchen ihre Position verlassen.“

„Aber sind dann nicht irgendwann keine Duftstoffteilchen mehr in der Kerze?“, fragt Aylin weiter.

„Theoretisch hast du recht“, bestätigt Sinan. „Dafür müsstest du aber sehr, sehr lange warten. Besonders für die Duftstoffteilchen im Inneren der Kerze ist es gar nicht so leicht, ihre Position zu verlassen, da sie dort ja von sehr vielen andere Teilchen um sie herum festgehalten werden. Das heißt, dort wirst du auch nach langer Zeit noch Duftstoffteilchen finden. Für die Duftstoffteilchen am Rand ist es dagegen einfacher, ihre Position zu verlassen, weil sie ja weniger Nachbarn haben, von denen sie angezogen werden.“

„Und warum bleibt der Geruch nicht für immer in meinem Zimmer?“, fragt Max.

Überlege, warum der Geruch nicht für immer in Max’ Zimmer bleibt, und erläutere deine Einschätzung, bevor du weiter liest.

„Weil die Duftstoffteilchen sich immer weiter verteilen“, erklärt Sinan. „Zuerst verlassen sie die Kerze und verteilen sich im Päckchen, das die Kerzen umgibt, dann verteilen sich die ersten Teilchen in deinem Zimmer, danach verteilen sie sich im Haus und dann immer weiter in der Luft um euer Haus herum. Sie entfernen sich dabei so weit voneinander, dass dein Geruchssinn nicht mehr gut genug ist, um die einzelnen Duftstoffteilchen noch wahrzunehmen.

Wenn ihr diese Zeichnung betrachtet“, fährt Sinan fort, „seht ihr, dass sich in einem Ausschnitt aus der Luft in der Nähe der Kerze noch relativ viele **Duftstoffteilchen** befinden.“

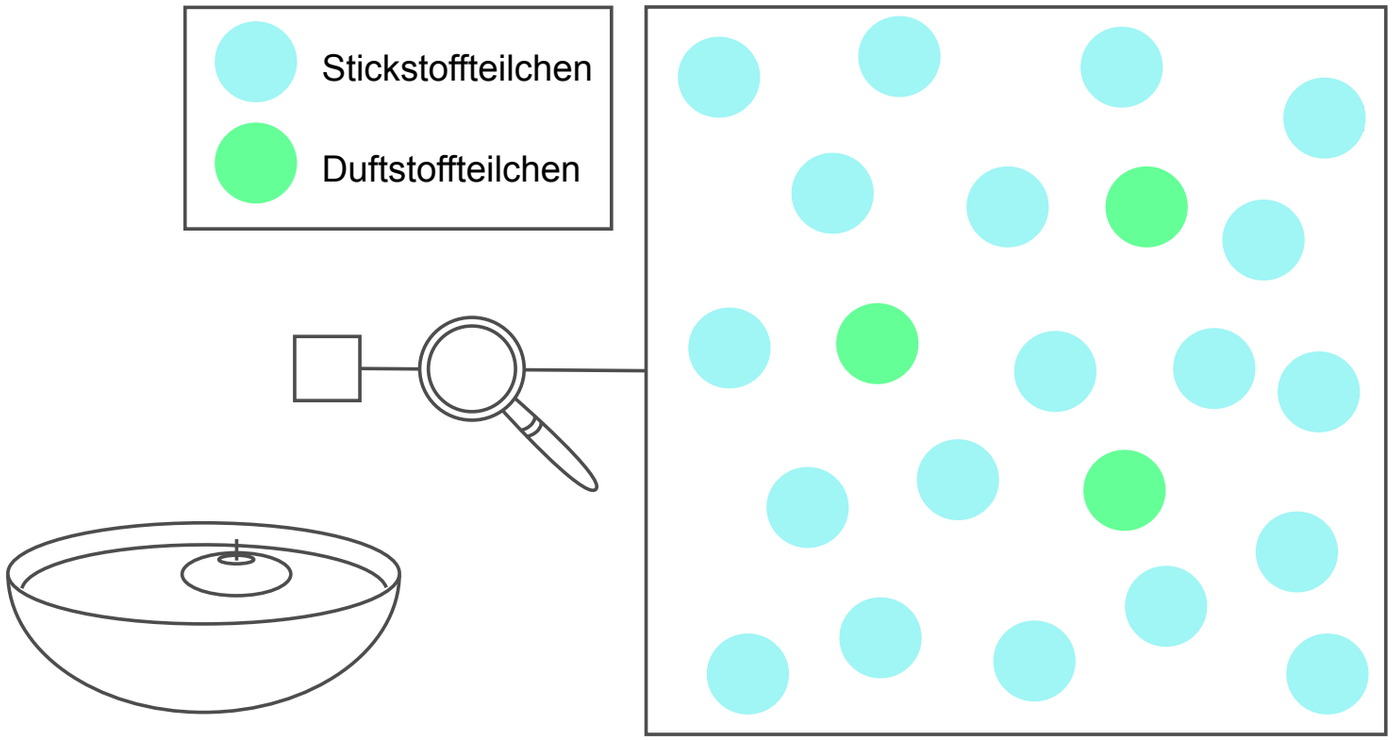


Bild 31: Verteilung der Duftstoffteilchen im Raum

„Drei Stück“, zählt Max.

„Genau“, bestätigt Sinan. „Wenn wir jetzt einen Ausschnitt betrachten, der weiter von der Duftkerze entfernt ist, stellen wir fest, dass sich dort weniger **Duftstoffteilchen** in der Luft befinden.“

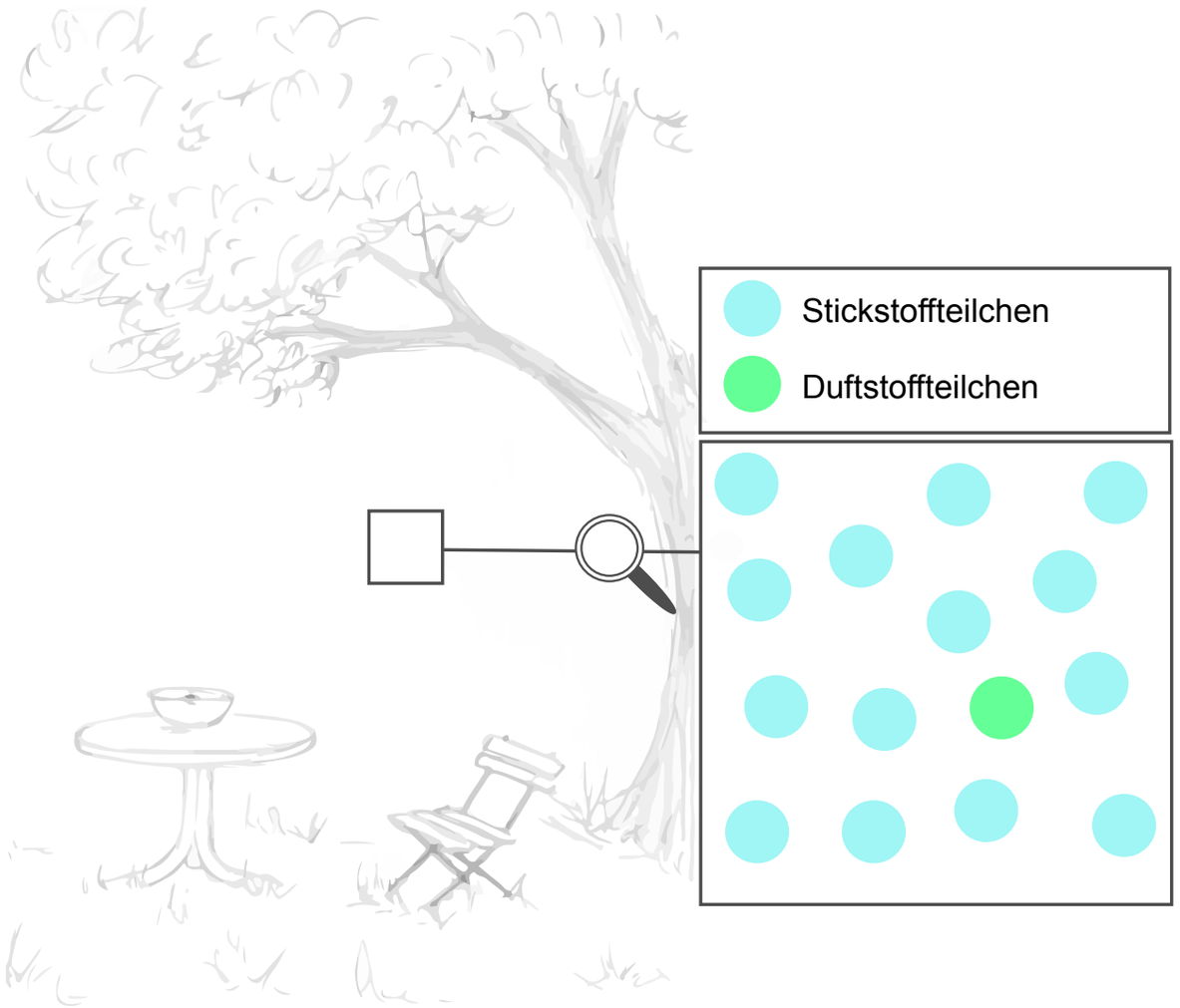


Bild 32: Verteilung der Duftstoffteilchen im Raum

„Eins“, zählt Max wieder.

„Und wenn wir noch weiter weg gehen, ist dann irgendwann kein Duftstoffteilchen mehr in der Luft?“, fragt Aylin.

„Wahrscheinlich. Aber selbst, wenn mal ein einzelnes Duftstoffteilchen in der Luft ist, wirst du es gar nicht bemerken, weil dein Geruchssinn dafür nicht gut genug ist“, erklärt Sinan.

Jetzt wissen Aylin, Lisa und Max schon eine ganze Menge über die Teilchen, aus denen alle Stoffe bestehen. Sie können erklären, wie sich der Geruch der Kerzen in dem Päckchen, in dem die Kerzen eingepackt waren, und in Max' Zimmer ausgebreitet hat und warum sie ihn wahrscheinlich morgen schon nicht mehr wahrnehmen können.

Sinan steht auf und lässt sich von Lisas und Max' Vater einige Würstchen auf den Teller legen, während Aylin, Lisa und Max noch einen Moment sitzen bleiben, die Duftkerze betrachten und über das nachdenken, was Sinan ihnen erklärt hat.

TESTE DEIN WISSEN

TEIL I: Diffusion

●○○○○

Erkläre die folgenden Begriffe kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:

1) Stoff

2) Teilchen

3) Teilchenmodell

4) Phänomene

5) Anziehungskraft

6) Teilchenbewegung

7) Teilchenverbund

8) Diffusion

TESTE DEIN WISSEN

TEIL I: Diffusion

1) **Stoff:**
chemischer Ausdruck für das Material, aus dem Gegenstände bestehen.

2) **Teilchen:**
Die kleinsten Bausteine, aus denen alle Stoffe aufgebaut sind. Teilchen sind so klein, dass man sie nicht sehen kann. In Abbildungen werden Teilchen häufig als Kugeln dargestellt.

3) **Teilchenmodell:**
Vorstellung, dass alle Stoffe aus kleinsten kugelförmigen Teilchen bestehen.

4) **Phänomene:**
Vorgänge, die man direkt wahrnehmen kann.

5) **Anziehungskraft:**
Kraft, die zwischen benachbarten Teilchen wirkt und diese Teilchen dadurch zusammenhält.

6) **Teilchenbewegung:**
Bewegung, die Teilchen von sich aus ohne äußeren Anstoß ununterbrochen durchführen.

7) **Teilchenverbund:**
Ansammlung vieler Teilchen, die durch Anziehungskräfte zusammengehalten wird.

8) **Diffusion:**
Ausbreitung der Teilchen im Raum und selbstständiges Vermischen der Teilchen verschiedener Stoffe auf Grund der Teilchenbewegung.

SUPER, DAS WAR
TEIL I

Zum nächsten Teil:

- **TEIL II:** Aggregatzustandsänderungen
- **TEIL III:** Elemente, Atome und Moleküle
- **TEIL IV:** Unvollständige Verbrennung als chemische Reaktion
- **TEIL V:** Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Testes kannst du die Annahme des Teilchenmodells wiederholen: Alle Stoffe bestehen aus Kugelteilchen, die sich gegenseitig anziehen und in einem Teilchenverbund anordnen. Gleichzeitig schwingen die Teilchen auf ihren Positionen im Teilchenverbund. Diese Teilchenbewegung kann, wenn sie stark genug ist, auch dafür sorgen, dass die Teilchen eines Stoffes sich selbstständig mit den Teilchen eines anderen Stoffes vermischen (Diffusion).

Außerdem lernst du, dass der Aggregatzustand eines Stoffes (fest, flüssig oder gasförmig) unter anderem von der Temperatur abhängig ist. Wenn ein Stoff fest ist, werden die Teilchen durch die gegenseitige Anziehung von ihren Nachbarn auf ihren Positionen gehalten und schwingen vor allen Dingen auf der Stelle. Wenn ein Stoff flüssig ist, werden die Teilchen durch die gegenseitige Anziehung im Teilchenverbund gehalten. Sie bewegen sich dann bereits so stark, dass sie keine festen Nachbarn mehr haben und entsprechend an keine festen Positionen gebunden sind. Wenn ein Stoff gasförmig ist, bewegen sich die Teilchen ungeordnet im Raum, weil die Bewegung der Teilchen zu stark ist und der Abstand zwischen den Teilchen zu groß wird, so dass die Anziehung zwischen einzelnen Teilchen nicht mehr wirken kann. Du lernst außerdem, dass Stoffe bei bestimmten Temperaturen ihren Aggregatzustand verändern. Am Schmelzpunkt werden feste Stoffe flüssig (schmelzen), am Siedepunkt werden flüssige Stoffe gasförmig (sieden). Genauso können gasförmige Stoffe flüssig werden (kondensieren) und flüssige Stoffe fest werden (erstarren).

Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.

Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.

Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.

Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.

Jetzt geht es los mit

TEIL II: Aggregatzustandsänderungen

Die Gartenparty von Lisas und Max' Familie ist auch in diesem Jahr ein großer Erfolg. Überall im Garten sitzen oder stehen die Partygäste zusammen und erzählen und lachen oder futtern sich durch das Buffet.

Auch Aylin, Lisa und Max sitzen an ihrem Tisch zusammen. Lisa und Aylin sind schon lange satt, aber Max verdrückt gerade sein fünftes Würstchen. Da er es in einer unappetitlich großen Mayo-Ketchup-Pfütze ertränkt hat, sieht Lisa lieber nicht so genau hin, sondern lässt ihren Blick durch den Garten schweifen. Dabei fällt ihr auf, dass sie die Duftkerzen noch nicht angezündet hat. Auch Max scheint es vergessen zu haben. Dabei war er doch ganz wild darauf, möglichst viele Kerzen selbst anzuzünden.

Während Lisa die Streichhölzer holt, um die Kerzen anzuzünden, schlingt Max den Rest des Würstchens hektisch herunter und, als er Lisa aus dem Haus kommen sieht, springt er so schnell auf, dass Aylin vor Schreck ihre Cola verschüttet. Nachdem er sich entschuldigt hat, quengelt und zappelt er solange, bis Lisa ihm die Streichhölzer gibt und er die erste Kerze anzünden darf. Natürlich beginnt er an ihrem eigenen Tisch. Danach gehen Lisa, Max und Aylin gemeinsam durch den Garten und zünden abwechselnd die Kerzen auf den Tischen an.

Nachdem alle Kerzen angezündet sind und diverse ältere Partygäste angemerkt haben, dass die drei aber ganz schön groß geworden sind, schlendern Aylin und Lisa zum Buffet, um Aylin eine neue Cola zu holen. Max löffelt sich währenddessen eine riesige Portion Nachtisch in ein viel zu kleines Glasschälchen. Als die drei sich danach wieder an ihren Tisch setzen, bemerkt Lisa sofort den Duft der Kerzen. Zuerst glaubt sie, dass sie jetzt mehr darauf achtet, weil sie sich heute so viel damit beschäftigt hat, aber dann sagt auch Aylin: „Riecht ihr das?“

Lisa nickt zustimmend; Max ist zu sehr mit seinem Nachtisch beschäftigt und blickt erst auf, als sie ihn beide erwartungsvoll ansehen. „Was ist?“, fragt er verwirrt.

„Riechst du was?“, fragt Aylin erneut.

Max schnuppert: „Es riecht nach den Kerzen“, sagt er dann und füllt den nächsten Löffel, „aber das ist doch schon die ganze Zeit so.“

„Aber vorhin war es nicht so stark“, beharrt Aylin. Max lässt seinen Löffel sinken und blickt wieder auf. „Als wir heute Mittag hergekommen sind, habe ich die Kerzen erst gerochen, als du mir das Päckchen direkt unter die Nase gehalten hast“, erläutert Aylin. „Aber jetzt habe ich die Kerze schon beim Näherkommen gerochen.“

Max legt den Löffel zur Seite und schnuppert wieder: „Du hast recht. Es riecht wirklich stärker nach den Kerzen.“

„Aber warum riechen die Kerzen jetzt stärker als vorhin?“, schaltet Lisa sich ein.

Die drei blicken sich fragend an. „Vielleicht hat es etwas damit zu tun, dass wir sie angezündet haben“, überlegt Aylin.

Lisa findet, dass das einleuchtend klingt, kann sich aber auch nicht so richtig erklären, warum das so sein sollte.

Beschreibe das Problem, das Lisa, Max und Aylin entdeckt haben, bevor du weiter liest.

Nachdem die drei eine Weile gegrübelt haben, sagt Aylin: „Ich geh' mal Sinan fragen" und sie läuft los, um ihren großen Bruder zu holen.

Kurze Zeit später kehrt Aylin mit Sinan im Schlepptau zum Tisch zurück. Er grinst, als er Lisa und Max gebannt auf die brennende Kerze starren sieht. „Na, ihr drei, habt ihr noch nicht genug gefragt für heute?"

„Du hast uns nicht genug erklärt!", antwortet Aylin vorwurfsvoll.

Und bevor Sinan sich setzen kann, ergänzt Lisa: „Es riecht jetzt mehr nach den Kerzen als vorher."

Auch Max hat seinen Nachtisch mittlerweile vergessen: „Warum riecht es stärker nach den Kerzen, wenn sie angezündet sind, Sinan?"

„Hmm, ihr erinnert euch doch noch an das, was ich euch über die Teilchen erzählt habe ... ", beginnt Sinan.

„Teilchen sind so wie ganz kleine Kugeln!“, unterbricht Max ihn.

„Jeder Stoff hat seine eigenen Kugelteilchen“, ergänzt Aylin. „Und in einem einzelnen Gegenstand kann es verschiedene Teilchensorten geben. In Duftkerzen sind zum Beispiel Duftstoffteilchen und Wachsteilchen.“

„Die halten sich gegenseitig fest“, sagt Lisa.

„Sie ziehen sich gegenseitig an“, verbessert Sinan sie.

„Und sie bewegen sich immer ein bisschen auf der Stelle“, fährt Lisa fort.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Und was muss passieren, damit wir den Duftstoff riechen können?“

„Die Duftstoffteilchen müssen sich aus der Kerze herausbewegen und durch die Luft weiterbewegen“, sagt Aylin.

„Das heißt **Diffusion**!“, wirft Max aufgeregt ein.

„Sehr gut“, lobt Sinan ihn. „Wenn sich genug Duftstoffteilchen aus dem Teilchenverbund lösen und sich danach frei im Raum bewegen, können wir den Duftstoff mit unserem Geruchssinn wahrnehmen“, erklärt Sinan und fügt mit einem Blick auf Max hinzu: „und das nennen Chemiker Diffusion.“

Max grinst stolz.

„Aber warum riecht man die Kerzen mehr, wenn sie angezündet sind?“, fragt Aylin wieder.

„Das hat auch etwas mit Diffusion zu tun, ist aber etwas schwieriger“, antwortet Sinan. „Lasst uns wieder beim einfachen Teelicht anfangen: Wir haben gesagt, dass Wachs aus Wachsteilchen besteht und diese dicht nebeneinander und übereinander liegen. Die einzelnen Wachsteilchen werden durch Anziehungskräfte zusammengehalten. Die Anziehungskräfte halten die Teilchen zwar auf einer Position, aber sie sitzen dort nicht richtig fest, sondern schwingen auf ihren Positionen immer ein bisschen hin und her.

Für die Anziehungskräfte hatten wir violette Pfeile gezeichnet. Die roten, geschwungenen Pfeile sollten andeuten, dass sich die Teilchen eigentlich in jede Richtung bewegen könnten, wenn die Anziehungskräfte sie nicht so fest auf einer Stelle hielten. Sie bewegen sich zwar immer hin und her, kommen aber nicht von der Stelle und sie schwingen eigentlich nur noch.

Damit das Bild übersichtlich bleibt, zeichne ich die **Anziehungskräfte** und **Schwingungen** nur für ein **Wachsteilchen** beispielhaft ein.

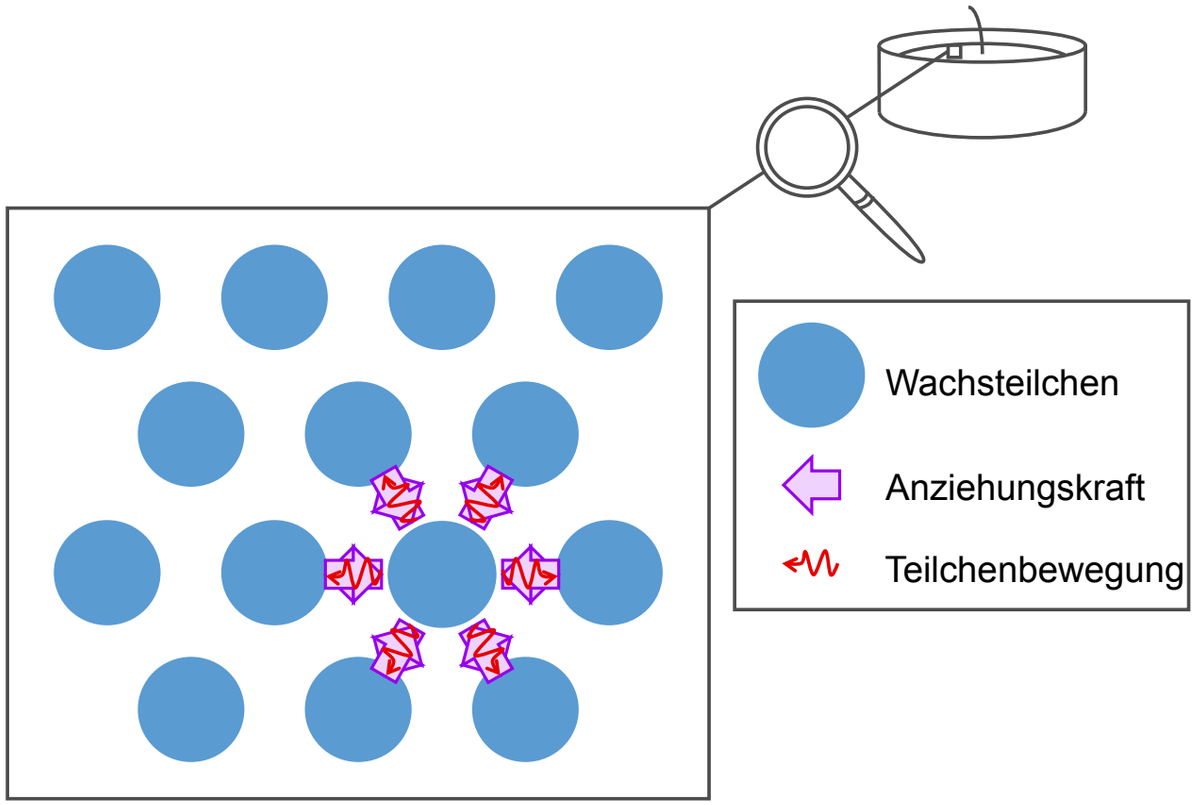


Bild 1: Wachs im Teilchenmodell

Diese Vorstellung gilt aber nur, wenn das Wachs **fest** ist“, schränkt Sinan ein. „Sobald ihr die Kerze anzündet, **schmilzt** das Wachs und es wird **flüssig**. Chemiker sagen: Der **Aggregatzustand** von Wachs ändert sich von fest nach flüssig.

Wenn ihr jetzt wieder an die Wachsteilchen denkt“, fährt Sinan fort, „könnt ihr euch vorstellen, dass die Teilchen im festen Zustand nur leicht auf ihrer Position schwingen – so als ob euer Handy vibriert.

Sobald es wärmer wird, schwingen die Teilchen stärker. Denn durch eine Erhöhung der Temperatur haben sie mehr Energie und können sich mehr bewegen. Das heißt, dass die Bewegungen der Teilchen in die verschiedenen Richtungen so stark werden, dass die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen sie nicht mehr so fest an einer Stelle halten können. Noch sind die Anziehungskräfte aber stark genug, dass die Teilchen sich nicht ganz voneinander entfernen können, also schwingen die Teilchen stärker auf der Stelle.

Die Schwingungen der Teilchen werden aber immerhin so stark, dass die Teilchen sich gegenseitig immer weiter auseinanderschieben können“, erklärt Sinan weiter. „Dadurch hat jedes Teilchen etwas mehr Platz zum Hin- und Herschwingen. Wenn ihr das Wachs noch weiter erwärmt, lösen sich irgendwann einzelne Teilchengruppen voneinander und der Abstand zwischen den einzelnen Teilchen wird noch größer. Irgendwann sind die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen dann nicht mehr stark genug, um die Teilchen auf ihren Positionen zu halten, dadurch können die Teilchen sich freier bewegen und ihre Positionen tauschen. Die Teilchen bilden dann keinen ordentlich gestapelten Teilchenverbund mehr“, erläutert Sinan, „sondern eher einen unordentlichen Haufen und bewegen sich alle durcheinander.

Den Punkt, an dem der Stoff so warm ist, dass die Ordnung der Teilchen zusammenbricht, nennt man **Schmelzpunkt**. Das Wachs ist dann nicht mehr fest, sondern flüssig.“

„Gibt es dann keine Anziehungskräfte mehr?“, fragt Aylin.

„Doch, die Anziehungskräfte gibt es dann immer noch, aber die Anziehungskräfte können nicht unendlich weit wirken, sondern nur über einen geringen Abstand.“

„Wie können die Anziehungskräfte denn noch da sein, aber nicht mehr wirken?“, fragt Max.

„Wenn wir uns vorstellen, wir hätten ein Glas mit Wachs, das wir langsam erwärmen, würde das etwa so aussehen:

Zuerst ist das Wachs noch fest: die Teilchen liegen geordnet im Teilchenverbund nebeneinander und schwingen relativ schwach auf ihrer Position. Ich zeichne die **Schwingung** und die **Anziehungskräfte** wieder nur für ein **Wachsteilchen** ein.

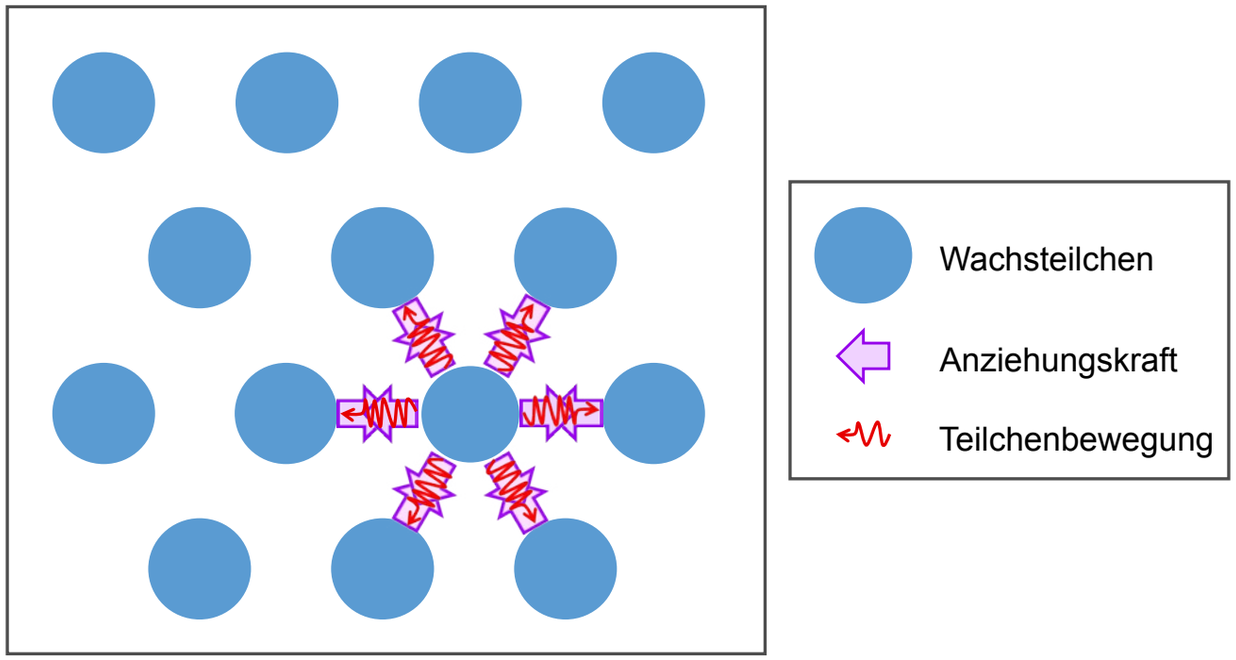


Bild 2: Teilchenmodell von Wachs bei Wärmezufuhr

Wenn wir den Stoff jetzt erwärmen, schwingen die Teilchen stärker und drängeln sich gegenseitig weiter auseinander. Daher zeichne ich die Teilchen jetzt schon etwas weiter auseinander. Trotzdem werden sie noch durch die gegenseitige Anziehung auf ihren Positionen im Teilchenverbund gehalten. Dass die Teilchen jetzt stärker **schwingen**, markiere ich mal dadurch, dass ich die roten Pfeile an unserem Beispielteilchen länger einzeichne.

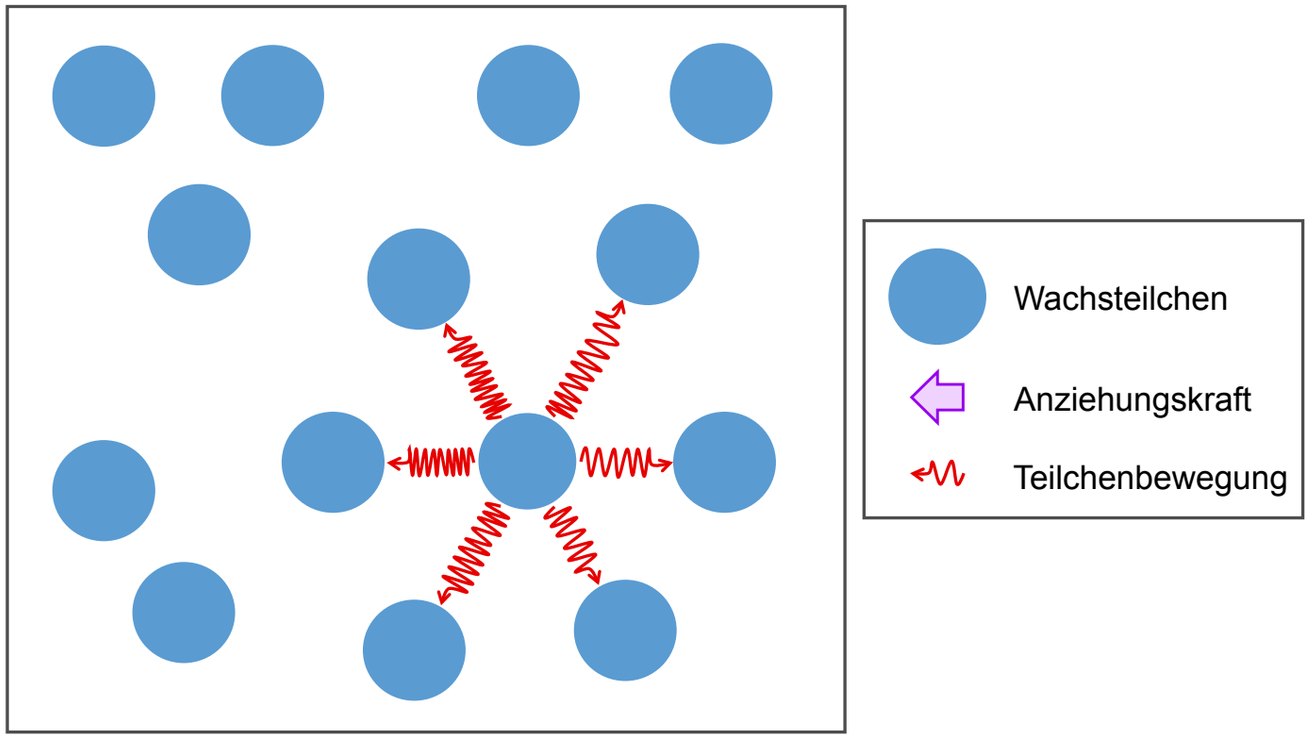


Bild 3: stärkere Teilchenbewegung bei Wärmezufuhr

Die **Anziehungskräfte** verändern sich durch die Wärme nicht, daher zeichne ich den violetten Pfeil wieder gleich lang ein. Aber weil die Teilchen sich weiter auseinander drängeln, überlappen die violetten Pfeile jetzt weniger miteinander. Daher wird der Zusammenhalt der **Wachsteilchen** schwächer.

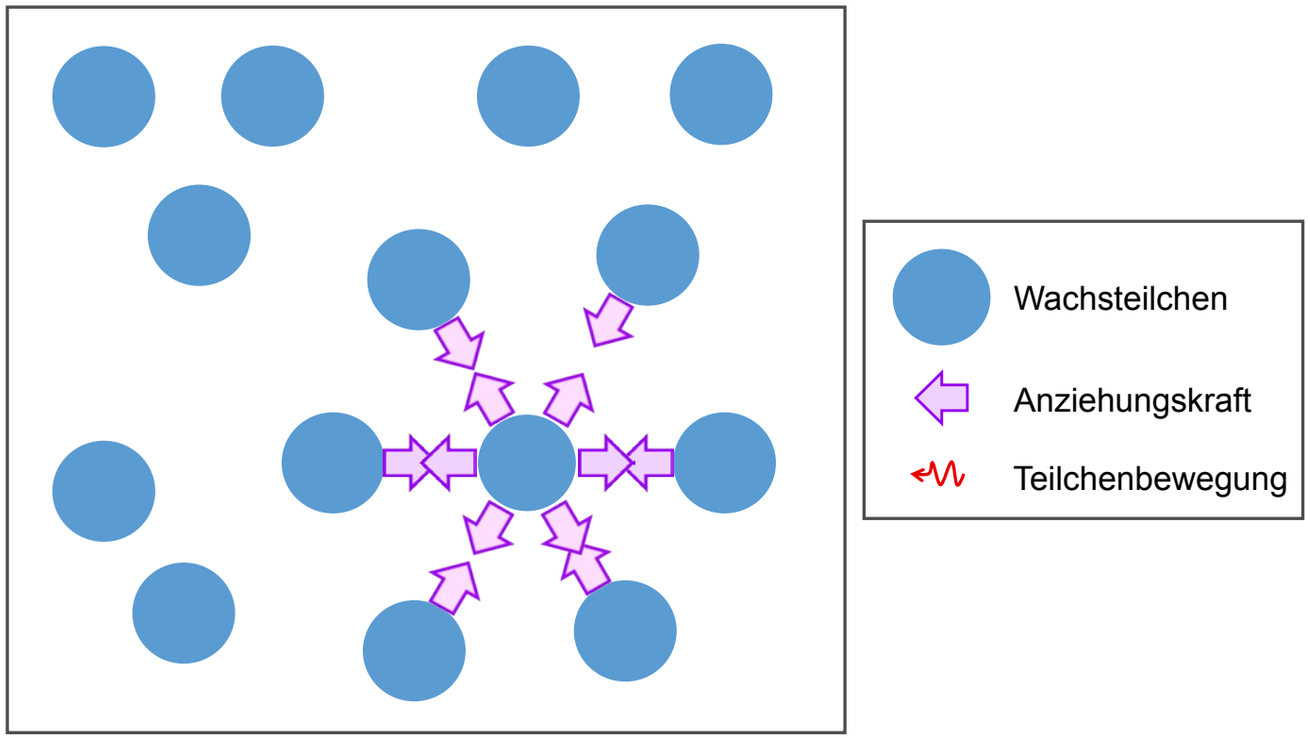


Bild 4: geringere Überlappung der Anziehungskräfte bei Wärmezufuhr

Wenn wir das Wachs noch weiter erwärmen, schwingen die **Teilchen** irgendwann so stark, dass ihre Anziehungskräfte nicht mehr stark genug sind, um sie auf ihren Positionen zu halten“, fährt Sinan fort. „Trotzdem sind die **Anziehungskräfte** dann nicht weg. Sie sind nur zu schwach, um den immer stärkeren Schwingungen der Teilchen entgegenzuwirken und die Ordnung im Teilchenverbund aufrechtzuerhalten. Daher zeichne ich die violetten Pfeile weiterhin ein, auch wenn sie an einigen Stellen schon nicht mehr überlappen können, weil die **Bewegung** schon so viel stärker geworden ist.

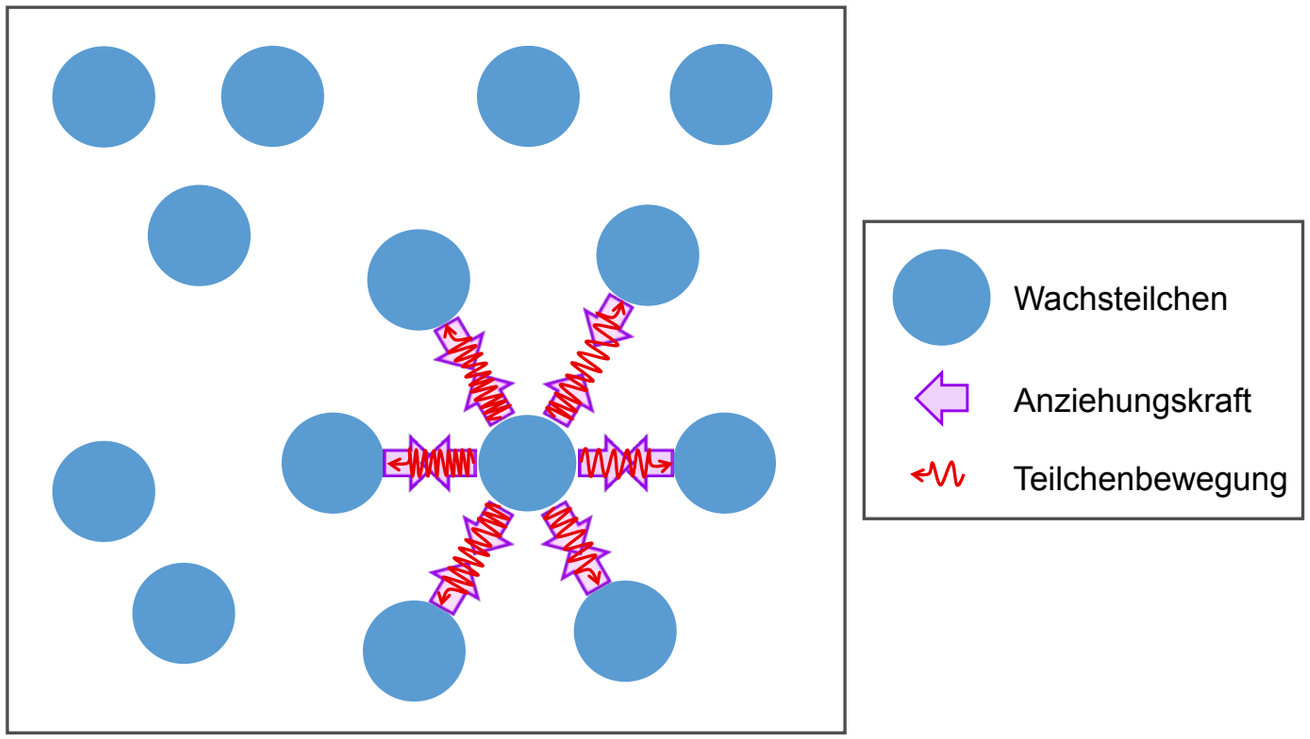


Bild 5: Teilchenverbund bei Wärmezufuhr

Die Anziehung zwischen den Teilchen und die Bewegung liegen immer beide gleichzeitig vor; aber sie sind unterschiedlich stark ausgeprägt“, betont Sinan. „Im festen Zustand ist die Anziehung zwischen den Teilchen stärker als ihre Bewegung, dann zeichnen wir deutlich überlappende violette Pfeile. Die Teilchen nehmen ziemlich genau festgelegte Positionen ein und schwingen eigentlich nur ein wenig auf der Stelle.

In Flüssigkeiten ist die Schwingung der Teilchen schon ein wenig stärker als die gegenseitige Anziehung“, fährt Sinan fort. „Die Teilchen liegen zwar immer noch genügend dicht beisammen, dass sie durch die gegenseitige **Anziehung** zusammengehalten werden, aber sie haben keine festen Positionen und keine festen Nachbarn mehr. Das kennzeichnen wir durch eine geringere Überlappung der Pfeile. Die **Teilchen** können sich chaotisch durcheinander bewegen.

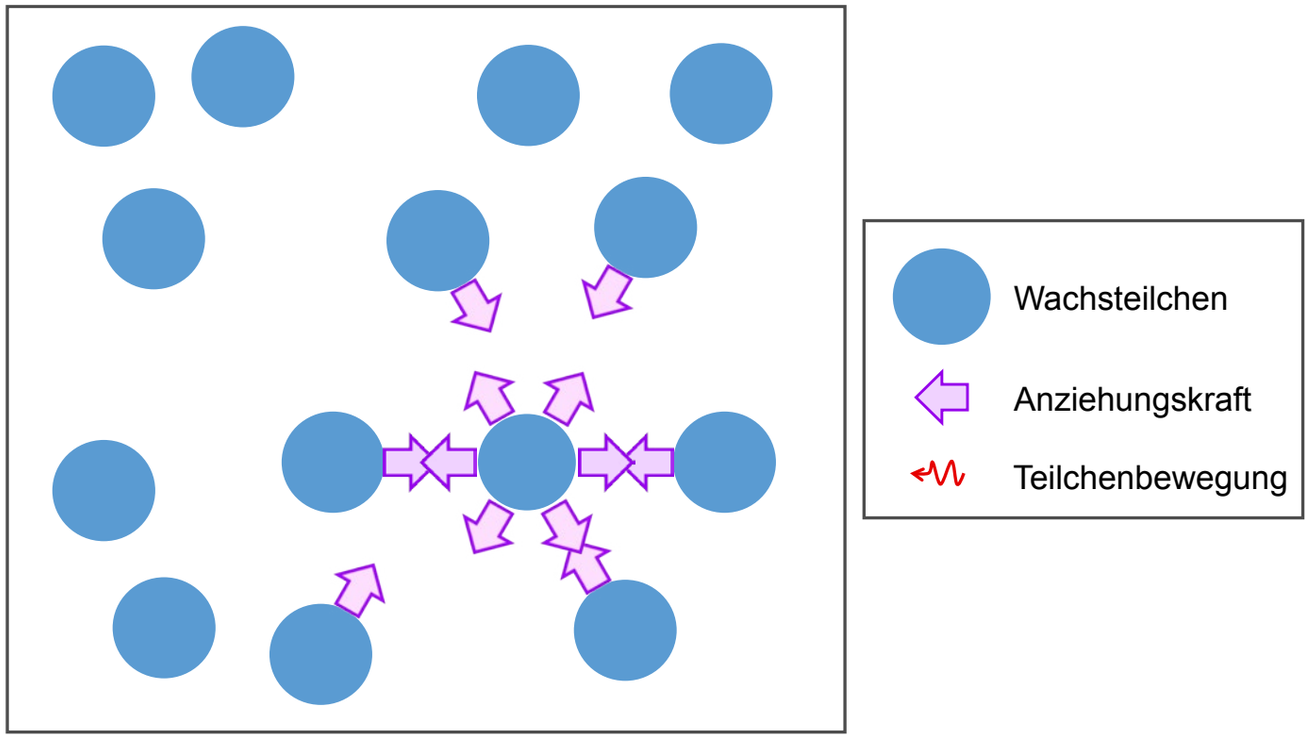


Bild 6: Auflösen der Ordnung im Teilchenverbund bei Wärmezufuhr

So könnt Ihr Euch auch erklären, wieso eine Flüssigkeit keine eigene Form hat“, erklärt Sinan. „Denn die Teilchen selbst haben ja keine feste Position mehr, sondern sind leicht gegeneinander beweglich.

Versucht mal, die Teilchen in einer Flüssigkeit aufzuzeichnen.“

Stelle, mithilfe einer Zeichnung, flüssiges Wachs im Teilchenmodell dar und zeichne für ein Teilchen Anziehungskräfte und Teilchenbewegung ein, bevor du weiter liest.

Auch dieses Mal ist Lisa wieder zuerst mit ihrer Zeichnung fertig. Sinan nickt anerkennend, als Lisa ihm die Zeichnung zeigt:

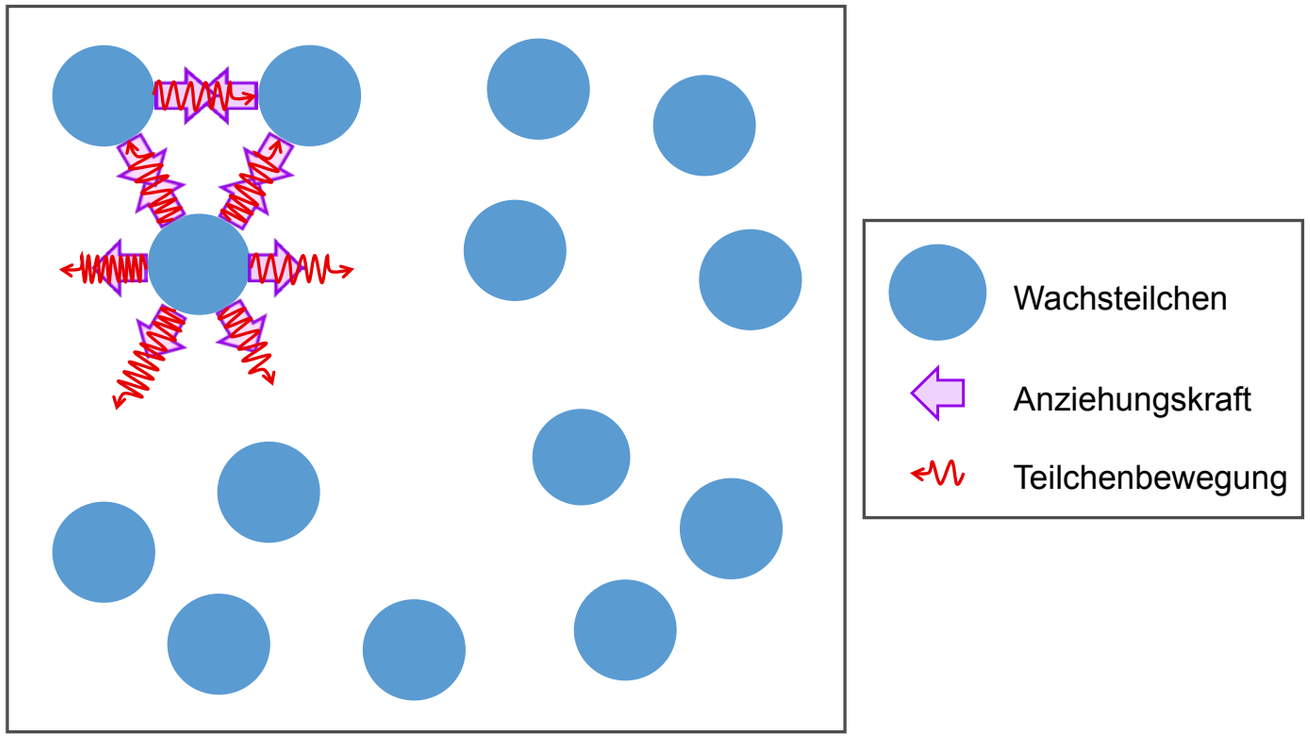


Bild 7: Teilchenmodell von flüssigem Wachs (Lisa)

„Sehr gut“, bestätigt Sinan.

Auch Max ist mit seiner Zeichnung fertig und hält sie Sinan erwartungsvoll hin.

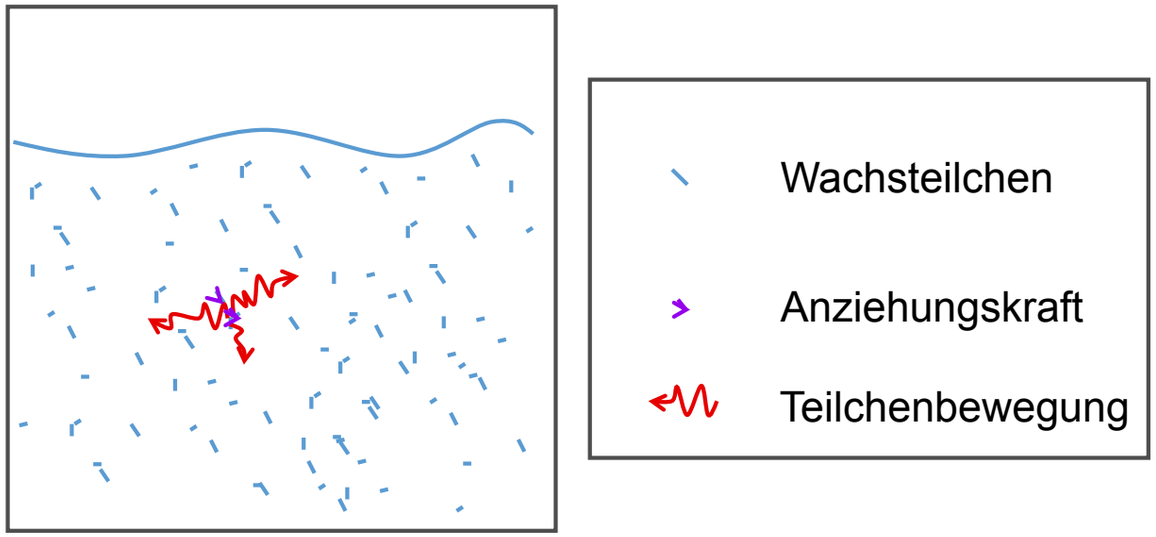


Bild 8: Teilchenmodell von flüssigem Wachs (Max)

Sinan schüttelt den Kopf: „Max, wir hatten doch gesagt, dass wir die Teilchen immer als kleine Kugeln und nicht als Pünktchen zeichnen wollen, damit man sie besser erkennen kann."

„Ach ja.", erinnert sich Max.

„Außerdem zeichnet man bei Flüssigkeiten nicht so eine Wellenlinie über die Teilchen. Jedenfalls nicht, wenn ihr im Teilchenmodell zeichnet. Denn die Linie soll ja die Oberfläche der Flüssigkeit darstellen. Aber die besteht selbst aus Teilchen – genau wie der Rest der Flüssigkeit auch."

„Stimmt!", ruft Max und beginnt seine Zeichnung zu korrigieren.

Sinan betrachtet in der Zwischenzeit Aylins Zeichnung:

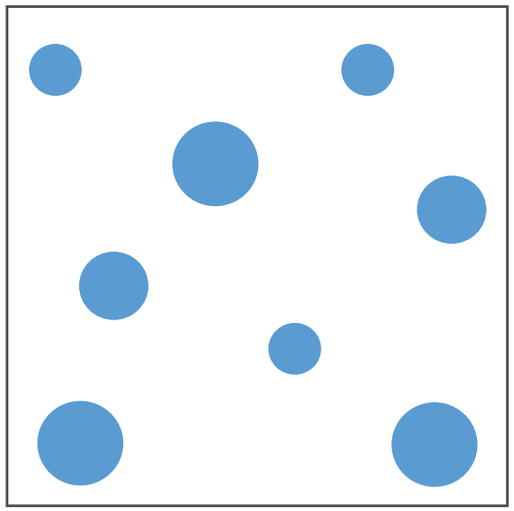


Bild 9: Teilchenmodell von flüssigem Wachs (Aylin)

„Bei dir sind die Teilchen leider etwas zu weit auseinander. In der Flüssigkeit haben sie zwar etwas mehr Platz als im festen Zustand, aber das ist etwas zu viel. In deiner Zeichnung wird ja kein Teilchen mehr von einem anderen Teilchen angezogen. Dann würden die Teilchen aber nicht als Teilchenverbund – den wir als Flüssigkeit sehen können – zusammenbleiben, sondern sich als Gas im Raum verteilen. Du solltest daher immer einige Teilchen etwas dichter zusammenzeichnen, wenn du eine Flüssigkeit darstellen möchtest.

Außerdem solltest du darauf achten, dass die Teilchen etwa gleich groß sind, weil ja alle dieselbe Art von Wachsteilchen darstellen sollen. Wenn du die Teilchen unterschiedlich darstellst, kann man schnell auf die Idee kommen, dass es auch wirklich unterschiedliche Arten von Teilchen sein sollen; besonders wenn die Beschriftung fehlt“, korrigiert Sinan.

Auch Aylin verbessert ihre Zeichnung, während Max seine verbesserte Zeichnung überprüft: „Ich hab aus allen Pünktchen Kugeln gemacht und am Rand steht, dass die Kugeln Wachsteilchen sein sollen.“

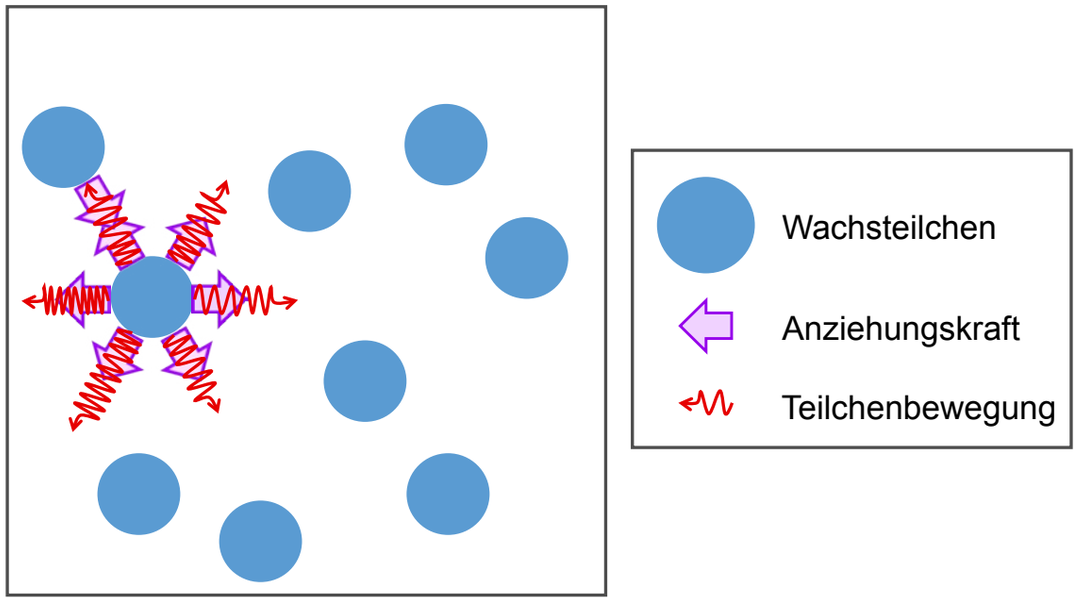


Bild 10: Teilchenmodell von flüssigem Wachs (Max) (verbessert)

Überprüfe deine eigene Zeichnung und korrigiere sie, wenn es nötig ist. Erläutere, falls es erforderlich ist, warum deine eigene Zeichnung falsch war, bevor du weiter liest.

Sinan nickt zustimmend und betrachtet dann Aylins verbesserte Zeichnung:

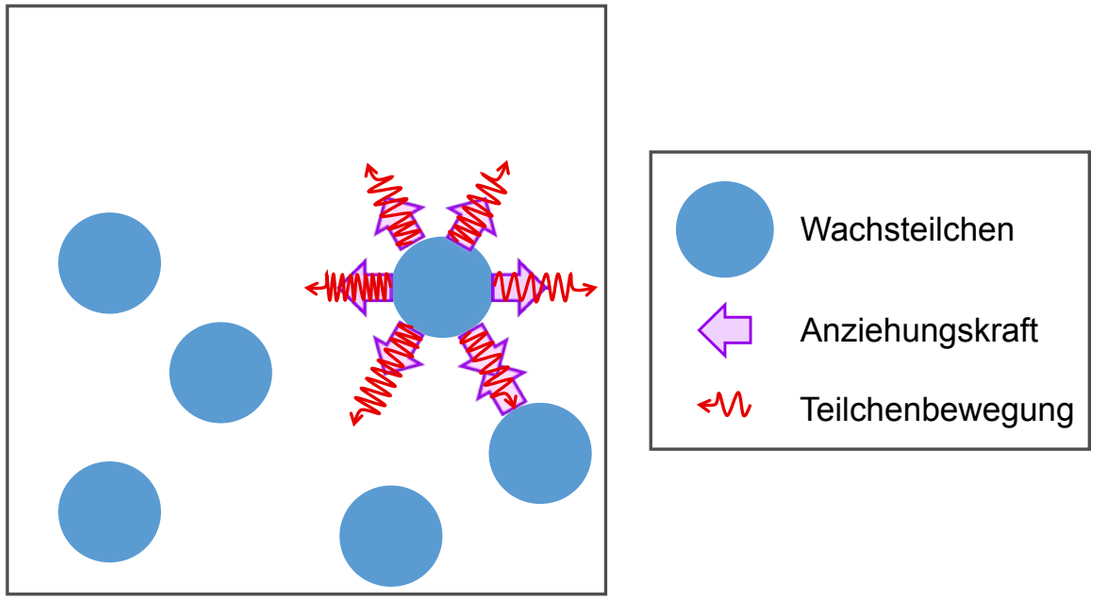


Bild 11: Teilchenmodell von flüssigem Wachs (Aylin) (verbessert)

„Jetzt ist es besser“, stellt er fest, „Zwischen den Teilchen ist etwas mehr Platz als im festen Zustand, aber auch nicht zu viel. Die Zeichnung ist beschriftet und die Teilchen sind gleich groß.“

Max versucht inzwischen alles, was Sinan erklärt hat, noch mal zusammenzufassen: „Durch die Wärme bewegen die Teilchen sich also stärker und werden flüssig?“, fragt er nach.

Entscheide, ob du der Aussage von Max zustimmst und begründe deine Einschätzung, bevor du weiter liest.

„Durch die Wärme bewegen sich die Teilchen stärker und *das Wachs* schmilzt. Die Teilchen bleiben wie sie sind!“, verbessert Sinan ihn.

„Wie meinst du das, dass die Teilchen gleich bleiben?“, fragt jetzt auch Lisa nach.

„Die Teilchen selbst verändern sich nicht, wenn wir Wärme zuführen. Sie selbst bleiben immer gleich, nur ihre Bewegung wird stärker und dadurch wird der Stoff flüssig“, erklärt Sinan erneut. „Ein Teilchen kann nicht schmelzen und wird auch nicht flüssig. Das einzelne Teilchen bleibt immer gleich. Nur der Teilchenverbund kann sich verändern und dadurch schmilzt der Stoff, den wir sehen können, und wird flüssig.“

„Hmhm“, macht Lisa und sieht unzufrieden aus. Die Vorstellung, dass die einzelnen Wachsteilchen so bleiben, wie sie sind, und das Wachs trotzdem flüssig wird, findet sie merkwürdig.

„Wir haben ja schon gesagt, dass flüssiges Wachs sich anders verhält als festes Wachs“, fährt Sinan fort.

„Flüssiges Wachs verläuft, wenn man es ausschüttet“, sagt Aylin.

„Genau“, bestätigt Sinan, „Flüssiges Wachs hat – wie alle Flüssigkeiten – keine eigene, feste Form, sondern passt sich dem Gefäß an, in dem es sich befindet.“

„Deswegen kann man auch Tannenbaumanhänger aus Wachs mithilfe von Plätzchenformen machen“, unterbricht Lisa ihn.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Wenn wir das flüssige Wachs in ein Glas schütten, wird es in der Form des Glases erstarren, und wenn wir es in Plätzchenformen erkalten lassen, erhalten wir Wachs in Plätzchenform. Festes Wachs kann das nicht. Wenn ihr festes Wachs in Sternchenform oder Tannenbaumform bringen wolltet, müsstet ihr es mit einem Messer zurecht schneiden. Flüssiges Wachs dagegen füllt jede Form aus, in die ihr es eingießt, und behält diese Form auch, wenn es wieder fest wird.“

„Werden die Teilchen dann wieder ordentlicher?“, fragt Max.

„Naja“, antwortet Sinan. „Ein einzelnes Teilchen ist ja nicht ordentlich oder unordentlich … Aber wenn Wachs abkühlt, bewegen sich die Teilchen wieder weniger stark. Wenn die Teilchen sich nicht mehr so stark bewegen, gewinnt die Anziehung zwischen den einzelnen Teilchen wieder an Bedeutung. Dadurch wird die Bewegung der Teilchen weiter eingeschränkt. Sie rücken wieder näher aneinander, bis sie schließlich wieder von festen Nachbarn im Teilchenverbund auf einer Position gehalten werden und nur noch ein bisschen hin und her schwingen können. Im Teilchenverbund liegen die Teilchen dadurch geordneter vor als vorher.

Man sagt die Flüssigkeit **erstarrt**, wenn sie ihren Aggregatzustand von flüssig nach fest ändert.“

„Heißt die Temperatur, bei der die Teilchen wieder langsamer werden, dann Erstarrpunkt?“, fragt Lisa.

„Könnte man denken“, antwortet Sinan. „Wenn das so wäre, hieße es allerdings Erstarrungspunkt. Aber, meist spricht man auch hier vom **Schmelzpunkt**: Oberhalb des Schmelzpunktes ist ein Stoff flüssig und darunter erstarrt er und wird fest. Man ändert eigentlich nur die Richtung, aus der man auf den Wechsel des Aggregatzustand schaut – der Punkt ist aber derselbe.“

„Und was ist mit den Duftstoffteilchen?“ fragt Aylin.

„Bei den Duftstoffteilchen ist es genauso wie bei den Wachsteilchen“, erklärt Sinan. „Durch ihre spezielle Anordnung zueinander und ihre gegenseitigen Anziehungskräfte verleihen sie dem Duftstoff einen eigenen Schmelzpunkt. Oberhalb dieser Temperatur ist der Duftstoff flüssig, unterhalb dieser Temperatur fest.

Jeder Stoff hat einen für ihn typischen Schmelzpunkt“, fährt Sinan fort. „Manchmal nutzt man das, wenn man einen unbekannten Stoff identifizieren will.

Aber bevor ihr euch genauer mit dem Duftstoff beschäftigt, müsst ihr erst noch etwas mehr über die Aggregatzustände erfahren.

Wenn ihr flüssiges Wachs noch weiter erhitzt, bewegen sich die Teilchen immer stärker hin und her“, erläutert Sinan. „Und wenn ihr die Flüssigkeit weit genug erhitzt, erreicht ihr den **Siedepunkt** der Flüssigkeit. Genau wie am Schmelzpunkt ändert sich auch am Siedepunkt der Aggregatzustand des Stoffes. Das flüssige Wachs wird am Siedepunkt **gasförmig**.“

„Geht der Stoff dann weg in die Luft?!“, fragt Max.

„Ja genau“, bestätigt Sinan und fährt dann fort: „Durch Erhitzen wird in der Flüssigkeit die **Teilchenbewegung** immer stärker. Dadurch, dass sich die Teilchen bei weiterem Erhitzen immer stärker bewegen, können sie häufiger miteinander zusammenstoßen. Dies führt dazu, dass die Teilchen sich mit der Zeit immer weiter voneinander entfernen. Wenn der Abstand zwischen den Teilchen zu groß wird, können die gegenseitigen Anziehungskräfte nicht mehr auf sie wirken, da diese ja nur über eine geringe Distanz wirken. Ein **Wachsteilchen**, das schließlich überhaupt nicht mehr von den **Anziehungskräften** seiner Nachbarteilchen zurückgehalten wird, kann den Teilchenverbund verlassen und sich zusammen mit den **Stickstoffteilchen** der Luft im Raum bewegen.

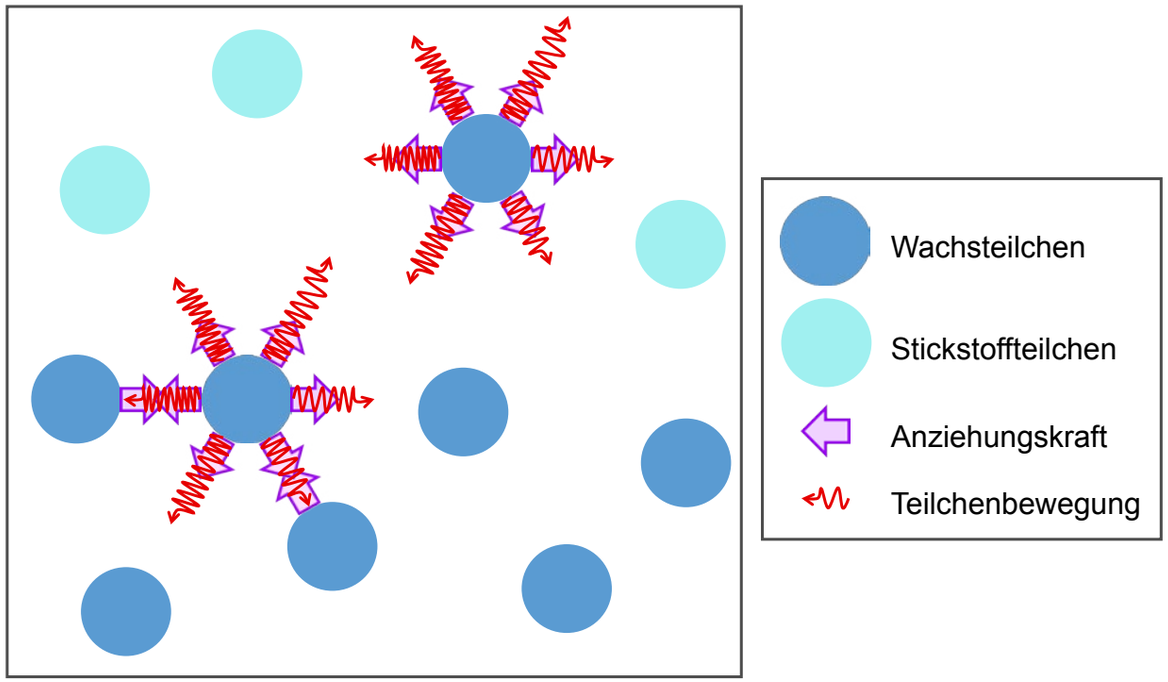


Bild 12: Leicht siedende Flüssigkeit im Teilchenmodell

Zuerst geschieht dies nur bei einzelnen Wachsteilchen“, erklärt Sinan. „Aber bei weiterem Erhitzen können immer mehr Wachsteilchen den Verbund verlassen. Der Teilchenverbund verliert sozusagen seinen Zusammenhalt und die **Wachsteilchen** können aus dem Verbund ausbrechen und sich im Raum zwischen den **Stickstoffteilchen** verteilen.

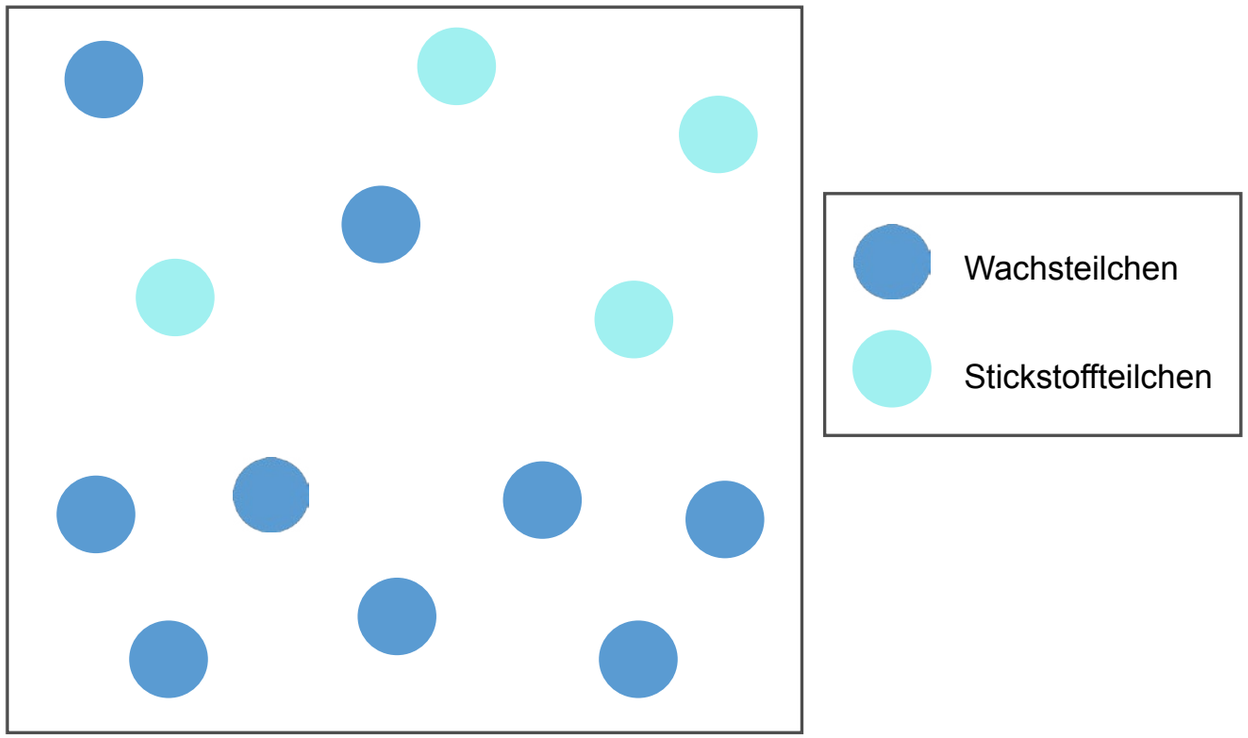


Bild 13: Siedendes Wachs im Teilchenmodell

Eine Flüssigkeit, die so weit erhitzt wird, dass sie ihren Aggregatzustand von flüssig nach gasförmig verändert, **siedet**.“, erklärt Sinan.

Ein Teilchen, das nicht mehr in einem Teilchenverbund angezogen wird, kann sich ungehindert bewegen“, fährt Sinan fort. „Es wird nur noch durch Zusammenstöße mit anderen Teilchen, wie zum Beispiel den Stickstoffteilchen in der Luft, abgelenkt, so dass sich seine Bewegungsrichtung ändern kann.“

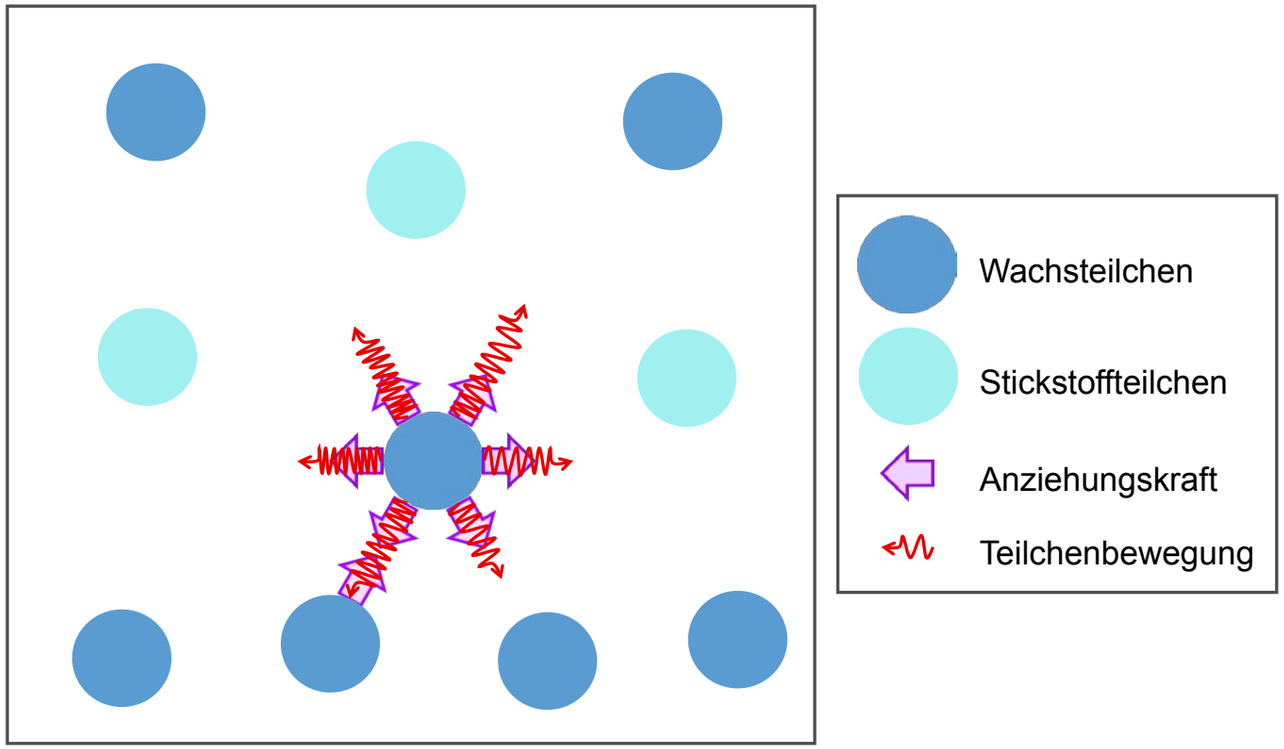


Bild 14: Stark siedende Flüssigkeit im Teilchenmodell

„Ist das mit dem Sieden so, wie bei den Teilchen aus der Duftkerze, deren Geruch sich zuerst in der Schachtel und dann im ganzen Zimmer ausgebreitet hat?“, fragt Aylin.

„Genau. Versucht mal die Wachsteilchen im gasförmigen Aggregatzustand aufzuzeichnen“, fordert Sinan sie auf.

Stelle mithilfe einer Zeichnung die Teilchen in gasförmigem Wachs dar, bevor du weiter liest.

Auch dieses Mal ist Lisa wieder als erste fertig.

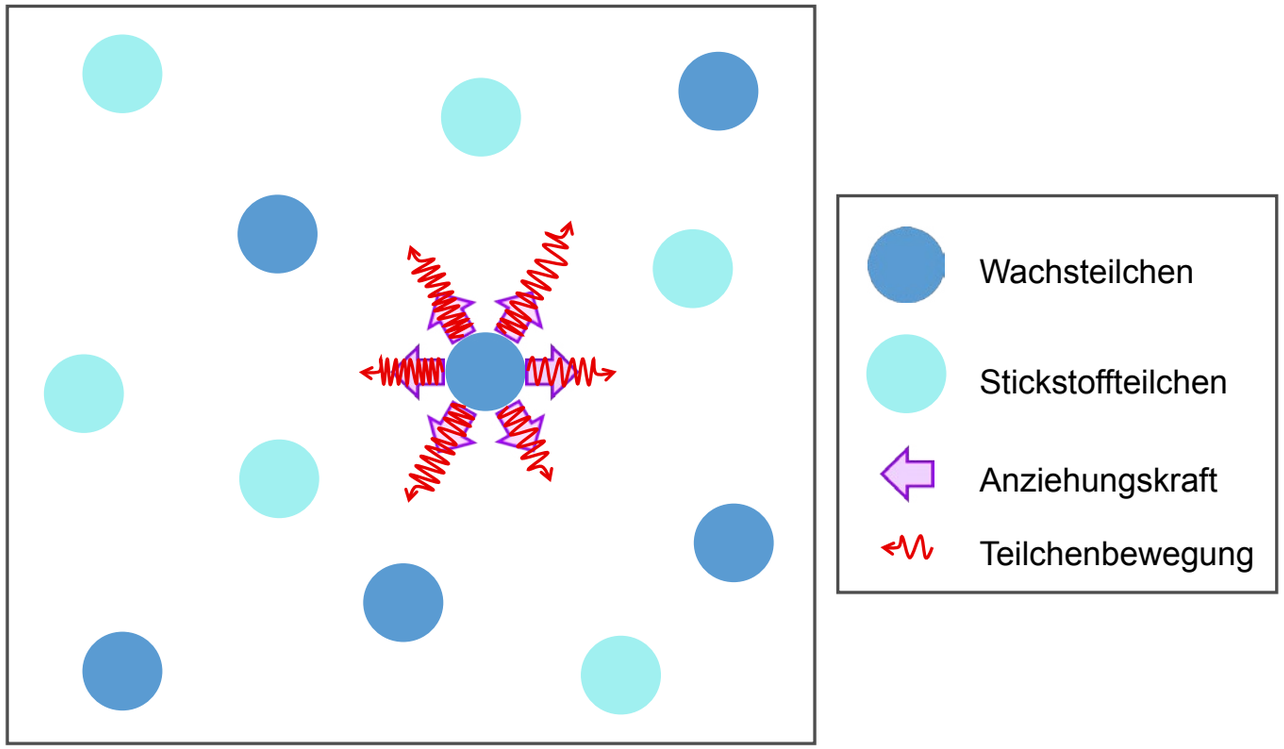


Bild 15: Teilchenmodell von gasförmigem Wachs (Lisa)

Sinan nickt zustimmend, als er ihre Zeichnung sieht. „Sehr gut, Lisa."

Lisa strahlt und blickt stolz auf das Blatt, während Sinan ihre Zeichnung lobt. „Du hast gleich große Kugeln für die Teilchen gezeichnet, sie sind nicht zu dicht aneinander und deine Zeichnung ist beschriftet."

Überprüfe, ob Sinans Beschreibung auch auf deine Zeichnung zutrifft. Korrigiere deine eigene Zeichnung, falls es notwendig ist, und erläutere, warum deine Zeichnung falsch war, bevor du weiter liest.

„Genau wie beim Schmelzen und Erstarren gibt es auch einen zum Sieden umgekehrten Vorgang“, erklärt Sinan weiter. „Wisst ihr, wie es heißt, wenn ein Gas wieder flüssig wird?“

Die drei blicken sich ratlos an und grübeln einen Moment.

„Ah, ich glaube, ich weiß es!“, ruft Lisa plötzlich: „Kondensieren.“

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Wenn ein Gas flüssig wird, nennt man das kondensieren.“

„Gibt es dann auch einen Kondenspunkt?“ fragt Lisa nach.

„Man kann den Siedepunkt auch Kondensationspunkt nennen, aber meist nennt man ihn Siedepunkt.

Überlegt mal, was mit den Teilchen passieren muss, damit ein Gas wieder zur Flüssigkeit wird."

„Die Teilchen müssen wieder dichter zusammen kommen", schlägt Aylin vor.

„Sie müssen so dicht zusammen kommen, dass sie sich wieder mit ihren Anziehungskräften ein wenig gegenseitig anziehen können", ergänzt Max.

„Genau“, bestätigt Sinan. „Wenn das Gas sich abkühlt, bewegen die Teilchen sich nicht mehr so stark. Dann kann es passieren, dass zwei Teilchen sich so nah kommen, dass sie wieder voneinander angezogen werden und zusammen bleiben.

Das kann auch passieren, wenn sie zufällig zusammenstoßen: Sie bewegen sich einfach nicht mehr stark genug, um sich wieder voneinander loszureißen.

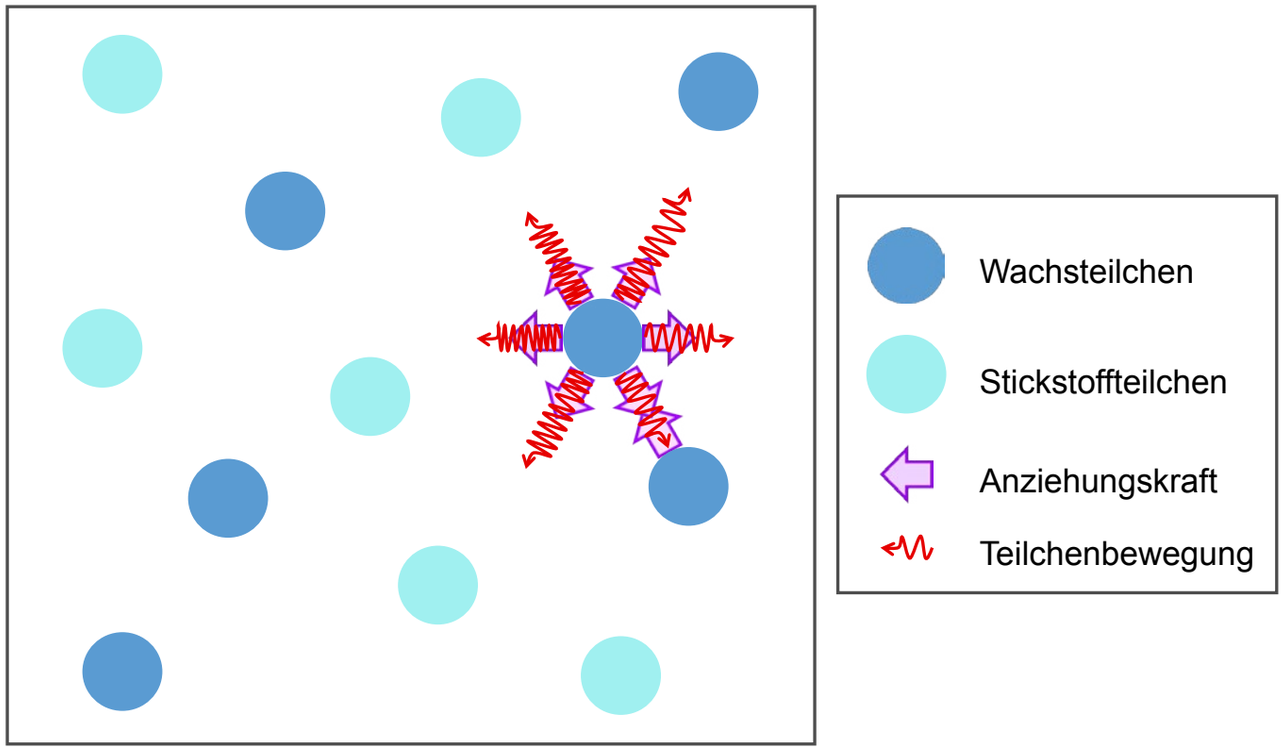


Bild 16: Teilchenmodell von kondensierendem Wachs

Irgendwann kommen diese beiden Teilchen dann wiederum nah genug an ein drittes Teilchen und auch das wird von ihnen angezogen. Und das geht immer so weiter, so dass sich mit der Zeit kleine Tropfen bilden. Versucht mal das Zusammentreffen mit einem dritten Teilchen selbst einzuzeichnen."

Stelle mithilfe einer Zeichnung den Zusammenstoß der beiden Wachsteilchen mit einem dritten Wachsteilchen dar, bevor du weiter liest.

Aylin greift nach den Stiften und zeichnet. Max und Lisa sehen zu.

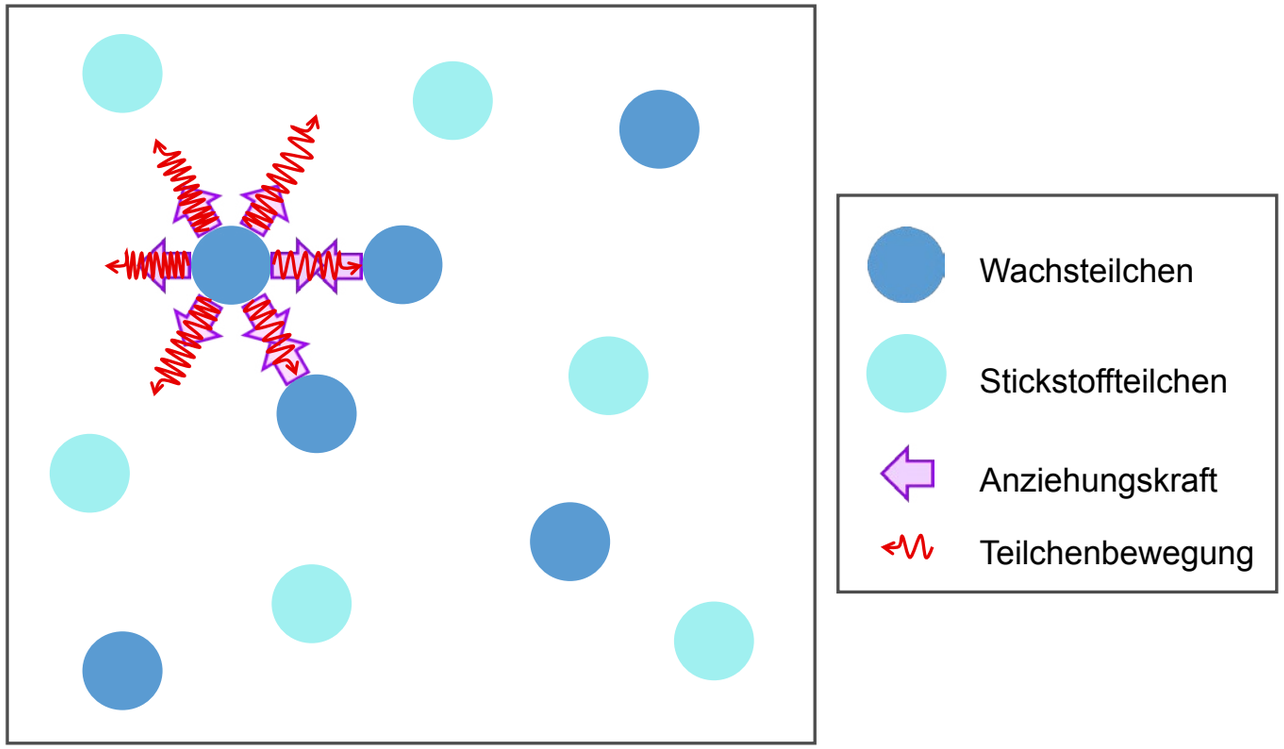


Bild 17: Teilchenmodell von kondensierendem Wachs

Sinan nickt anerkennend: „Sehr gut, Aylin.“

„Die Teilchen können ja ganz schön viel“, stellt Lisa fest, „Ich glaube, das kann ich mir nicht alles merken.“

„Ich schon“, gibt Max an. Lisa wirft ihm einen bösen Blick zu.

„Es ist eigentlich gar nicht so viel“, mischt Sinan sich ein, bevor die beiden sich streiten können. „Damit man alle Informationen zusammen hat, nutzt man häufig eine Übersicht, in der alle Aggregatzustände und Aggregatzustandsänderungen dargestellt sind. Ich zeichne euch hier mal so eine Übersicht auf: Am Rand haben wir die Temperatur, die von unten nach oben zunimmt, das heißt unten stehen die eher niedrigen Temperaturen und oben die eher hohen. Dafür steht dieser lange Pfeil. Neben die Temperatur zeichne ich jetzt drei Kästchen, in die ihr dann gleich die Teilchen in den drei Aggregatzuständen einzeichnen könnt. Zwischen den Kästchen liegen die Punkte, an denen ein Stoff seinen Aggregatzustand ändert. Ich zeichne zusätzlich zwischen die Kästchen jeweils zwei Pfeile ein für die Aggregatzustandsänderung, da die Änderung ja in beide Richtungen ablaufen kann. So, versucht mal, alles, was ihr bis jetzt über die Aggregatzustände wisst, hier einzutragen.“

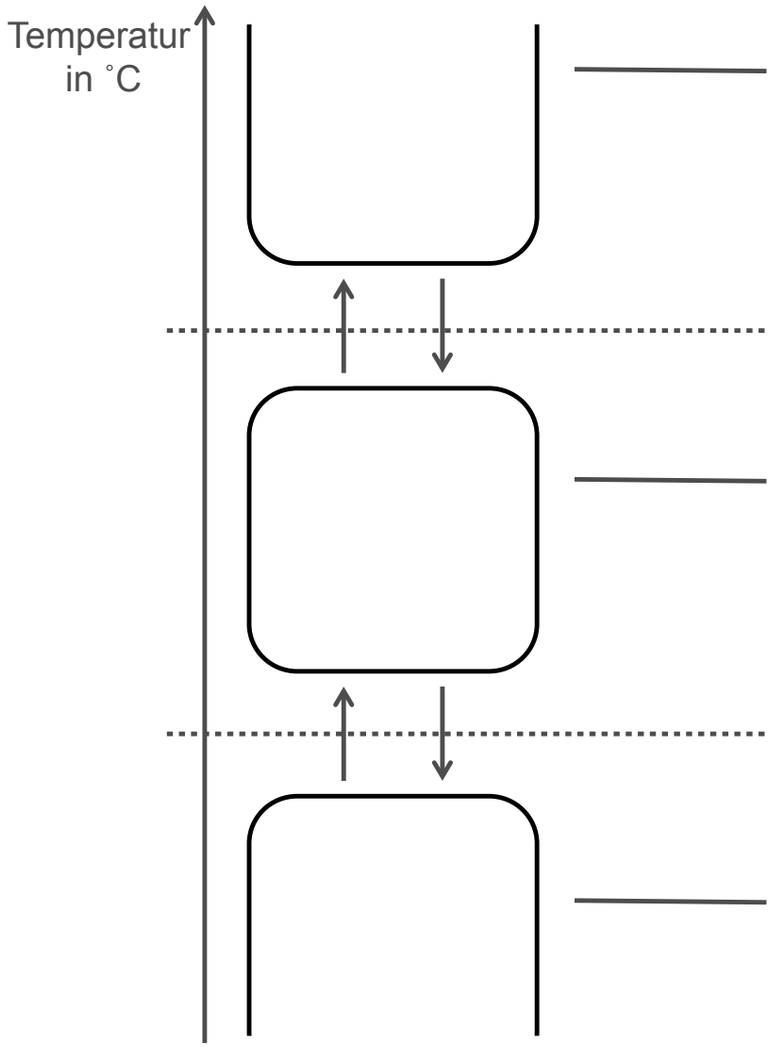
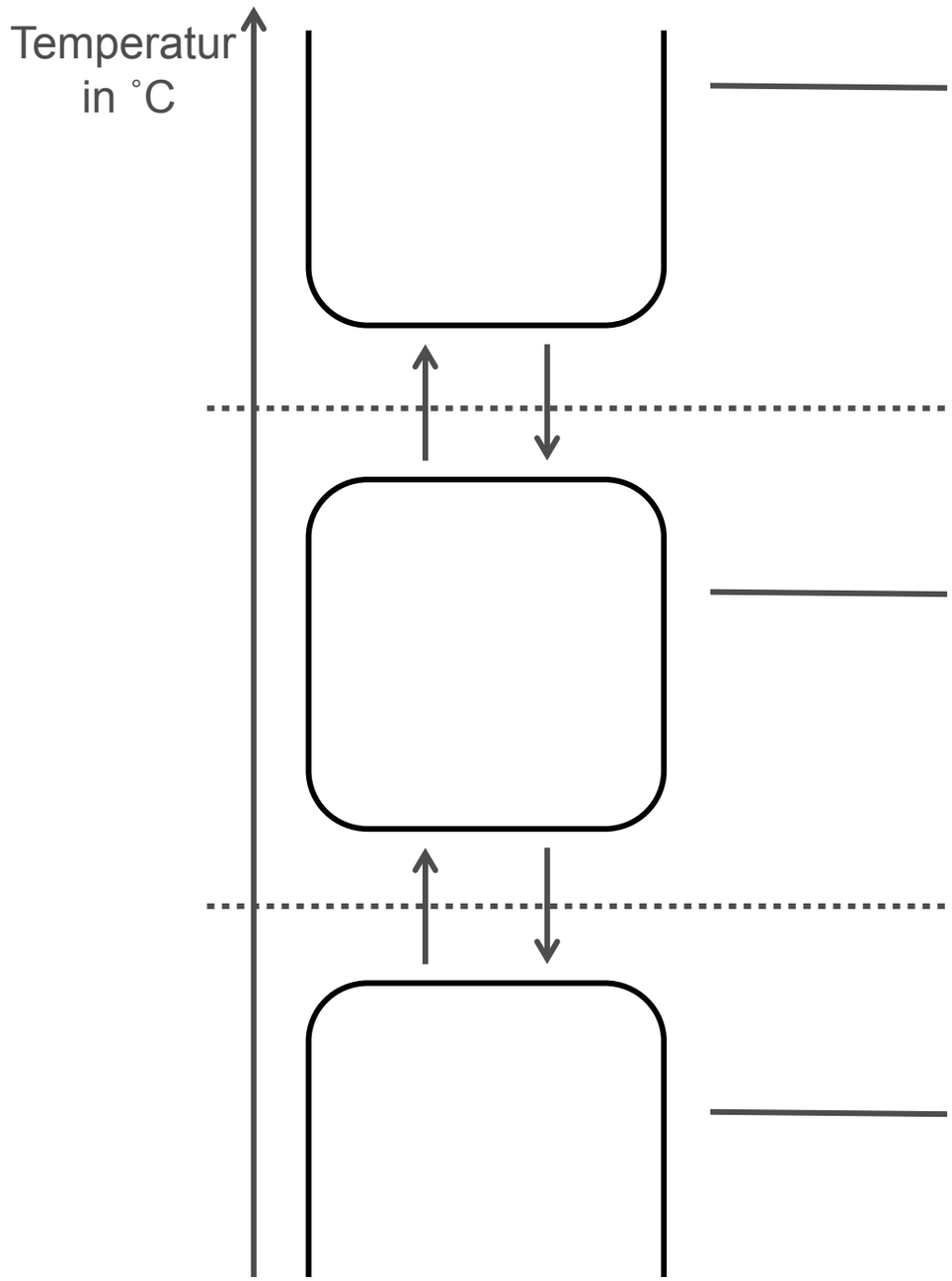


Bild 18: Diagramm Aggregatzustände

Nutze die Linien rechts, um die drei Aggregatzustände zu benennen. Zeichne anschließend in die Kästchen jeweils sieben Wachsteilchen für jeden Aggregatzustand ein, bevor du weiter liest.



Weil alle anderen der Meinung sind, dass Lisas Zeichnungen die schönsten sind, zeichnet sie und die anderen geben ihr Tipps.

„Denk dran, dass der Abstand zwischen den Teilchen bei gasförmig am größten ist, bei flüssig etwas kleiner, und bei fest nur noch ganz klein“, sagt Max.

„Und bei gasförmig musst du die Teilchen überall im Kästchen verteilen“, sagt Aylin.

„Weil sie sich in dem gesamten Raum ausbreiten, der zur Verfügung steht“, ergänzt Max stolz.

„Genau“, sagt Aylin. „Und wenn der Stoff fest ist, sind sie alle auf einem Knubbel“, fährt sie fort.

„Sehr gut“, lobt Sinan.

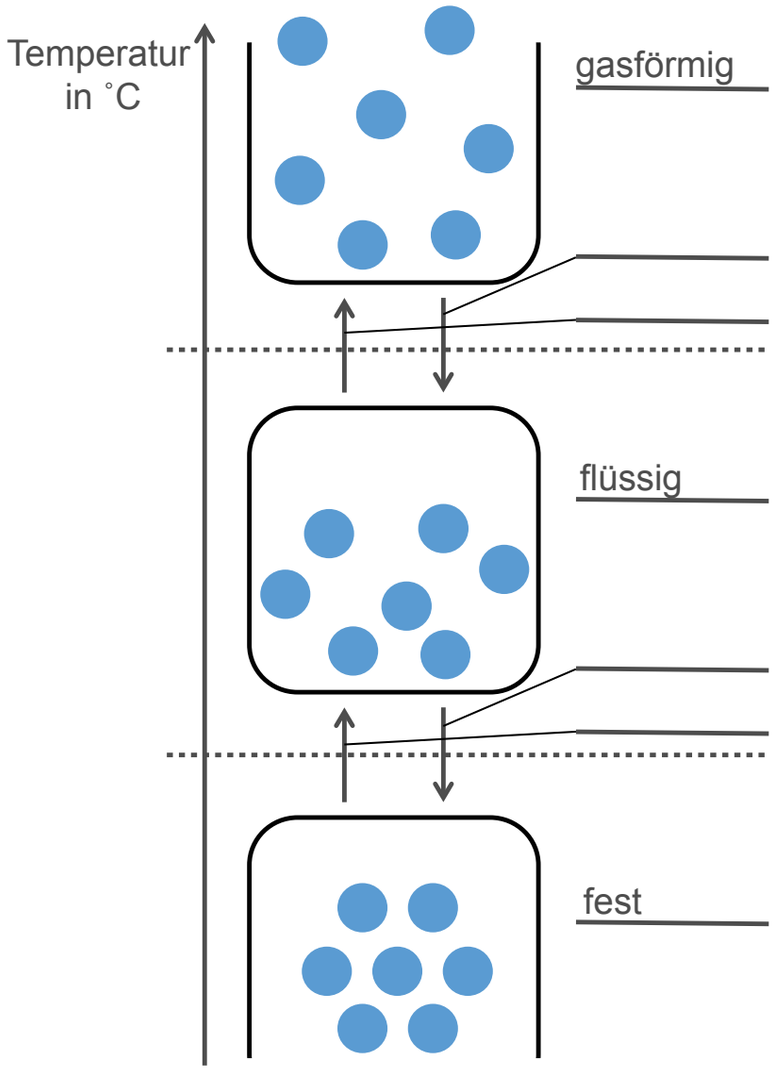
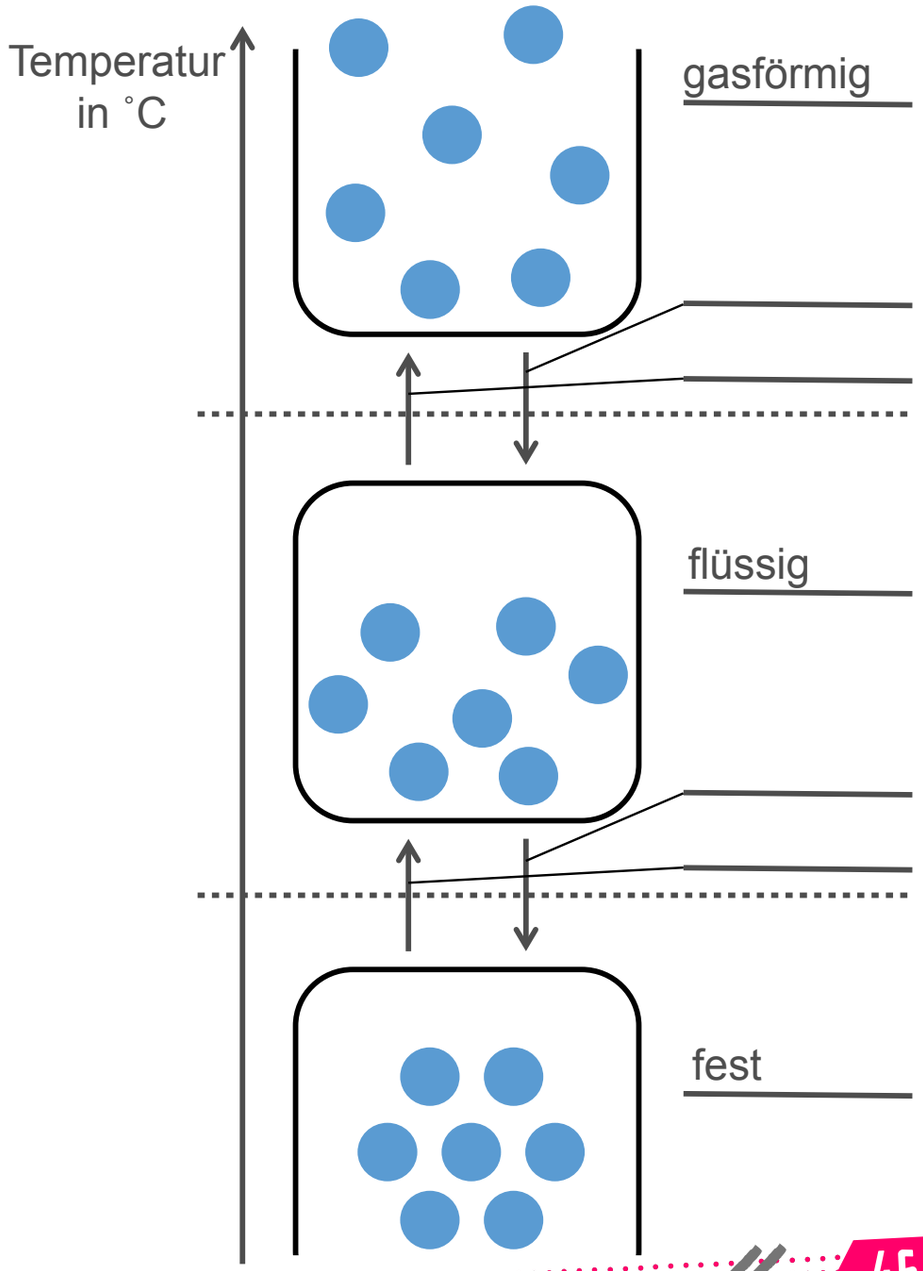


Bild 19: Diagramm Aggregatzustände

Vergleiche deine eigene Zeichnung mit Lisas Zeichnung. Korrigiere deine Zeichnung, falls es notwendig ist, und erläutere, warum deine Zeichnung falsch war, bevor du weiter liest.

„Auf die Pfeile zwischen den Kästchen könnt ihr jetzt die Fachbegriffe für die Aggregatzustandsänderung eintragen“, fordert Sinan sie auf.

Nutze die freien Linien, um die Aggregatzustandsänderungen zu benennen, bevor du weiter liest.



Lisa schreibt, während Max und Aylin diktieren.

„Von fest zu flüssig … “

„Schmelzen!“, ruft Max.

„Und zurück heißt erstarren!“, ergänzt Aylin.

„Und von flüssig zu gasförmig … “, überlegt Lisa weiter.

„Sieden“, sagt Aylin.

„Und zurück heißt kondensieren“, ergänzt Lisa selbst.

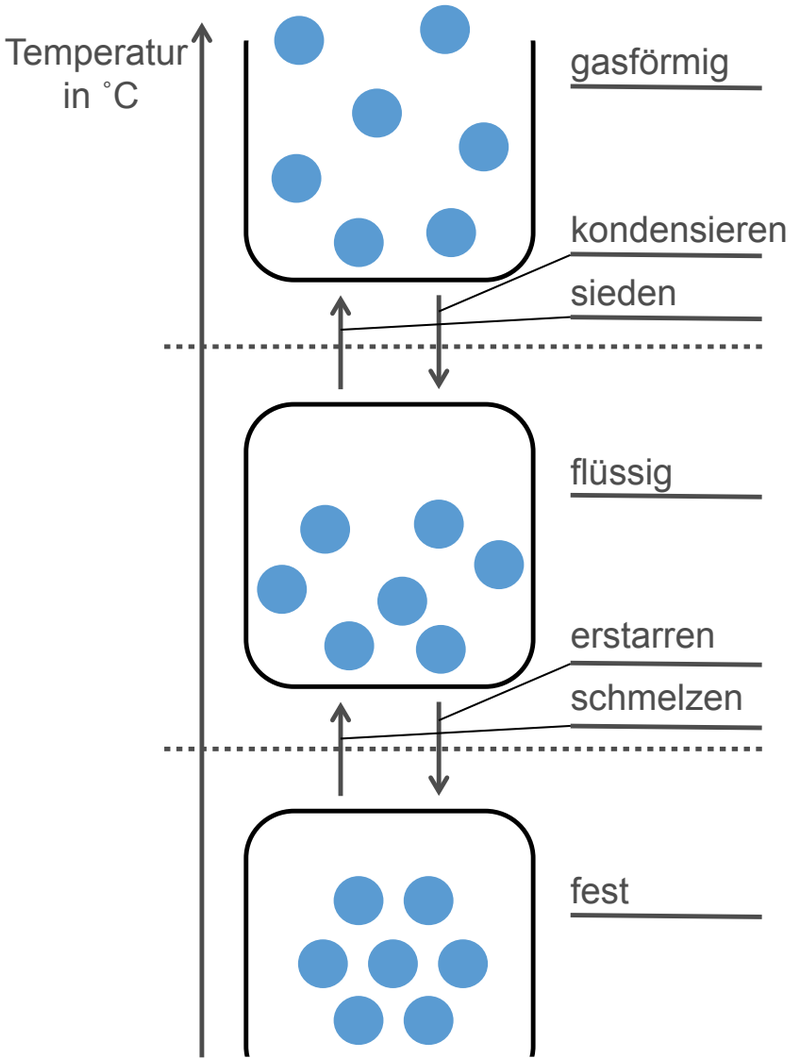


Bild 20: Diagramm Aggregatzustände

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Und mit diesem Diagramm habt ihr jetzt einen guten Überblick über die drei Aggregatzustände und die Aggregatzustandsänderungen.“

Lisa betrachtet noch mal ihre Zeichnung und nickt dann zustimmend.

Vergleiche deine eigene Zeichnung mit Lisas Zeichnung. Korrigiere deine Zeichnung, falls es notwendig ist, und erläutere, warum deine Zeichnung falsch war, bevor du weiter liest.

„Gut, dann können wir uns jetzt wieder mit der Duftkerze beschäftigen“, fährt Sinan fort.

„Endlich“, stöhnt Max. Lisa wirft ihm nochmal einen bösen Blick zu.

„Wir wissen, dass die Duftkerze aus zwei Stoffen besteht: dem Kerzenwachs und dem Duftstoff. Wenn wir Kerzenwachs nicht erwärmen, ist es fest. Das bedeutet der Schmelzpunkt von Kerzenwachs liegt über den Temperaturen, die wir normalerweise haben.“

„Wie meinst du das?“, fragt Lisa nach.

„Unsere Umgebung hat doch immer eine bestimmte Temperatur“, setzt Sinan an.

„Heute waren es 25 °C und morgen werden es vielleicht sogar 30 °C!“, ruft Max dazwischen.

„Das heißt, die Luft um uns herum war heute etwa 25 °C warm. Wenn die Luft so warm ist, nehmen auch alle Gegenstände, die von ihr umgeben sind, langsam diese Temperatur an“, fährt Sinan fort. „Wenn du dich im Winter auf den Boden setzt, ist er kalt, weil auch die Luft kalt ist. Im Sommer, wenn die Luft warm ist, ist auch der Boden warm.

Genau wie alle anderen Gegenstände hat auch die Kerze etwa die gleiche Temperatur wie die Luft um sie herum“, fährt Sinan fort. „Heute müsste sie daher etwa 25 °C warm sein. Ihr konntet heute den ganzen Tag sehen, dass Kerzen bei 25 °C fest sind.“

Alle drei nicken.

„Also wissen wir auch, dass eine Kerze bei 25 °C noch nicht schmilzt.“

Die drei nicken wieder.

„Das heißt der Schmelzpunkt von Wachs liegt über den Temperaturen, die normalerweise herrschen, und daher hat Wachs bei normalen Temperaturen den Aggregatzustand fest.“

„Also liegt der Schmelzpunkt von allen Sachen, die fest sind, über der Temperatur, die wir jetzt grade haben?“, fragt Aylin nach.

„Ja“, bestätigt Sinan.

„Wenn wir in geschlossenen Räumen sind, gehen wir davon aus, dass dort etwa 20 °C sind“, fährt Sinan fort. „Man nennt diese Temperatur Raumtemperatur.

Alle Stoffe, die fest sind, haben einen Schmelzpunkt über 20 °C, alle Stoffe, die normalerweise flüssig sind, haben einen Schmelzpunkt unter 20 °C.

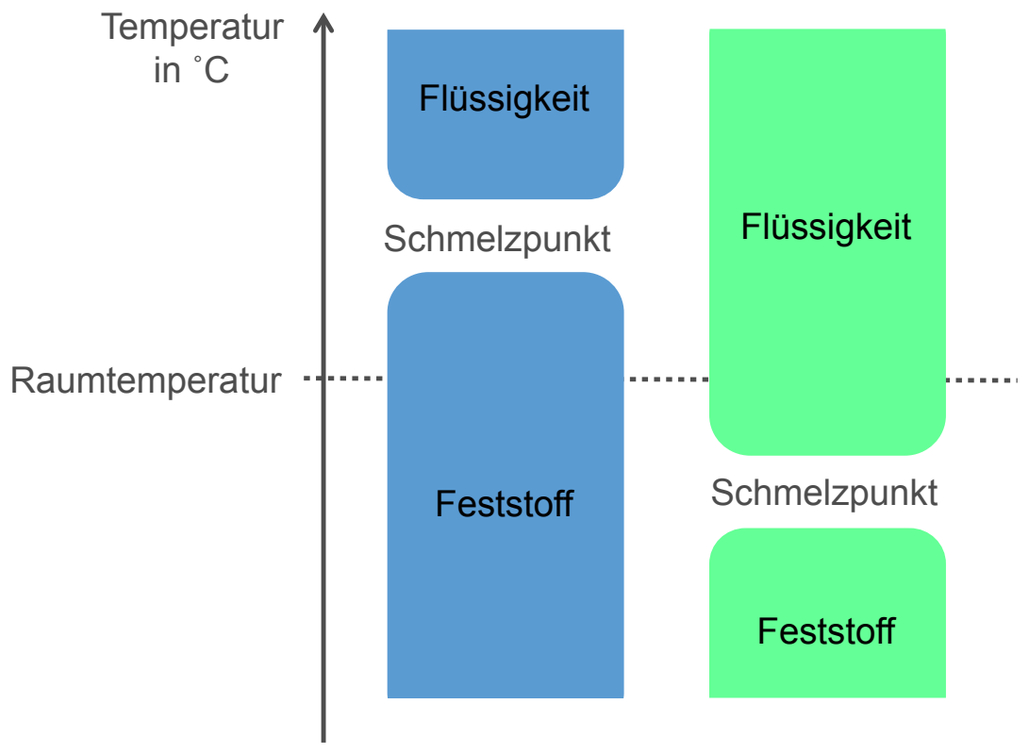


Bild 21: Aggregatzustände bei Raumtemperatur

Wenn ich jetzt also einen Stoff wie Wachs habe, der bei Raumtemperatur fest ist, müssen in der Abbildung im Teilchenmodell die Teilchen auf Höhe der Raumtemperatur noch dicht beieinander und ordentlich angeordnet sein“, erklärt Sinan. „Da ein Stoff, der schon fest ist, seinen Aggregatzustand bei sinkender Temperatur auch nicht mehr verändert, wissen wir, dass Wachs auch bei allen niedrigeren Temperaturen immer fest ist.

Ich brauche also unter dem Teilchenverbund für den Aggregatzustand fest nichts mehr einzuzeichnen.

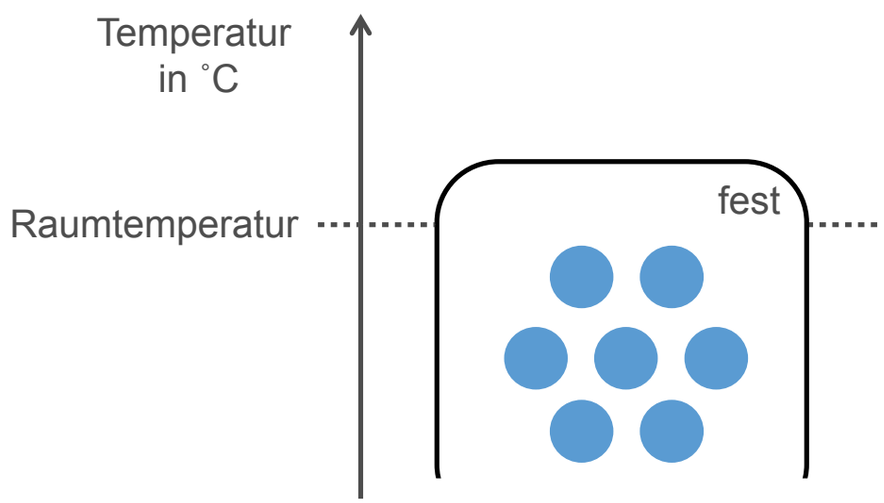


Bild 22: Aggregatzustand von Wachs bei Raumtemperatur

Wir wissen außerdem, dass das Wachs bei steigender Temperatur irgendwann schmilzt und flüssig wird“, fährt Sinan fort. „Also können wir ein Stück über der Raumtemperatur den Schmelzpunkt für Wachs eintragen.

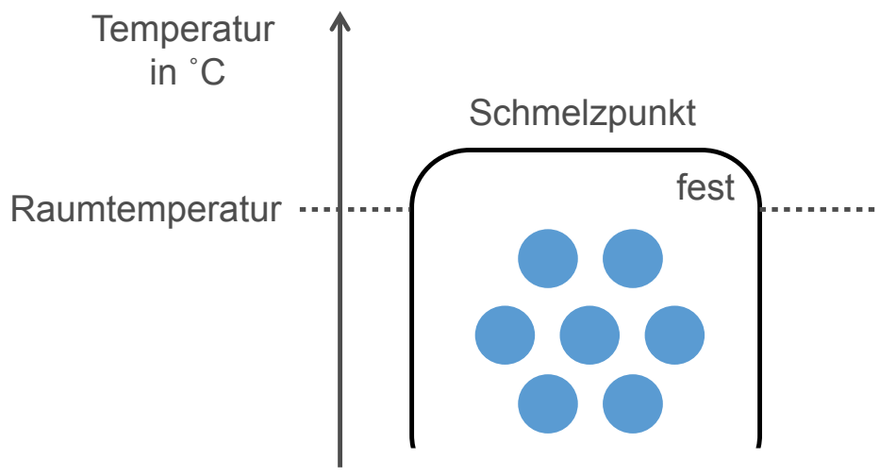


Bild 23: Schmelzpunkt von Wachs

Wenn wir jetzt versuchen neben dem Wachs, das gleiche noch mal für den Duftstoff zu machen, müssen wir wissen, dass Duftstoffe einen eher niedrigen Schmelzpunkt haben“, erklärt Sinan weiter.

„Viele Duftstoffe sind bei Raumtemperatur bereits flüssig, auch wenn wir das bei der Kerze nicht sehen können. Auf Höhe der Raumtemperatur zeichnen wir für den Duftstoff also einen Teilchenverbund im Aggregatzustand flüssig.“

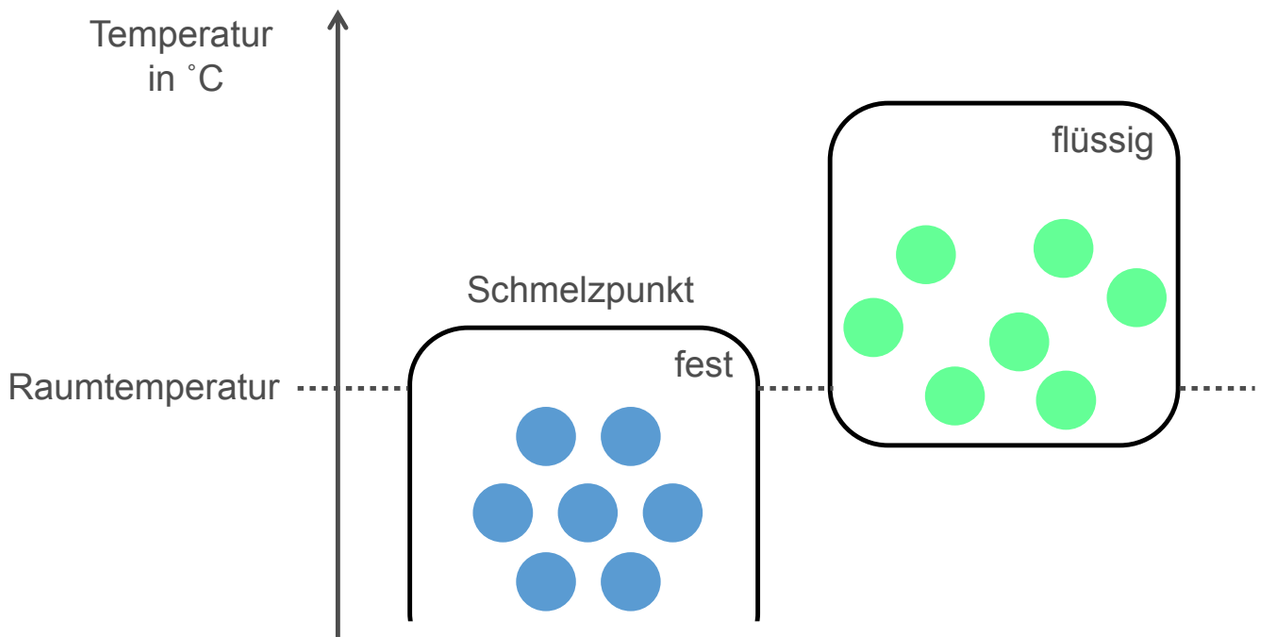


Bild 24: Aggregatzustand des Duftstoffs bei Raumtemperatur

„Und dann können wir darunter Schmelzpunkt schreiben, weil, wenn wir den Duftstoff einfrieren, wird er irgendwann fest!“, ruft Aylin aufgeregt dazwischen.

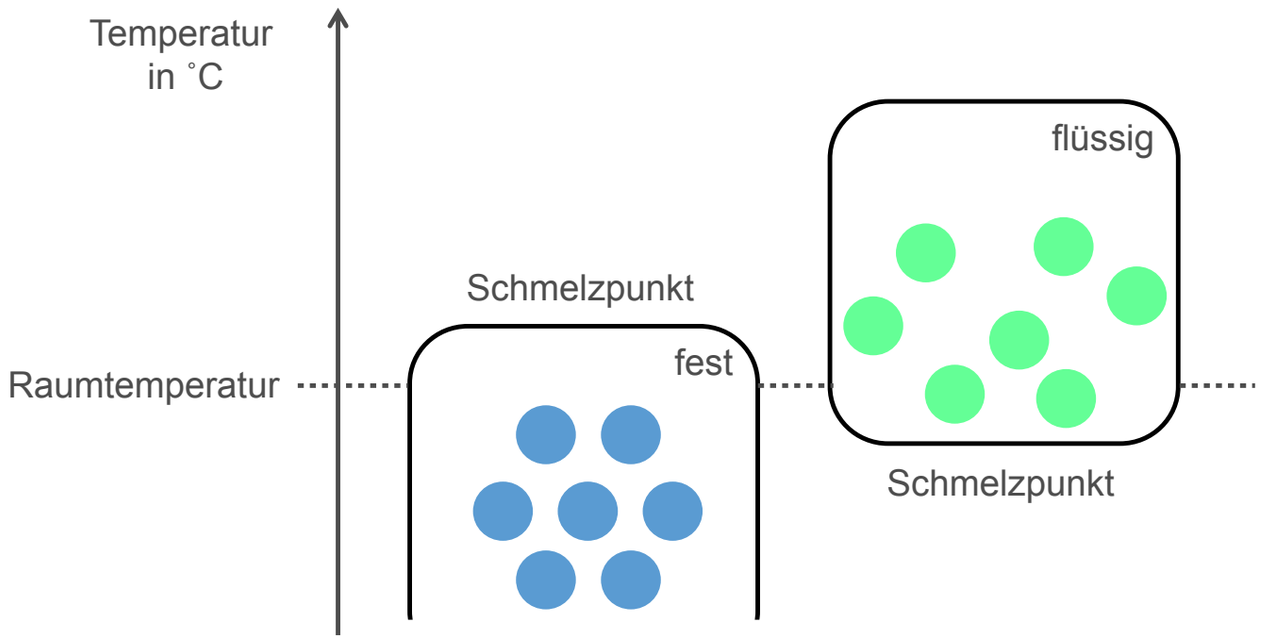


Bild 25: Schmelzpunkt des Duftstoffs

„Genau“, bestätigt Sinan. „Wir wissen, dass ein Stoff der flüssig ist, bei niedrigeren Temperaturen fest wird. Also muss irgendwo unterhalb der Raumtemperatur der Schmelzpunkt des Duftstoffes liegen.“

„Aber dann muss ja über der Raumtemperatur der Siedepunkt von dem Duftstoff sein“, sagt Lisa.

„Richtig“, bestätigt Sinan wieder.

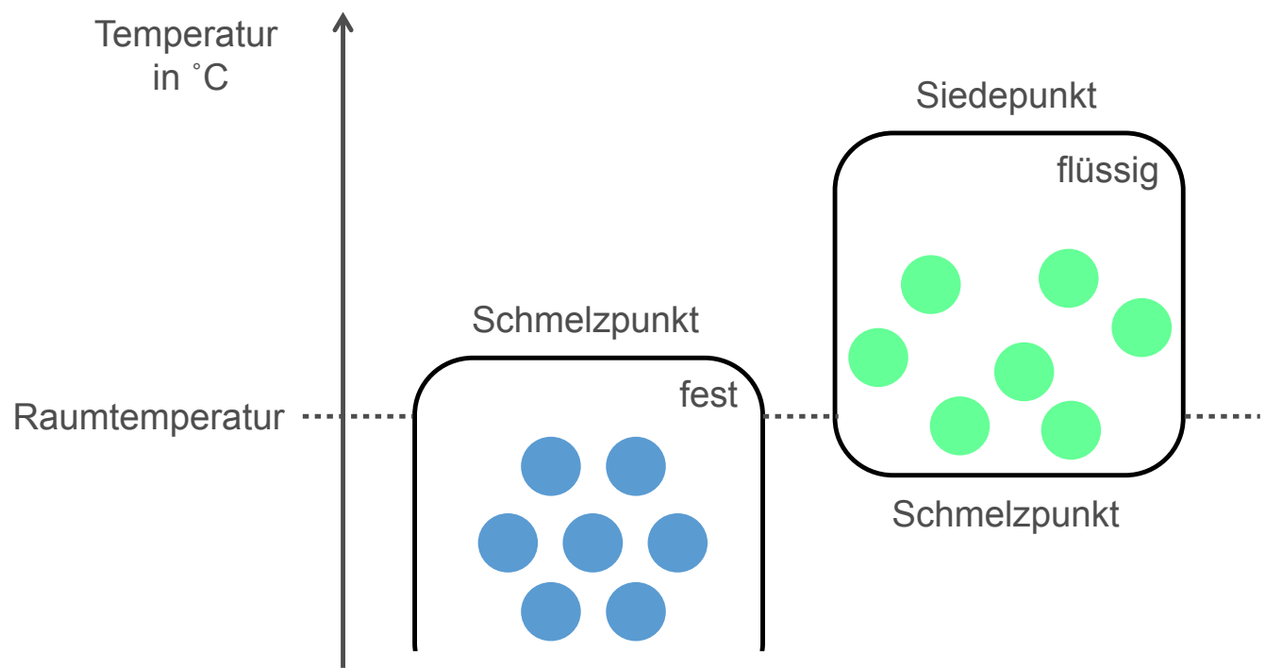


Bild 26: Siedepunkt des Duftstoffs

„Kerzenwachs gehört also zu den Stoffen mit einem höheren Schmelzpunkt als Raumtemperatur“, erläutert Sinan. „Der Duftstoff ist dagegen bei Raumtemperatur bereits flüssig, er hat also einen niedrigeren Schmelzpunkt. In der Duftkerze bewegen sich die Duftstoffteilchen daher bereits stärker.“

„Aber wie kann der Duftstoff denn flüssig sein, wenn die Kerze fest ist?“, fragt Max irritiert.

„Die Kerze besteht ja hauptsächlich aus Wachs, das fest ist“, erklärt Sinan. „Von dem eigentlichen Duftstoff befindet sich nur sehr wenig in der gesamten Kerze verteilt. Deswegen bilden sich auch keine größeren Duftstoff-Teilchenverbünde, die wir als Tröpfchen sehen könnten, sondern die Duftstoffteilchen sind im gesamten Wachs-Teilchenverbund verteilt.“

„Aber wenn da viel mehr Duftstoffteilchen drin wären und sich an einer Stelle sammeln würden, dann würden sie flüssig werden und da raus laufen?“, fragt Max weiter nach.

„Denk daran, dass die Teilchen selbst nicht flüssig werden, sondern nur zusammen eine Flüssigkeit bilden“, korrigiert Sinan ihn.

„Weil sie sich stärker bewegen und weniger zusammengehalten werden als im festen Zustand“, ergänzt Aylin.

„Wenn die Kerze mehr Duftstoff als Wachs enthielte, würden die Duftstoffteilchen eine Flüssigkeit bilden, in der sich das feste Wachs befinden würde“, erklärt Sinan weiter. „Weil die Kerze aber hauptsächlich aus Wachs besteht und nur sehr wenig Duftstoff enthält, schließt das Wachs sozusagen die wenigen Duftstoffteilchen ein, die im Vergleich zum Wachs aber schon recht stark schwingen können.“

„Mhm“, macht Max und wirkt nicht ganz überzeugt.

„Wenn wir die Kerze jetzt erwärmen, nimmt sowohl die Bewegung der Wachsteilchen als auch die der Duftstoffteilchen zu“, fährt Sinan fort. „Irgendwann erreichen wir beim Erwärmen den Schmelzpunkt des Wachses. Erinnert ihr euch noch, was am Schmelzpunkt passiert?“

Erläutere auf der Teilchenebene, was am Schmelzpunkt passiert, bevor du weiter liest.

„Die Wachsteilchen bewegen sich so dolle, dass sie ihre Position verlassen können“, sagt Aylin.

„Sie überwinden zum Teil die Anziehungskräfte ihrer direkten Nachbarn“, ergänzt Lisa.

„Und dann können sie sich ohne einen festen Nachbarn unordentlich hin und her bewegen“, fügt Max hinzu.

„Genau“, bestätigt Sinan. „Wenn das Kerzenwachs während des Abbrennens schmilzt, fließen Wachs und Duftstoff zusammen in den kleinen Wachssee am Fuße der Kerzenflamme. Von diesem Zeitpunkt an können sich dann auch die Duftstoffteilchen freier bewegen, da sie nicht mehr vom festen Wachs eingeschlossen werden.

Erinnert ihr euch noch daran, dass wir beim letzten Mal gesagt haben, dass besonders die Duftstoffteilchen im Inneren der Kerze nur schwer in die Luft diffundieren können, weil sie von den Wachsteilchen eingeschlossen werden?“, fragt Sinan.

Alle drei nicken.

„Deswegen würde man im Inneren der Kerze immer noch Duftstoffteilchen finden, auch wenn die vom Rand schon alle in die Luft gegangen sind“, ergänzt Aylin.

„Richtig“, bestätigt Sinan, „Sobald das Wachs nicht mehr fest ist, haben auch die Duftstoffteilchen aus dem Inneren der Kerze dieses Problem nicht mehr, weil sie sich ja freier zwischen den Wachsteilchen bewegen können. Sobald also das Wachs schmilzt und zusammen mit dem Duftstoff in den kleinen Wachssee am Fuße des brennenden Dochts fließt, können jene Duftstoffteilchen, die zuvor von diesen Wachsteilchen eingeschlossen waren, viel leichter in die Luft diffundieren.

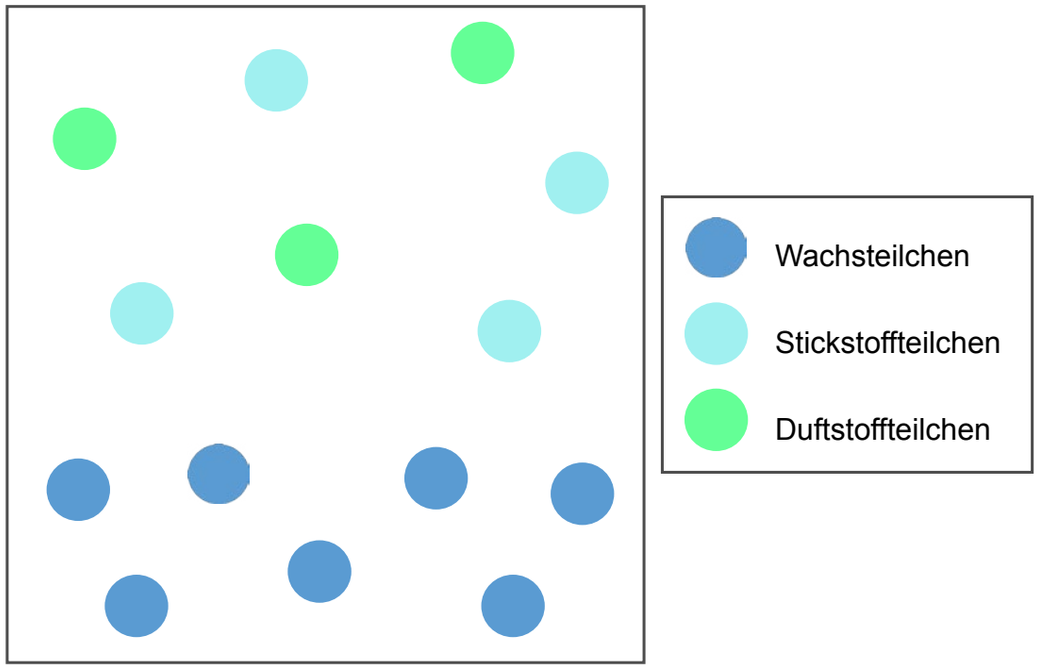


Bild 27: Diffusion der Duftstoffteilchen aus flüssigem Wachs

Durch das Erhitzen am Fuß der Kerzenflamme bewegen sich natürlich nicht nur die Wachsteilchen stärker, sondern auch die Duftstoffteilchen“, erläutert Sinan. „Während das Wachs noch schmilzt, beginnt der Duftstoff bereits zu sieden. Mit zunehmender Temperatur nähern wir uns also dem Siedepunkt des Duftstoffes.“

„Dann kommt immer nach dem Schmelzpunkt der Siedepunkt?“, fragt Lisa noch mal nach.

„Genau“, bestätigt Sinan.

„Aber dann nähert man sich doch auch dem Siedepunkt von dem Wachs, oder nicht?“, fragt Max.

„Du hast recht, aber der Siedepunkt des Duftstoffes liegt unter dem Siedepunkt des Wachses“, erklärt Sinan. „Der Duftstoff wird also schon bei geringeren Temperaturen gasförmig als das Wachs.

Stoffe mit niedrigerem Schmelzpunkt haben oft auch einen vergleichsweise niedrigen Siedepunkt.

Das Wachs ist zwar auch flüssig, aber die Duftstoffteilchen bewegen sich trotzdem immer noch stärker als die Wachsteilchen“, erläutert Sinan, „denn sie sind ja zusammen mit dem Wachs erhitzt worden.

Lasst uns noch mal auf das Diagramm von eben schauen“, schlägt Sinan vor. „Der Stoff links in der Abbildung ist das Wachs: Es ist bei Raumtemperatur fest und wenn wir es erhitzen, schmilzt es zunächst und wird flüssig. Der Stoff auf der rechten Seite ist der Duftstoff: Er ist bei Raumtemperatur bereits flüssig und siedet, wenn wir ihn weiter erhitzen.

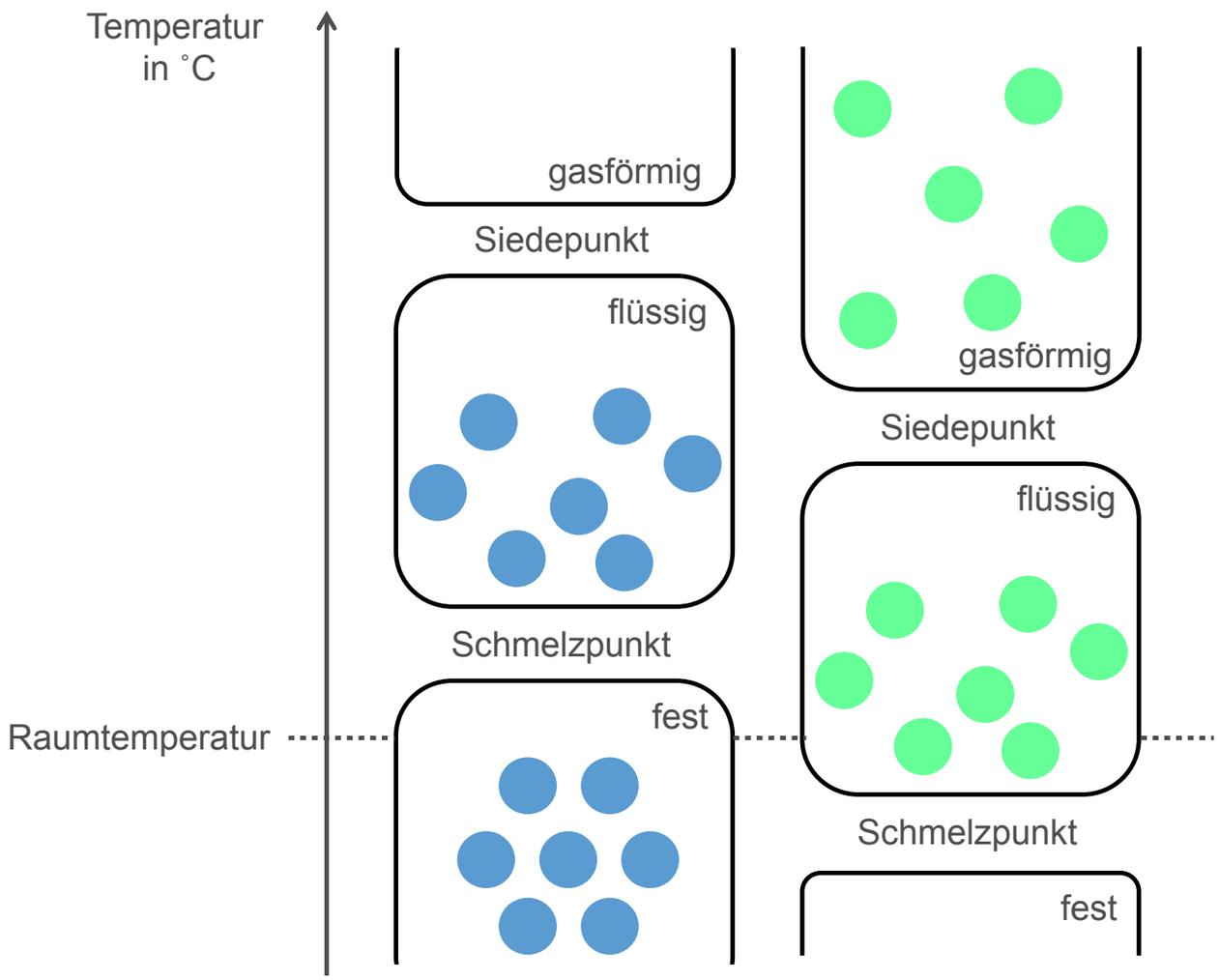


Bild 28: Aggregatzustände von Wachs und Duftstoff bei Raumtemperatur

Damit haben wir jetzt eine Erklärung dafür, dass die Kerze stärker riecht, wenn sie entzündet ist“, fasst Sinan zusammen. „Sobald das Wachs flüssig ist, gelingt es mehr Duftstoffteilchen in die Luft zu diffundieren, zumal der Duftstoff bei steigender Temperatur ja auch noch siedet und dadurch die Anzahl der Duftstoffteilchen in der Luft sowieso erhöht wird. Somit nehmen wir den Geruch der Duftkerze stärker wahr.“

„Warum sind beim Sieden noch mal mehr Teilchen in der Luft, Sinan?“, fragt Max.

Erläutere auf der Teilchenebene, was am Siedepunkt passiert, bevor du weiter liest.

„Der Stoff ändert seinen Aggregatzustand von flüssig zu gasförmig“, sagt Lisa.

„Die Teilchen können sich dann ganz frei bewegen, weil sie von keinen Nachbarteilchen mehr festgehalten werden, und sie können aus dem Teilchenverbund heraus und sich im Raum verteilen“, ergänzt Aylin.

„Ach ja, und dann können die Anziehungskräfte nicht mehr wirken und die Teilchen zusammenhalten, so dass es nur noch ganz viel Bewegung von den Teilchen gibt“, erinnert sich Max.

„Genau“, bestätigt Sinan, „Wenn eine Kerze brennt, wird sie so heiß, dass auch das Wachs irgendwann seinen Siedepunkt erreicht und gasförmig wird. Aber für uns ist es jetzt viel wichtiger, dass der Duftstoff schon wesentlich früher siedet. Denn sobald er gasförmig ist, verteilt er sich in der Luft und wir können ihn riechen.“

„Ist das nicht wie Diffusion?“, fragt Max.

„Ja, das ist Diffusion, aber mit einer viel stärkeren Wirkung, als die, von der wir beim letzten Mal gesprochen haben“, erläutert Sinan. „Denn durch das Erhitzen ermöglichen wir den Duftstoffteilchen extra viel Bewegung; und so können auch viel mehr von ihnen in die Luft entweichen als bei Raumtemperatur.

Wenn ein Stoff siedet, lösen sich innerhalb kurzer Zeit viel mehr Teilchen aus dem Teilchenverbund als bei Raumtemperatur und verteilen sich im Raum. Deswegen riechen die Duftkerzen auch viel stärker, wenn die Kerzen angezündet sind.“

„Also riecht die Kerze zum einen stärker, sobald das Wachs geschmolzen ist, weil dann die Duftstoffteilchen nicht mehr von den Wachsteilchen im Inneren der Kerze eingeschlossen sind“, wiederholt Lisa.

„Und zum anderen kommt man, wenn man das flüssige Wachs nur ein bisschen weiter erhitzt, schon zum Siedepunkt des Duftstoffes“, ergänzt Aylin.

„Und dann können alle Duftstoffteilchen ein Gas machen“, fährt Max fort.

„Der Duftstoff wird gasförmig“, verbessert Sinan ihn.

„Dann wird der Duftstoff gasförmig“, setzt Max noch mal an, „und dann riecht es ganz dolle.“

„Aber das Wachs bleibt erstmal flüssig, weil es seinen Siedepunkt noch nicht erreicht hat“, ergänzt Aylin.

„Aber du hast gesagt, wenn eine Kerze brennt, wird auch das Wachs gasförmig!“, beschwert Max sich.

„Wird es auch“, bestätigt Sinan, „aber eben erst nach dem Duftstoff. So wird erst der Duftstoff von der Kerze abgegeben und danach wird das Wachs gasförmig und verbrennt.“

„Ach so“, sagt Lisa, „Und wenn es anders rum wäre, würde es gar nicht gut riechen, weil dann der Duftstoff nicht in die Luft geht, sondern verbrennt?“

„Ja, so etwa kannst du dir das vorstellen.“

„Also muss der Duftstoff einen niedrigeren Siedepunkt haben als das Wachs?“, fragt Aylin weiter.

„Richtig“, bestätigt Sinan.

„Aha“, macht Aylin und starrt fasziniert auf die Kerze.

Inzwischen ist es schon ganz schön spät geworden. Einige Partygäste verabschieden sich bereits von Lisas und Max' Eltern. Sinan steht auf, um sich auch von einigen Gästen zu verabschieden, während Aylin, Lisa und Max noch am Tisch sitzen bleiben und mit mittlerweile ziemlich müden Augen die Kerze betrachten.

Erkläre die folgenden Begriffe kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:

1) Aggregatzustand

2) Fest

3) Flüssig

4) Gasförmig

5) Schmelzen

6) Erstarren

7) Schmelzpunkt

8) Sieden

9) Kondensieren

10) Siedepunkt

11) Raumtemperatur

TESTE DEIN WISSEN

TEIL II: Aggregatzustandsänderungen

1) **Aggregatzustand:** Physikalischer Zustand eines Stoffes, der unter anderem von der Temperatur der Umgebung abhängig ist.

2) **Fest:** Teilchen liegen geordnet, dicht beieinander im Teilchenverbund. Sie werden durch die gegenseitige Anziehung von Nachbarn auf ihren Positionen festgehalten und schwingen auf der Stelle.

3) **Flüssig:** Teilchen bewegen sich ungeordnet im Teilchenverbund. Sie werden durch die gegenseitige Anziehung noch im Teilchenverbund gehalten, bewegen sich aber so stark, dass sie keine ständigen Nachbarn mehr haben und entsprechend an keine feste Position gebunden sind.

4) **Gasförmig:** Teilchen bewegen sich ungeordnet im Raum. Die Bewegung der Teilchen ist zu stark und der Abstand zueinander so groß, dass keine Anziehung zwischen einzelnen Teilchen wirken kann.

5) **Schmelzen:** Aggregatzustandsänderung von fest zu flüssig auf Grund steigender Temperatur: Die Bewegung der einzelnen Teilchen nimmt zu, daher vergrößert sich der Abstand der Teilchen zueinander, so dass die Anziehungskräfte zwischen einzelnen Teilchen an Bedeutung verlieren. Die Ordnung im Teilchenverbund geht verloren und die Teilchen bewegen sich chaotisch durcheinander.

6) **Erstarren:** Aggregatzustandsänderung von flüssig zu fest auf Grund sinkender Temperatur: Die Bewegung der Teilchen nimmt ab, daher nimmt der Abstand der Teilchen zueinander ab und die Anziehung zwischen den Teilchen überwiegt, so dass sich die Teilchen zu einem festen Gitter anordnen.

7) **Schmelzpunkt:** Temperatur, bei der ein Stoff seinen Aggregatzustand von fest zu flüssig verändert. Der Punkt ist identisch mit dem Erstarrungspunkt, an dem der Aggregatzustandswechsel von flüssig zu fest erfolgt.

8) **Sieden:** Aggregatzustandsänderung von flüssig zu gasförmig auf Grund steigender Temperatur: Die Bewegung der Teilchen nimmt weiter zu, daher vergrößert sich der Abstand der Teilchen zueinander, so dass die Teilchen durch gegenseitige Anziehung nicht mehr beeinflusst sind. Die Teilchen verlassen den Teilchenverbund und können sich ungeordnet im Raum bewegen.

9) **Kondensieren:** Aggregatzustandsänderung von gasförmig zu flüssig auf Grund sinkender Temperatur: Die Bewegung der Teichen nimmt ab, daher verringert sich der Abstand der Teilchen zueinander, so dass die Teilchen sich bei Zusammenstößen wieder gegenseitig anziehen können und erneut Teilchenverbünde bilden.

10) **Siedepunkt:** Temperatur, bei der ein Stoff seinen Aggregatzustand von flüssig zu gasförmig verändert. Der Punkt ist identisch mit dem Kondensationspunkt, an dem der Aggregatzustandswechsel von gasförmig zu flüssig erfolgt.

11) **Raumtemperatur:** 20 °C; Temperatur, die in der Regel für Räume angenommen wird.

SUPER, DAS WAR
TEIL II

Zum nächsten Teil:

- **TEIL III:** Elemente, Atome und Moleküle
- **TEIL IV:** Unvollständige Verbrennung als chemische Reaktion
- **TEIL V:** Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Textes kannst du lernen, dass Stoffe aus Atomen und Molekülen aufgebaut sind. Atome und Moleküle sind die kleinsten Bausteine, aus denen ein Stoff aufgebaut ist. Es gibt unterschiedliche Atomsorten, die als Elemente bezeichnet werden. Atome können sich fest miteinander zu Molekülen verbinden. Bei physikalischen Veränderungen, wie zum Beispiel Aggregatzustandsänderungen, werden die Moleküle nicht verändert.

Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.

Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.

Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.

Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.

Jetzt geht es los mit

TEIL III: Elemente, Atome und Moleküle

Genau wie in den letzten Jahren veranstalten Lisas Eltern auch in diesem Jahr zum Beginn der Sommerferien wieder eine Gartenparty. Und genau wie im letzten Jahr helfen Lisa und Max ihren Eltern bei den Vorbereitungen. Besser gesagt: Lisa hilft; Max rennt seit Stunden hinter ihr her und fragt sie über ihre Schule aus, die er nach den Sommerferien auch besuchen wird.

Während Lisa mit Wasser gefüllte Glasschalen auf den Tischen im Garten verteilt, findet Max immer wieder neue Fragen, die er ihr noch nicht gestellt hat. Nebenbei lässt er achtlos Schwimmkerzen ins Wasser plumpsen.

„Und wenn ich dann nach den Sommerferien auf deine Schule gehe“, fragt Max, „fahren wir dann am ersten Tag mit dem Fahrrad oder mit dem Bus? Ich will lieber mit dem Bus fahren, weil ich noch nie mit dem Bus zur Schule gefahren bin, aber Mama sagt, ich muss mit dir und Aylin fahren.“

Lisa zuckt mit den Schultern: „Mal sehen. Jetzt sind ja zum Glück erst mal Ferien.“

Max scheint das allerdings nicht so zu sehen: „Aber doch nur sechs Wochen! Und dann komme ich in die fünfte Klasse von Frau Fischer. Die ist doch nett oder?“ Lisa zuckt wieder mit den Schultern und blickt zum Gartentor in der Hoffnung, dass Aylin bald auftaucht. „Nächstes Jahr habe ich dann endlich alle Fächer so wie du“, quasselt Max weiter. „Dann können wir Englisch reden … und Französisch … und Lateinisch!“, Lisa verzichtet darauf Max zu erklären, dass niemand Latein spricht. „Und dann habe ich auch Physik und Chemie“, träumt Max weiter, „und dann werde ich Chemiker wie Sinan.“

So geht es noch eine ganze Weile weiter, bis endlich die Gäste eintreffen. Lisa nutzt die Gelegenheit, um sich mit ihrer Freundin Aylin zu unterhalten, während Max allen Gästen erzählt, dass er jetzt bald in die fünfte Klasse geht.

Irgendwann kommt Max dann doch wieder an den Tisch, an dem Aylin und Lisa sitzen. Die beiden planen gerade, was sie in den Ferien alles unternehmen wollen, und beachten Max zunächst nicht weiter, bis er ein leeres Glas über die brennende Kerze hält.

„Was machst du denn da? Gleich verbrennst du dir die Finger!“, schimpft Lisa.

„Warum hältst du dein Glas über die Flamme?“, fragt auch Aylin.

„Ich fange das Wachs auf“, erklärt Max.

Lisa und Aylin sehen ihn verständnislos an.

„Habt ihr vergessen, was Sinan uns letztes Jahr erzählt hat?“, fragt Max: „Wenn die Kerze brennt, wird das Wachs erst flüssig - also es schmilzt - und dann siedet es und wird gasförmig. Und dann verteilen sich die Wachsteilchen im Raum.“

Auch Lisa und Aylin erinnern sich jetzt.

„Ich will das gasförmige Wachs mit meinem Glas auffangen“, erläutert Max. „Und wenn dann ganz viel Wachs in meinem Glas ist, kann ich daraus eine neue Kerze machen.

Dafür halte ich das Glas mit der Öffnung nach unten über die Kerze, so dass das gasförmige Wachs, das an der Kerze entsteht, direkt hier in mein Glas rein muss.“

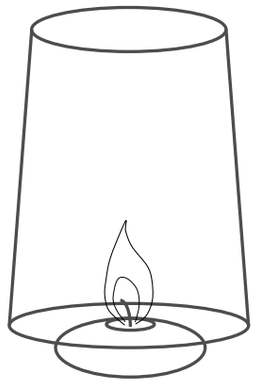


Bild 1: Max’ Experiment

Beschreibe, was Max plant, bevor du weiter liest.

„Aha“, sagt Lisa skeptisch.

Auch Aylin sieht nicht überzeugt aus: „Ich glaube nicht, dass das geht“, sagt sie.

„Und warum nicht?“, fragt Max herausfordernd.

Aylin und Lisa sehen sich kurz an. Eine richtig gute Erklärung fällt beiden nicht ein. „Das Wachs ist doch in der Luft“, setzt Aylin an.

„Na und?“, erwidert Max: „Das Wachs ist zwar gasförmig und mit der Luft vermischt, aber ich fange die Luft doch mit meinem Glas auf. Also fange ich auch das Wachs auf.

Sinan hat doch gesagt, dass sich die Wachsteilchen in der Luft bewegen, wenn das Wachs siedet“, fährt Max fort, „zusammen mit diesen Stickstoffteilchen, die in der Luft sind. Und die müssen jetzt alle in mein Glas rein, weil ich es direkt über die Kerze halte.“

„Ja, aber die Luft kann doch auch wieder aus deinem Glas raus. Warum sollte ausgerechnet das Wachs drin bleiben?“, gibt Lisa zu Bedenken.

Und Aylin ergänzt: „Damit du eine Kerze machen kannst, müsste das Wachs in deinem Glas wieder fest werden. Aber das Wachs wird nur wieder fest, wenn es kalt wird. In deinem Glas ist es doch nicht kalt, oder?“

„Nicht so richtig“, gibt Max zu, „es wird langsam eher warm.“

Erläutere, welche Probleme bei Max‘ Vorhaben auftreten können, bevor du weiter liest.

„Dann müsstest du es irgendwie schaffen, dass es in deinem Glas kalt ist, damit sich das Wachs im Glas abkühlt. Dann kondensiert es zuerst und danach wird es fest“, erklärt Aylin.

Erläutere, wie Max sein Experiment zur Abkühlung von Wachs verbessern kann, bevor du weiter liest.

Einen Moment sieht Max ziemlich ratlos aus, dann fischt er mit der freien Hand einen Eiswürfel aus Lisas Cola und legt ihn auf den Boden seines Glases: „Jetzt klappt es aber bestimmt!

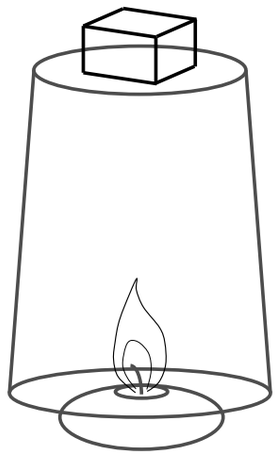


Bild 2: Max' verbessertes Experiment

Erkläre, warum Max glaubt, dass der Eiswürfel ihm bei seinem Experiment hilft, bevor du weiter liest.

Der Eiswürfel kühlt das Glas ab“, erläutert Max, „und wenn es kalt ist, wird das Wachs flüssig oder sogar fest und ich kann in meinem Glas meine eigene Kerze machen.“

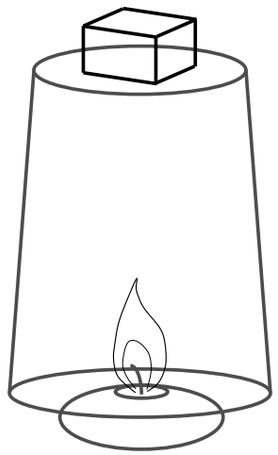


Bild 3: Max’ verbessertes Experiment

Aylin und Lisa sind immer noch nicht ganz überzeugt, sagen aber nichts, sondern warten lieber auf das Ergebnis.

Nach einer Minute ist der Eiswürfel fast ganz geschmolzen. Im Glas ist immer noch kein Wachs. Dafür läuft das Schmelzwasser des Eiswürfels außen am Glas herunter und Max muss aufpassen, dass dadurch nicht die Kerze ausgeht.

„Siehst du: Das geht nicht!“, sagt Lisa.

„Doch!“, entgegnet Max und fischt einen neuen Eiswürfel aus Lisas Cola.

Auch Aylin ist mittlerweile neugierig geworden: „Eigentlich müsste es doch funktionieren … “, überlegt sie, „Sinan hat gesagt, wenn das Wachs warm wird, wird es flüssig, und wenn man es weiter erhitzt, wird es später gasförmig. Und wenn das gasförmige Wachs kalt wird, kondensiert es – dann wird es also wieder flüssig. Und wenn es noch kälter wird, erstarrt es – also wird es fest.

In Max‘ Glas ist es mit dem Eiswürfel jetzt kalt“, fährt Aylin fort, „also müsste das Wachs zumindest wieder flüssig werden.“

„Vielleicht ist es nicht kalt genug“, wirft Lisa ein. „Sinan hat doch gesagt, dass es immer diesen Punkt gibt, an dem ein Stoff wieder flüssig oder fest wird.“

„Du meinst den Schmelz- und den Siedepunkt eines Stoffes“, korrigiert Max sie.

„Ja“, sagt Lisa ein bisschen genervt, „vielleicht wird dein Glas nicht so kalt, wie es am Schmelzpunkt von Wachs ist.“

Max versucht mit Aylins Hilfe einen zweiten Eiswürfel auf dem Glas unterzubringen und wartet dann gespannt.

Fasse das Problem, das Max, Aylin und Lisa entdeckt haben, mit eigenen Worten zusammen, bevor du weiter liest.

Die drei sind mittlerweile so mit ihrem Projekt beschäftigt, dass sie nicht bemerken, dass Sinan sie beobachtet: „Was macht ihr denn da?“, fragt er nach zwei weiteren geschmolzenen Eiswürfeln und setzt sich zu ihnen an den Tisch.

„Wir versuchen das Wachs aufzufangen“, erklärt Aylin.

„Aber es geht nicht“, sagt Lisa.

„Doch wohl!“, erwidert Max, der immer noch verbissen sein Glas über die Kerze hält.

„Welches Wachs wollt ihr denn auffangen?“, fragt Sinan weiter.

„Das gasförmige Wachs, das durch die Hitze von der Kerze entsteht und dann in die Luft geht“, erklärt Max.

„Ach so“, sagt Sinan, als er Max’ Plan versteht. „Das wird leider nicht funktionieren.“

„Aber warum nicht? Warum kann ich über einer brennenden Kerze kein Wachs auffangen?“, fragt Max und sieht Sinan vorwurfsvoll an.

„Du hast doch gesagt, wenn man Wachs warm macht, wird es flüssig und irgendwann gasförmig und wenn man es abkühlt, wird es erst flüssig und dann fest.“

„Das stimmt ja auch. Aber ich habe nie gesagt, dass über einer brennenden Kerze gasförmiges Wachs aufsteigt“, entgegnet Sinan.

Die drei sehen ihn irritiert an.

„Wenn wir Wachs in einem Becher erhitzen würden, bis es siedet – zum Beispiel in einem Topf auf dem Herd –, würde über dem Becher tatsächlich gasförmiges Wachs aufsteigen.

Wenn wir eine Kerze anzünden, steigt über ihr aber kein gasförmiges Wachs auf“, erklärt Sinan.

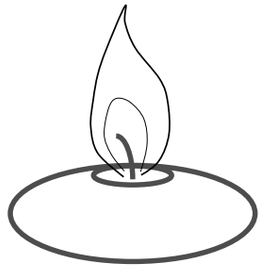


Bild 4: Brennende Kerze

„Aber wo ist denn da der Unterschied?!“, unterbricht Max ihn.

„Der Unterschied ist, dass das Wachs beim Erhitzen in einem Topf *siedet*, während das Wachs bei einer brennenden Kerze *verbrennt*“, erklärt Sinan.

„Wenn wir Wachs in einem Topf erhitzen, führen wir nur so viel Wärme zu, dass der Stoff seinen Aggregatzustand ändert“, erläutert Sinan. „Die Kugelteilchen bewegen sich stärker und überwinden die gegenseitigen Anziehungskräfte.

Wenn wir dem Stoff die Wärme wieder entziehen – ihn also abkühlen –, bewegen sich die Kugelteilchen weniger stark und die gegenseitige Anziehung kann sie wieder zusammenhalten. Der Stoff kondensiert, wird also wieder flüssig und später vielleicht sogar fest.“

„Wissen wir doch“, sagt Max.

„Bei einer brennenden Kerze passiert aber mehr“, fährt Sinan fort. „Die Flamme zeigt euch, dass hier mit dem Wachs mehr passiert als nur eine Aggregatzustandsänderung.“

„Wie meinst du das?“, fragt Aylin nach.

„Eine brennende Kerze verbraucht das Wachs beim Brennen“, antwortet Sinan. „Das Wachs wird also nicht nur erhitzt, sondern brennt.

Wenn kein Wachs mehr da ist, erlischt die Flamme“, erläutert Sinan weiter. „Es ist so ähnlich wie beim Auto: Solange Benzin vom Tank in den Motor gelangt, fährt es, wenn der Tank leer ist, fährt es nicht mehr.“

„Das heißt, das Wachs geht in die Flamme rein und ist dann weg?“, fragt Lisa nach.

„Es ist nicht weg, aber das, was über der Flamme aufsteigt, ist kein Wachs mehr“, verbessert Sinan sie.

„Sondern was?“, fragt Aylin nach.

Und Max fragt: „Wie geht das denn?“

„Seht euch das Glas doch mal genau an“, fordert Sinan sie auf.

Max nimmt widerstrebend die Eiswürfel von seinem Glas und stellt es zurück auf den Tisch. Die Eiswürfel wirft er nach kurzem Zögern zurück in Lisas Cola.

„Da ist nichts“, sagt Lisa nach einem kurzen Blick auf das Glas und sieht erst Max und dann Sinan vorwurfsvoll an.

„Doch!“, ruft Aylin, die aufgestanden ist und von oben in das Glas guckt: „Da ist ein bisschen was Schwarzes.“

„Wo?“, fragt Max aufgeregt und beugt sich auch über das Glas.

„Unten auf dem Boden des Glases“, sagt Aylin und zeigt in das Glas.

„Stimmt“, ruft Max. Begeistert dreht er das Glas um und schüttelt es kräftig, in der Hoffnung, dass der dünne schwarze Belag heraus fällt. Er bleibt allerdings am Boden des Glases haften.

„Aber das kann doch kein Wachs sein!“, gibt Lisa zu Bedenken. „Das Wachs in unseren Kerzen ist weiß, das da im Glas ist schwarz.“

„Das ist ja auch kein Wachs“, entgegnet Sinan.

„Aber was ist es denn dann?“, fragt Aylin.

„Das ist Ruß“, antwortet Sinan.

„Ruß?“, fragt Max. „So wie beim Schornsteinfeger?“

„Ja, genau“, bestätigt Sinan. „Im Schornstein sammelt sich auch Ruß und den muss der Schornsteinfeger dann wegmachen.

Wenn du das Glas schräg über die Flamme hältst, so dass die Flamme die Seitenwand fast berührt, sammelt sich noch mehr Ruß im Glas“, fährt Sinan fort.

Max probiert es direkt mal aus. Aylin und Lisa sehen gespannt zu. Nach kurzer Zeit bildet sich an der Seitenwand des Glases tatsächlich ein schwarzer Belag.

„Aber warum kommt über der Flamme Ruß aus der Kerze?“, fragt Lisa und sieht Sinan erwartungsvoll an.

„Wenn über der Kerze Ruß aufsteigt, muss der Ruß doch aus der Kerze kommen“, überlegt Aylin.

„Aber warum tut man denn Ruß in eine Kerze?“, fragt Max. „Kann der Ruß irgendwas Tolles?“

„Ruß ist doch wie Dreck“, mischt Lisa sich ein. „Was soll der denn können?!“

„Aber für irgendwas muss er ja gut sein. Warum sollte man ihn sonst in die Kerze reingemacht haben?“, überlegt Aylin.

„Vielleicht ist es mit dem Ruß wie mit dem normalen Dreck: Man kriegt ihn nie richtig weg und er kommt von selbst immer wieder“, schlägt Max vor.

„Aber dann müsste die Kerze ja auch dreckig aussehen. Sie ist aber ganz weiß und kein bisschen schmutzig“, erwidert Lisa. „Der Ruß kann vorher nicht in der Kerze gewesen sein.“

„Aber er muss doch aus der Kerze kommen!“, gibt Aylin zu bedenken. „Wo soll er denn sonst herkommen?!“

Ratlos blicken die drei Sinan an.

„Um das mit dem Ruß zu verstehen, müssen wir uns zuerst noch mal überlegen, woraus die Stoffe um uns herum bestehen“, setzt Sinan an.

„Aus kugeligen Teilchen“, sagen Aylin, Max und Lisa gleichzeitig und blicken Sinan irritiert an; schließlich hat er ihnen das letztes Jahr schon ausgiebig erklärt.

„Wenn wir annehmen, dass die unterschiedlichen Stoffe auf der Welt auch aus unterschiedlichen Kugelteilchen aufgebaut sind, dann müsste es ganz schön viele verschiedene Teilchensorten geben“, antwortet Sinan. „Nicht nur Duftstoffteilchen und Wachsteilchen, sondern auch Glasteilchen, Plastikteilchen, Metallteilchen, Holzteilchen, Wasserteilchen und so weiter. Dabei waren das ja noch lange nicht alle Stoffe, die es gibt, sondern nur sehr wenige.“

Lisa und Aylin nicken.

„Wir hatten gesagt, dass Teilchen die kleinsten Bausteine sind, aus denen ein Stoff aufgebaut ist“, setzt Sinan an.

„Wachs ist aus Wachsteilchen und Duftstoff aus Duftstoffteilchen“, unterbricht Max ihn.

„Genau, das haben wir angenommen“, bestätigt Sinan. „Wenn wir so denken, müsste jeder Stoff seine eigenen kleinsten Bausteine haben. Denn das Glas wäre kein Glas, wenn es aus Wachsteilchen und nicht aus Glasteilchen besteht.“

Max nickt eifrig.

„Irgendwann hat man allerdings festgestellt, dass es noch kleinere Bausteine als die Teilchen gibt. Diese Bausteine werden als **Atome** bezeichnet“, erklärt Sinan.

„Davon habe ich, glaube ich, schon mal gehört“, nuschelt Lisa.

Aylin und Max sehen sie erstaunt an.

„Allerdings gibt es nicht unendlich viele unterschiedliche Atome. Es kann also nicht jeder Stoff aus seiner eigenen, speziellen Atomsorte aufgebaut sein, sondern es gibt nur eine begrenzte Anzahl dieser Bausteine“, schränkt Sinan ein.

„Also gibt es keine Wachsatome?“, fragt Max.

Und Aylin fragt gleichzeitig: „Wie meinst du das?“

„Ihr könnt es euch vorstellen wie Legosteine: Es gibt nicht unendlich viele unterschiedliche Sorten von Legosteinen, sondern nur eine begrenzte Anzahl. Richtig?“

Die drei nicken.

„Aber ich habe viele Legosteine“, wirft Max ein.

„Aber auch wenn man viele Legosteine hat, hat man nicht unendlich viele verschiedene Sorten von Steinen, sondern nur eine begrenzte Auswahl an Farben und Größen: Es gibt rote Zweier-Steine, weiße Einer-Steine oder schwarze Vierer-Steine und so weiter, aber es gibt zum Beispiel keine rosa-gelb gestreiften Dreier.“

Max nickt eifrig.

„Trotzdem kann man mit Legosteinen alles bauen, was man möchte“, fährt Sinan fort.

Max nickt immer noch und erinnert sich an die großen Gebäude aus Legosteinen, die er im Urlaub im Lego-Land gesehen hat. Die Mitarbeiter dort können wirklich fast alles aus den kleinen Plastiksteinen bauen. Auch Lisa und Aylin nicken, wenn auch weniger begeistert.

„Stellt euch vor, ihr schüttet alle Legosteine, die Max hat, auf einen Haufen“, fährt Sinan fort.

„Ich kann meine Legosteine holen“, schlägt Max vor.

Lisa verdreht zwar die Augen, aber Sinan nickt zustimmend.

Max läuft schnell ins Haus und kehrt kurze Zeit später mit einer Hand voll Legosteinen zurück, die er auf dem Tisch ausbreitet.

„Sehr gut, jetzt haben wir erst mal einen Haufen Legosteine“, sagt Sinan.

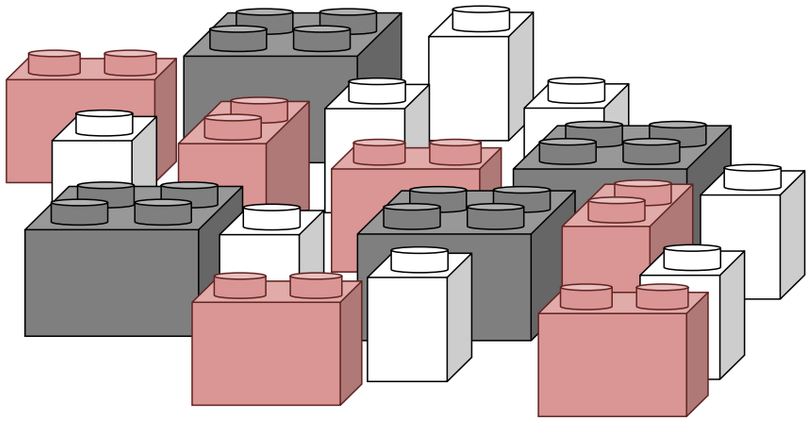


Bild 5: Legosteinhaufen

„Wenn ihr etwas Bestimmtes bauen wollt, fangt ihr vielleicht damit an die Steine zu sortieren“, vermutet Sinan: „Alle weißen Einer kommen auf einen Haufen, die schwarzen Vierer kommen auf einen anderen Haufen, die roten Zweier kommen auf einen dritten Haufen und so weiter. Dann bekommt ihr einen Überblick darüber, welche verschiedenen Legosteinsorten euch zur Verfügung stehen.“

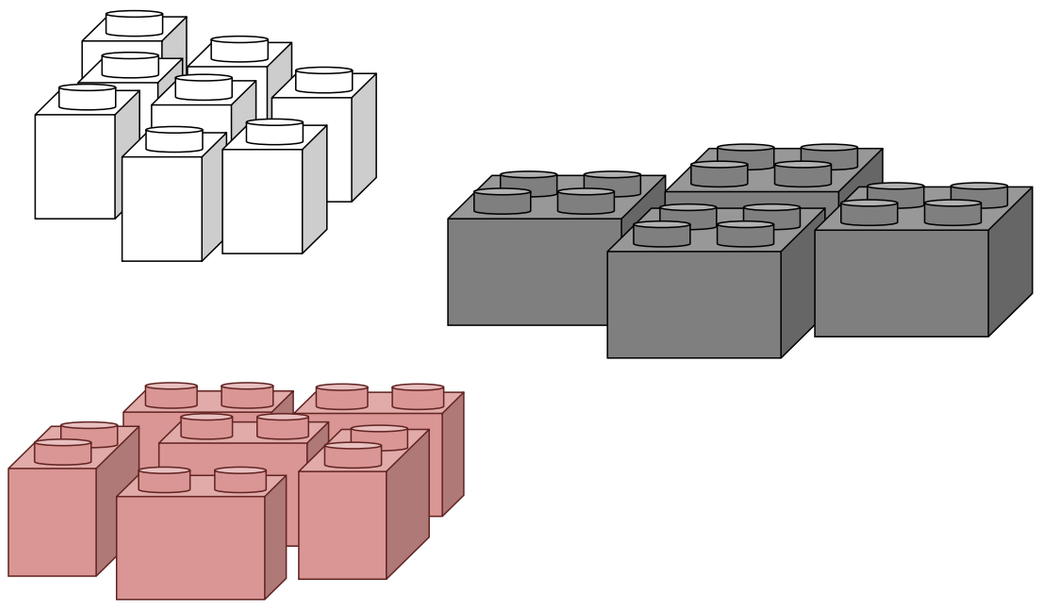


Bild 6: Sortierte Legosteine

Max nickt aufgeregt, so hat er es selbst auch schon oft gemacht.

„So wie es verschiedene Legosteinsorten gibt, gibt es auch verschiedene Sorten Atome“, erklärt Sinan. „Genau wie bei den Legosteinen sind das aber nicht unendlich viele verschiedene Atomsorten, sondern nur eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Atomsorten.

Chemiker nennen diese Atomsorten auch **Elemente**.

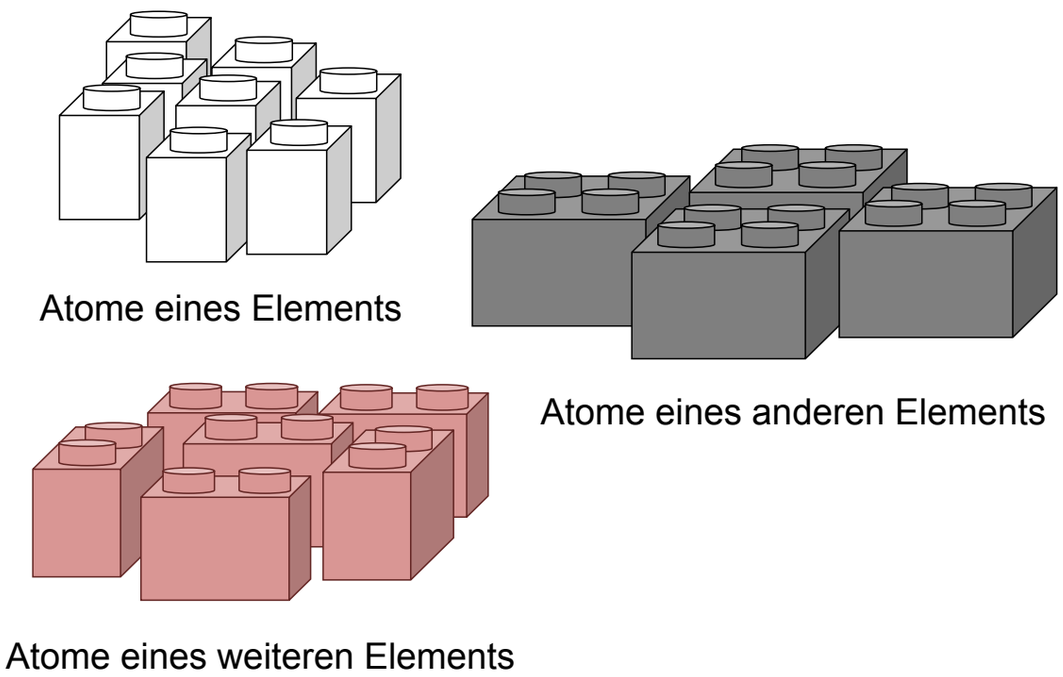


Bild 7: Atome dreier unterschiedlicher Elemente im Lego-Modell

Weil es nicht unendlich viele unterschiedliche Atomsorten gibt, ist auch nicht jeder Stoff aus den Atomen nur eines Elements aufgebaut“, fährt Sinan fort. „Wachs gehört beispielsweise zu den Stoffen, zu denen es kein eigenes Element gibt, sondern zu denen, die aus unterschiedlichen Atomsorten aufgebaut sind. Beim Duftstoff ist das auch so.“

„Also gibt es kein Wachsatom?“, fragt Max noch mal.

„Und kein Duftstoffatom“, ergänzt Lisa.

Sinan nickt.

„Aber wie … ?“, fragt Max und weiß vor Verwunderung nicht, wie er seine Frage zu Ende formulieren soll.

„Wenn wir uns den Aufbau solcher Stoffe, wie Wachs, im Lego-Modell vorstellen“, fährt Sinan fort, „sind diese Stoffe nicht aus einzelnen Legosteinen aufgebaut, sondern aus Bauteilen, die aus mehreren Legosteinen bestehen. In solchen Bauteilen sind mehrere Legosteine fest miteinander verbunden.

So als würden wir diese zwei roten Zweier fest aufeinander stecken.“

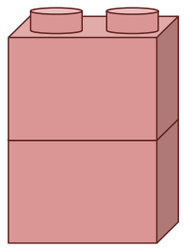


Bild 8: Bauteil aus zwei Legosteinen

„Und aus diesen zwei Legosteinen … eh … nee … Atomen besteht dann das Wachs?“, fragt Max, der weiterhin sehr skeptisch guckt.

„Die Bauteile, aus denen das Wachs aufgebaut ist, sind etwas komplizierter“, gesteht Sinan. „Das können wir uns gleich noch genauer ansehen. Wichtig ist erstmal, dass ihr euch merkt, dass nicht jeder Stoff aus Atomen aufgebaut ist, die es sonst in keinem anderen Stoff gibt, sondern dass ein paar Sorten von Atomen zu solchen, auch sehr unterschiedlichen Bauteilen kombiniert werden können.“

„Und der Stoff ist dann aus solchen Bauteilen aufgebaut?“, fragt Aylin, während Max die Stirn runzelt.

Sinan nickt: „So kannst du es dir vorstellen: mehrere Atome verbinden sich zu solch einem Bauteil, wie unsere beiden roten Vierer hier, und aus diesen Bauteilen ist dann der Stoff aufgebaut.“

„Aha“, macht Aylin; auch sie sieht nicht ganz überzeugt aus.

„Chemiker bezeichnen diese Bauteile als **Moleküle**“, fügt Sinan hinzu.

„Also sind alle Legosteine wie Atome“, überlegt Lisa.

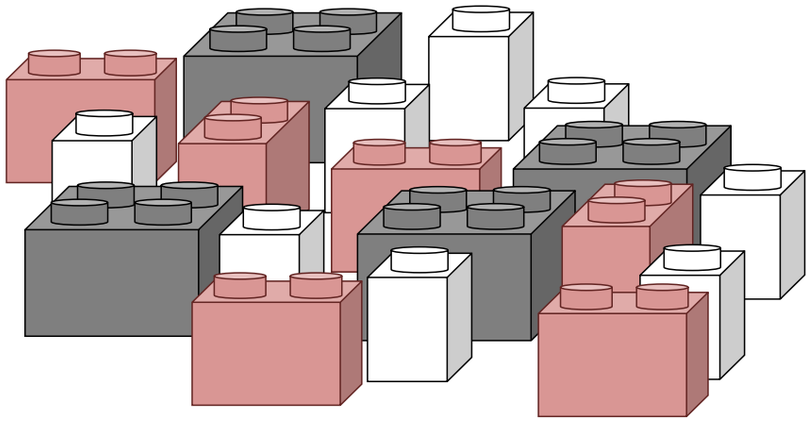


Bild 9: Atome im Legomodell

„Und wenn man die Steine nach Farbe und Größe sortiert“, fährt Lisa fort, „also alle weißen Einer zusammenlegt, alle roten Zweier, alle schwarzen Vierer und so weiter – dann sortiert man die Atome sozusagen in Elemente?“

„Genau“, bestätigt Sinan. „Die sortierten Haufen, die nur eine Sorte Steine enthalten, stehen dann für ein Element – zum Beispiel die roten Zweier unten links.

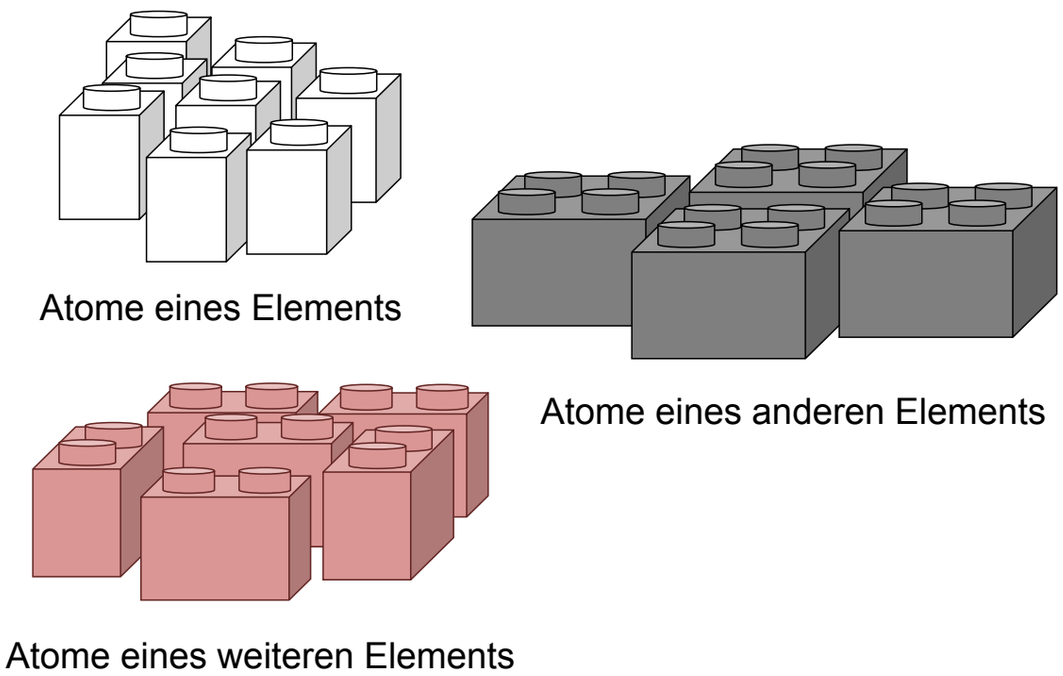


Bild 10: Atome dreier unterschiedlicher Elemente im Lego-Modell

Ein anderer Haufen – zum Beispiel der mit den schwarzen Vierern – steht für ein anderes Element“, fährt Sinan fort. „Und der Haufen mit den weißen Einern steht für ein weiteres Element.

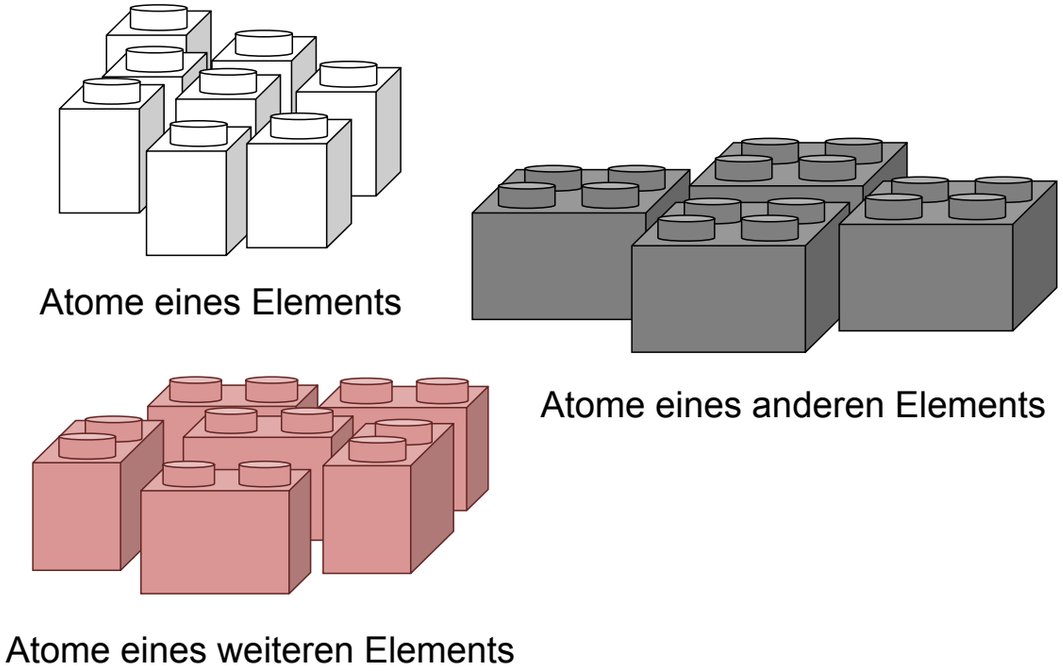


Bild 11: Atome dreier unterschiedlicher Elemente im Lego-Modell

Genau wie die Legosteine einer Sorte untereinander gleich sind, sind auch die Atome eines Elements untereinander gleich“, erklärt Sinan weiter. „Ihr könnt die Atome eines Elements daher nicht voneinander unterscheiden, genauso wenig wie ihr die Legosteine einer Sorte voneinander unterscheiden könnt.

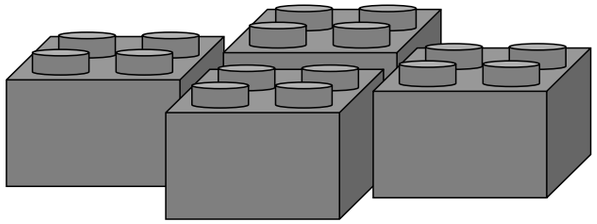


Bild 12: Atome eines Elements im Lego-Modell

Die Atome verschiedener Elemente könnt ihr dagegen deutlich voneinander unterscheiden, so wie ihr auch Legosteine unterschiedlicher Sorten unterscheiden könnt.“

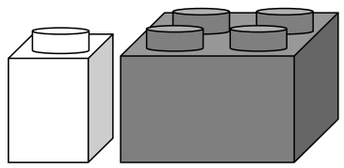


Bild 13: zwei Atome verschiedener Elemente im Lego-Modell

„Also ist Element ein Begriff, der die verschiedenen Atomsorten genauer beschreibt?“, fragt Aylin zur Sicherheit noch mal nach.

Sinan nickt.

„Aber Wachs und Duftstoff sind nicht solche Elemente, oder?“, überlegt Max.

Lisa nickt zustimmend: „Die sind aus Molekülen, oder?“

„Wie ich schon gesagt habe, gibt es kein Wachselement“, erklärt Sinan. „Wenn ihr euch das im Legomodell vorstellt, gibt es also keine passende, eigene Steinsorte. Aber ihr könnt mehrere Steine zu einem Bauteil zusammenstecken und aus diesem Bauteil ist dann das Wachs aufgebaut.“

„Und diese Bauteile nennen Chemiker Moleküle?“, fragt Lisa noch mal nach.

Sinan nickt.

„Und die Moleküle bestehen aus Atomen?“, fragt Max, der weiterhin nicht überzeugt wirkt.

Sinan nickt wieder: „In Molekülen sind die Atome fest miteinander verbunden, so wie die beiden roten Legosteine hier in meinem Bauteil fest aufeinander gesteckt sind.“

„Hmhm“, macht Max.

„Wir können natürlich nicht nur aus diesen beiden roten Zweiern ein solches Bauteil bauen, sondern auch aus diesen beiden weißen Einern.

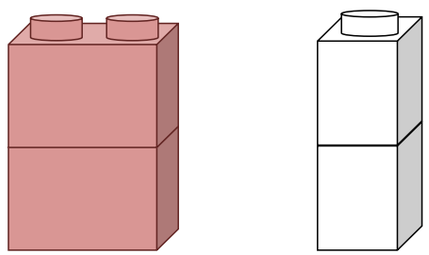


Bild 14: Lego-Modell eines Moleküls aus zwei weißen Einern

Oder einem roten Zweier und zwei weißen Einern“, schlägt Sinan weiter vor.

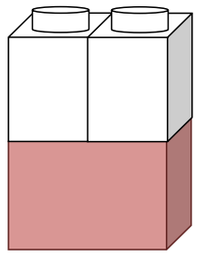


Bild 15: Lego-Modell eines Moleküls aus einem roten Zweier und zwei weißen Einern

„Oder mit diesem schwarzen Vierer und vier weißen Einern“, schließt Sinan.

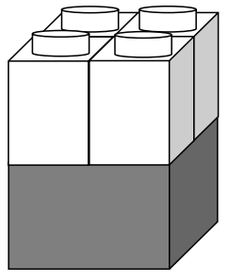


Bild 16: Lego-Modell eines Moleküls aus einem schwarzen Vierer und vier weißen Einern

„Oder diesem schwarzen Vierer und den beiden roten Zweiern?“, fragt Max und steckt schon los.

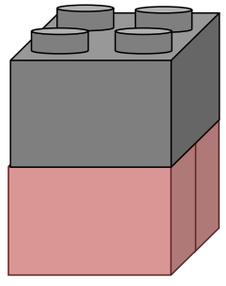


Bild 17: Lego-Modell eines Moleküls aus einem schwarzen Vierer und zwei roten Zweiern

„Genau“, bestätigt Sinan. „Diese Bauteile, die Chemiker Moleküle nennen, bestehen aus mindestens zwei Legosteinen – Chemiker sagen: aus mindestens zwei Atomen; zum Beispiel aus zwei weißen Einern.

Solche Bauteile können aus den gleichen oder aus unterschiedlichen Legosteinsorten aufgebaut sein“, fährt Sinan fort.

„Das Bauteil aus den beiden roten Zweiern besteht aus einer einzigen Sorte Legosteine“, erklärt Sinan weiter. „Chemiker würden sagen: das Molekül besteht aus zwei Atomen eines Elements.

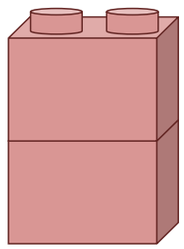


Bild 18: Lego-Modell eines Moleküls aus zwei Legosteinen einer Legosteinsorte

Das Bauteil aus dem schwarzen Vierer und den vier weißen Einern besteht dagegen aus verschiedenen Sorten Legosteinen“, erläutert Sinan. „Chemiker würden hier sagen: das Molekül besteht aus fünf Atomen, die zu zwei unterschiedlichen Elementen gehören.“

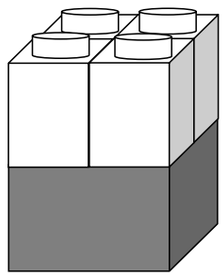


Bild 19: Lego-Modell eines Moleküls aus fünf Legosteinen zweier unterschiedlicher Legosteinsorten

„Aha“, macht Max skeptisch.

Lisa nickt, auch wenn sie das ganz schön kompliziert findet.

„Aber ich dachte, Wachs besteht aus Wachsteilchen“, unterbricht Aylin Sinan.

„Sind Moleküle dann also auch Teilchen?“, fragt Lisa nach.

„Ja, so kann man es sehen“, antwortet Sinan.

„Aber das ist noch nicht alles. Stellt euch vor, ihr betrachtet einen Stoff unter einer Super-Lupe, dann seht ihr zunächst die Kugelteilchen, als Bausteine des Stoffes, wie wir sie uns bisher immer vorgestellt haben.

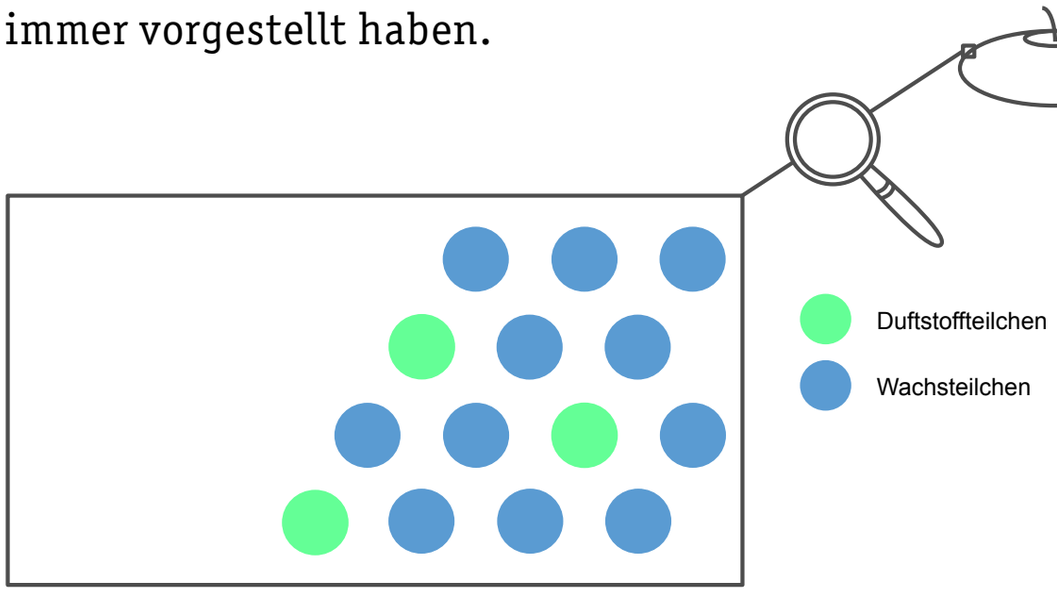


Bild 20: Ausschnitt aus einer Duftkerze im Teilchenmodell

Mit dieser Teilchenvorstellung können wir einige Phänomene, die wir beobachten, erklären. Beispielsweise, die Diffusion der Duftstoffteilchen aus einer Duftkerze.

Für andere Fragen, beispielsweise warum über einer Kerze Ruß aufsteigt, reicht diese Vorstellung von den Kugelteilchen nicht mehr aus.

Wenn wir mit der Lupe aber noch etwas näher an die Kugelteilchen heranzoomen und sie noch genauer betrachten, stellen wir fest, dass die Kugelteilchen meistens Moleküle sind, also kleine Bauteile aus Atomen von einem oder mehreren Elementen."

„Das ist voll verwirrend", beklagt sich auch Lisa.

„Es ist eigentlich gar nicht so kompliziert. Seht euch noch einmal die Bauteile an, die wir bis jetzt zusammengesteckt haben:

Da ist zum Beispiel der schwarze Vierer mit den vier weißen Einern.

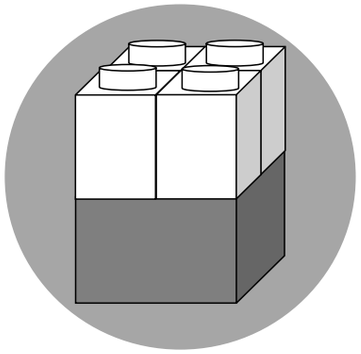


Bild 21: Lego-Modell eines Moleküls aus einem schwarzen Vierer und vier weißen Einern

Jetzt können wir sagen, dass diese fünf Steine *zusammen* ein **Kugelteilchen** sind, weil sie ja ganz fest zusammengesteckt sind und sich nicht so leicht voneinander trennen. Die Verbindung zwischen den fünf Steinen bestimmt die Eigenschaften des Stoffes – deswegen ist es sogar sinnvoll, das gesamte Bauteil als kleinstes Teilchen zu betrachten", erklärt Sinan.

Die drei nicken.

„Wenn wir aber ganz genau hinsehen“, erklärt Sinan weiter, „stellen wir fest, dass dieses Bauteil aus fünf einzelnen Steinen besteht, die fest miteinander verbunden sind. Einem schwarzen Vierer und vier weißen Einern.

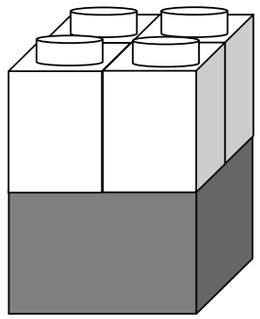
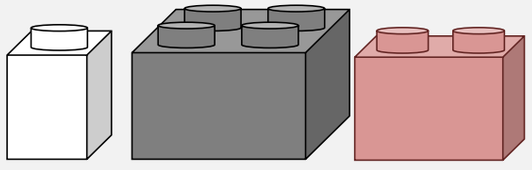


Bild 22: Lego-Modell eines Moleküls aus einem schwarzen Vierer und vier weißen Einern

„Also sind alle Legosteine Atome“, versucht Aylin zusammenzufassen

„Legosteine sind Legosteine, keine Atome“, korrigiert Sinan. „Aber in unserem Lego-Modell stehen die einzelnen Legosteine für die Atome“, stimmt er dann zu.



einzelne Legosteine

Atome

Bild 23: Legosteine und Atome

„Mein‘ ich ja“, sagt Aylin schnell und setzt dann noch mal an: „Also die einzelnen Legosteine stehen für Atome. Und Legosteine – also Atome –, die unterschiedlich aussehen, gehören zu unterschiedlichen Elementen.“

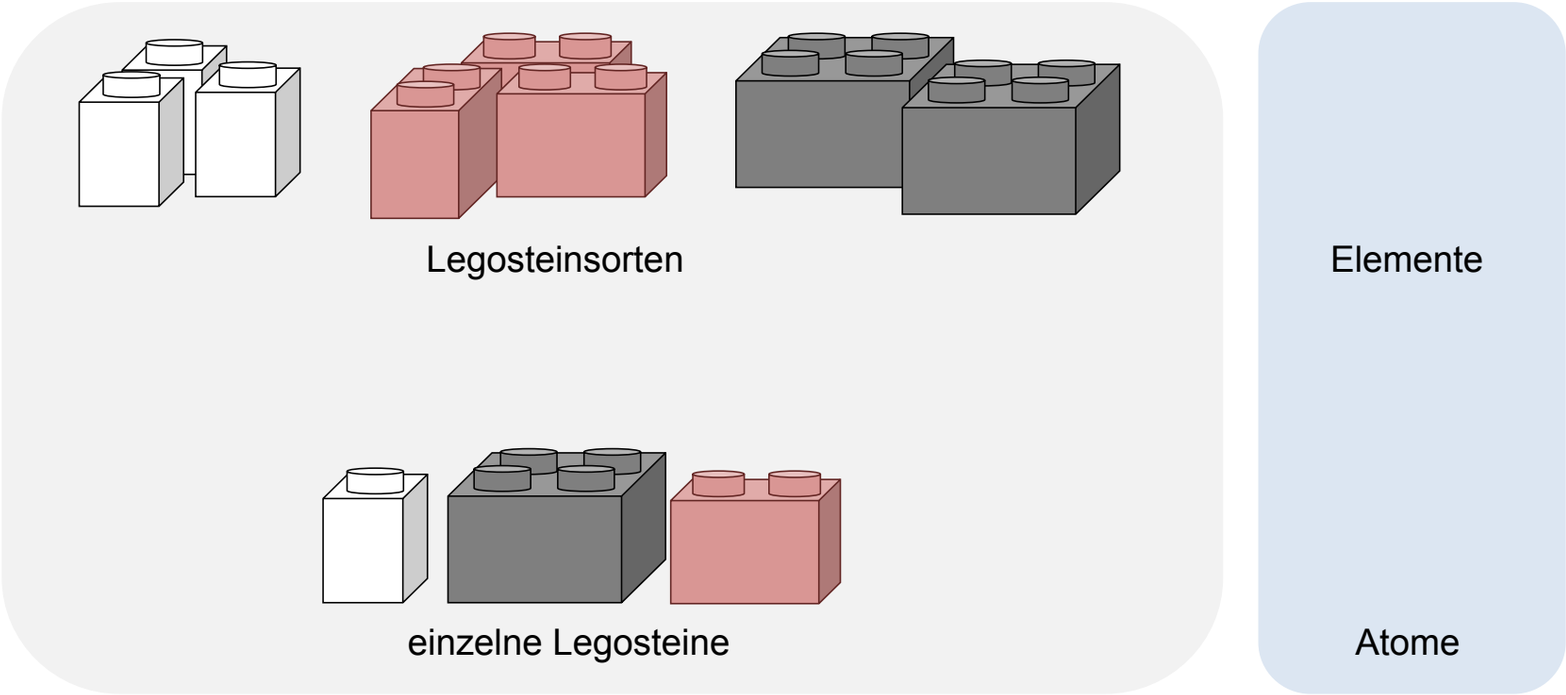


Bild 24: Legosteinsorten und Elemente

„Und wenn man mindestens zwei Atome zusammenmacht, so dass sie nicht wieder auseinanderfallen, bilden sie ein Molekül“, erklärt Lisa weiter.

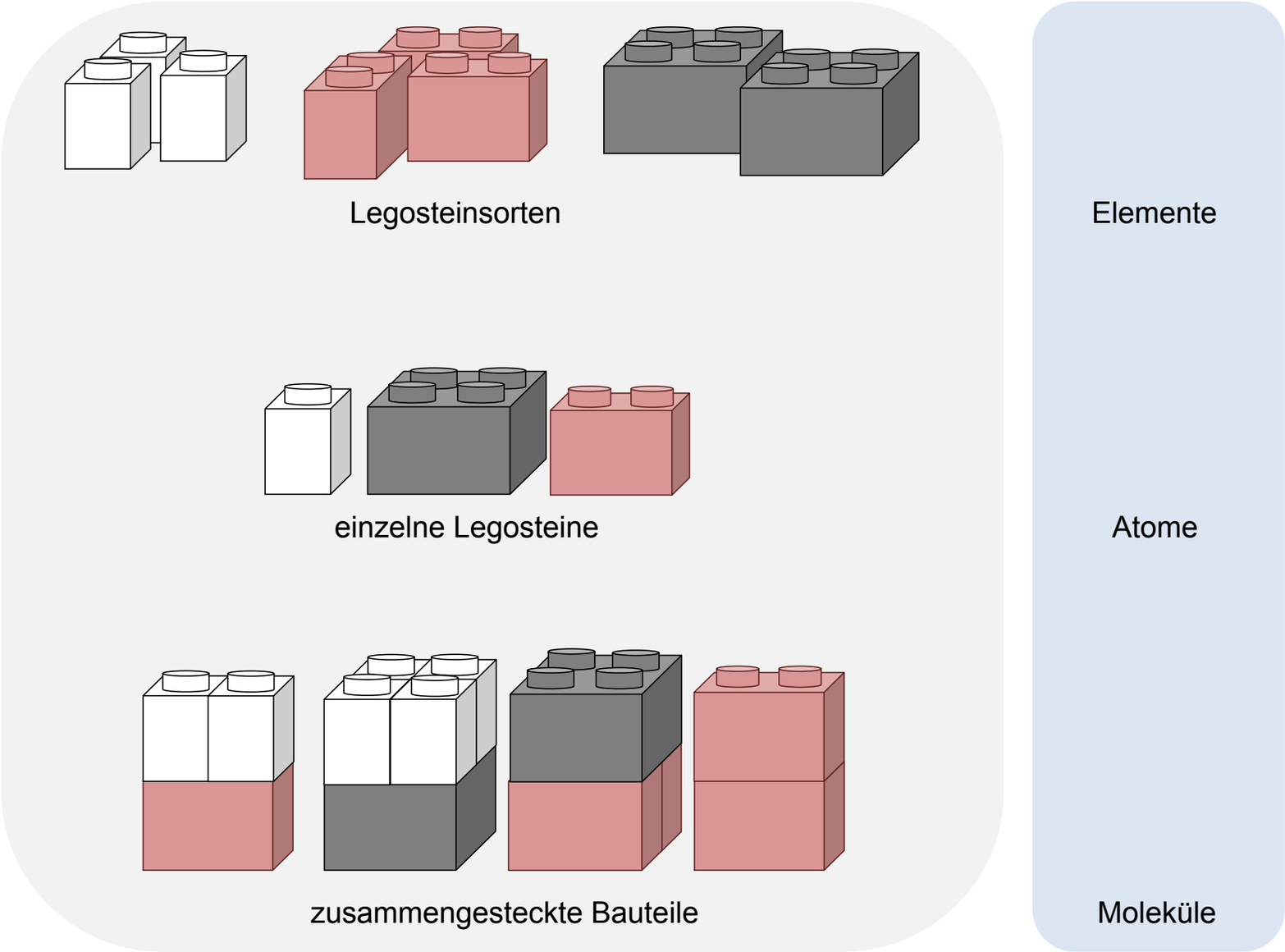


Bild 25: Bauteile und Moleküle

„Aber wenn die Legosteine Atome sind“, fragt Max noch mal nach, „ … also in unserem Modell … und die Bauteile aus zwei Legosteinen Moleküle sind … wo sind denn dann auf einmal die kleinen runden Teilchen, von denen wir letztes Jahr die ganze Zeit geredet haben?“

„Die Begriffe Kugelteilchen, Atom und Molekül widersprechen sich nicht“, erklärt Sinan. „Es sind zwei verschiedene Erklärungsmodelle, die wir nutzen, um Phänomene möglichst einfach zu erklären. Du kannst also Kugelteilchen als einen Oberbegriff für Atome und Moleküle verstehen, so dass weder das eine noch das andere falsch ist.

Du kannst dir Atome und Moleküle als eine genauere Beschreibung der Kugelteilchen vorstellen“, fährt Sinan fort.

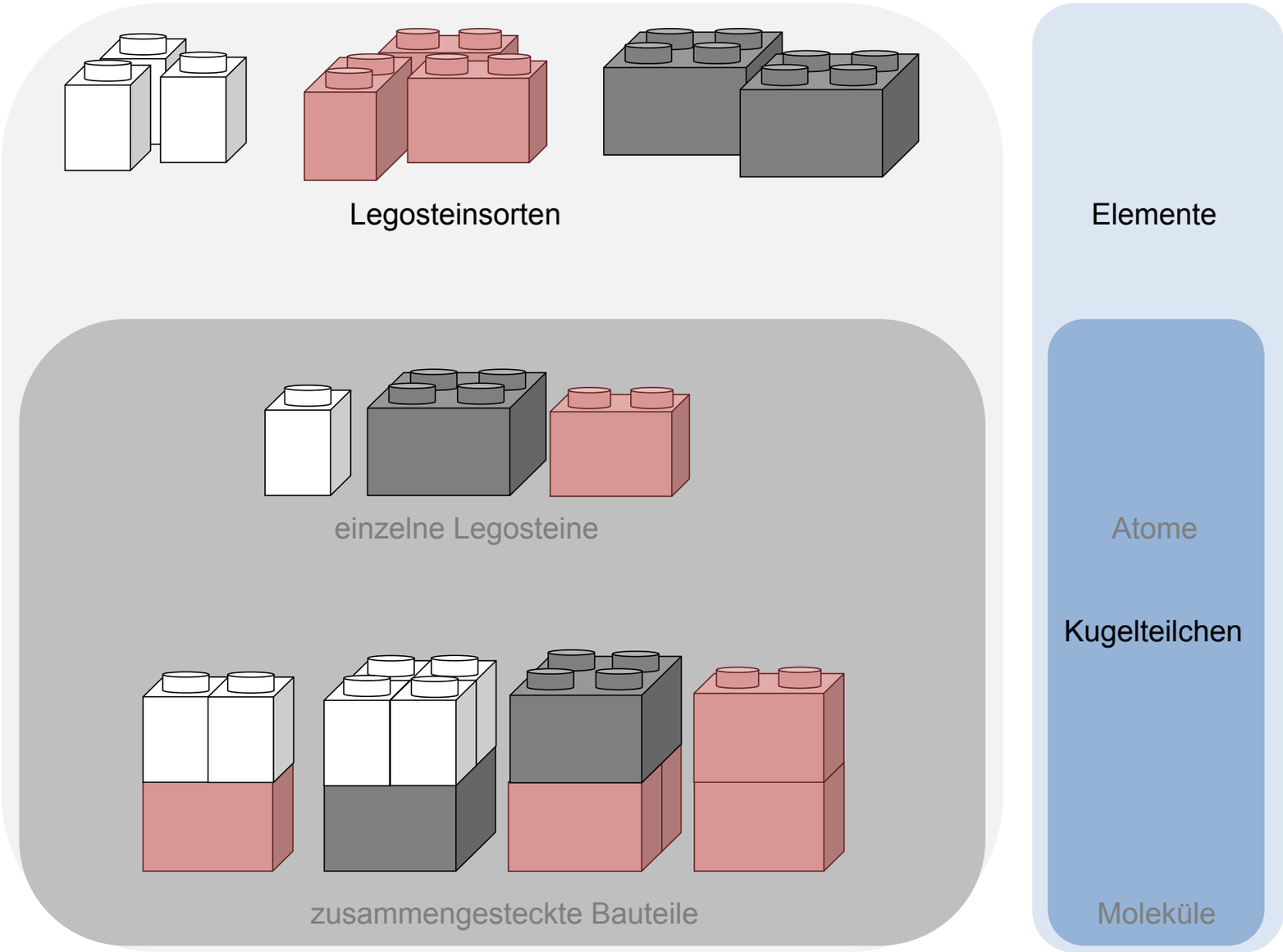


Bild 26: Kugelteilchen im Lego-Modell

Wenn wir einen Stoff, der aus Molekülen aufgebaut ist, erhitzen, abkühlen, umrühren, schütteln, zusammendrücken, zerteilen und so weiter – ihn also **physikalisch verändern** –, trennen sich die Atome der Moleküle nicht voneinander“, erklärt Sinan weiter.

„So wie du auch das Bauteil aus dem schwarzen Vierer und den vier weißen Einern kräftig schütteln kannst, ohne dass es auseinander fällt.

Solange wir physikalische Vorgänge – wie die Diffusion oder die Aggregatzustandsänderung – betrachten, genügt es häufig sich vorzustellen, dass die Moleküle die kleinsten Teilchen in einem Stoff sind“, fährt Sinan fort. „Dann kann man also auch gut das Kugelteilchenmodell nutzen, wie wir es bisher immer getan haben.“

„Aha!“, macht Max und lächelt. „Also wenn ich nicht so genau hingucke, dann bestehen die Stoffe aus Teilchen, und wenn ich genauer hingucke, dann gibt es da Moleküle und Atome!“

Sinan nickt: „Und wenn du jetzt mal ganz genau in Richtung Grill guckst“, fügt er hinzu und steht auf, „wirst du feststellen, dass deine Mutter gerade den Nachtisch geholt hat.“

„Aber Sinan“, beschwert sich Max, obwohl er eigentlich auch gerne etwas von diesem Nachtisch hätte, „was ist denn jetzt mit dem Ruß?!“

„Der kann warten“, antwortet Sinan und zwinkert Max zu.

„Na gut“, gibt Max nach und rennt dann los, um vor Sinan beim Nachtisch zu sein.

TESTE DEIN WISSEN

TEIL III: Elemente, Atome und Moleküle

Erkläre die folgenden Begriffe kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:

1) Elemente

2) Atome

3) Moleküle

4) Physikalische Veränderung

1) **Elemente:**
bestehen aus einer einzigen Atomsorte.

2) **Atome:**
Kleinste Bausteine der Materie, deren Zusammenfügung in beispielsweise Molekülen die Eigenschaften von Stoffen bestimmen.

3) **Moleküle:**
In einem Molekül sind mindestens zwei Atome fest miteinander verbunden. Die Moleküle sind für die Eigenschaften der Stoffe verantwortlich. Wenn der Aufbau der Moleküle verändert wird, entstehen neue Moleküle und dadurch ein neuer Stoff mit neuen Eigenschaften.

4) **Physikalische Veränderung:**
Zum Beispiel Aggregatzustandsänderungen, Verformungen oder Diffusion. Bei physikalischen Veränderungen werden die Moleküle nicht verändert.

SUPER, DAS WAR TEIL III

Zum nächsten Teil:

- **TEIL IV:** Unvollständige Verbrennung als chemische Reaktion
- **TEIL V:** Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Textes wiederholst du, dass Stoffe aus Atomen und Molekülen aufgebaut sein können. Es gibt unterschiedliche Sorten Atome, die als Elemente bezeichnet werden. Kohlenstoff und Wasserstoff sind Beispiele für chemische Elemente. Atome können sich fest miteinander zu Molekülen verbinden. Bei physikalischen Veränderungen, wie zum Beispiel Aggregatzustandsänderungen, ändert sich die Zusammensetzung der Moleküle aus Atomen nicht. Bei chemischen Veränderungen dagegen ordnen sich die Atome in Molekülen neu an, so dass Ausgangstoffe (Edukte) in neue Stoffe (Produkte) umgewandelt werden.

Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.

Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.

Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.

Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.

Jetzt geht es los mit

TEIL IV: Unvollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Einige Zeit später sitzt Max zappelig vor seinem leeren Nachtischschälchen. Und denkt über das nach, was Sinan ihm gerade erklärt hat.

Eigentlich hatte er gedacht, alle Stoffe bestehen aus kleinsten kugeligen Teilchen ... aber Sinan sagt, wenn man den Aufbau der Stoffe noch etwas genauer betrachtet, stellt man fest, dass man sich den Aufbau der Stoffe auch mithilfe von Atomen und Molekülen vorstellen kann. Sinan hat das am Beispiel von Max, Legosteinen erklärt: Es gibt eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Bausteinsorten, so wie es eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Legosteinsorten gibt. Die einzelnen Legosteine kann man als Modell für die Atome nutzen und die unterschiedlichen Legosteinsorten stehen dann für die Elemente.

Man kann mehrere Legosteine zu einem Bauteil zusammenstecken … und so ähnlich kann man sich das wohl auch mit den Atomen vorstellen. Wenn zwei oder mehr Atome dann fest miteinander verbunden sind, nennen Chemiker das Moleküle, hat Sinan gesagt.

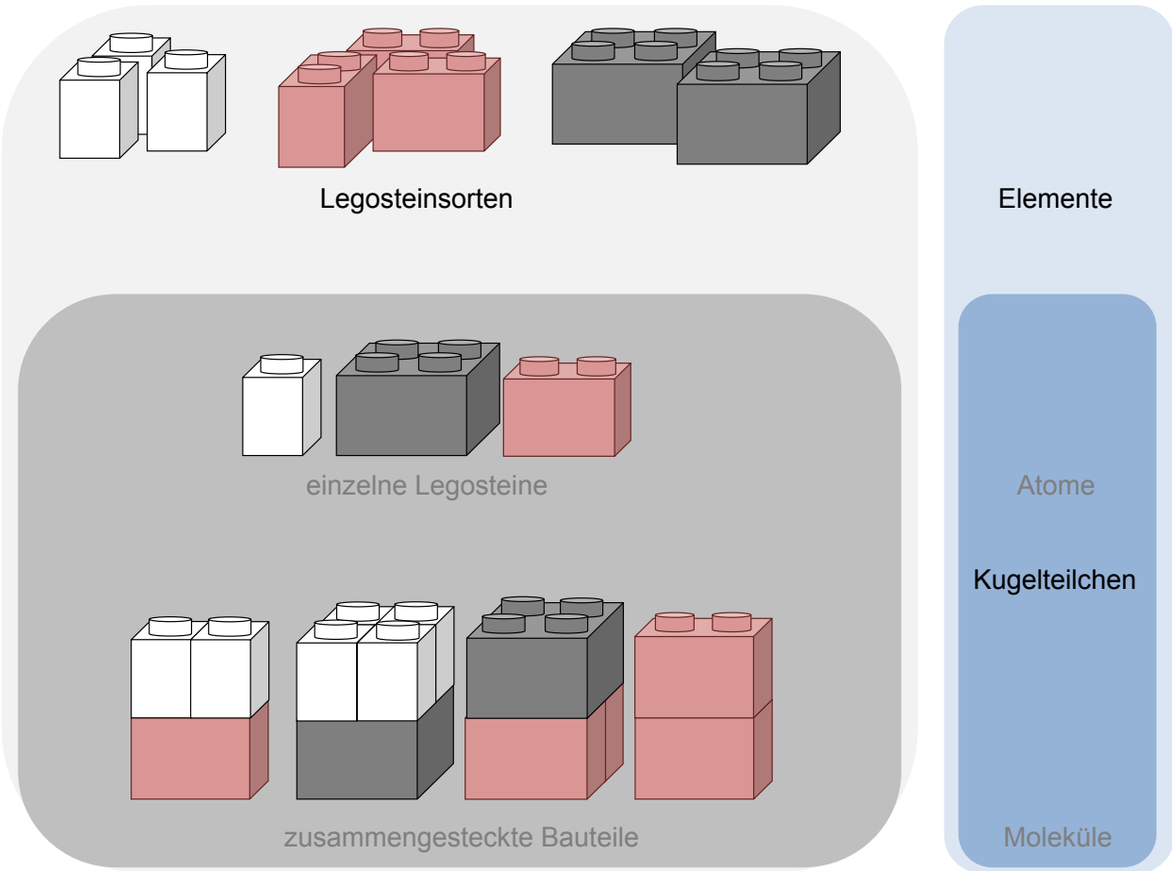


Bild 1: Übersicht über Atome, Elemente, Moleküle und Teilchen im Lego-Modell

Und aus diesen Molekülen sind viele Stoffe aufgebaut; zum Beispiel auch das Wachs von der Kerze … und irgendwie kann man mit diesen Molekülen wohl auch die Sache mit dem Ruß erklären, der aus der Kerze kommt …

Max betrachtet einen Moment die Kerze, dann schielt er unauffällig zu Sinan herüber und stellt erfreut fest, dass dieser seine dritte Portion Nachtisch fast aufgegessen hat.

„Du Sinan“, beginnt Max, bevor Sinan auf die Idee kommen kann sich einen weiteren Nachschlag zu holen. „Wegen dem Ruß … wie ist das jetzt?“

Aylin, die mit Lisa schon wieder beratschlagt hat, was sie in den Ferien alles unternehmen wollen, dreht sich interessiert um.

„Wo kommt der Ruß denn jetzt her?“, fragt auch sie ihren Bruder. „Und warum war da kein Wachs über der Kerze?“

„Also“, beginnt Sinan, „wenn wir physikalische Veränderungen betrachten … “

„ … Erhitzen oder Diffusion oder Aggregatzustandsänderungen … “, quasselt Max begeistert los.

„Psst“, macht Aylin und auch Lisa wirft ihm einen strengen Blick zu.

„ … dann kann man einfach das Kugelteilchenmodell nutzen“, fährt Sinan fort. „Wenn wir aber **chemische Veränderungen** betrachten – wie wir es bei der brennenden Kerze tun –, müssen wir genauer hinschauen und müssen zwischen Atomen und Molekülen unterscheiden. Dann kommen wir mit dem Kugelteilchenmodell nicht mehr weiter.“

„Aha“, sagt Aylin skeptisch und überlegt kurz. „Dann können wir also mit den Wachs*teilchen* nicht erklären, warum Max über der Kerzenflamme Ruß aufgefangen hat, aber mit *Atomen* und Wachs*molekülen* schon?“

„Genau“, bestätigt Sinan.

„Und warum ist da der Ruß?“, fragt Max ungeduldig nach.

„Wir hatten doch gerade geklärt, dass Wachs aus Wachsmolekülen besteht“, erklärt Sinan. „Um die Frage mit dem Ruß beantworten zu können, müssen wir zuerst klären, aus welchen Atomen Wachsmoleküle aufgebaut sind.“

Aylin, Max und Lisa sehen Sinan erwartungsvoll an.

„Wachsmoleküle enthalten die Atome zweier Elemente“, erklärt Sinan. „Diese Elemente heißen **Kohlenstoff** und **Wasserstoff**.

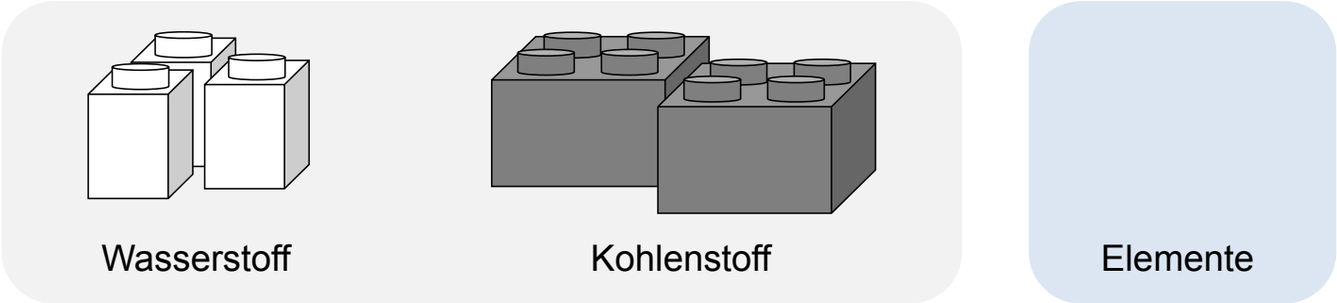


Bild 2: Wasserstoff und Kohlenstoff im Lego-Modell

Die weißen Einer-Legosteine sollen die Wasserstoffatome darstellen und diese schwarzen Vierer-Steine die Kohlenstoffatome“, erläutert Sinan.

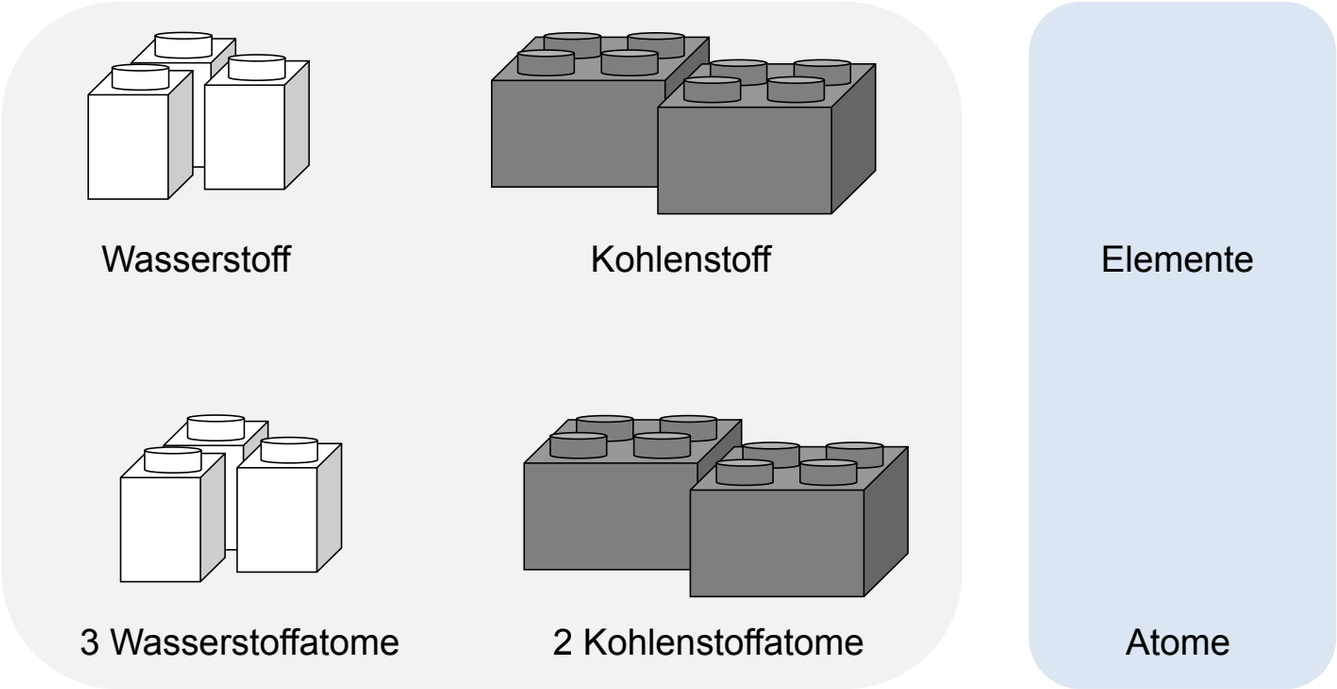


Bild 3: Wasserstoffatome und Kohlenstoffatome im Lego-Modell

„Weil wir ja schon wissen, dass Wachs aus Molekülen aufgebaut ist, verbinden wir jetzt die Legosteine zu einem Bauteil, das dann das Wachsmolekül darstellt“, fährt Sinan fort. „Dazu stecke ich die drei weißen Einer auf einen schwarzen Vierer und dann kann ich an den freien Steckplatz des schwarzen Vierers den nächsten schwarzen Vierer stecken.

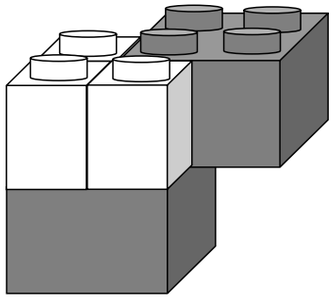


Bild 4: Bau eines Wachsmoleküls im Lego-Modell

Auf diesen schwarzen Vierer stecken wir dann wiederum zwei weiße Einer und auf einen freien Steckplatz wieder einen schwarzen Vierer.“

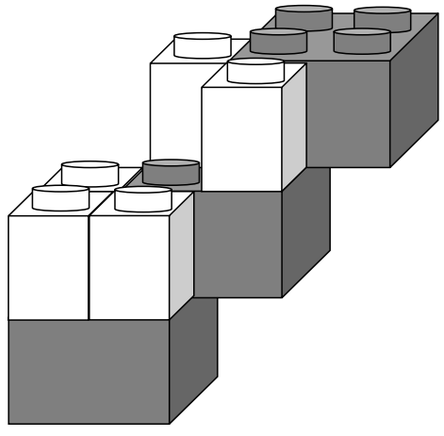


Bild 5: Bau eines Wachsmoleküls im Lego-Modell

„Können wir oben auf den schwarzen Vierer nicht noch einen weißen Einer stecken?“, fragt Max.

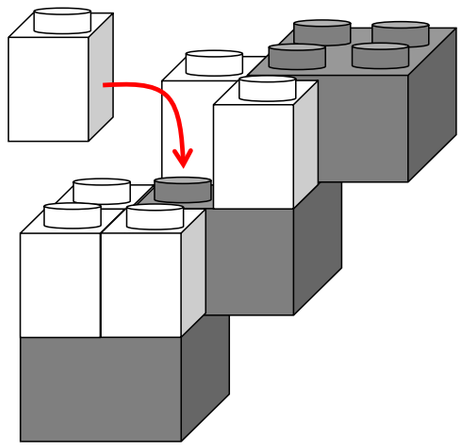


Bild 6: Steckregel zum Bau eines Wachsmoleküls im Legomodell

„Damit das Lego-Modell, das wir hier gerade nutzen, die Atome und Moleküle möglichst gut abbildet, solltet ihr die Steckplätze an den Steinen immer nur entweder von oben oder von unten besetzen, aber nie von beiden Seiten,“ erklärt Sinan.

„Mhmh“, macht Max. „Und weil an dem schwarzen Vierer unten schon der nächste schwarze Vierer steckt, darf ich dann oben nichts mehr draufstecken?“

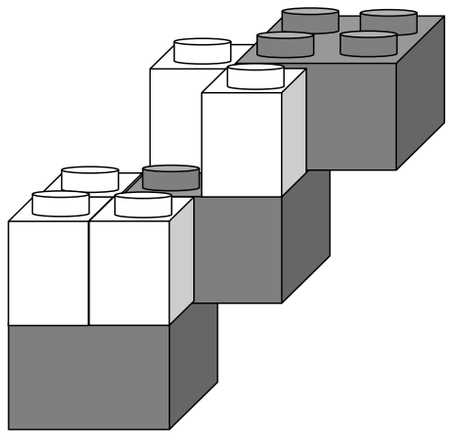


Bild 7: Steckregel zum Bau eines Wachsmoleküls im Legomodell

Sinan nickt zur Bestätigung.

„Auf den dritten schwarzen Vierer können wir jetzt wieder zwei weiße Einer stecken … “, fährt Sinan dann fort.

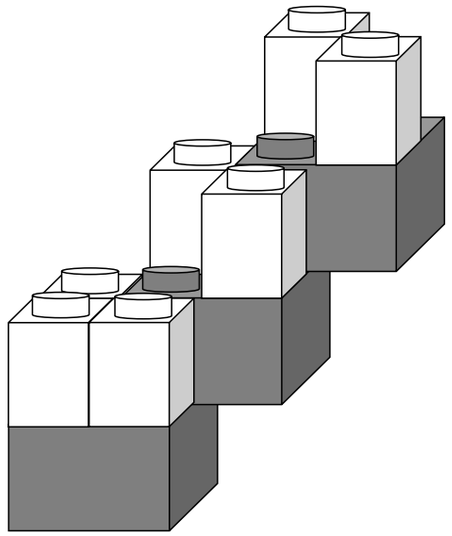


Bild 8: Bau eines Wachsmoleküls im Lego-Modell

„ … und dann immer so weiter?“, fragt Aylin.

„Genau“, bestätigt Sinan. „Um ein Wachsmolekül darzustellen, müssten wir etwa achtzehn schwarze Vierer aneinander stecken.“

Aylin steckt schon los. Lisa reicht ihr die benötigten Legosteine.

„Das sieht ein bisschen aus wie eine Treppe“, sagt Lisa und betrachtet das Lego-Modell des Wachsmoleküls, das Aylin in der Hand hält.

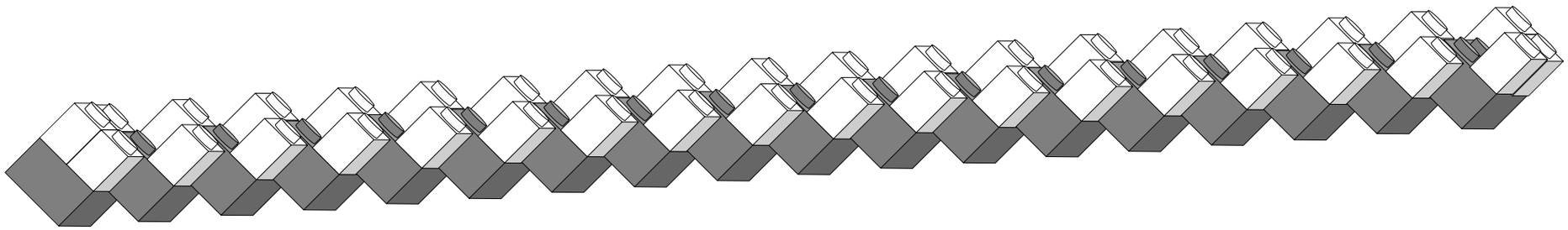


Bild 9: Wachsmolekül im Lego-Modell

„Das hat aber nur etwas damit zu tun, dass es ja aus Legosteinen gebaut ist, die überall rechte Winkel haben“, erklärt Sinan. „Auch wenn wir Atome nicht sehen können: Sie haben wahrscheinlich von der Form her nicht sehr viel Ähnlichkeit mit Legosteinen.“

„Schade“, murmelt Max.

Chemiker zeichnen für Atome meist kleine Kugeln – so wie wir es letztes Jahr schon für die Wachsteilchen und die Duftstoffteilchen gemacht haben“, erinnert Sinan. „In die Kugel schreiben wir dann die Abkürzung, die die Chemiker sich für das Element überlegt haben.

Für unseren weißen Einer-Stein könnte dann eine weiße Kugeln mit einem H drin stehen – denn H ist die Abkürzung der Chemiker für das Element Wasserstoff.“

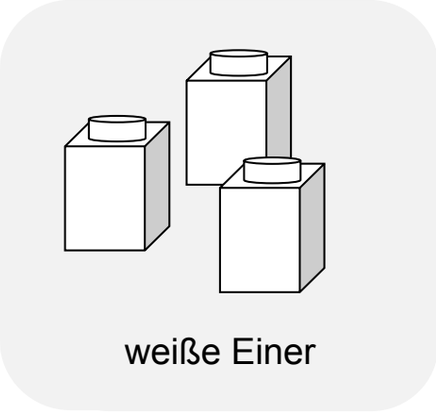
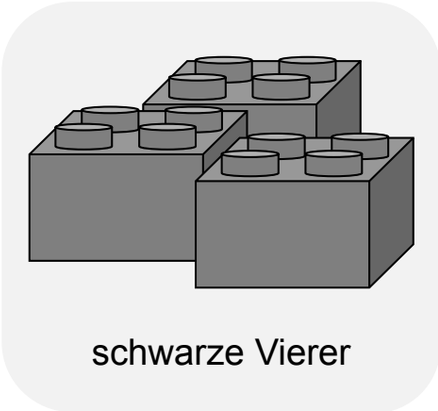


Bild 10: Wasserstoffatome im Legomodell und im Atommodell

„Und der schwarze Vierer … der Kohlenstoff?“, fragt Aylin.

„Dafür wird auch eine Kugel gezeichnet“, erläutert Sinan. „Zur Erinnerung an den schwarzen Vierer male ich sie mal schwarz aus … und als Abkürzung für das Element Kohlenstoff schreiben wir ein C rein.“



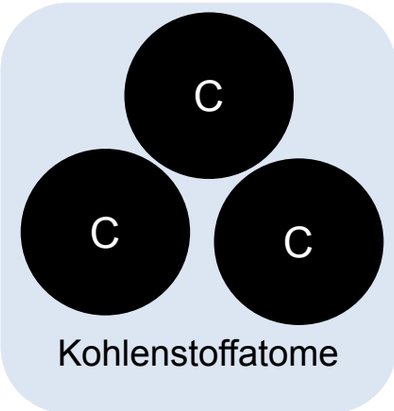


Bild 11: Kohlenstoffatome im Lego-Modell und im Atommodell

„Wenn wir unser Lego-Modell jetzt in ein Atommodell übersetzen wollen, zeichnen wir für das erste Kohlenstoffatom eine schwarze Kugel und dann drei weiße Kugeln für die Wasserstoffatome daran“, fährt Sinan fort.

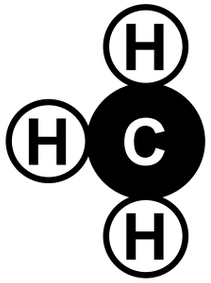
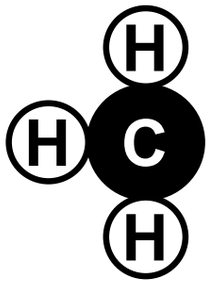


Bild 12: Bau eines Wachsmoleküls im Atommodell

„Und dann können wir an die schwarze Kugel die nächste schwarze Kugel zeichnen“, ruft Lisa.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Versucht doch mal das Wachsbauteil aus unserem Lego-Modell in das Atommodell zu übersetzen.“

Ergänze die Zeichnung des Wachsmoleküls im Atommodell um zwei weitere Kohlenstoffatome und vier Wasserstoffatome, bevor du weiter liest.



Max zeichnet zwei weitere schwarze und vier weiße Kugeln und präsentiert dann seine Zeichnung.

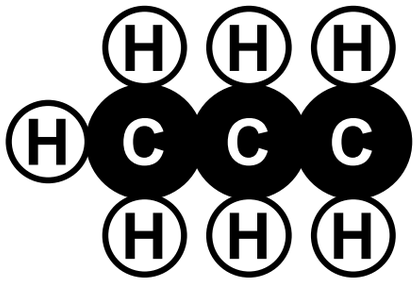


Bild 13: Bau eines Wachsmoleküls im Atommodell

„Sehr gut“, lobt Sinan. „Du hast an den freien Platz des ersten Kohlenstoffatoms ein zweites gezeichnet und daran ein drittes und die freien Plätze an den Kohlenstoffatomen mit weißen Kugeln besetzt, die für die Wasserstoffatome stehen sollen.

Vergleiche Max‘ Zeichnung mit deiner eigenen. Korrigiere deine Zeichnung und erläutere, was an deiner Zeichnung falsch war, falls dies notwendig ist, bevor du weiter liest.

In Echt ist so ein Wachsmolekül allerdings noch viel größer“, erinnert Sinan. „Du müsstest an den freien Platz am Kohlenstoffatom jetzt einfach immer noch mehr Kohlenstoffatome zeichnen, bis du eine ganz lange Kette hättest.“

Max sieht wenig begeistert aus.

„Ich kann ja noch welche machen“, schlägt Lisa vor. „Es müssen achtzehn schwarze Kugeln sein, oder?“

„Wichtig ist vor allem, dass wir wissen, dass Wachsmoleküle aus Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen bestehen“, antwortet Sinan. „Wie viele genau es sind, ist für uns gerade eigentlich gar nicht so interessant.“

„Also merke ich mir einfach ein Wachsmolekül besteht aus ganz vielen C-Knubbeln hintereinander mit ganz vielen H-Knubbeln drum herum?“, fragt Max.

„Eine lange Kette aus Kohlenstoffatomen, nicht *Knubbeln*“, verbessert Lisa und präsentiert ihre Zeichnung, „mit Wasserstoffatomen am Rand.“

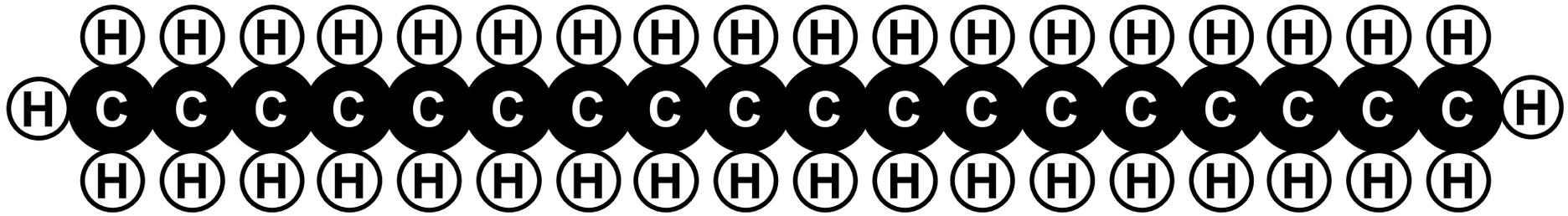


Bild 14: Aufbau eines Wachsmoleküls im Atommodell

„Bei dem Modell mit den Atomen sind Kohlenstoff und Wasserstoff die Elemente“, fasst Aylin noch mal zusammen.

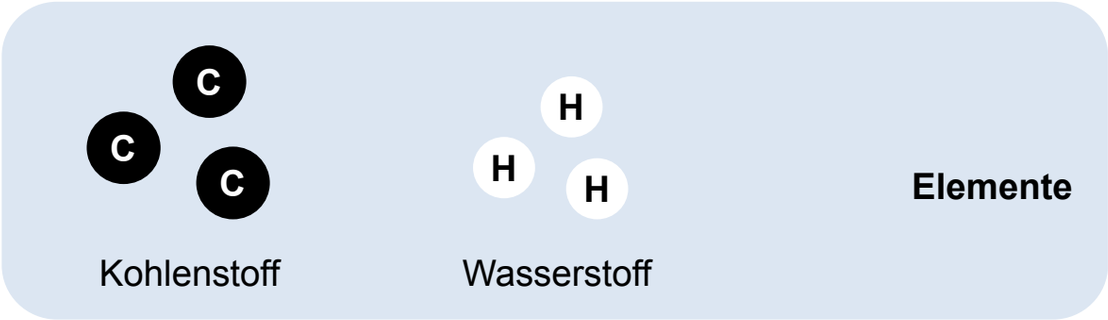


Bild 15: Elemente

„Und die schwarzen Kugeln mit dem C drin stehen jeweils für ein Kohlenstoffatom“, fährt Aylin fort, „und die weißen Kugeln mit dem H drin stehen jeweils für ein Wasserstoffatom.“

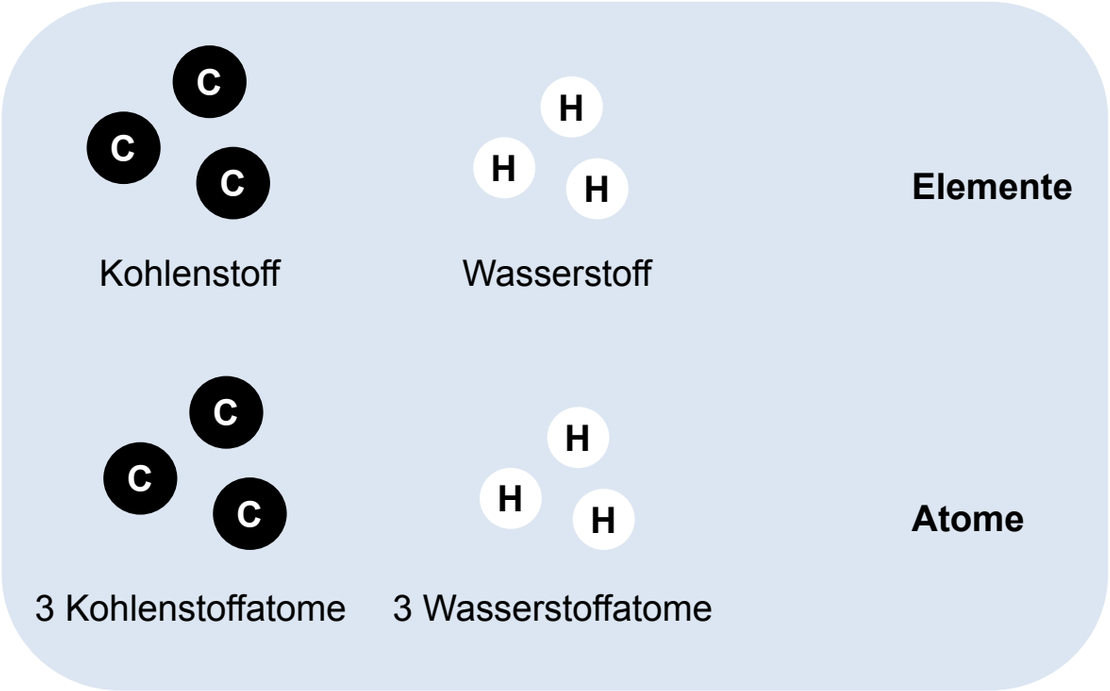


Bild 16: Atome

„Und wenn die Atome fest miteinander verbunden sind, dann ist es ein Molekül“, ergänzt Lisa.

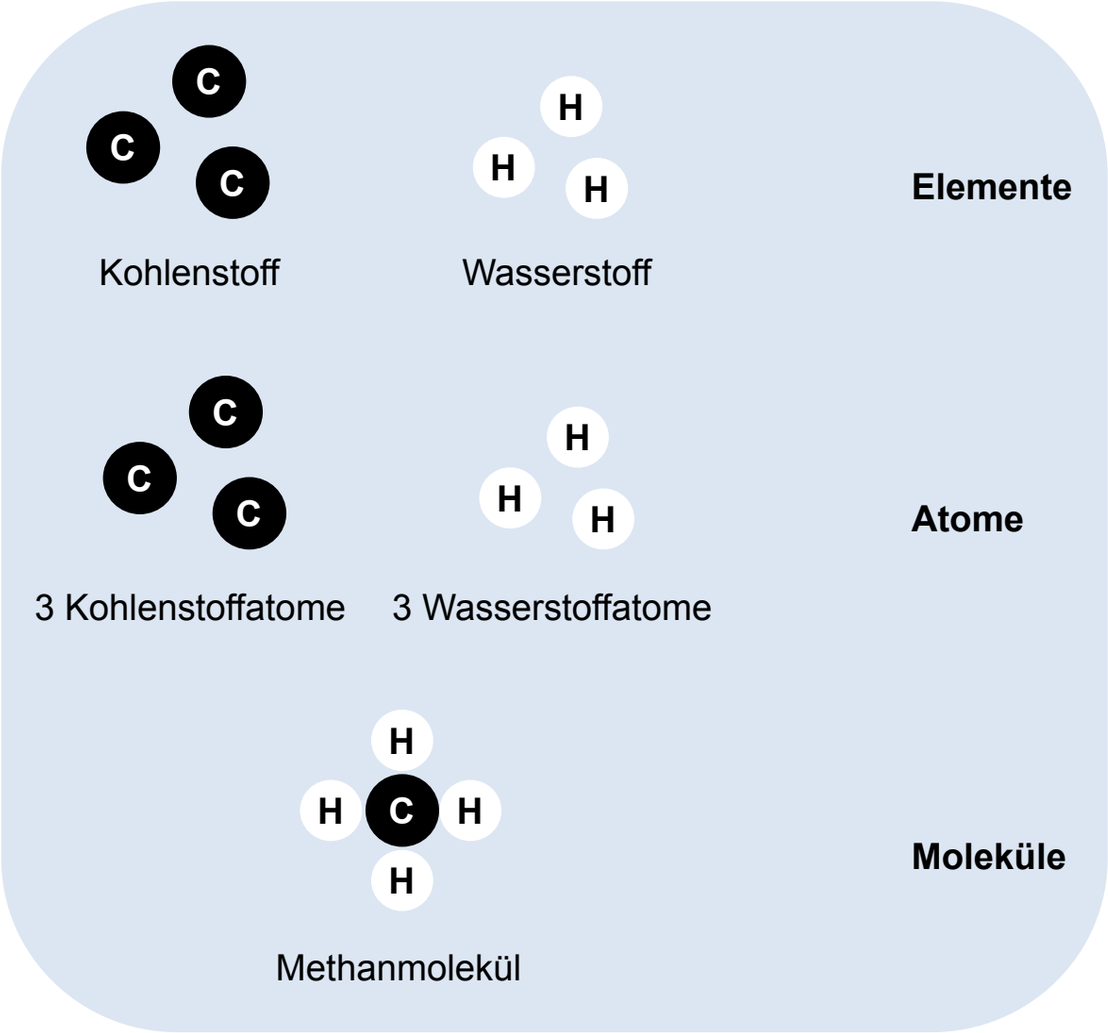


Bild 17: Moleküle

„Und manchmal, wenn man nicht so genau hinsehen muss, kann man die Atome und die Moleküle auch als Kugelteilchen betrachten“, fügt Max hinzu.

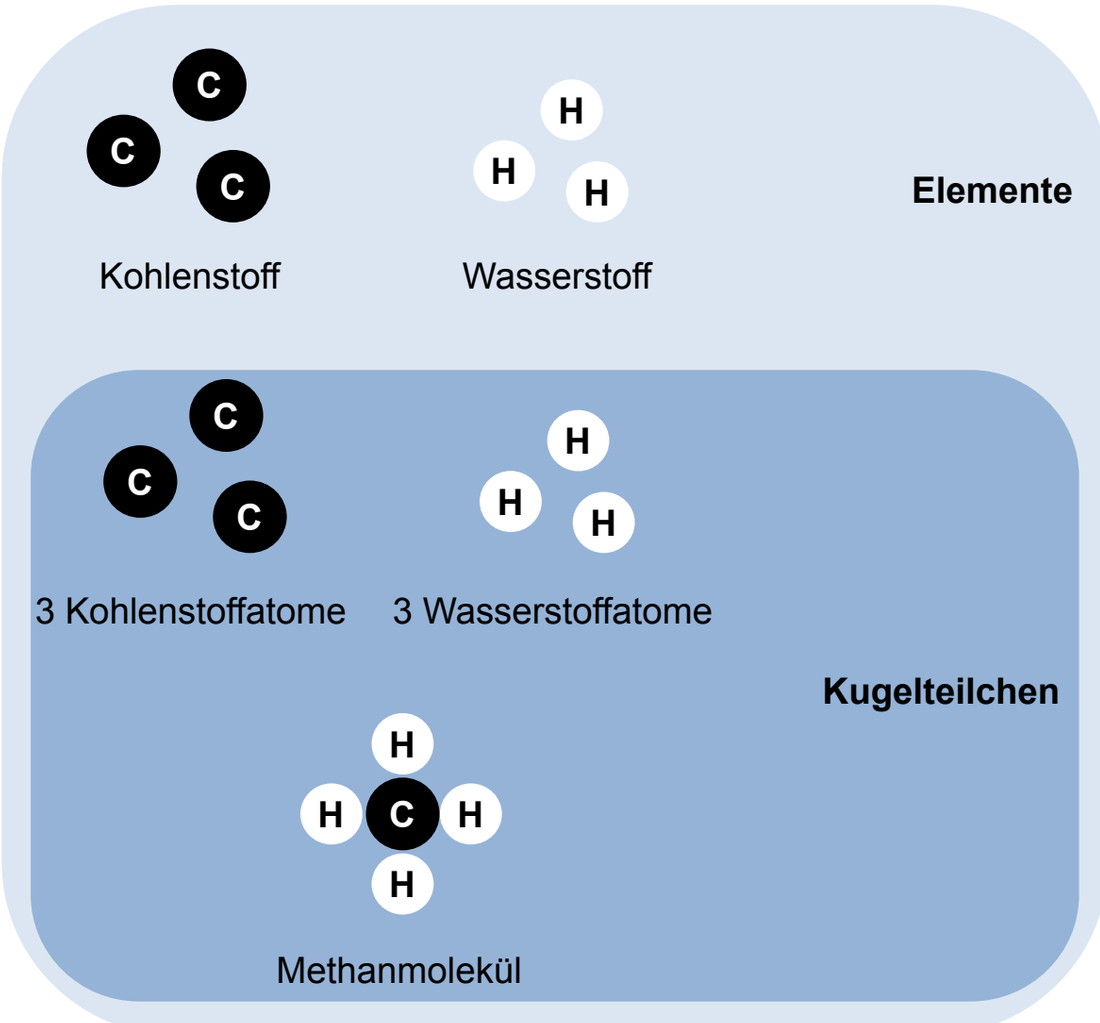


Bild 18: Kugelteilchen

„Aber um das mit der Kerze und dem Ruß zu erklären, braucht man die Atome und Moleküle“, fährt Max fort.

Sinan nickt und erklärt weiter: „Die Kerze besteht aus sehr vielen Wachsmolekülen. Wenn wir eine Kerze anzünden, schmilzt das feste Wachs und wird zunächst einmal flüssig. Das flüssige Wachs sammelt sich am Fuße des Dochts der Kerze.

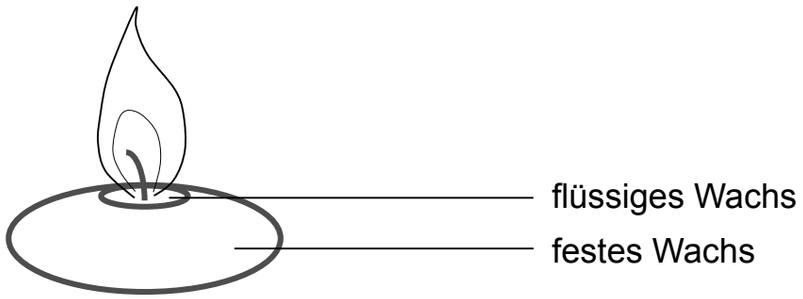


Bild 19: brennende Kerze

Den Docht könnt ihr euch vorstellen wie einen Strohhalm in einem Getränk: Durch den Docht wird flüssiges Kerzenwachs nach oben in die Flamme gesaugt.

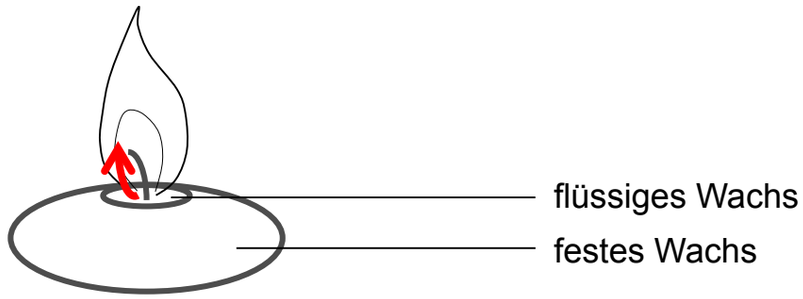


Bild 20: Brennende Kerze

In der Flamme ist es dann so heiß, dass das flüssige Wachs siedet und gasförmig wird.“

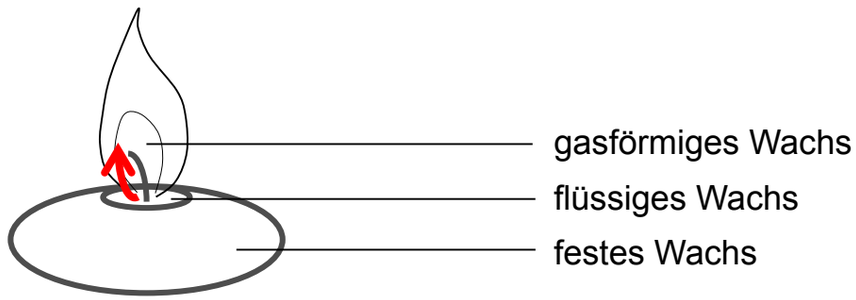


Bild 21: Brennende Kerze

„Dann verdampft es ja doch!“, unterbricht Aylin ihn.

„Das stimmt“, bestätigt Sinan. „Aber ihr wolltet ja wissen, warum Max über der Kerze kein Wachs auffangen konnte, sondern nur Ruß und woher der Ruß kommt.

Damit über einer Kerze Ruß aufsteigt und kein gasförmiges Wachs, muss etwas mehr passieren als einfach nur Sieden“, erinnert Sinan.

„Du hast gesagt, es ist wegen der Flamme!“, fällt Max wieder ein.

„Richtig“, bestätigt Sinan wieder. „Wenn das Wachs einfach nur sieden würde, gäbe es keine Flamme. Flammen sind typisch für Verbrennungsvorgänge. Zunächst siedet das Wachs, aber dann entzündet es sich und verbrennt. Das ist der Grund dafür, dass ihr über der Kerze kein Wachs aufgefangen habt, sondern Ruß.“

„Aber das verstehe ich nicht“, beschwert sich Lisa. „Du hast immer noch nicht gesagt, woher dieser Ruß kommt.“

„Und was mit dem Wachs passiert!“, ergänzt Aylin.

„Während der Verbrennung passiert mit dem Wachs etwas, das **chemische Reaktion** genannt wird“, erklärt Sinan weiter. „Bei einer chemischen Reaktion entstehen neue Stoffe.

Gasförmiger Wachs steigt auf und in der Flamme wird aus dem Wachs Ruß“, fährt Sinan fort. „Das Wachs ist also der alte Stoff – Chemiker nennen das **Edukt** – und der Ruß ist der neue Stoff. Dazu sagen Chemiker **Produkt**.

Produkte und Edukte haben unterschiedliche Eigenschaften“, erläutert Sinan, „daran erkennen wir, dass es unterschiedliche Stoffe sind.

Ihr erkennt es zum Beispiel daran, dass das Wachs vor der Verbrennung weiß ist und sich ein bisschen fettig anfühlt, der Ruß nach der Verbrennung aber ganz pulvrig und schwarz ist.“

„Aber wie kann das denn funktionieren? Wie soll denn aus Wachs Ruß werden?“, fragt Lisa.

„Das hat etwas damit zu tun, dass sich die Wachsmoleküle verändern“, setzt Sinan an, aber Lisa unterbricht ihn: „Ich dachte, die kleinsten Teilchen können sich nicht verändern! Dann dürften Moleküle sich ja auch nicht verändern, weil sie auch kleine Bauteile sind.“

„Das gilt nur, wenn das Wachs physikalisch verändert wird“, erklärt Sinan: „Wenn Wachs eingefroren, erhitzt oder zerschnitten wird, bleibt die Anordnung der Kohlenstoffatome und der Wasserstoffatome im Wachsmolekül bestehen. Daher ist es auch möglich physikalische Vorgänge mithilfe der Kugelteilchenvorstellung zu erklären; weil die kugeligen Teilchen sich nicht verändern.

Die chemische Reaktion ist die einzige Möglichkeit die Anordnung der Atome in einem Molekül zu verändern“, fährt Sinan fort. „Das ist eben das besondere an einer chemischen Reaktion. Durch sie verändert sich die Anordnung der Atome in einem Molekül und es entstehen neue Moleküle und dadurch auch neue Stoffe.

Es ist ein bisschen so, als würdet ihr unser Lego-Modell des Wachsmoleküls nehmen und es auseinanderbrechen. Dann entstehen auch neue Lego-Bauteile, obwohl die Steine noch immer dieselben sind.“

„Mhm“, macht Lisa skeptisch.

„Ein Wachsmolekül besteht aus Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen“, erklärt Sinan weiter. „Wenn Wachs schmilzt, bleibt es trotzdem noch Wachs. Auch wenn Wachs siedet, bleibt es Wachs. Wenn das Wachs aber verbrennt, verändern sich die Wachsmoleküle. Wir sagen: sie *reagieren*; das heißt es bilden sich daraus neue Moleküle und neue Stoffe mit neuen Eigenschaften.

Bei der Verbrennung von Wachs in einer Kerzenflamme entsteht Ruß als Produkt“, erläutert Sinan. „Ruß ist ein neuer Stoff mit anderen Eigenschaften als Wachs. Wir sagen: Bei der Verbrennung reagiert Wachs zu Ruß.

Chemiker zeichnen für *reagiert zu* immer einen Pfeil. Das ganze sieht dann so aus:

$$\text{Wachs} \xrightarrow[\text{reagiert zu}]{} \text{Ruß}$$

Bild 22: Reaktionsschema

„Mithilfe des einfachen Kugelteilchenmodells könnten wir die chemische Reaktion nicht erklären“, erklärt Sinan weiter. „Im Kugelteilchenmodell gibt es vorher **Wachsteilchen** und hinterher **Rußteilchen**, aber keine Möglichkeit zu erklären, was bei der Verbrennung passiert.

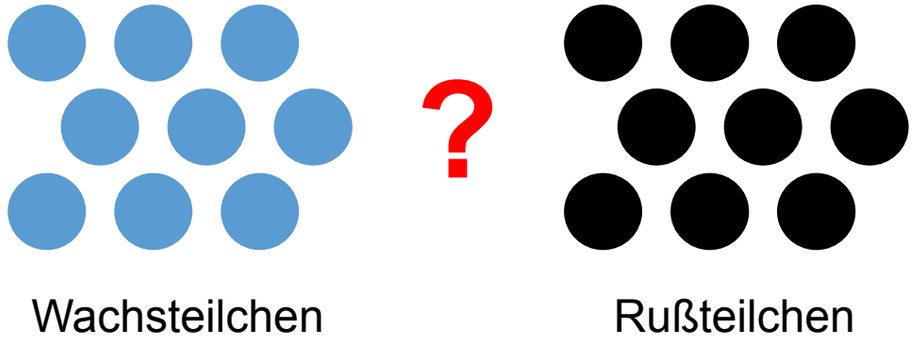


Bild 23: Darstellung der Verbrennung im Kugelteilchenmodell

„Wenn wir aber den Erklärungsansatz mit den Atomen und Molekülen nutzen“, fährt Sinan fort, „dann wissen wir, dass die Kohlenstoffatome und Wasserstoffatome im Wachsmolekül auf eine bestimmte Weise angeordnet sind und sich im Verlauf der Verbrennung umgruppieren – also anders anordnen.

Aus den Kohlenstoffatomen wird dabei Ruß.“

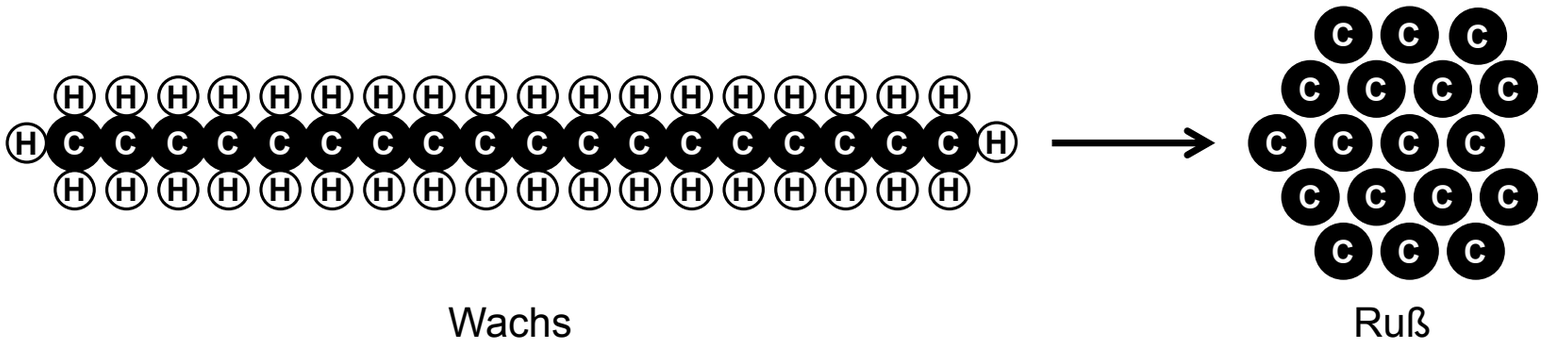


Bild 24: Darstellung der Verbrennung im Atommodell

„Dann reagiert das Wachs beim Verbrennen und wird zu Ruß … “, überlegt Lisa.

„Ruß besteht aus Kohlenstoff“, bestätigt Sinan.

„Wachs besteht also aus Wachsmolekülen, die aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen gebildet werden; und Ruß besteht nur aus Kohlenstoffatomen und ist deshalb anders als Wachs?“, fragt Aylin.

Sinan nickt zur Bestätigung.

„Also ist das Wachs anders – weiß und fettig –, weil es aus Wachsmolekülen besteht; und wenn die Atome nicht mehr in Wachsmolekülen miteinander verbunden sind, wird es schwarz und pulvrig“, fasst Lisa zusammen.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Wenn sich die kleinsten Bausteine des Stoffes umordnen, entsteht ein neuer Stoff. Der hat dann ganz andere Eigenschaften als der erste.

Max hält wieder das Glas über die Flamme und die drei beobachten fasziniert, wie sich etwas Ruß am Rand des Glases sammelt.

TESTE DEIN WISSEN

TEIL IV: Unvollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Erkläre die folgenden Begriffe kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:

1) Chemische Reaktion

2) Edukte

3) Produkte

4) Kohlenstoff

5) Wasserstoff

1) **Chemische Reaktion:**
Bei einer chemischen Reaktion werden Ausgangstoffe (Edukte) in neue Stoffe (Produkte) umgewandelt, indem sich die Atome neu anordnen. Die Ausgangsstoffe und Endstoffe haben jeweils für sie typische Stoffeigenschaften, so dass bei einer chemischen Reaktion immer neue Stoffe entstehen, die sich wenigstens zum Teil bezüglich ihrer Stoffeigenschaften von den Ausgangsstoffen unterscheiden.

2) **Edukte:**
Stoffe, die bei einer chemischen Reaktion eingesetzt werden, um neue Stoffe (Produkte) zu erhalten.

3) **Produkte:**
Stoffe, die bei einer chemischen Reaktion aus den eingesetzten Ausgangsstoffen (Edukte) entstehen.

4) **Kohlenstoff:**
chemisches Element, das durch ein C dargestellt wird.

5) **Wasserstoff:**
chemisches Element, das durch ein H dargestellt wird.

SUPER, DAS WAR
TEIL IV

Zum nächsten Teil:

» **TEIL V:** Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion .....

Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Textes kannst du wiederholen, dass Atome und Moleküle kleinste Bausteine sind, aus denen Stoffe aufgebaut sind. Es gibt unterschiedliche Atomsorten, die als Elemente bezeichnet werden. Kohlenstoff und Wasserstoff sind Beispiele für chemische Elemente. Bei physikalischen Veränderungen, wie zum Beispiel Aggregatzustandsänderungen, ändert sich der Aufbau eines Moleküls aus Atomen nicht. Bei chemischen Veränderungen dagegen ordnen sich die Atome neu an, so dass Ausgangstoffe (Edukte) in neue Stoffe (Produkte) umgewandelt werden.

Zusätzlich lernst du, dass es vollständige und unvollständige Verbrennungen gibt. Bei unvollständigen Verbrennungen steht nicht genug Sauerstoff für die Verbrennung aller Edukte als Reaktionspartner zur Verfügung steht. Bei vollständigen Verbrennungen steht ausreichend Sauerstoff als Reaktionspartner zur Verfügung. Wachs reagiert daher mit Sauerstoff zu Wasser, Kohlenstoffdioxid und Kohlenstoffmonoxid. Außerdem entsteht bei der Reaktion Ruß.

Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.

Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.

Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.

Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.

Jetzt geht es los mit

TEIL V: Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Später am Abend sitzen Lisa, Aylin und Max wieder an ihrem Tisch zusammen. Aylin knabbert an einem Stück Wassermelone, während Lisa in ihrer Cola rührt. Die beiden überlegen immer noch, was sie in den Ferien alles unternehmen wollen. Max ist währenddessen mal wieder mit der Duftkerze beschäftigt. Das rußgeschwärzte Glas und die Legosteine liegen immer noch auf dem Tisch. Obwohl er jetzt weiß, dass es ihm so nicht gelingen wird eine neue Kerze herzustellen, hält Max das Glas immer wieder fasziniert über die Kerze und beobachtet, wie sich immer mehr Ruß am Rand des Glases ansammelt.

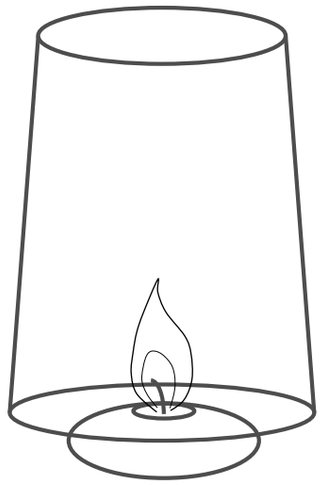


Bild 1: Max' Experiment

Nach einiger Zeit stellt Max fest, dass sich nicht nur Ruß in seinem Glas gesammelt hat, sondern auch winzige Tropfen einer farblosen Flüssigkeit.

Sofort berichtet er Lisa und Aylin davon: „Hey, guckt mal! In meinem Glas ist jetzt noch mehr drin“, sagt er.

„Kein Wunder, du hältst es ja auch die ganze Zeit über die Flamme. An deiner Stelle würde ich lieber aufhören. Wenn das Glas ganz schwarz ist, bekommst du sicher Ärger von Mama“, erwidert Lisa ohne das Glas zu beachten, das Max ihr unter die Nase hält.

Max‘ Blick huscht kurz verunsichert zu seiner Mutter, die sich aber einige Tische weiter mit einer älteren Nachbarin unterhält und noch nichts von seinem Experiment bemerkt hat.

Währenddessen hat Aylin einen Blick in das Glas geworfen. „Da ist ja wirklich noch mehr drin … also, ich meine, noch was anderes als Ruß.“

Max wirft Lisa einen bösen Blick zu: „Habe ich doch gesagt!“ Dann rutscht Max mit seinem Stuhl etwas näher zu Aylin, die versucht einen der kleinen Tropfen mit dem Finger zu berühren. „Es sieht aus wie Wassertropfen“, überlegt Max.

„Das Wasser ist bestimmt von dem Eiswürfel, mit dem du vorhin rumgematscht hast“, wirft Lisa ein. „Ist doch klar, dass das Glas jetzt nass ist.“

„Nein, das hab ich trocken gemacht“, erwidert Max.

„Von außen ist das Glas auf jeden Fall ganz trocken“, bestätigt Aylin.

„Es war da am Anfang nicht nass!“, beharrt Max. „Das ist grade erst passiert, als ich es über die Kerze gehalten habe.“

„Wir können es ja testen“, schlägt Aylin vor: „Wenn wir das Glas noch länger über die Kerze halten, müsste … wenn Max recht hat und das Wasser wirklich aus der Kerze kommt … das Wasser mehr werden. Wenn Lisa recht hat, und das Wasser wirklich noch von dem Eiswürfel stammt, müssten die Wassertropfen im Glas dadurch weniger werden, weil das Wasser durch die Wärme der Kerze verdunstet.“

Aylin hält das Glas über die Kerze, während Max und Lisa gespannt beobachten.

„Aber eigentlich müsste das Wasser doch in jedem Fall weniger werden!“, überlegt Lisa nach einem Moment. „Wasser verdunstet, wenn man es erhitzt! Und wenn du die Wassertropfen da in dem Glas mit der Flamme erhitzt, müsste das Wasser verdunsten und dann wird es weniger.“

Aylin macht ein nachdenkliches Gesicht.

„Aber das Wasser kommt aus der Kerze!“, ruft Max empört dazwischen. „So wie der Ruß. Und so wie immer mehr Ruß aus der Flamme kommt, kommt bestimmt auch immer mehr Wasser aus der Flamme.“

„ … aber wie soll denn das Wasser aus der Kerze kommen?“, fragt Lisa. „ … Eigentlich gehen Kerzen doch aus, wenn sie nass werden“

Aylin nickt zustimmend.

„Vielleicht ist es gar kein Wasser … “, schlägt Max vor.

„Sondern was?“, fragt Lisa herausfordernd.

„Keine Ahnung“, gesteht Max.

Einen Moment sehen die drei sich ratlos an, dann stellt Aylin das Glas wieder auf den Tisch und die drei sehen gespannt von oben hinein.

„Hm … Ist es jetzt mehr oder weniger geworden?“, fragt Aylin unsicher.

„Ich weiß nicht“, gibt Lisa zu, „es ist irgendwie gleich geblieben.“

„Aber das kann nicht sein“, antwortet Aylin irritiert.

„Vielleicht hast du es nicht richtig gehalten“, überlegt Max.

„Wie soll man es denn falsch halten?“, erwidert Lisa, „Wahrscheinlich verdunstet das Wasser einfach sehr, sehr langsam und wir haben nicht lange genug gewartet.“

„Das Wasser ist nicht von dem Eiswürfel!“, entgegnet Max sofort. „Es kommt aus der Kerze! Wie der Ruß!“

„Aber selbst *wenn* das Wasser aus der Kerze *kommen würde*“, erwidert Lisa, „müsste es doch durch die Wärme der Kerze verdunsten! Über der Flamme ist es ziemlich warm und Wasser wird gasförmig, wenn man es erhitzt.“

Beschreibe das Problem, das Max, Aylin und Lisa entdeckt haben, bevor du weiterliest.

Nach kurzer Zeit kommt Aylin mit Sinan, der einen halbvollen Teller trägt und im Gehen in ein Stück Brot beißt, zum Tisch zurück.

„Sinan, in dem Glas ist jetzt so eine Flüssigkeit!“, berichtet Max sofort.

Sinan blickt verständnislos zwischen Max und dem Glas hin und her, das Max schon wieder über die Kerze hält, während er sich einen freien Gartenstuhl an den Tisch heranzieht.

„Max hat das Glas noch mal über die Kerze gehalten“, erklärt Aylin, „und dabei, meint er, hat er diese Flüssigkeit aufgefangen. Und wir glauben eigentlich, dass es Wasser ist, aber wir wissen nicht, wo es herkommen soll … “

„Also, ich glaube, es ist noch von dem Eiswürfel vorhin“, unterbricht Lisa sie.

„Aber das stimmt nicht!“, protestiert Max sofort wieder, „das ist von der Kerze! Der Eiswürfel war immer nur oben *auf* dem Glas. Das Glas konnte also *innen* gar nicht nass werden. Die Tropfen sind jetzt aber *innen im* Glas!“

„Jetzt verstehe ich eure Frage endlich“, antwortet Sinan und betrachtet das Glas, das Max ihm gereicht hat. „Ihr könntet beide recht haben“, räumt er dann ein: „Natürlich können wir nicht ausschließen, dass diese kleinen Tropfen noch von dem geschmolzenen Eiswürfel stammen. Allerdings ist es schon relativ lange her, dass der Eiswürfel geschmolzen ist und Max hatte ihn ja eigentlich nur außen gegen das Glas gehalten … Daher würde ich auch davon ausgehen, dass diese Tröpfchen sich erst vor kurzem im Glas gesammelt haben, als Max das Glas über die Kerze gehalten hat.“

Max grinst triumphierend.

„Aber was sind das denn für Tröpfchen?“ fragt Aylin irritiert. „Ist das Wachs? Oder flüssiger Ruß? Oder was?“

„Du hast doch vorhin gesagt, dass es Wasser ist“, erinnert Max sie.

„Aber aus der Kerze kann doch kein Wasser kommen!“, entgegnet Lisa.

„Das sieht aber wirklich aus wie Wasser“, wirft Aylin ein, die noch mal die Tropfen im Glas betrachtet.

„Es ist Wasser“, bestätigt Sinan.

„Aber … “, setzt Lisa an.

„Erinnert euch noch mal an das, was wir schon zur **chemischen Reaktion** besprochen haben“, unterbricht Sinan sie.

Stelle dar, was du bereits über die chemische Reaktion weißt, bevor du weiter liest.

„Wenn eine Kerze brennt, findet eine chemische Reaktion statt.“, sagt Lisa.

„Diese chemische Reaktion ist etwas anderes, als wenn man Wachs nur schmilzt“, setzt Aylin an, „oder klein schneidet oder so … “

„**Physikalisch verändert**“, ergänzt Lisa.

„Meine ich ja“, stimmt Aylin zu. „Also diese chemische Reaktion ist etwas anderes als eine physikalische Veränderung, weil sich dabei die Atome verändern. Dass so eine Reaktion abläuft, erkennt man an der Flamme.“

„Fast richtig“, korrigiert Sinan sie, „Bei der chemischen Reaktion verändert sich die Anordnung der Atome … “

„Denn die Atome können sich ja gar nicht verändern!“, ergänzt Max.

„**Atome** sind kleinste Bausteine, die sich zu Molekülen verbinden können. Und Moleküle sind die kleinsten Bausteine von vielen Stoffen“, fährt Max stolz fort.

„Wenn man diese physikalischen Veränderungen – wie Diffusion und Schmelzen – erklären will, reicht die Vorstellung im Kugelteilchenmodell ohne Atome und Moleküle“, ergänzt Aylin. „Wenn man aber chemische Reaktionen – wie bei der brennenden Kerze – erklären will, muss man sozusagen noch genauer hingucken und die Erklärung mit den Atomen und den Molekülen machen, weil die Kugelteilchen das nicht können.“

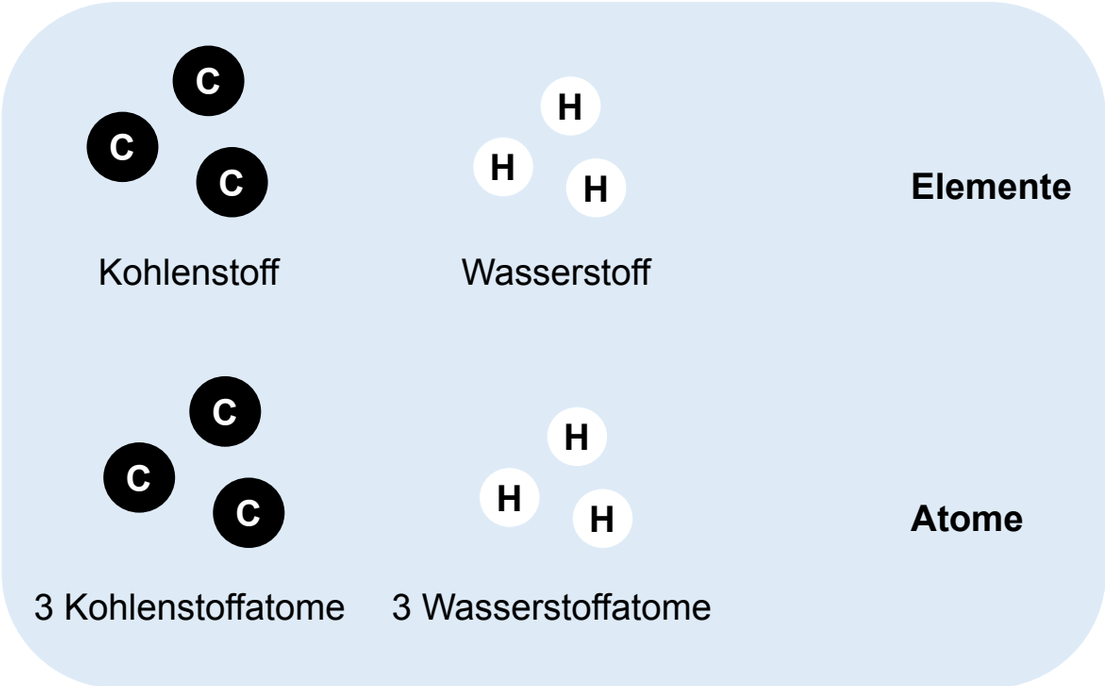


Bild 2: Übersicht über Atome und Moleküle

„Denn es gibt nicht für jeden Stoff ein eigenes Atom, aus dem er aufgebaut wird“, erklärt Max. „Es gibt nur ein paar unterschiedliche Atomsorten. Diese Atomsorten werden **Elemente** genannt.“

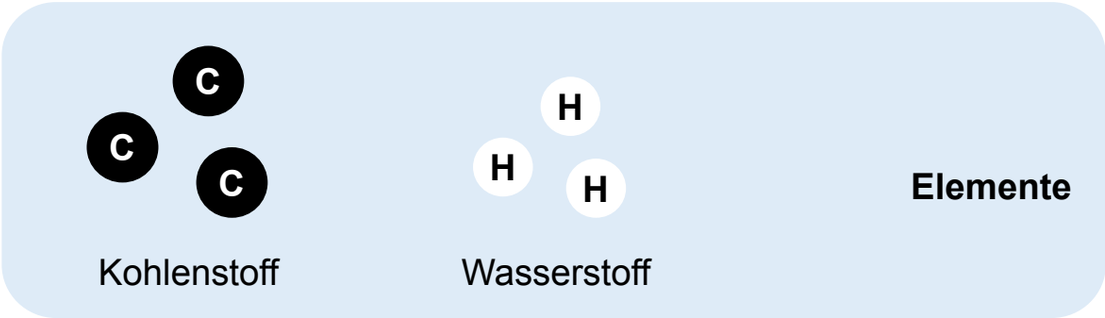


Bild 3: Elemente

„Richtig“, bestätigt Sinan und nickt zufrieden. „Viele Stoffe bestehen daher aus Molekülen.“

„Und ein Molekül besteht aus mehreren Atomen“, ergänzt Max wieder. „Und bei manchen Stoffen sind dann die Moleküle die kleinsten Bausteine des Stoffes, die seine Eigenschaften bestimmen.“

„Es gibt unendlich viele Möglichkeiten Atome zu unterschiedlichen Molekülen zu verbinden“, ergänzt Sinan. „Mithilfe von Molekülen können wir daher erklären, warum es so viele unterschiedliche Stoffe gibt.“

„Bei der chemischen Reaktion verändert sich die Anordnung der Atome“, setzt Aylin erneut an.

„Erst sind die Atome im Wachsmolekül angeordnet“, unterbricht Max sie schon wieder. „Und dann lösen sich die Atome aus dem Wachsmolekül und ordnen sich um … “

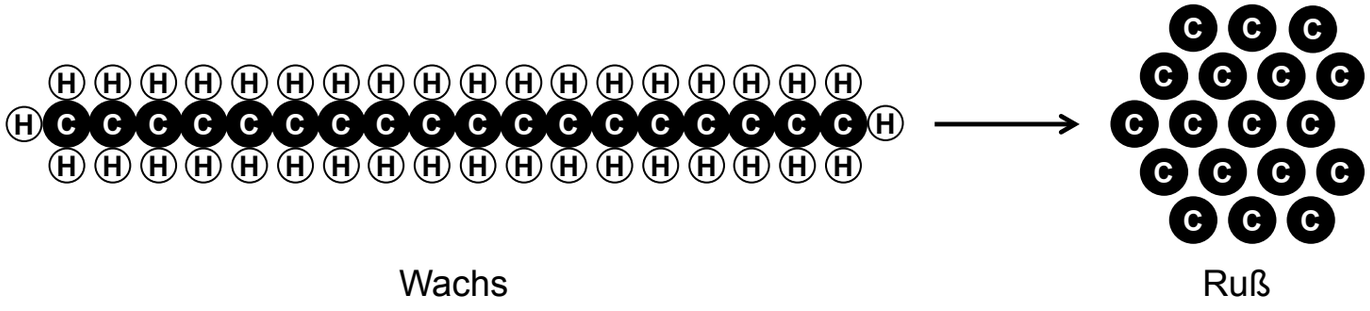


Bild 4: Reaktion von Wachs zu Ruß

„Durch das Umsortieren der Atome entsteht dann aus dem Wachsmolekül Ruß“, schaltet Lisa sich ein.

„Und Ruß ist ein anderer Stoff als Wachs“, ergänzt Max wieder.

„Man erkennt, dass Wachs und Ruß unterschiedliche Stoffe sind, an den unterschiedlichen Eigenschaften von Wachs und Ruß“, weiß Aylin.

„Wachs ist weiß und ein bisschen fettig und Ruß ist schwarz und irgendwie bröselig“, erklärt Max.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Wenn wir also davon ausgehen, dass bei der Verbrennung eine chemische Reaktion stattfindet … “

„Dann war das Wasser vielleicht gar nicht von vornherein in der Kerze!“, ruft Lisa aufgeregt dazwischen. „Sondern nur die Atome, die auch im Wasser drin sind?“

„Genau“, antwortet Sinan. „Das Wasser, das Max aufgefangen hat, war nicht als Wasser in der Kerze enthalten, sondern es entsteht während der chemischen Reaktion“, erklärt Sinan.

„Dann ist das Wasser ein **Produkt**“, ergänzt Aylin.

Sinan nickt: „Richtig, Wasser ist das Produkt der chemischen Reaktion.“

„Aber wo kommt es denn her?“ fragt Max.

„Aus der Kerze“, antwortet Lisa sofort.

„Ja aber woraus … ?“, fragt Aylin. „Also wird aus dem Wachs manchmal Ruß und manchmal Wasser? Oder wie funktioniert das? Oder entsteht das Wasser aus dem Duftstoff?“

„Lasst uns noch mal Max‘ Legosteine zu Hilfe nehmen“, schlägt Sinan vor. „Wir haben vorhin dieses treppenähnliche Teil gebaut, das für ein Wachsmolekül steht. Jeder schwarze Vierer steht für ein Kohlenstoffatom. Jeder weiße Einer steht für ein Wasserstoffatom. Die Kohlenstoffatome sind miteinander verbunden und können sehr, sehr lange Ketten bilden. Die Wasserstoffatome sitzen außen an der Kette der Kohlenstoffatome.

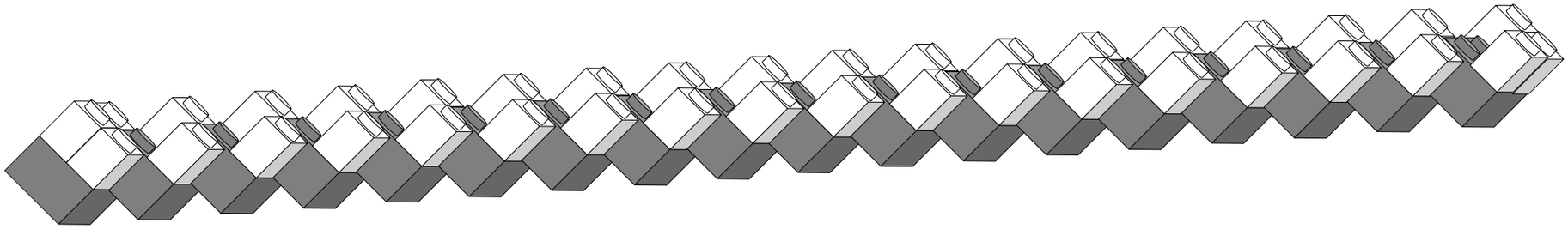


Bild 5: Wachsmolekül im Lego-Modell

Während der **Verbrennung** ändert sich die Anordnung der Atome“, fährt Sinan fort. „Die Wasserstoff- und Kohlenstoffatome lösen sich voneinander.“

„Ich mache das mal“, ruft Max und löst alle weißen Einer und schwarzen Vierer voneinander. Als er damit fertig ist, legt er die einzelnen Legosteine wieder auf den Tisch.

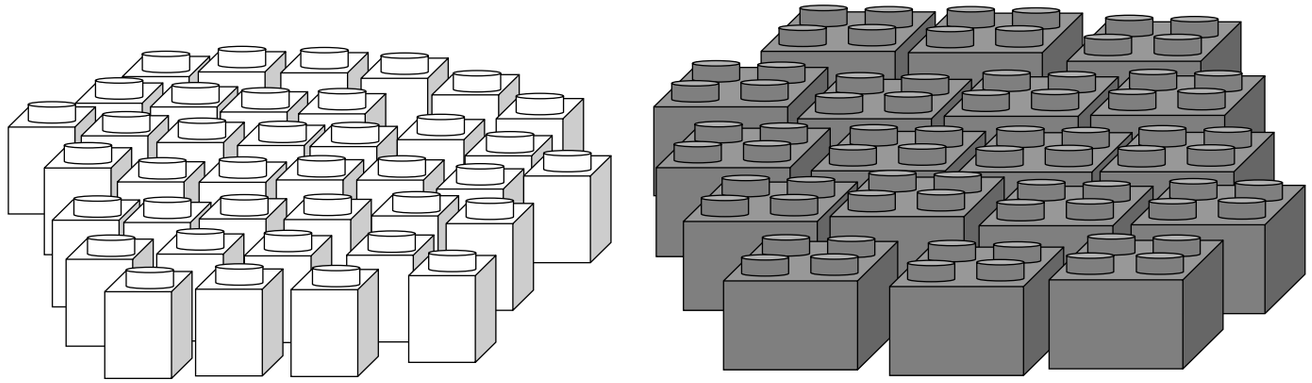


Bild 6: Lego-Modell der Wasserstoffatome und Kohlenstoffatome, aus denen das Wachsmolekül aufgebaut war

„Und was passiert jetzt?“, fragt Lisa.

„Die Atome ordnen sich neu an“, schlägt Aylin vor.

„Ja, ich weiß“, sagt Lisa, „Aber wie?“

Ratlos sehen die drei Sinan an.

„Ihr erinnert euch doch noch an das **Reaktionsschema**, das wir aufgestellt hatten … “, setzt Sinan an.

„Klar! Wachs reagiert zu Feuer und Ruß“, unterbricht Max Sinan.

„In Reaktionsschemata werden immer nur Stoffe wie Wachs und Ruß als Edukte und Produkte aufgeführt“, korrigiert Sinan. „Feuer ist kein Stoff und hat deswegen keine eigenen Teilchen. Deswegen kann es in einer Reaktion auch nicht verändert werden und taucht weder als Edukt noch als Produkt auf. Eigentlich ist es nur ein sichtbares Zeichen dafür, dass eine Reaktion abläuft.“

Max sieht ziemlich enttäuscht aus.

„Weil Feuer kein Stoff ist, wird es im Reaktionsschema auch nicht erwähnt“, erklärt Sinan weiter.

„Weil es bei der Reaktion ja nur um die Umordnung der Teilchen geht“, ergänzt Aylin stolz.

„Richtig“, bestätigt Sinan.

„Ok. Dann reagiert Wachs eben nur zu Ruß“, korrigiert Max sich.

Stelle mithilfe eines Reaktionsschemas die Reaktion dar, die Max beschreibt, bevor du weiter liest.

„Diese Reaktion ist eigentlich nur ein Teil der Reaktion, die während der Verbrennung abläuft“, erklärt Sinan. „Wir bezeichnen sie als **unvollständige Verbrennung**.

$$\text{Wachs} \xrightarrow[\textit{reagiert zu}]{} \text{Ruß}$$

Bild 7: Reaktionsschema

Neben der unvollständigen Verbrennung gibt es noch die **vollständige Verbrennung**“, fügt Sinan hinzu. „Bei der vollständigen Verbrennung entstehen aus den **Edukten** – also in unserem Fall das Wachs – andere Produkte als bei der unvollständigen Verbrennung.“

„Aha“, macht Aylin skeptisch.

„Und warum ist diese Verbrennung manchmal vollständig und manchmal unvollständig?“, fragt Lisa.

„Wahrscheinlich verbrennt die Kerze einmal ganz, dann ist es vollständig“, überlegt Max, „und einmal verbrennt die Kerze nicht ganz … dann ist es halt unvollständig.“

„Aber unsere Kerze ist doch gar nicht ganz verbrannt“, gibt Aylin zu bedenken.

„Wie weit die Kerze herunterbrennt, hat nichts mit der vollständigen und der unvollständigen Verbrennung zu tun“, unterbricht Sinan sie.

„Seht mal her“, fordert Sinan sie dann auf. Er nimmt das Glas, mit dem Max schon den ganzen Abend experimentiert und stülpt es über die Kerze, die immer noch auf dem Tisch liegt.

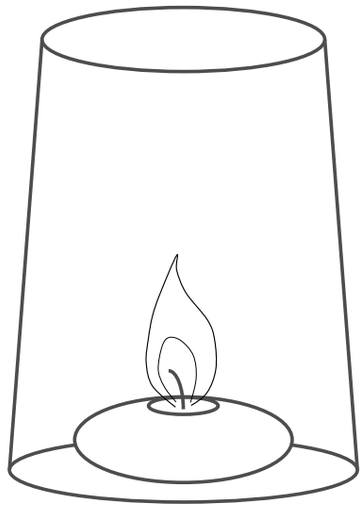


Bild 8: Sinans Experiment

Die drei beobachten, wie die Kerze zunächst ganz normal weiter brennt, die Flamme dann aber kleiner wird und immer stärker rußt, bevor sie ganz erlischt.

„Wenn man ein Glas drauf macht, geht die Kerze aus“, sagt Lisa.

„Das wussten wir doch schon lange!“, sagt Max.

„Aber warum geht die Kerze nach einiger Zeit aus, wenn ich ein Glas darüber stülpe?“ fragt Sinan nach.

Diskutiere Gründe dafür, dass eine Kerzenflamme erlischt, wenn ein Glas über die Kerze gestellt wird, bevor du weiter liest.

„Die Kerze erstickt“, erklärt Max sofort.

„Weil da keine Luft drankommt“, ergänzt Aylin.

„Man darf das Glas nicht abstellen, sondern muss es immer ein Stück über die Kerze halten, damit sie nicht ausgeht“, überlegt Lisa.

„Aha, weil die Kerze Luft braucht, damit sie brennen kann!“ ruft Aylin aufgeregt dazwischen.

„Richtig“, bestätigt Sinan. „Die Kerze benötigt Luft – oder richtiger: den Sauerstoff aus der Luft –, damit die Verbrennung stattfinden kann.

In unserem Reaktionsschema taucht der Sauerstoff aber bisher noch gar nicht auf … “

„Ist es deswegen unvollständig?“, fragt Max wieder.

„Unser Reaktionsschema ist unvollständig, da hast du recht“, stimmt Sinan ihm zu. „Aber unvollständige Reaktion meint noch etwas anderes.

Wenn wir wieder versuchen, die Verbrennung in unserem Lego-Modell zu erklären, stelle ich die Sauerstoffatome mal durch diese roten Zweier Steine dar“, erklärt Sinan.

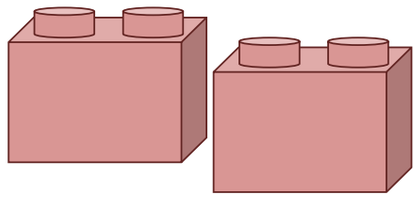


Bild 9: Sauerstoffatome im Lego-Modell

„Aber ich dachte Luft besteht aus Stickstoff!“ unterbricht Max ihn.

„Nein, Luft besteht aus Sauerstoff!“, erwidert Aylin.

Verwirrt sehen sich die beiden an.

Diskutiere Aylins und Max‘ Vorstellung darüber, woraus die Luft besteht, bevor du weiter liest.

„Wir haben bisher immer gesagt, Luft bestehe aus Stickstoff“, klärt Sinan auf, „weil Luft *hauptsächlich* aus Stickstoff besteht. Aber in der Luft sind auch noch andere Stoffe enthalten, wie zum Beispiel Sauerstoff.“

„Ok, Luft besteht also aus Sauerstoff und Stickstoff“, stimmt Aylin zu. Auch Max nickt.

„Diese roten Zweier stehen für die Sauerstoffatome“, setzt Sinan erneut an. „Sauerstoff liegt in der Luft als Molekül vor, daher stecke ich immer zwei rote Zweier übereinander.“

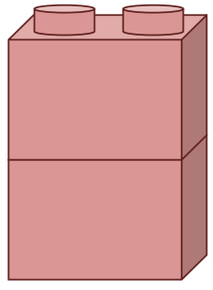


Bild 10: Sauerstoffmolekül im Lego-Modell

„Und was machen diese roten Zweier, also das Sauerstoffmolekül?“, fragt Lisa.

„Das Sauerstoffmolekül ist ebenfalls an der Reaktion beteiligt“, erklärt Sinan. „Es ist also auch ein Edukt, genau wie das Wachsmolekül.

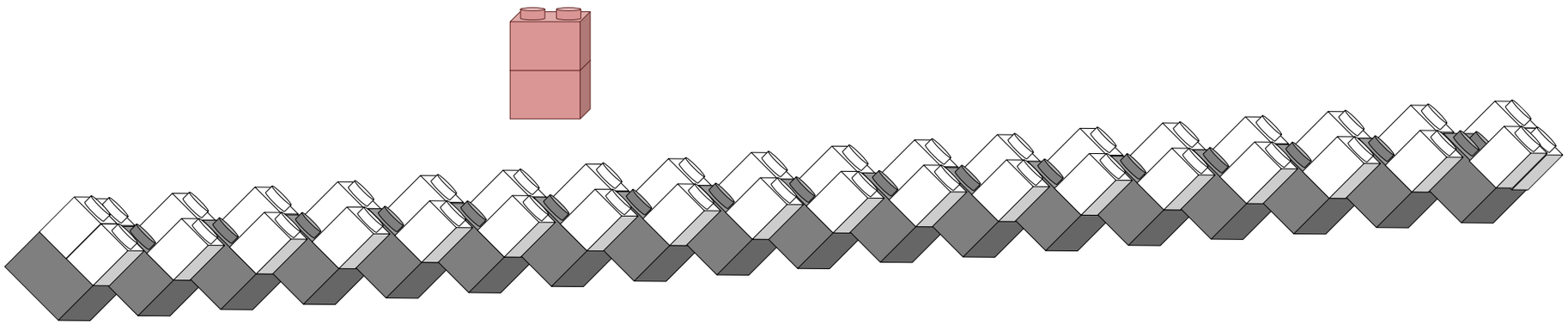


Bild11: Edukte der vollständigen Verbrennung im Lego-Modell

Während der vollständigen Verbrennung lösen sich nicht nur die Atome des Wachsmoleküls voneinander, sondern auch die Sauerstoffatome unseres Sauerstoffmoleküls."

Max baut Sinans Sauerstoffmolekülmodell auseinander.

Sinan legt noch einige weitere rote Zweier-Steine dazu, und erklärt, dass an der Reaktion nicht nur ein einziges, sondern ziemlich viele Sauerstoffmoleküle beteiligt sind.

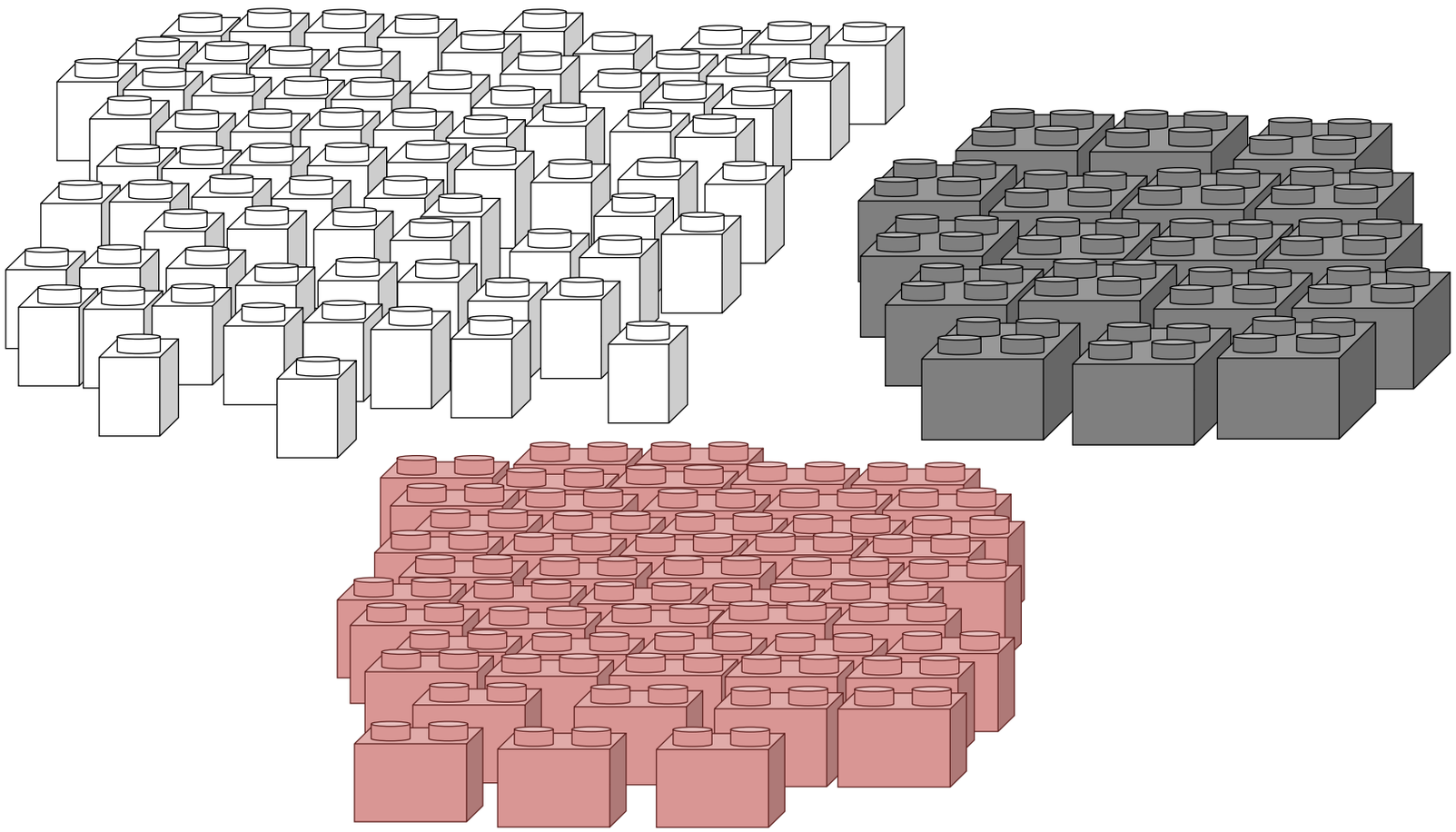


Bild 12: Lego-Modell der Atome, aus denen die Edukte bestehen

„Und was wird dann daraus?“, fragt Max ungeduldig.

„Ich kann zum Beispiel diese beiden roten Zweier nehmen, die für zwei Sauerstoffatome stehen, und sie auf diesen schwarzen Vierer stecken, der für ein Kohlenstoffatom steht“, schlägt Sinan vor. „Ein Molekül aus zwei Sauerstoffatomen und einem Kohlenstoffatom nennen Chemiker **Kohlenstoffdioxidmolekül**.

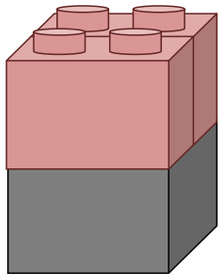


Bild 13: Kohlenstoffdioxidmolekül im Lego-Modell

Manchmal, wenn ein Kohlenstoffatom nicht zwei Sauerstoffatome, sondern nur eins findet, entsteht auch **Kohlenstoffmonoxid**“, erklärt Sinan weiter. „Im Lego-Modell setzen wir das Molekül aus einem roten Zweier und einem schwarzen Vierer zusammen.

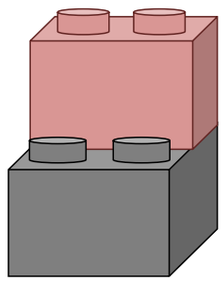


Bild 14: Kohlenstoffmonoxidmolekül im Lego-Modell

Oder ich nehme diesen roten Zweier, der wieder für ein Sauerstoffatom steht, und stecke zwei weiße Einer, die für Wasserstoffatome stehen, darauf“, sagt Sinan. „Ein Molekül aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom wird als **Wassermolekül** bezeichnet.“

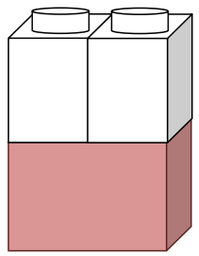


Bild 15: Wassermolekül im Lego-Modell

„Und das sind die Moleküle, die bei der Verbrennung entstehen?“, fragt Lisa fasziniert nach. Sinan nickt: „Wenn sich ein Sauerstoffatom mit zwei Wasserstoffatomen verbindet, entsteht ein Wassermolekül.

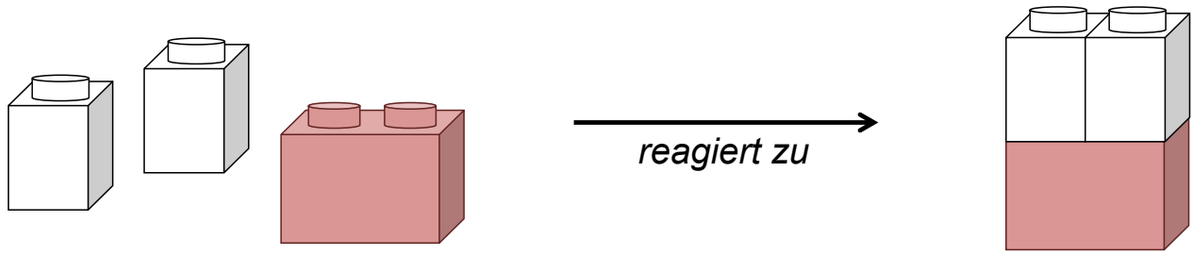


Bild 16: Reaktion zu Wasser im Lego-Modell

Und wenn ein Kohlenstoffatom sich mit zwei Sauerstoffatomen verbindet, entsteht ein Kohlenstoffdioxidmolekül“, fährt Sinan fort.

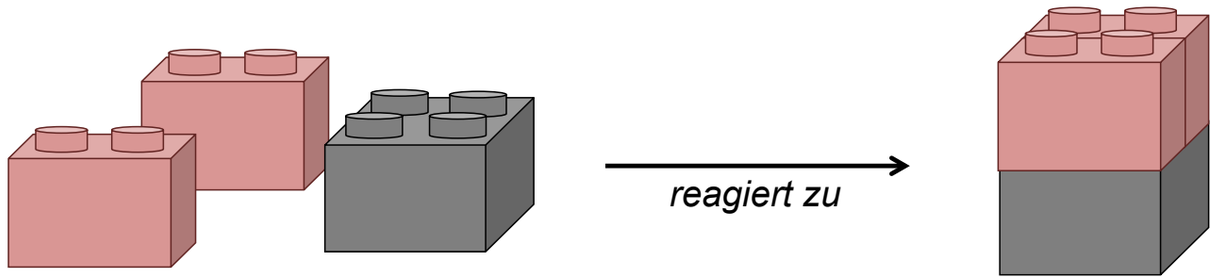


Bild 17: Reaktion zu Kohlenstoffdioxid im Lego-Modell

„Und wenn nicht genügend Sauerstoffatome da sind, dann entsteht eben nur ein Kohlenstoffmonoxidmolekül“, sagt Max.

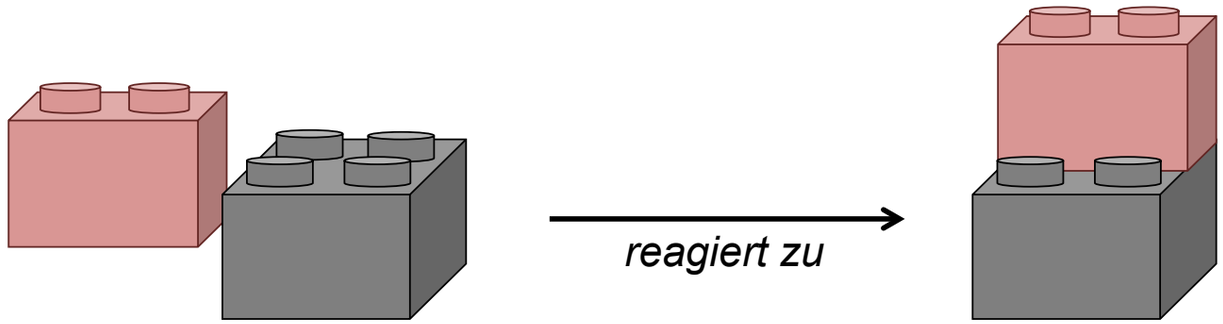


Bild 18: Reaktion zu Kohlenstoffmonoxid im Lego-Modell

„Und was passiert jetzt in echt?“, fragt Aylin nach.

„Es entsteht Wasser“, sagt Lisa und deutet auf Max‘ Glas, „das haben wir doch gesehen.“

„Und Ruß“, ergänzt Max.

„Aber was ist denn dann mit diesen anderen … dem Kohlenstoffdioxid und dem Kohlenstoffmonoxid“, fragt Aylin unzufrieden weiter, weil sie vor lauter Stoffen langsam den Überblick verliert.

„Bei der vollständigen Verbrennung“, greift Sinan ein, „reagieren Wachs und Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Bei unserer Reaktion entsteht außerdem noch ein Molekül Kohlenstoffmonoxid, weil für das letzte Kohlenstoffatom nur ein Sauerstoffatom übrig bleibt.

Die weißen Einer“, erläutert Sinan und deutet auf die Legosteine, „verbinden sich mit den roten Zweiern. Übersetzt bedeutet das, dass die Wasserstoffatome sich mit den Sauerstoffatomen zu Wassermolekülen verbinden.

Im Lego-Modell bilden außerdem die schwarzen Vierer mit den roten Zweiern ein neues Bauteil. Im Atommodell ausgedrückt heißt das, dass die Kohlenstoffatome sich mit den Sauerstoffatomen zu Kohlenstoffdioxidmolekülen oder Kohlenstoffmonoxidmolekülen verbinden.

Insgesamt könnt ihr euch das etwa so vorstellen:

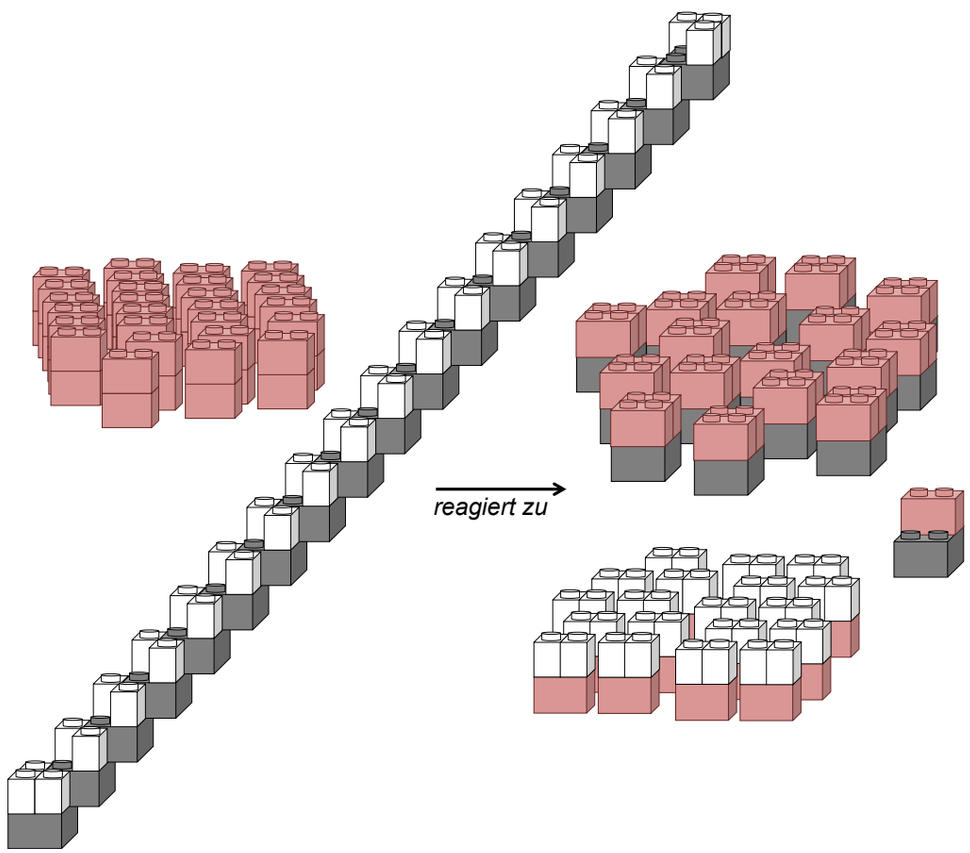


Bild 19: Vollständige Verbrennung im Lego-Modell mit Kohlenstoffmonoxid als Nebenprodukt

„Und der Ruß?“, fragt Max irritiert.

„Ruß entsteht bei unvollständigen Verbrennungen“, erklärt Sinan. „Wenn nicht genug Sauerstoff zur Verfügung steht, entstehen weniger Wassermoleküle und Kohlenstoffdioxidmoleküle, weil dafür Sauerstoffatome benötigt würden.

Stattdessen entstehen aus den Wachsmolekülen große Moleküle, die hauptsächlich Kohlenstoffatome enthalten, die kreuz und quer miteinander verbunden sind. Das wird als Ruß bezeichnet.“

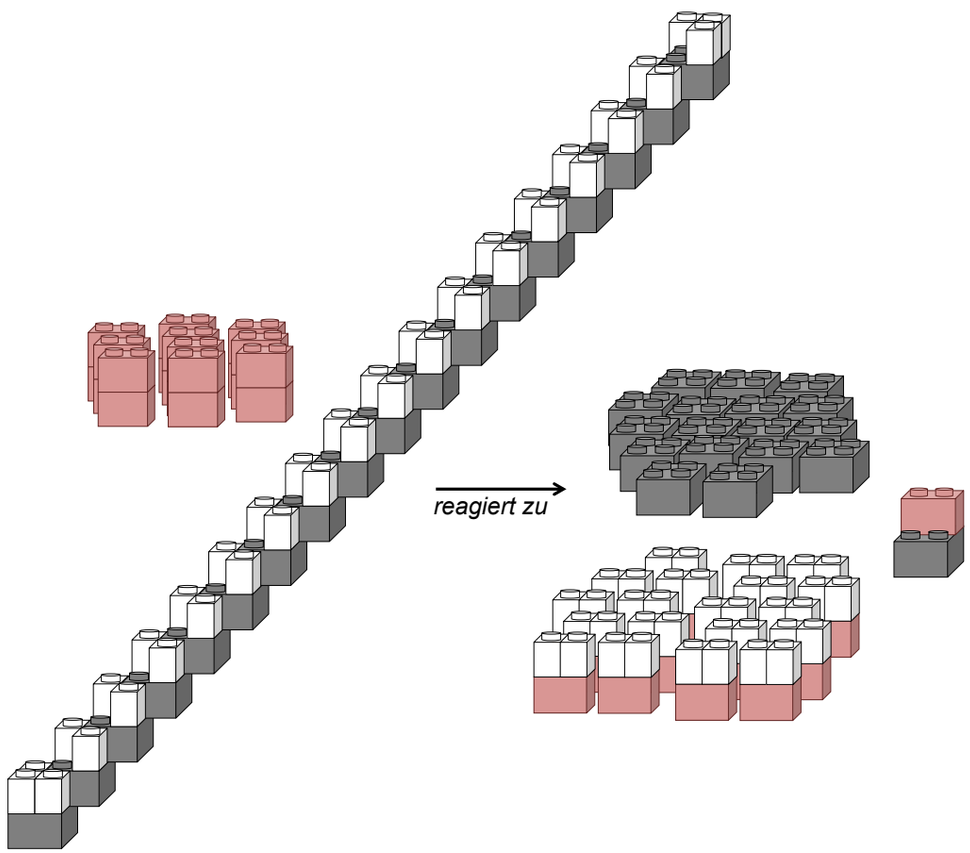


Bild 20: unvollständige Verbrennung im Lego-Modell

„Also ist eine vollständige Verbrennung, wenn genug Sauerstoff da ist, der mit dem Wachs zu Wasser und Kohlenstoffdioxid reagieren kann“, fasst Aylin zusammen.

„Und eine unvollständige Reaktion ist, wenn nicht genug Sauerstoff da ist“, ergänzt Max, „und nicht alle Kohlenstoffatome mit Sauerstoffatomen Kohlenstoffdioxidmoleküle machen können und stattdessen diese Kohlenstoffatomklumpen entstehen.“

„Und wenn so mittelviel Sauerstoff da ist, dann entsteht Wasser und Kohlenstoffmonoxid“, fügt Lisa hinzu.

„Wirklich vollständige Reaktionen gibt es bei der Verbrennung an der Luft eigentlich nur ganz selten“, schränkt Sinan ein. „Auch wenn eine Kerze frei im Raum steht, entsteht immer auch Ruß.

Ob hauptsächlich Ruß oder hauptsächlich Wasser und Kohlenstoffdioxid entsteht, hängt von der Sauerstoffzufuhr ab.“

„Hmhm“, macht Lisa beeindruckt.

„Lasst uns noch mal alles, was wir mithilfe des Lego-Modells zur Verbrennung besprochen haben, in das Atommodell übertragen, das die Chemiker nutzen“, fordert Sinan sie auf.

„Also für jedes Atom steht so eine Kugel“, erinnert Lisa sich.

„Schwarz ist Kohlenstoff“, ruft Max.

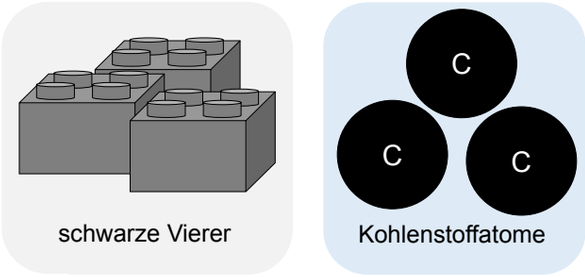


Bild 21: Kohlenstoffatome im Lego-Modell und im Atommodell

„Die schwarzen Kugeln stehen für Kohlenstoffatome“, korrigiert Sinan ihn.

„Und die weißen für Wasserstoffatome“, fährt Max fort.

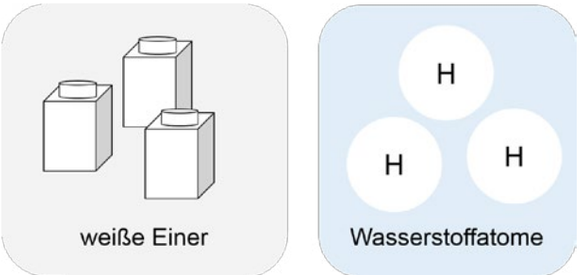
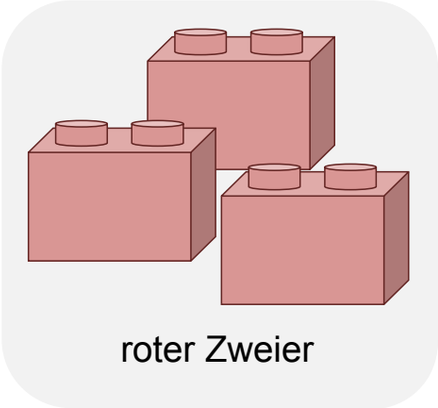


Bild 22: Wasserstoffatome im Lego-Modell und im Atommodell

„Chemiker kürzen Wasserstoff mit H und Kohlenstoff mit C ab“, ergänzt Aylin.

„Und was ist Sauerstoff?“, fragt Lisa.

„Chemiker nutzen häufig rote Kugeln, um Sauerstoffatome darzustellen“, erklärt Sinan. „Die Abkürzung der Chemiker für Sauerstoff ist das O.“



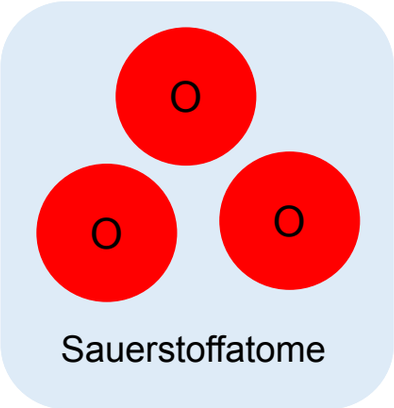


Bild 23: Sauerstoffatome im Lego-Modell und im Atommodell

„Im Wachsmolekül sind die Kohlenstoffatome zu einer langen Kette verbunden und die Wasserstoffatome außen rum“, erinnert Lisa sich.

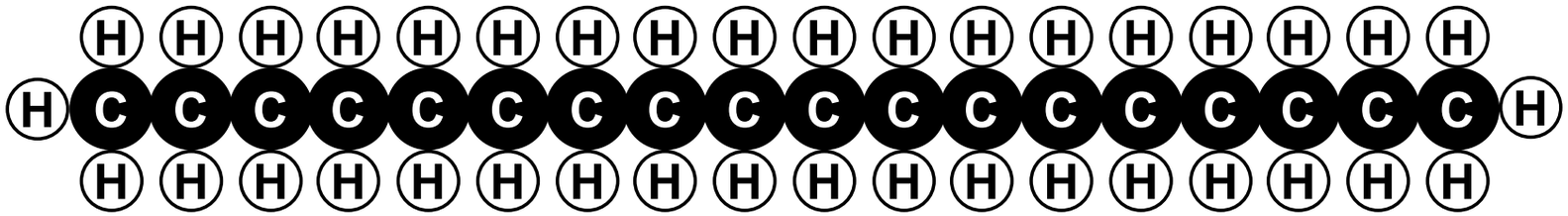


Bild 24: Wachsmolekül im Atommodell

„Die Sauerstoffmoleküle bestehen im Lego-Modell immer aus zwei roten Zweier-Steinen, die aufeinander gesteckt sind“, überlegt Aylin.

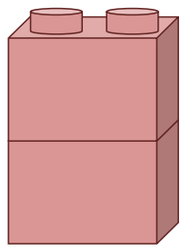


Bild 25: Sauerstoffmolekül im Lego-Modell

Nutze das Sauerstoffmolekül im Lego-Modell als Vorlage, um mithilfe einer Zeichnung das Sauerstoffmolekül im Atommodell darzustellen, bevor du weiter liest.

„Ich würde für ein Sauerstoffmolekül jetzt zwei rote Kugeln zeichnen, die sich berühren“, schlägt Aylin vor.

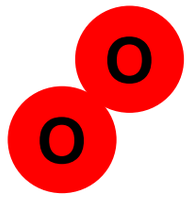


Bild 26: Sauerstoffmolekül im Atommodell

Vergleiche Aylins Zeichnung mit deiner eigenen. Korrigiere deine Zeichnung und erläutere, warum deine Zeichnung falsch war, falls dies notwendig ist, bevor du weiter liest.

„Und die reagieren jetzt alle miteinander!“, ruft Max.

„Wachs reagiert mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid“, fasst Lisa zusammen.

„Sehr gut“, lobt Sinan.

„Das Wassermolekül müsste dann aus einer roten und zwei weißen Kugeln bestehen“, überlegt Max und betrachtet das Lego-Modell des Wassermoleküls.

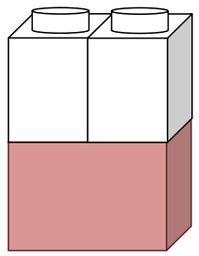


Bild 27: Wassermolekül im Lego-Modell

„Ein Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen“, korrigiert Aylin.

Stelle das Wassermolekül im Atommodell dar, bevor du weiter liest.

Lisa hat währenddessen ein Wassermolekül im Atommodell gezeichnet und präsentiert den anderen ihre Zeichnung.

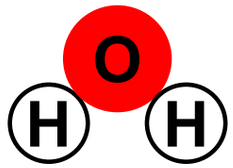


Bild 28: Wassermolekül im Atommodell

Sinan nickt zufrieden: „Beide Wasserstoffatome berühren das Sauerstoffatom, ohne dass sie sich gegenseitig berühren.“

Vergleiche Lisas Zeichnung mit deiner eigenen und überprüfe, ob Sinans Beschreibung auch auf deine Zeichnung zutrifft. Korrigiere deine Zeichnung und erläutere, warum deine Zeichnung falsch war, falls dies notwendig ist, bevor du weiter liest.

„Und ein Kohlenstoffdioxidmolekül besteht aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen“, überlegt Max weiter.

Stelle das Kohlenstoffdioxidmolekül im Atommodell dar, bevor du weiter liest.

Lisa zeichnet schon wieder und zeigt kurze Zeit später ihre Zeichnung.

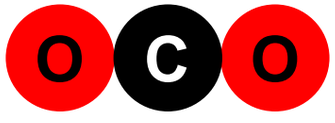


Bild 29: Kohlenstoffdioxidmolekül im Atommodell

„Sehr gut“, lobt Sinan. „Die Sauerstoffatome berühren beide das Kohlenstoffatom.“

Vergleiche Lisas Zeichnung mit deiner eigenen und überprüfe, ob Sinans Beschreibung auch auf deine Zeichnung zutrifft. Korrigiere deine Zeichnung und erläutere, warum deine Zeichnung falsch war, falls dies notwendig ist, bevor du weiter liest.

Dann wisst ihr jetzt, wie die Moleküle, die an der Reaktion beteiligt sind, im Atommodell dargestellt werden“, sagt Sinan. „Versucht doch mal – passend zu Lisas Satz von vorhin: Wachs reagiert mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid – die gesamte Reaktion im Atommodell darzustellen“, fordert Sinan sie auf.

Stelle mithilfe einer Zeichnung die an der Reaktion beteiligten Moleküle dar, bevor du weiter liest.

Wachs *und* **Sauerstoff** *reagieren zu* **Wasser** *und* **Kohlenstoffdioxid.**

„Unter das Wachs musst du ein Wachsmolekül malen“, überlegt Aylin.

Lisa zeichnet.

„Und daneben ein Sauerstoffmolekül!“, sagt Max. „Das Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen.“

„Und es entsteht noch Kohlenstoffdioxid“, fällt Aylin wieder ein. „Das besteht aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen.“

Lisa zeichnet hektisch und präsentiert Sinan dann ihre Zeichnung.

Wachs *und* **Sauerstoff** *reagieren zu* **Wasser** *und* **Kohlenstoffdioxid**.

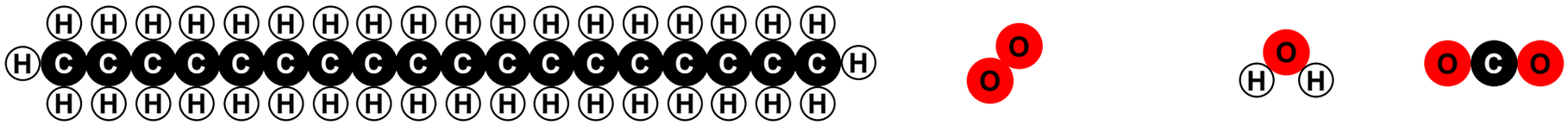


Bild 30: Vollständige Verbrennung im Atommodell

Sinan nickt zufrieden.

„Vielleicht erinnert ihr euch noch, dass wir gesagt hatten, dass Chemiker für *reagiert zu* immer einen Pfeil zeichnen“, erinnert Sinan dann.

Max ergänzt den Pfeil schnell.

Wachs *und* **Sauerstoff** *reagieren zu* **Wasser** *und* **Kohlenstoffdioxid**.

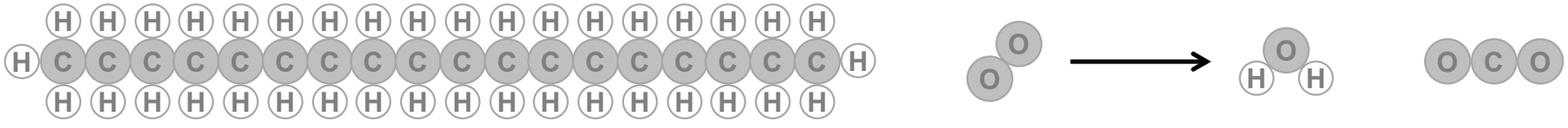


Bild 31: Vollständige Verbrennung im Atommodell

„Für *und* oder *mit* zeichnen Chemiker ein Plus“, fährt Sinan fort.

Max ergänzt auch das.

Wachs *und* **Sauerstoff** *reagieren zu* **Wasser** *und* **Kohlenstoffdioxid**.

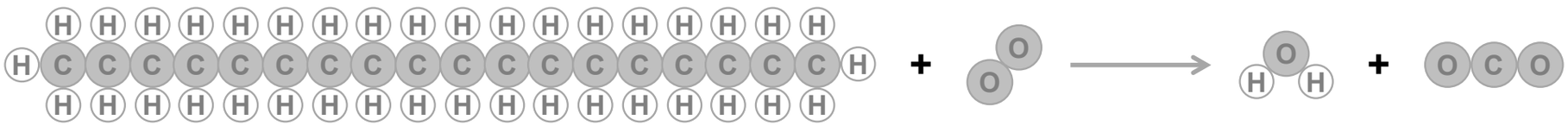


Bild 32: Vollständige Verbrennung im Atommodell

„Sehr gut“, lobt Sinan. „Jetzt habt ihr das Reaktionsschema für die vollständige Verbrennung aufgestellt.“

„Wie echte Chemiker!“, sagt Max begeistert.

„Also ist an einer Verbrennung nicht nur das Wachs beteiligt“, fasst Lisa zusammen, „sondern auch der Sauerstoff aus der Luft.“

„Sauerstoff besteht aus Sauerstoffmolekülen“, ergänzt Max.

„Wenn genug Sauerstoff da ist“, fährt Aylin fort, „reagieren die Wasserstoffatome aus dem Wachsmolekül mit den Sauerstoffatomen aus dem Sauerstoffmolekül zu Wassermolekülen.“

Wachs *und* **Sauerstoff** *reagieren zu* **Wasser** *und* **Kohlenstoffdioxid**.

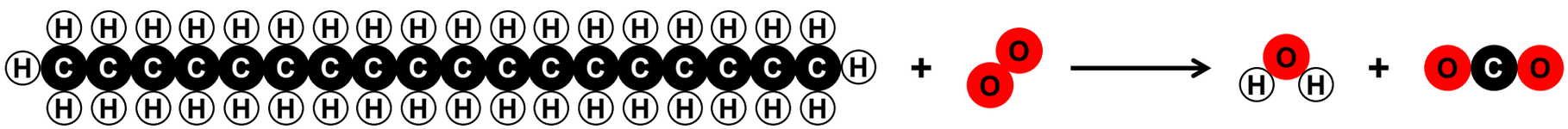


Bild 33: Vollständige Verbrennung

„Ein Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen“, ergänzt Max wieder.

„Und die Kohlenstoffatome aus dem Wachsmolekül reagieren mit den Sauerstoffatomen aus den Sauerstoffmolekülen zu Kohlenstoffdioxidmolekülen“, fasst Aylin weiter zusammen.

Wachs *und* **Sauerstoff** *reagieren zu* **Wasser** *und* **Kohlenstoffdioxid**.

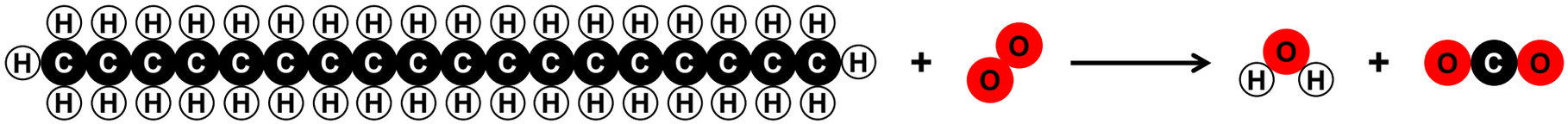


Bild 34: Vollständige Verbrennung

„Ein Kohlenstoffdioxidmolekül besteht aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen“, fügt Max wieder hinzu.

„Das passiert aber nur, wenn genug Sauerstoff da ist“, betont Lisa noch mal.

„Es ist eine vollständige Verbrennung“, ergänzt Max, „weil genug Sauerstoff da ist, so dass jedes Kohlenstoffatom und jedes Wasserstoffatom genug Sauerstoffatome finden, mit denen sie Kohlenstoffdioxidmoleküle oder Wassermoleküle machen können.“

„Bei einer unvollständigen Verbrennung gibt es nicht genug Sauerstoff“, fährt Lisa fort.

„Dann findet nicht jedes Kohlenstoffatom genug Sauerstoffatome, um ein Kohlenstoffdioxidmolekül zu machen“, erklärt Max wieder. „Dann bilden die Kohlenstoffatome, die übrig sind, so einen Kohlenstoffatomknubbel, den wir als Ruß sehen können.“

Sinan nickt und isst den Rest von seinem Salat auf. Max experimentiert weiter fasziniert mit dem Glas und der Kerze. Aylin sieht ihm einen Moment dabei zu, bis Lisa sie leicht mit dem Ellenbogen anstuppst und sagt: „Also wir müssen mindestens einmal shoppen gehen in den Ferien und ins Schwimmbad und in einen Freizeitpark … “

TESTE DEIN WISSEN

TEIL V: Vollständige Verbrennung als chemische Reaktion

Erkläre die folgenden Begriffe kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:

1) unvollständige Verbrennung

2) vollständige Verbrennung

3) Kohlenstoffdioxidmolekül

4) Kohlenstoffmonoxidmolekül

5) Wassermolekül

1) **unvollständige Verbrennung:**
Verbrennung, bei der nicht genug Sauerstoff für alle Edukte als Reaktionspartner zur Verfügung steht. Bei einer unvollständigen Verbrennung von Wachs entsteht unter anderem Ruß.

2) **vollständige Verbrennung:**
Verbrennung, bei der ausreichend Sauerstoff für alle Edukte als Reaktionspartner zur Verfügung steht. Wachs reagiert mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid.

3) **Kohlenstoffdioxidmolekül:**
Molekül aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen.

4) **Kohlenstoffmonoxidmolekül:**
Molekül aus einem Sauerstoffatom und einem Kohlenstoffatom.

5) **Wassermolekül:**
Molekül aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen.

SUPER, DAS WAR
TEIL V

Weitere THEMENBEREICHE:

STOFFE

REDOXREAKTION

ALKANE

WASSER

ATOMBAU

SALZE

SÄUREN

ERKENNTNIS-
GEWINNUNG