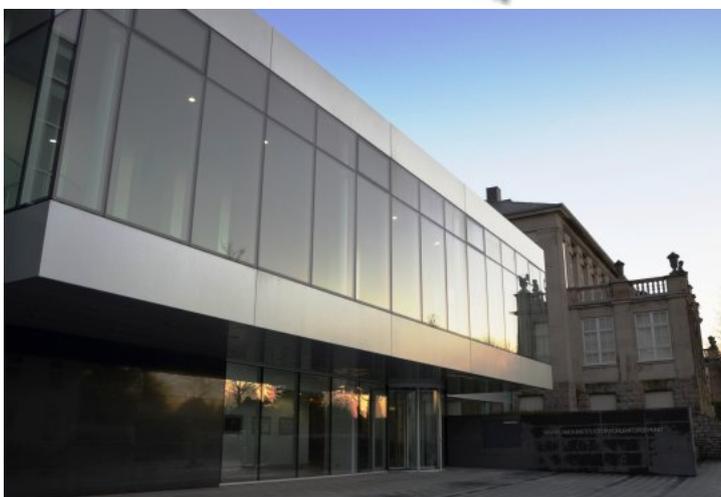


# Luises Streifzug durch das Max- Planck-Institut für Kohlenforschung

Kursarbeit des  
Projektkurses  
Naturwissenschaften  
Jahrgang 2011/2012 der  
Luisenschule - erstellt in  
Kooperation mit dem MPI  
für Kohlenforschung



**Luisenschule** Mülheim a.d. Ruhr



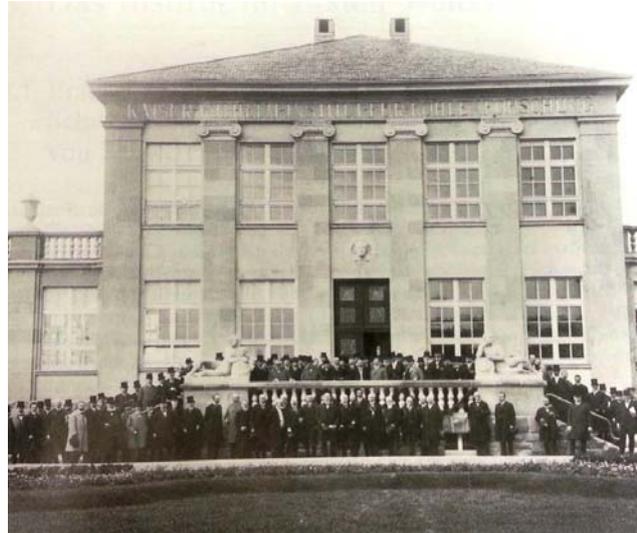
**Max-Planck-Institut für Kohlenforschung**

# **Luises Streifzug durch das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung**

<b>Geschichte des Max-Planck-Institutes für Kohlenforschung</b>	<b>3</b>
<b>Katalyse – was ist das?</b>	<b>5</b>
<b>Arbeitsbereich Heterogene Katalyse &amp; Elektronenmikroskopie</b>	<b>7</b>
<b>Arbeitsbereich Homogene Katalyse</b>	<b>12</b>
<b>Musik der Moleküle - Die NMR-Spektroskopie</b>	<b>17</b>
<b>Arbeitsbereich Metallorganische Katalyse</b>	<b>19</b>
<b>Arbeitsbereich Theoretische Chemie</b>	<b>21</b>
<b>Schlusswort und Mitwirkende</b>	<b>24</b>

## Geschichte des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung

Die kleine Luise besucht gemeinsam mit ihrer Familie den Tag der offenen Tür am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung. Dabei können die Leute etwas über die Wissenschaft erfahren, die die vielen Forscher hier in Mülheim betreiben. Luise hat heute aber gar keine Lust auf Wissenschaft. Gelangweilt tritt sie ihren Eltern und dem großen Bruder hinterher.



Als ihr Bruder den Eltern etwas Besonderes zeigen will, nutzt sie die Gelegenheit und macht sich aus dem Staub, um alleine zu sein. Sie schleicht sich in eine alte Bibliothek. Hier ist es ruhig, vom Lärm der vielen Besucher ist nicht mehr viel zu hören. Luise klettert in einen alten Sessel und schläft ein. Als sie wieder aufwacht, ist es Nacht. Der Tag der offenen Tür ist vorbei. Vorsichtig geht sie auf den Flur und schaut sich um. Niemand ist zu sehen. Ihr wird ein bisschen mulmig zumute. „Hallo?!“ ruft Luise zaghaft.

„Du brauchst keine Angst zu haben, junge Dame!“ Plötzlich taucht im Halbdunkeln vor ihr eine schwebende Brille auf. Dahinter erscheint das wache Gesicht eines älteren Mannes. Er hat eine Halbglatze und einen lustigen Schnurrbart. Nicht nur die Brille, sondern der ganze Mann schwebt! Das muss ein Geist sein, denkt sich Luise. Sie nimmt all ihren Mut zusammen und spricht das Gespenst an: „Wer bist du?“ fragt sie skeptisch.

Der Geist lächelt freundlich: „Ich bin der Wissenschaftler Max Planck! ... Naja, zumindest sein Geist. Nach mir ist dieses Institut benannt. Und weil du heute keine Lust hattest, beim Tag der offenen Tür etwas über das Institut zu lernen, wollte ich jetzt noch einmal mein Glück versuchen. Möchtest du mich auf einem Rundgang durch das Institut begleiten?“ Luise überlegt kurz. „Naja, besser als alleine im Dunkeln zu warten“, murmelt sie und macht sich gemeinsam mit Max Planck auf den Weg durch die Gänge des Instituts.



Luise sieht sich ihren Begleiter ein bisschen genauer an. Besonders angsteinflößend sieht der nicht aus. „Was hast du denn so Tolles gemacht, dass man ein ganzes Institut nach dir benennt?“

**Max Planck:** „Ein Institut? Es sind insgesamt etwa 80 Institute in ganz Deutschland und der Welt, die nach mir benannt sind! Ich habe eine sehr wichtige physikalische Entdeckung gemacht und dafür den Nobelpreis bekommen. Das ist der wichtigste Preis, den ein Wissenschaftler überhaupt bekommen kann. Aber mit der Arbeit am Institut für Kohlenforschung hat das nicht viel zu tun. Die Wissenschaftler hier sind vor allem Chemiker.“

Das heißt, sie beschäftigen sich mit dem Aufbau, den Eigenschaften und der Umwandlung von Stoffen. Das machen sie übrigens schon ziemlich lange: das Institut wurde 1912 gegründet, also vor 101 Jahren.“

**Luise:** „So lange gibt es das Max-Planck-Institut schon?“

**Max Planck:** „Ja. Damals hieß es allerdings noch nicht Max-Planck-Institut, sondern Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung. Wilhelm war der Kaiser von Deutschland. Kohle, die kennst du bestimmt vom Grillen, gibt es im Ruhrgebiet in Hülle und Fülle. Hier am Institut sollte sie von Wissenschaftlern richtig untersucht werden. So fing alles an.“

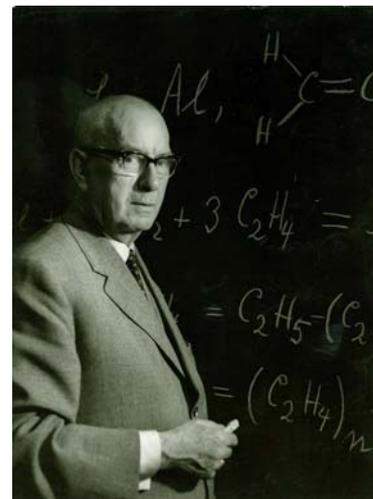


**Luise:** „Was soll man denn schon mit Kohle machen, außer den Grill anzuzünden?!“

**Max Planck:** „Benzin zum Beispiel! Das hat FRANZ FISCHER gemeinsam mit anderen Forschern herausgefunden. Er war von 1913 bis 1943 Direktor an diesem Institut. Bei diesem sogenannten *Fischer-Tropsch-Verfahren* wird die Kohle erhitzt und sogar gasförmig. Damit aber schließlich Benzin aus dem Gas wird, muss ein Katalysator helfen.“

**Luise:** „Kata...-was?!“

**Max Planck:** „Ein Katalysator ist ein Stoff, der dabei helfen kann, eine chemische Reaktion zu beschleunigen oder überhaupt erst in Gang zu bringen. Der Katalysator ist sozusagen derjenige, der besonders trägen Stoffen auf die Sprünge hilft. Mit diesen Katalysatoren beschäftigen sich die Wissenschaftler am Max-Planck-Institut auch heute noch sehr intensiv, aber das erkläre ich dir später.“



**Luise:** „Wenn die Wissenschaftler hier sich heute hauptsächlich mit Katalysatoren beschäftigen, dann ist die Kohle also gar nicht mehr so wichtig?“

**Max Planck:** „So ist es – und zwar schon eine ganze Weile. Es gibt nämlich viele spannende Bereiche in der Chemie. KARL ZIEGLER (Bild oben) zum Beispiel, der von 1943 bis 1969 Direktor des Instituts war, hat sich mit Kunststoff befassen, genauer gesagt mit Polyethylen, oft mit den Buchstaben ‚PE‘ abgekürzt. Du kennst das – Plastiktüten aus dem Supermarkt oder Butterbrotdosen sind zum Beispiel oft aus Polyethylen.“

**Luise:** „Dann ist die Plastiktüte also in Mülheim erfunden worden? Das wusste ich ja noch gar nicht!“



**Max Planck:** „Na ja, so kann man das vielleicht nicht direkt sagen, aber KARL ZIEGLER hat einen Weg gefunden, die Herstellung von Polyethylen zu vereinfachen. Das ging früher nur unter besonders hohem Druck. Doch mit einem Katalysator ist das jetzt viel einfacher und

auch billiger. Erst so wurde das Polyethylen für die Industrie wirklich interessant. Für diese wichtige Entdeckung hat KARL ZIEGLER übrigens auch den Nobelpreis bekommen. Nach ihm ist ein Gymnasium hier in Mülheim benannt.“

**Luise:** „Das kenne ich, da geht ein Freund von meinem Bruder hin – Also für einen Katalysator hat ZIEGLER diesen bekannten Preis bekommen? Schon wieder diese Katalysatoren!“

**Max Planck:** „Ich sagte dir ja, dass die eine große Rolle spielen. Zum Beispiel auch für GÜNTHER WILKE, der von 1969 bis 1993 als Direktor am Max-Planck-Institut gearbeitet hat. Er hat herausgefunden, dass man mit dem Metall Nickel als Katalysator eine ganze Menge machen kann. Einer seiner Kollegen, KURT ZOSEL, hat hier in Mülheim herausgefunden, wie man am besten koffeinfreien Kaffee machen kann.“

**Luise:** „Den trinkt die Oma immer!“

**Max Planck:** „Siehst du, jetzt kannst du deiner Oma erklären, was ihr Kaffee mit dem Max-Planck-Institut zu tun hat. Aber das sind alles alte Geschichten. Das Institut für Kohlenforschung hat noch viel mehr zu bieten. Heute arbeitet hier nicht nur ein Direktor, sondern gleich fünf! Ich zeig dir einfach mal, was die Wissenschaftler heute hier alles machen.“

## **Katalyse – was ist das?**

Max Planck und die kleine Luise betreten ein Labor. Dort liegt ein Gegenstand, den Luise ziemlich merkwürdig findet.

**Luise:** „Was ist das denn?“

**Max Planck:** „Das ist ein Autoabgaskatalysator. Das Auto von deinem Papa hat mit Sicherheit auch so einen.“

**Luise:** „Ich kenne das Auto von meinem Papa und ich habe dank dir jetzt auch von Katalysatoren gehört. Aber was hat denn das eine mit dem anderen zu tun?“



**Max Planck:** „Weißt du, ein Katalysator beschleunigt nicht nur Reaktionen, er setzt auch welche in Gang, die es ohne ihn nicht geben würde. Stelle dir das vor wie mit einem Freund, der sehr weit weg wohnt. So weit, dass du ihn nicht zu Fuß besuchen kannst. Aber mit dem Zug kannst du schon hinfahren. Der Zug ermöglicht also euer Treffen. Und genauso ermöglicht ein Katalysator manchmal eine Reaktion, das heißt das Treffen von sogenannten ‚Ausgangsstoffen‘, die sich in einer chemischen Reaktion zu neuen, sogenannten ‚Endstoffen‘ mit neuen Eigenschaften umsetzen. Das Praktische ist: Der Katalysator wird durch die Reaktion nicht verbraucht, er kann also immer und immer wieder verwendet werden.“

**Luise:** „Jetzt hast du mir aber immer noch nicht erklärt, was so ein Katalysator mit dem Auto von meinem Papa zu tun hat!“

**Max Planck:** „Katalysatoren sind unter anderem auch für den Umweltschutz besonders wichtig. Autos verursachen eine Menge Dreck, der in die Luft gepustet wird. Damit die Luft nicht allzu dreckig wird, verwendet man Katalysatoren. Die verwandeln umweltschädliche Gase, die beim Verbrennen von Benzin entstehen, in weniger schädliche Gase. So wird zum Beispiel aus dem giftigen Kohlenstoffmonooxid das ungiftige Kohlenstoffdioxid. Der Unterschied zwischen den beiden Stoffen ist der, dass das Kohlenstoffdioxidmolekül ein Sauerstoffatom mehr besitzt.“

**Luise:** „Und wo kommt dieses Sauerstoffatom her?“

**Max Planck:** „Das kommt in Form von gasförmigem Sauerstoff aus der Luft dazu. Der Katalysator sorgt dafür, dass das Kohlenstoffmonooxid und der Sauerstoff miteinander reagieren. Außer Kohlenstoffmonooxid entstehen bei der Benzinverbrennung noch weitere giftige Gase, die ebenfalls durch den Katalysator unschädlich gemacht werden.“

**Luise:** „Dann ist das Auto von meinem Papa also keine Belastung mehr für die Umwelt?“

**Max Planck:** „Doch, doch. Denn auch zu viel Kohlenstoffdioxid ist nicht gerade umweltfreundlich. Aber die Forscher am Max-Planck-Institut arbeiten gerade deswegen daran, die Katalysatoren immer weiter zu verbessern – oder sogar ganz neue zu finden!“

**Luise:** „Seit wann gibt es eigentlich diese Katalysatoren? Hast du das erfunden?“

**Max Planck:** „Nein, das Phänomen der Katalyse nutzen die Menschen schon sehr lange, zum Beispiel beim Bierbrauen. Dort werden Enzyme, das sind Eiweißverbindungen, die biochemische Vorgänge beschleunigen oder erst ermöglichen, als Katalysatoren genutzt. Aber dass man die Katalyse für industrielle Zwecke nutzen kann oder dass sie für den Umweltschutz hilfreich sein kann, weiß man noch nicht so lange. Das ging erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts los.“

**Luise:** „Das ist ja auch schon eine Ewigkeit her!“

**Max Planck:** „Du siehst, dass sich die Forscher schon ziemlich lange mit Katalyse beschäftigen, was für die Menschheit von großer Bedeutung ist, beispielsweise bei der Synthese von Ammoniak. Dies ist ein wichtiger Ausgangsstoff für Düngemittel. Sie ermöglichen, dass Getreide, Obst und Gemüse in großem Stil angebaut werden können, um so die Ernährung möglichst vieler Menschen sicherstellen zu können. Wichtig ist auch die Verflüssigung von Kohle.“

**Luise:** „Du meinst das *Fischer-Tropsch-Verfahren*, das hier am Institut entwickelt wurde!“

**Max Planck:** „Ganz genau – gut aufgepasst! Aber das ist nicht die einzige wichtige Katalysereaktion, die Forscher der Kohlenforschung entdeckt haben. KARL ZIEGLER, von dem ich dir schon erzählt habe, hat für die Ethylen-Polymerisation den Nobelpreis bekommen.“

**Luise:** „Das ist aber ein kompliziertes Wort!“

**Max Planck:** „Ja, das stimmt. Aber ich erkläre dir, was dahinter steckt. Es geht um die Herstellung von Kunststoffen bei niedrigen Temperaturen und geringem Druck. Wenn man sich die Entstehung von Kunststoff genauer ansieht, dann sieht man, dass sich dabei ganz viele kleine Moleküle aneinanderketten. Das können sogar mehr als 100.000 Moleküle sein.“

**Luise:** „Toll, was so ein Katalysator alles machen kann. Wie sehen die Dinger eigentlich aus?“

**Max Planck:** „Das kann ganz unterschiedlich sein. Es gibt darum auch unterschiedliche Bereiche der Katalyse: Es gibt Reaktionen, bei denen sind die Ausgangsstoffe beispielsweise gasförmig, der Katalysator dagegen ist ein Feststoff. Diese Art der Katalyse nennt man heterogen.“

**Luise:** „Wieder so ein Fremdwort!“

**Max Planck:** „Heterogen kommt aus dem Griechischen. Es bedeutet ungleich. Eine heterogene Katalyse bedeutet also, dass die Stoffe, die miteinander reagieren, sich nicht im gleichen Zustand befinden. Es gibt aber auch die homogene Katalyse. Homogen ist auch griechisch und bedeutet gleichartig.“

**Luise:** „Das heißt also, dass bei der homogenen Katalyse die Stoffe und der Katalysator im gleichen Zustand sind?“

**Max Planck:** „Ganz genau. Weil die heterogene und die homogene Katalyse so unterschiedlich funktionieren, gibt es im Institut dafür unterschiedliche Abteilungen. Die Reaktionen sind sogar so unterschiedlich, dass man für die Erforschung der homogenen Katalyse noch mehrere Untergruppen hat. Die einen beschäftigen sich mit der enzymatischen Katalyse, die anderen mit der metallorganischen Katalyse.“

**Luise:** „Was heißt das denn jetzt schon wieder?“

**Max Planck:** „Enzyme sind auch Katalysatoren – und zwar solche, die Reaktionen in deinem Körper beschleunigen und hervorrufen. Sie sind z.B. während der Verdauung aktiv und sind damit überlebenswichtig. Die Chemiker versuchen, sich die Tricks dieser Enzyme abzuschauen. Bei der metallorganischen Chemie geht es darum, dass der Katalysator kein Eiweiß ist, sondern ein Metall beinhaltet. Aber dazu erzähle ich dir später noch mehr.“

**Luise:** „Ganz schön praktisch diese Katalysatoren. Sie beschleunigen Reaktionen oder setzen sie in Gang. So wie ein Zug die Reise zu einem Freund beschleunigt, den ich zu Fuß nur sehr langsam oder gar nicht erreichen würde.“

**Max Planck:** „Richtig. Und jetzt schauen wir uns die heterogene Katalyse, bei der die Ausgangsstoffe und der Katalysator sich nicht im gleichen Zustand befinden, mal ein wenig genauer an. Woran hier momentan ganz aktuell gearbeitet wird, weiß ich allerdings auch nicht so genau, aber vielleicht finden wir das ja raus.“

**Luise:** „Au ja!“

## **Arbeitsbereich Heterogene Katalyse & Elektronenmikroskopie**

Luise geht mit Max Planck in einen anderen Bereich des Instituts.

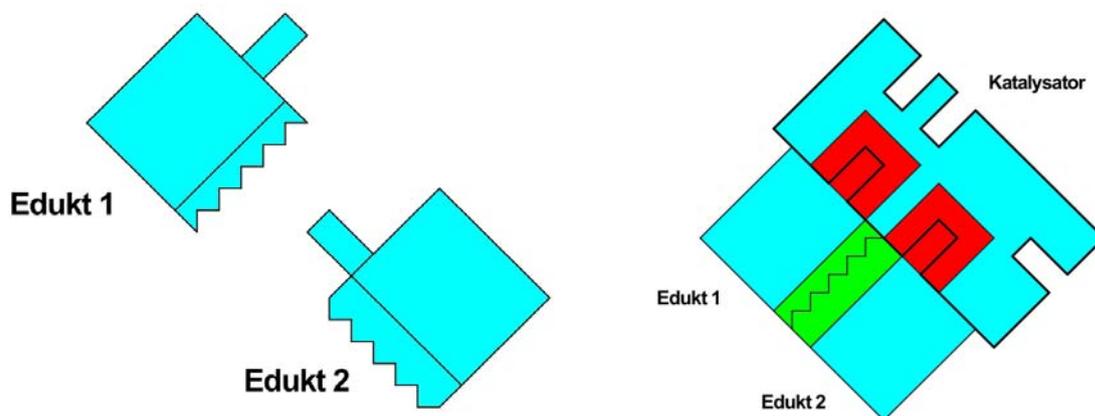
**Max Planck:** „Das hier ist der Forschungsbereich der heterogenen Katalyse.“

Während Max Planck zur Erklärung ansetzen will, kommt ein mit einem Stopfen verschlossener Erlenmeyerkolben um die Ecke und fängt an zu sprechen. Luise schaut erstaunt, wundert sich angesichts ihrer Bekanntschaft mit einem Geist aber über gar nichts mehr.

**Erlenmeyerkolben:** „Das ist vollkommen richtig. Hier erfährst du etwas über die heterogene Katalyse! Diese Art der Katalyse bezieht sich darauf, dass die reagierenden Stoffe, also die Edukte oder auch Ausgangsstoffe, und der Katalysator in unterschiedlichen Aggregatzuständen vorliegen. Der Katalysator ist beispielsweise fest und die Edukte sind gasförmig. Bei dem Autokatalysator, den du eben kennengelernt hast, handelt es sich nämlich um das feste Platin und bei den reagierenden Stoffen um die Gase Kohlenmonooxid (CO) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Eine heterogen katalysierte Reaktion lässt sich vergleichen mit einer Situation in der Schule.“

**Luise:** „Schule?.. Und das in meiner Freizeit? Aber ok, erzähl weiter.“

**Erlenmeyerkolben:** „Na schön. Der Vergleich dient ja nur der Vorstellungshilfe...Stell dir also vor, in der Schule suchen du und deine Klassenkameraden sich alle neue Plätze und du setzt dich erst mal ganz alleine an einen Tisch. Auf einmal setzt sich ein Mitschüler neben dich, mit dem du eigentlich sonst gar nichts zu tun hast. Nun aber, dadurch, dass ihr am gleichen Tisch sitzt, werdet ihr euch anfreunden. Der Tisch stellt dabei so etwas wie den Katalysator dar, ihr beiden die Edukte. In Wirklichkeit ist es allerdings etwas komplizierter, da sich an den Tisch ja eigentlich jeder setzen kann, auf einen Katalysator passen jedoch nur bestimmte Edukte. Das musst du dir wie bei einem Puzzle vorstellen. Wenn der Katalysator ein bestimmtes Puzzleteil ist, passen dort auch nur die Puzzleteile dran, die das Gegenstück dazu bilden.“



An den Grenzflächen – grün gekennzeichnet – reagieren die Edukte durch den Kontakt mit dem Katalysator – hier rot gekennzeichnet – zu einem neuen Stoff bzw. mehreren neuen Stoffen, auch Produkte oder Endstoffe genannt.

Nun möchte ich dir noch etwas über moderne Katalysatoren erklären...“

**Pulver (in dem Erlenmeyerkolben enthalten):** „Das mach’ ich! Ich kenne mich damit sowieso viel besser aus. Ich will mich selbst vorstellen!!!“

**Erlenmeyerkolben:** „Sei still. Ich lasse dich ja doch nicht raus!“

**Pulver:** „Das wollen wir doch mal sehen!“

(Das Pulver fängt im Erlenmeyerkolben an zu schaukeln, dieser stolpert, fällt zu Boden, zerspringt, der „neue“ Katalysator liegt in einer Art Pulverhaufen am Boden)

**Pulver:** „Endlich frei!“

**Erlenmeyerkolben** (*schmollend*): „Das wird ein Nachspiel haben!“

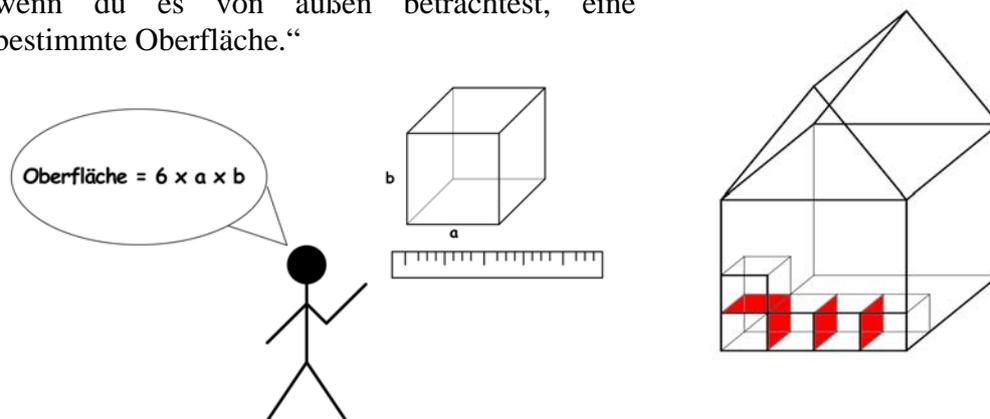
**Max Planck:** „Was bist du denn überhaupt für ein Pulver?!“

**Pulver** (*stolz*): „Ich bin einer der neuen Katalysatoren, von dem der Erlenmeyerkolben dir gerade erzählen wollte, und bestehe aus ganz vielen in Kohlenstoff eingekapselten Goldnanopartikeln.“

**Luise:** „Das klingt ja sehr kompliziert. Was kann ich mir darunter vorstellen?“

**Max Planck:** „Erst einmal sollte dir klar sein, dass „Nanopartikel“ so winzig sind, dass du sie unmöglich mit bloßem Auge erkennen kannst. Der Unterschied zwischen der Größe eines Meters und der eines Nanometers lässt sich vergleichen mit dem Größenunterschied zwischen der Erde und einer 1 Cent Münze.“

**Max Planck:** „So klein sind die gar nicht, sie haben eine sehr große Oberfläche! Stell dir zunächst ein Haus aus Legosteinen vor. Dies hat, wenn du es von außen betrachtest, eine bestimmte Oberfläche.“



**Luise:** „Ich glaube so etwas mussten wir in Mathe schon mal berechnen...“

**Max Planck:** „Baust du es nun in seine einzelnen Legobausteine auseinander, hat jeder Legostein ebenfalls eine bestimmte Oberfläche, wenn du alle seine Seiten betrachtest. Wenn du alle einzelnen Oberflächen der kleineren Legosteine zusammenrechnest, sind diese größer als die von dem ursprünglichen Haus, da sich ja vorher mehrere Legosteine gegenseitig abgedeckt haben und so diese Flächen nicht zur Oberfläche hinzu gezählt werden konnten (*in der Abbildung rot*). Kleinere Teilchen haben daher bei gleicher Masse eine größere Oberfläche. Wie der Erlenmeyerkolben schon gesagt hat, passt auf einen bestimmten Platz auf der Oberfläche eines Katalysators ein Edukt. Hast du eine größere Oberfläche, hast du auch mehr Platz zu Verfügung, so kannst du auch schneller arbeiten, da mehr Edukte darauf Platz haben. Damit du dir das besser vorstellen kannst, stelle dir noch einmal das Bild in der Schule vor. Wenn der Platz am Tisch größer ist, passen dort auch mehr Schüler dran. So haben mehr benachbarte Schüler die Möglichkeit Freundschaft zu schließen. Der Platz am Tisch ist daher mit der Oberfläche eines Katalysators zu vergleichen. Um einen Katalysator auf die Größe

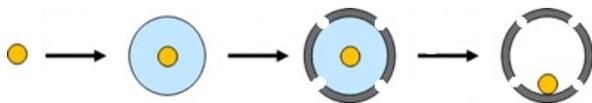
einiger Nanometer zu bringen, werden größere Teilchen beispielsweise in einer Mühle, ähnlich wie Körner zu Mehl, zermahlen.“

**Luise:** „Und wozu nutzt man das nun hier am Institut. Ich möchte ja schließlich wissen, was hier heutzutage alles so erforscht wird?“

**Pulver:** „Man erforscht zum Beispiel mich! Wenn du mich ansiehst, siehst du nämlich eigentlich nur einen kleinen Teil von mir und zwar den „Käfig“ aus Kohlenstoff für den Katalysator, der aus Gold besteht. Heterogen katalysierte Reaktionen finden oft bei hoher Temperatur statt, wodurch unser Katalysator auch ziemlich heiß wird. Um zu verhindern, dass Katalysatorpartikel verschmelzen und ihre Oberfläche sich verringert, werden sie in Käfige gesperrt, die die Katalysatorpartikel voneinander trennen. Das Zusammenschmelzen des Katalysators kannst du dir wieder anhand der vorhin genannten Legosteine gut vorstellen, wenn du dir überlegst, dass du die Legobausteine wieder zu einem Haus zusammenbauen würdest. Dadurch würde die Gesamtoberfläche der Legosteine auch wieder kleiner.“

**Luise:** „Aber wie schafft man es, dass die Katalysatoren auch noch genug Platz in ihrem Käfig haben?“

**Pulver:** „Dazu werden die Goldnanopartikel in einen Stoff gebettet, der den gleichen Zweck wie Watte erfüllt. Er verhindert, dass der Käfig zu eng gebaut wird. Dann baut man darum den Käfig aus Kohlenstoff. Am Ende wird der ‚Wattestoff‘ wieder herausgeholt. Der Käfig hat wie ein echter Käfig Lücken zwischen seinen Gitterstäben. Bei dem Katalysator erfüllen sie jedoch den Zweck, dass die Edukte zum Katalysator gelangen und die Produkte wieder heraus. Da Produkt und Edukt beide kleiner sind als der Katalysator, passen diese leicht durch die Lücken des Käfigs.“



**Luise:** „Nun weiß ich zwar wie du aufgebaut bist, aber nicht wozu man dich denn braucht!“

**Pulver:** „Ich erfülle die Aufgabe, das sehr umweltschädliche Kohlenstoffmonooxid in das weniger schädliche Kohlenstoffdioxid umzuwandeln. Eines Tages werde ich daher vielleicht einmal in großen Industrieanlagen Abgase reinigen. Zudem brauche ich nicht wie viele katalytische Vorgänge eine hohe Aktivierungsenergie, sondern arbeite schon bei  $-50^{\circ}\text{C}$ . Da es gesetzlich nicht erlaubt ist, große Mengen an umweltschädlichem Kohlenstoffmonooxid in die Luft abzulassen, sind Konzerne sehr an umweltverträglichen Abgasen interessiert.“

**Luise:** „Das Prinzip scheint ja ähnlich zu sein wie bei dem Autokatalysator.“

**Max Planck:** „Eine tolle Erfindung! Ich bin äußerst zufrieden damit, wie sich das Institut entwickelt hat. Aber sag mir doch bitte, wie wir Luise diese Goldnanopartikel noch anschaulicher zeigen können, kannst du mir da irgendwie weiterhelfen?“

**Pulver:** „Ich zwar nicht, aber die Elektronenmikroskope im Keller des Institutes bestimmt.“

**Max Planck:** „Also los, worauf warten wir noch!“

Max Planck und Luise gehen zu den Elektronenmikroskopen.

**Max Planck:** „Endlich sehe ich mal wieder ein paar Gerätschaften, die ich von früher kenne. Transmissionselektronenmikroskop, ich habe gehört, du kannst mir helfen einzelne Nanopartikel genauer zu betrachten. Ich sehe, du hast dich über die Jahre etwas verändert, funktionierst du trotzdem noch genau wie früher?“

**TEM:** „Im Grunde schon. Stellt euch einfach vor, ihr befändet euch in einem dunklen Raum und strahlt mit einer starken Taschenlampe auf eine weiße Wand. Zwischen Wand und Taschenlampe haltet ihr eine leere PE-Flasche. Dadurch erhaltet ihr auf der weißen Wand ein Abbild dieser Flasche. Wie ihr euch vorstellen könnt, durchdringt das Licht die Flasche unterschiedlich gut. Dort, wo sich das Etikett befindet, wird kein Licht durchgelassen, ihr erkennt dies als schwarzen Schatten auf der weißen Wand. Das Plastik wiederum hinterlässt auf der Wand ein schimmerndes Abbild, hier haben die Lichtstrahlen die Flasche besser durchdrungen.“

**Luise:** „Aber was hat das mit Trans-... wie war noch mal der Name?“ **Max Planck (hilft):** „Transmissionselektronenmikroskopie.“

**TEM:** „Das Durchdringen der Lichtstrahlen durch die Flasche wird als Transmission bezeichnet. Anders als eine Lupe arbeitet ein Elektronenmikroskop jedoch nicht mit Lichtstrahlen, sondern mit Elektronenstrahlen.“

**Luise:** „Aber worin liegt der Vorteil dieser Elektronenstrahlen?“

**TEM:** „Elektronenstrahlen kann man sich ähnlich wie Lichtstrahlen vorstellen, allerdings sind Elektronenstrahlen in der Lage unglaublich kleine Objekte sichtbar zu machen, die man mit normalem Licht überhaupt nicht sehen könnte.“

**Max Planck:** „Wie etwa Nanopartikel, Luise, welche du ja schon kennengelernt hast. Vergiss aber nicht, dass dieses Beispiel natürlich noch etwas lückenhaft ist. Die Abbilder der Nanopartikel sind genauso klein wie ihre Originale, daher muss zwischen dem Objekt und der weißen Wand eine Art Lupe sein, die dieses Abbild vergrößert.“

**TEM:** „Um das vorangegangene Beispiel noch einmal aufzugreifen: Elektronenmikroskope verwenden keine Taschenlampen, sondern Elektronenkanonen, welche Elektronen freisetzen um diese durch ein bestimmtes Objekt auf die weiße Wand zu schießen. Eine weiße Wand gibt es so allerdings auch nicht. Die transmittierenden Elektronen werden von einem sogenannten Detektor erfasst und verbildlicht. Natürlich gibt es in einem Elektronenmikroskop auch keine Lupen im herkömmlichen Sinne. Die Vergrößerungen von Objekten übernehmen hier Magnetlinsen. Licht- und Elektronenstrahlen haben aber die Gemeinsamkeit, dass sie Objekte unterschiedlich gut durchdringen. Das dadurch entstandene Abbild mit seinen unterschiedlichen Schattierungen lässt daher Rückschlüsse auf den Inhalt eines Objektes zu.“

**Luise:** „Was steht denn da drüben noch, da steht R-a-s-t-e-r-e-l-e-k-t-r-o-n-e-n-mikroskop drauf. Wer kann mir dazu denn was erzählen?“

**Max Planck:** „Das kann ich übernehmen! Ruf dir doch noch einmal das Beispiel von vorhin in Erinnerung. Doch diesmal interessieren wir uns nicht für das Abbild der PET-Flasche auf der weißen Wand, sondern für dessen Oberfläche, die unser Auge wahrnimmt.“

**Luise:** „Du meinst also, dass diesmal nicht die weiße Wand der Detektor ist, sondern mein Auge?“

**Max Planck:** „Richtig! Es geht also nicht um die Elektronenstrahlen, welche ein Objekt durchdringen, sondern um solche, welche von einem Objekt zurückgeworfen werden. Das dadurch entstandene Abbild zeigt dir also nicht den Inhalt eines Objektes sondern seine Oberfläche. Der Rest ist vergleichbar mit dem Transmissionselektronenmikroskop.“

**Luise:** „Das ist ja eine ganze Menge, was die Wissenschaftler hier machen. Aber arbeiten die denn alle an Katalysatoren aus Gold?“

**Max Planck:** „Nein, in den anderen Abteilungen geht es um völlig andere Sachen. Ich werde es dir zeigen.“

### Arbeitsbereich Homogene Katalyse

Daraufhin nimmt Max Planck Luise mit in die Abteilung Homogene Katalyse. Dort finden sie einen farblosen Stoff in einem Becherglas vor.

**Luise:** „Was heißt homogene Katalyse denn eigentlich noch einmal? Hat das nicht irgendetwas mit der heterogenen Katalyse zu tun?“

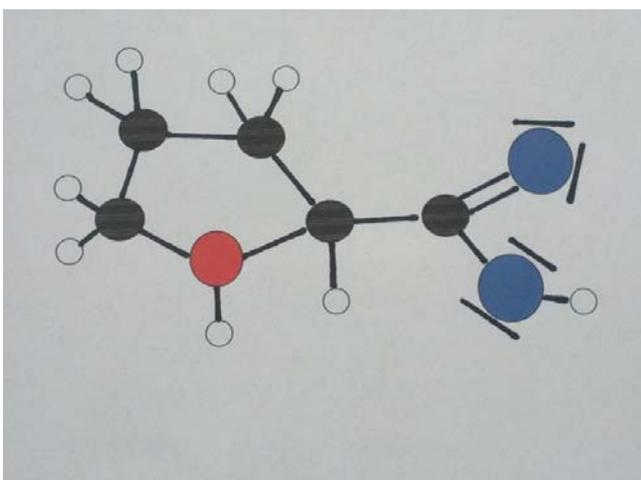
**Max Planck:** „Genau, das ist sozusagen das genaue Gegenteil. Erinnerst du dich – homogen bedeutet gleichartig. Bei der homogenen Katalyse liegen nämlich sowohl der Katalysator als auch der Stoff, der umgesetzt wird, in der gleichen Phase vor. Das heißt, dass diese beiden im gleichen Lösemittel gelöst oder vollständig miteinander mischbar im gleichen Aggregatzustand vorliegen. Beide sind z.B. flüssig.“

**Luise:** „Gut zu wissen. Und was ist das für ein festes, farbloses Zeug in dem Becherglas?“

**Max Planck:** „Das ist die Aminosäure Prolin. Sie spielt eine wichtige Rolle in der homogenen Katalyse.“

**Luise:** „Was ist denn eine Aminosäure? Meine Mutter sagt immer, ich solle mich möglichst von Säuren fernhalten, weil sie ätzend sein können!“

**Max Planck:** „Das stimmt natürlich. Vor starken Säuren sollten sich Kinder möglichst fernhalten. Aber lass dir gesagt sein, Aminosäuren sind da ein bisschen anders. Sie sind nämlich Bausteine von Proteinen, auch Eiweiße genannt, die sogar überall im menschlichen Körper vorkommen. Sie sind aus Kohlenstoff-, Stickstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut.“



**Aminosäure Prolin Strukturformel:**

**schwarz: Kohlenstoff (C)**

**Rot: Stickstoff (N)**

**Blau: Sauerstoff (O)**

**Weiß: Wasserstoff (H)**

**Luise:** „Da bin ich ja beruhigt. Aber warum habe ich so viele Aminosäuren, die Proteine bilden, in meinem Körper? Wofür brauche ich die?“

**Max Planck:** „Proteine übernehmen viele wichtige Aufgaben. Eine besondere Art der Proteine sind Enzyme, über die hatten wir zu Beginn unseres kleinen Ausflugs schon einmal kurz gesprochen. Das sind Moleküle, die eben aus Aminosäuren bestehen. Das Besondere an ihnen ist, dass Reaktionen, die normalerweise z.B. erst ab Temperaturen von 100°C funktionieren würden, mit dem Enzym so katalysiert werden, dass sie bei einer Körper- bzw. Zelltemperatur von 37°C ablaufen können. Daher sind sie lebensnotwendig!“

**Luise:** „Wow, ziemlich beeindruckend, diese Enzyme! Doch woher weiß ein Enzym eigentlich, welche Reaktionen es katalysieren soll?“

**Max Planck:** „Das ist eine wirklich gute Frage, Luise. Enzyme haben ein „aktives Zentrum“, eine Art Tasche. Das kann man sich wie ein Schloss vorstellen, in das nur ein ganz bestimmter Schlüssel passt. Und der Schlüssel ist eben der Stoff, dessen Reaktion vom Enzym katalysiert wird.“

**Luise:** „Das heißt also, dass Enzyme immer genau wissen, was sie zu tun haben. Das ist genial!“

**Max Planck:** „Ja, aber manchmal funktionieren Enzyme nicht so wie sie sollen. Der erste wichtige Faktor ist die Temperatur: Zuerst einmal arbeiten Enzyme bei Körpertemperatur optimal. Deshalb möchte der Körper diese Temperatur auch halten. Wenn es kälter wird, werden die Enzyme langsam und arbeiten nicht mehr so gut. Je wärmer es wird, desto schneller werden die Enzyme.“

**Luise:** „Aber warum ist die Körpertemperatur dann nicht viel höher, damit die Reaktionen schneller ablaufen können?“

**Max Planck:** „Bei zu hoher Temperatur gehen die Enzyme sozusagen kaputt. Das lässt sich gut am Beispiel eines Eies erklären. Zerschlägt man ein rohes Ei, so kommen einem das flüssige Eiklar und das Eigelb entgegen. Dieses beinhaltet Proteine. Kocht man ein Ei, wird es fest. Doch wie kann es dazu kommen? Bei großer Hitze wird die Struktur der Proteine verändert, sodass das Ei aus dem weichen in den harten Zustand gelangt. Hier hat eine chemische Reaktion stattgefunden. Versuche nun mal das Ei aus dem harten wieder in den weichen Zustand zu bekommen. Das geht nicht. Die Struktur ist unumkehrbar verändert worden.“

**Luise:** „Das Problem kenne ich auch von zu Hause. Meine Tante Emma liebt weiche Eier zum Frühstück. Meine Familie mag hingegen lieber harte Eier. Immer wenn Tante Emma bei uns frühstückt, gibt es großen Ärger, weil Papa wieder zu harte Eier gemacht hat. Da die Eier danach nicht wieder weich werden, hilft nur Eines: Neu machen!“

**Max Planck (lacht):** „Das ist wirklich ein großes Problem! Ab einer Temperatur von ca. 42-43°C beginnen die Proteine nämlich, die eben sowohl in Eiern als auch in uns Menschen enthalten sind, sich zu verändern. Deshalb ist sehr hohes Fieber auch so gefährlich. Denn werden zu viele Enzyme zerstört, können wichtige Stoffwechselprozesse, die den Körper mit Energie versorgen, nicht mehr stattfinden. Man kann dann sogar sterben. Deshalb sind Eltern auch immer so besorgt, wenn ihre Kinder hohes Fieber haben.“

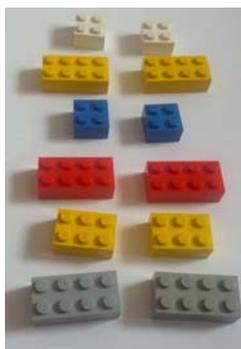
**Luise:** „Das kenne ich, so sind meine Eltern auch. Aber um wieder auf die Enzyme zu sprechen zu kommen: Gibt es noch andere Faktoren, die Enzyme beeinträchtigen können?“

**Max Planck:** „Außer der passenden Temperatur muss es natürlich auch genügend passende Schlüssel für das Schloss geben. Gibt es nämlich keinen Schlüssel, welcher in das Schloss passt, kann dieses auch nicht arbeiten. Es kann natürlich auch vorkommen, dass sich zwei Moleküle extrem ähnlich sehen. Damit du weißt, wie man sich das vorstellen kann und wie Enzyme dieses Problem lösen, kann ich dir eine traurige Geschichte erzählen: in den 1960er Jahren nahmen viele schwangere Frauen ein Medikament namens Contergan ein. Dieses Medikament diente eigentlich als ein Schlaf- und Schmerzmittel, jedoch traten leider bei den später geborenen Babys Missbildungen auf. Ihnen fehlten Gliedmaßen oder sie waren teilweise verstümmelt. Es gab sozusagen ein „gutes“ und ein „böses“ Molekül in diesem Medikament. Während das „gute“ Molekül, wie gewünscht, als Schlafmittel funktionierte, führte das „böse“ Molekül zu den Missbildungen.“

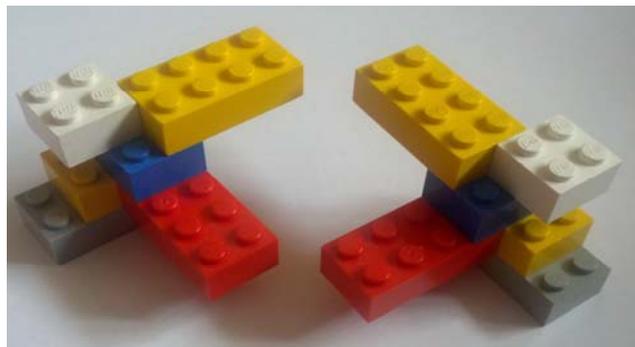
**Luise (erschrocken):** „Warum waren denn schädliche Moleküle in dem Medikament? Wusste man denn nicht, dass das „böse“ Molekül in dem Medikament enthalten ist?“

**Max Planck:** „Genau das ist das Besondere an diesen beiden Molekülen. Sie sind eigentlich gleich aufgebaut. Man kann sich das wie zwei Lego-Modelle vorstellen, die aus den gleichen Teilen aufgebaut sind. Die Legosteine stellen die Atome des Moleküls dar. Auch wenn die gleichen Bausteine verwendet werden, können sich die Modelle unterscheiden. Das eine Legomodell kann zum Beispiel das Spiegelbild von dem anderen sein. Man spricht dann von zwei Enantiomeren, die sich zueinander wie Bild und Spiegelbild verhalten. Enantiomer kommt aus dem Griechischen und bedeutet übersetzt: entgegengesetztes Teil.“

**Luise:** „Solche Bilder und Spiegelbilder, also Enantiomere, kommen doch auch in unserem Alltag vor - oder?“



Hier sieht man Legobausteine. Sie sollen Atome darstellen. Die jeweiligen Paare haben genau die gleiche Form, Farbe und Größe.



Dieses Legomodell soll zwei Moleküle darstellen. Die Modelle wurden aus den gleichen Legosteinen gebaut. Sie unterscheiden sich dennoch, denn sie sind nicht deckungsgleich.

**Max Planck:** „Ja natürlich. Schau deine Hände an! Die beiden sehen auf den ersten Blick ziemlich gleich aus, jedoch sind sie nicht zur Deckung zu bringen Sie verhalten sich zueinander wie Enantiomere. Moleküle, die sich wie die Hände verhalten, nennt man *chiral*. Das kommt aus dem Griechischen und heißt *händig*. Moleküle, die mit ihrem Spiegelbild deckungsgleich sind, nennt man hingegen *achiral*, also *nicht händig*.“

Das kannst du zu Hause auch selber überprüfen! Nimm dir einfach einen Spiegel und spiegel' drauf los. Wenn du eine Hälfte so spiegeln kannst, dass das ganze Bild entsteht, ist dies achiral. Ist dies nicht möglich, liegt dementsprechend ein chirales Gebilde vor.



Sie sind das beste Beispiel für Chiralität, die Hände. Chiralität bedeutet sogar Händigkeit.

**Luise:** „Das habe ich jetzt verstanden. Aber wieso ist das für Enzyme wichtig?“

**Max Planck:** „Enzyme sind genau wie die Hände chiral, denn ihre Bestandteile, die Aminosäuren, sind auch chiral.“

**Luise:** „Das heißt ja auch, dass diese Aminosäure Prolin im Becherglas chiral ist oder?“

**Max Planck:** „Das stimmt genau, aber darauf komme ich später noch zurück. Also Enzyme sind wie Hände. Treffen sie nun auf ein ebenfalls chirales Substrat (Schlüssel), passiert etwas Besonderes. Es kann nämlich sein, dass es von dem ‚Schlüssel‘, also dem Substrat ein Spiegelbild gibt. Der Schlüssel wird von dem Enzym (Schloss) katalysiert, während der nicht passende Schlüssel nicht oder sehr schlecht umgesetzt wird. Das ist vergleichbar mit einem Handschlag. Wählt man hierzu die rechte Hand, so kann der Partner nur dann erfolgreich die Hand schütteln, wenn er ebenfalls die rechte Hand benutzt. Ansonsten würde es nicht funktionieren oder einfach nur komisch aussehen.“

**Luise:** „Was hat das eigentlich alles mit der Forschung hier am Institut zu tun?“

**Max Planck:** „Die Wissenschaftler wollen kleine Verbindungen finden, die als Katalysatoren dienen können. Diese können beispielsweise für Medikamente verwendet werden. Für Medikamente sind organische Verbindungen besonders gut, also solche ohne Metalle. Denn viele Metalle sind giftig für den menschlichen Körper und Medikamente sollten ja nicht giftig sein. Die Katalysatoren sollten auch einfach und kostengünstig herzustellen sein, damit die Medizin nicht zu teuer wird. Weiterhin sollten sie zwischen ‚guten‘ und ‚schlechten‘

Molekülen unterscheiden können und nur das ‚Gute‘ umsetzen, damit es nicht erneut zu einem Vorfall wie dem Contergan-Skandal kommt.“

**Luise:** „Hat man denn bereits solche Katalysatoren gefunden?“

**Max Planck:** „An dieser Stelle kommt das Prolin ins Spiel. Prolin ist ein chirales Molekül und kann daher bevorzugt ein Enantiomer umsetzen. Zudem kann es auch aus einem achiralen Molekül ein chirales Molekül bilden.“

**Luise:** „Wie kann denn ein achirales Molekül plötzlich chiral werden?“



Diese beiden Kugeln sind deckungsgleich. Durch einfaches Zerdrücken mit den Händen ändert sich das ganz schnell. Dadurch dass eine Kugel mit der rechten Hand und die andere Kugel mit der linken Hand zerdrückt wurde, entstehen nun Bild und Spiegelbild.

**Max Planck:** „Du kannst dir das folgendermaßen vorstellen: Das chirale Molekül, in diesem Fall ist dies Prolin, kann wieder in Form einer Hand verbildlicht werden. Das achirale Molekül ist hingegen z.B. eine blaue Kugel aus Knete. Du nimmst die Knetkugel in deine linke Hand und drückst ein wenig zu. Dadurch erhält die Knetmasse die Fingerabdrücke deiner linken Hand. Wenn du dasselbe mit einer weiteren Knetkugel mit der rechten Hand machst, erhältst du das Spiegelbild zu der Knetmasse, die du mit der linken Hand eingedrückt hast.

Aber das sind nicht die einzigen Vorteile von Prolin. Es ist nämlich auch sehr leicht aus Hühnerfedern zu gewinnen, es ist nicht giftig und metallfrei. Die Katalyse, bei der auch Metallatome verwendet werden, wirst du nachher auch noch kennen lernen, denn in der Abteilung für Metallorganische Chemie werden solche Moleküle erforscht. Das Besondere an Prolin aber ist, dass es, obwohl es eigentlich nur ein Bestandteil von Enzymen ist, in gewissen Fällen deren Fähigkeit, Reaktionen zu katalysieren, eigenständig übernehmen kann.“

**Luise:** „Also ganz nach dem Motto: *Klein aber OHO!*“

**Max Planck:** „Das kann man so sagen! Prolin kann zudem zwei Moleküle zu einem verbinden. Das hat einer der Direktoren hier am Institut herausgefunden, Prof. Dr. BENJAMIN

LIST. Ein weiteres Verfahren lässt es sogar zu, die Reaktion dreier Moleküle gleichzeitig zu katalysieren. Aus ihnen formt sich ein neues Molekül, das auch in der Medizin von Bedeutung ist.“

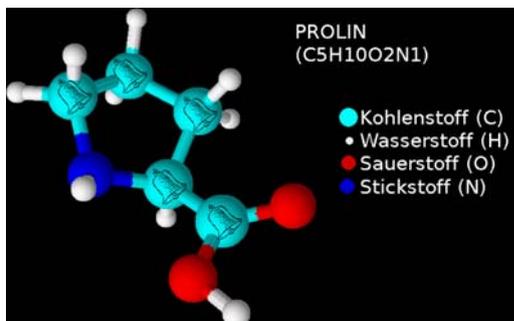
**Luise:** „Woher weiß man aber, dass man auch wirklich das gewünschte Produkt erhalten hat? Legen wir unser Prolin jetzt auch ins Elektronenmikroskop?“

**Max Planck:** „Nein, diese Teilchen sind sogar für die Elektronenmikroskopie zu klein. Deshalb verwenden wir dazu ein NMR-Spektrometer. Lass uns da einfach mal hin gehen.“

## Musik der Moleküle –Die NMR-Spektroskopie

Max Planck und Luise sind in einem anderen Bereich des Instituts angekommen und entdecken dort eine große graue Metalltonne auf drei Beinen. Max Planck will gerade anfangen zu erklären, da erklingt plötzlich eine Stimme aus der Tonne...

**NMR:** „Hallo! Ich bin zwar nur ein kleines unscheinbares Glasröhrchen, in das ein bisschen Flüssigkeit hinein passt, kann euch aber trotzdem helfen, das Prolin zu sehen. Mit dem Elektronenmikroskop könnte das gar nicht funktionieren. Katalysatoren wie das Prolin sind so klein, dass man sie nicht mal mit einem Elektronenmikroskop sehen kann, geschweige denn mit bloßem Auge. Aber was man nicht sehen kann, kann man *hören*! Diese Maschine, die du auf dem Bild hier siehst, hat viel mehr Ähnlichkeiten mit einem Tonaufnahmegerät als mit einem Mikroskop!“



**Luise:** „Heißt das etwa, dass der Katalysator Musik spielen kann?“

**NMR:** „Ja, so ähnlich. Die Musik besteht allerdings nicht aus akustischen Wellen, wie die, die aus einer Trompete oder aus einem anderen Musikinstrument tönen, sondern aus Radiowellen, wie sie zum Beispiel die Antenne eines Radios im Auto empfängt.“

**Max Planck:** „Aber wie kann ein Katalysator eigentlich Musik spielen?“

**NMR:** „Der Katalysator Prolin, den ihr aus der Abteilung für Homogene Katalyse kennt, ist aus verschiedenen Atomen aufgebaut, wie ihr auf dem Bild erkennen könnt. Jede farbige Kugel ist ein Atom, dabei stellen die fünf hell-blauen Kugeln Kohlenstoffatome dar, die dunkel-blaue ein Stickstoffatom, die zwei roten Sauerstoffatome und die zehn weißen Wasserstoffatome. Weil der Katalysator aus so vielen Atomen zusammengesetzt ist, bezeichnet man ihn auch als Molekül. Jedes Atom hat ein positiv-geladenes Zentrum, das auch als „Kern“ bezeichnet wird. Manche von diesen Kernen, wie z.B. die Kerne der Kohlenstoffatome, haben eine ganz besondere Eigenschaft, die nur einige bestimmte Arten von Kernen besitzen: Unter bestimmten Bedingungen können sie genau wie winzige Glocken wirken und einen Ton im Radiowellenbereich erzeugen.“

**Luise:** „Klingt interessant. Das heißt also, man kann die Musik eines Moleküls hören?“

**NMR:** „Leider ist das nicht so einfach. Die Musik eines einzigen Moleküls wäre viel zu schwach. Aber dafür gibt es einen Trick. In einem Magnetfeld kann man die Atomkerne vieler Milliarden Moleküle dazu bringen gleichzeitig zu klingen. Je stärker das Magnetfeld ist, desto klarer kann unser Gerät diese Musik aufnehmen. In dieser Maschine, die ich dir auf dem Bild gezeigt habe, erledigt dies ein extrem starker Magnet, der 500.000 Mal so stark ist wie das Magnetfeld der Erde!“

**Max Planck:** „Das wusste ich auch noch nicht - und wie werden die Kern-„Glocken“ zum Klingen gebracht? Braucht man einen Hammer wie bei einer großen Glocke?“

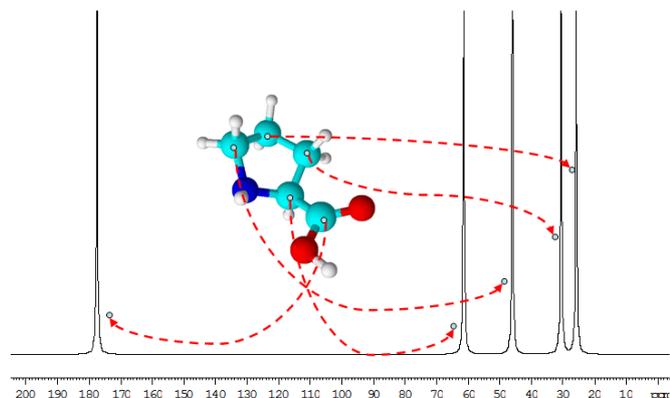
**NMR:** „In unserem Gerät schickt eine Antenne einen kurzen aber sehr starken Puls, also sehr starke Radiowellen, in die Probe, die kleine Menge Flüssigkeit in meinem Inneren, von der ich am Anfang gesprochen habe, hinein, der die Aufgabe eines Hammers übernimmt und die Atomkerne zum Klingen bringt. Dieser Puls kann beliebig für Wasserstoff-, für Kohlenstoff oder für Stickstoffkerne angepasst werden, weil diese Atome ganz unterschiedliche Tonbereiche haben. Man könnte sich die verschiedenen Kerne wie die verschiedenen Sänger in einem Chor vorstellen. Die Wasserstoffkerne sind der „Sopran“, singen also sehr hohe Töne, die Kohlenstoffkerne singen die „Alt-Stimme“ also mittlere Töne und die Stickstoffkerne sind die „Tenöre“. Sie erzeugen sehr tiefe Töne. Am Ende des Pulses wird alles ganz still, damit der Klang der Atomkerne mit einer Empfangsantenne aufgenommen und im Computer gespeichert werden kann.“

**Max Planck:** „Sehr clever! Aber etwas ist mir immer noch nicht ganz klar. Prolin hat fünf Kohlenstoffatome. Aber klingt die Musik von diesem Katalysator nicht genauso wie die jedes anderen Moleküls mit fünf Kohlenstoffatomen?“

**NMR:** „Die NMR-Musik von Prolin ist absolut einzigartig. Die Stimme eines Kerns hängt sehr stark davon ab, welche und wie viele Atome ihn im Molekül als Nachbarn umgeben. Der Kohlenstoffkern neben zwei Sauerstoffatomen erzeugt einen viel tieferen Ton als der Kern, der nur Wasserstoff- und Kohlenstoffatome neben sich hat. Die erfahrenen NMR-Experten können diese Signale unterscheiden und sie bestimmten Atomgruppen zuordnen. Ein Bild eines Moleküls nur aus dem NMR-Klang zu erstellen, ist dann im Endeffekt ein Rätsel. Die Experten hier können anhand des Klanges den Aufbau eines Stoffes herausfinden und so einen Katalysator wie unser Prolin identifizieren.“

**Luise:** „Das kann ich mir vorstellen. Aber wie hören die NMR-Experten denn diese Musik. Sitzen die mit Kopfhörern im Labor und arbeiten?“

**NMR:** „Ha! Ha! Schöne Idee, aber eigentlich ist diese Musik nicht sehr schön zu hören. Es klingt wie ein verstimmt Klavier. Dazu muss man sagen, dass die Klangsignale der Atome viel genauer in Form eines Spektrums aufgenommen werden. So wie dieses hier in der Abbildung. Jede Linie, die in einem Spektrum als Signal bezeichnet wird, steht für den Ton eines Kohlenstoffkerns im



Prolinmolekül. Die Höhe dieser Linie zeigt die Stärke dieses Signals und die Position steht für die Frequenz also die „Tonhöhe“. Man sieht ganz genau fünf Linien für die fünf verschiedenen Kohlenstoffkerne. Die Linie ganz links steht für ein Signal mit besonders

niedriger Frequenz und kann also nur zu dem Kohlenstoffkern mit zwei Sauerstoffnachbarn gehören. Solche Überlegungen stellen die NMR-Experten für jedes Signal an und erhalten so nach und nach ein vollständiges Bild des Katalysators Prolin.“

**Max Planck:** „Was ein Aufwand, um so ein kleines Teilchen zu *hören*. Danke für die interessanten Informationen. Mal schauen, was uns in der nächsten Abteilung noch so Merkwürdiges begegnet....“

## Arbeitsbereich Metallorganische Katalyse

Max Planck und Luise laufen weiter. Sie betreten ein Labor, vor dem ein Schild angebracht ist, das eine große Brille zeigt. In einer Schale, gleich neben der Tür, finden sie dann auch solche Brillen – Schutzbrillen! Sie zögern nicht lange, greifen sich eine Schutzbrille und gehen zu einem der Labortische. Dort fällt ihnen eine weiße Schachtel mit der Aufschrift „Levodopa“ auf.



**Luise:** „Das ist doch ein Medikament, das kenne ich von meinem Opa.“

**Max Planck:** „Warum nimmt er es denn?“

Plötzlich ertönt eine Stimme aus der Schachtel: „Stopp! Lass’ mich das mal erklären“, ruft eine **Tablette**, „denn ich weiß schließlich am besten, was meine Aufgabe ist. Die Medizin hat mir, genauso wie allen anderen Medikamenten, die große Aufgabe gegeben, Menschen von Krankheiten zu heilen. Menschen, die im Alltag oft unkontrolliert zittern, haben manchmal eine Krankheit, die sich das Parkinson-Syndrom nennt. Um das Zittern zu verhindern, benutzen Ärzte ein Medikament, das den Wirkstoff Levo-Dopa oder auch L-Dopa enthält. Als das Medikament entdeckt wurde, war der Bedarf daran noch sehr gering. Weil jedoch die Menschen heute viel älter werden als früher und die Krankheit vor allem bei alten Menschen auftritt, braucht man heute viel L-Dopa. Deshalb versuchen Forscher eine Möglichkeit zu entwickeln, dieses Medikament günstiger und in größeren Mengen herzustellen.“

**Luise** (*wendet sich an Max Planck*): Und wie geht das? Weißt du das?

**Max Planck:** „Ja, hör zu: Dir ist doch bestimmt schon aufgefallen, dass im Namen des Stoffes ein merkwürdiger Bindestrich auftaucht. Das kommt daher, dass es zum Stoff L-Dopa einen Zwillingstoff gibt, der genauso aufgebaut ist wie der andere. Der Zwillingstoff unterscheidet sich aber in wesentlichen Eigenschaften. Zum Beispiel hat der eine Zwilling auf der linken Wange ein Muttermal und der andere auf der rechten Wange. Genauso unterscheidet sich L-Dopa auch von seinem Zwilling D-Dopa. Für das Medikament eignet sich aber nur L-Dopa, sein Zwilling hat keine Wirkung.“

**Luise:** „Aha, das ist also wieder so ein chirales Molekül!“

**Max Planck:** „Richtig. Ähnlich wie beim Contergan-Skandal wollen wir auch hier die Entstehung des Zwillinges D-Dopa vermeiden. Früher musste man die beiden Zwillinge sehr aufwendig voneinander trennen, da es nicht möglich war, den einen ohne den anderen Zwilling herzustellen. Weil das aber sehr teuer ist, forscht man seit Langem an einer

Methode, nur einen der beiden Zwillinge entstehen zu lassen. Das nennt man stereoselektive Katalyse. Die Methode dazu entwickelte ein Wissenschaftler namens WILLIAM KNOWLES in den 70er Jahren.“

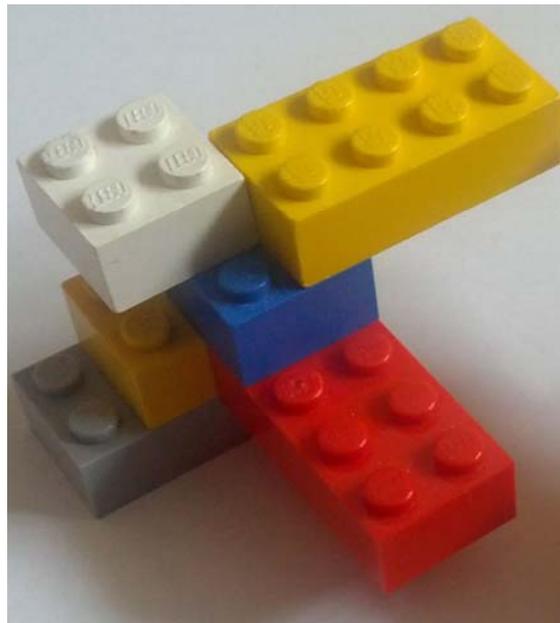
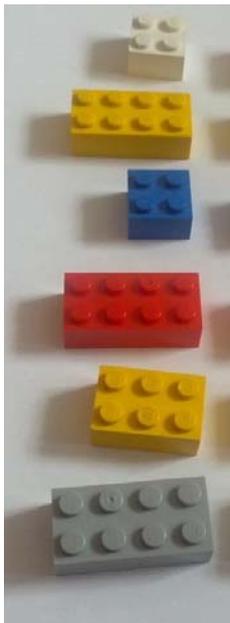
**Luise:** „Und wie hat er das geschafft?“

**Max Planck:** „Nun ja, er entdeckte die Möglichkeit, bei der Produktion von diesen Zwillingen-Molekülen das eine in einer großen Menge, das andere in einer ganz kleinen Menge herzustellen. Dies erreichte er, indem er den Katalysator so baute, dass er bevorzugt L-Dopa bildete. Schließlich entwickelte er einen Katalysator, bei dem von 100 produzierten Molekülen gerade Mal 5 D-Dopa waren. Dafür erhielt KNOWLES zusammen mit seinem Team im Jahr 2001 den Nobelpreis für Chemie.“

**Luise:** „So einen Preis hast du doch auch bekommen! Und was hat das Max-Planck-Institut mit dem Herrn KNOWLES zu tun? Die Forschung ist doch schon abgeschlossen!“

**Max Planck:** „Gut, dass du das fragst! Die Forscher hier am Institut arbeiten nach einem ähnlichen Prinzip, um chemische Reaktionen in bestimmte Richtungen lenken zu können.“

**Luise:** „Das hört sich doch ein wenig so an wie das, was wir bei der homogenen Katalyse gerade schon gehört haben.“



**Max Planck:** „Du hast recht, das Prinzip ist ähnlich, jedoch unterscheiden sich die in der metallorganischen Katalyse verwendeten Katalysatoren von denen der homogenen Katalyse. In einem metallorganischen Katalysator steckt – wie es der Name schon verrät – ein zentrales Metallatom. Dieses Metallatom kann mehrere von den organischen Molekülen um sich herum versammeln, so dass ein riesiges Gebilde entsteht.“

**Luise:** „Aber wieso sammeln sich denn die organischen Moleküle um das Metallatom?“

**Max Planck:** „Das kannst du dir so vorstellen, als wenn ein Mensch in der Mitte einer großen Gruppe steht. Er hält die anderen zwar nicht direkt fest. Sie bleiben aber trotzdem da, weil er sehr beliebt ist. Übertragen auf das L-Dopa bedeutet das: An einer Stelle unseres Katalysators bleibt ein freier Platz, an dem sich ein Molekül anlagern kann, das dann zum L-Dopa umgewandelt werden kann. Weil das Metallatom und seine Nachbarmoleküle eine ganz bestimmte Anordnung haben, kann hier nur das L-Dopa gebildet werden, und nicht der Zwilling, den wir ja gar nicht haben wollen.“

Schwaches Licht fällt auf einmal durch die großen Fenster des Instituts.

**Max Planck** (*erschrocken*): „Der Morgen graut schon und die Sonne geht bald auf. Es wird Zeit, dass ich wieder zurück in meine Büste verschwinde. Der schnellste Weg zum Eingang führt von hier aus durch den Keller. Komm‘ schnell...“

Sie laufen los.

## Arbeitsbereich Theoretische Chemie

Die beiden machen sich auf den Weg durch einen langen Gang. Auf ihrem Weg kommen sie an einem Raum vorbei, aus dem es merkwürdig summt und fahles Licht scheint.

**Max Planck:** „Was ist das denn für ein Schrank mit den blinkenden Lichtern?“

**Luise:** „Na – das kann ich dir jetzt mal erklären - das ist ein großer Computer! Kennst du so etwas nicht?“

**Max Planck.:** „Was kann ich mir darunter vorstellen? Das gab es zu meiner Zeit gar nicht.“

**Luise** (*stolz, auch einmal etwas erklären zu können*): „Ein Computer ist eine große Rechenmaschine mit einem Bildschirm und ganz vielen Tasten. Die Maschine kann mit Worten, Zahlen und grafischen Darstellungen umgehen. Mit der Tastatur, auf der alle Buchstaben und Zahlen aufgeführt sind, kann man den Computer bedienen. Diese Maschinen können auch miteinander kommunizieren, so ist es beispielsweise möglich von einem zum anderen Computer Texte und Bilder oder andere Dinge zu verschicken.“

**Max Planck:** „Das klingt ja grandios! Diese Maschine muss ich aus nächster Nähe betrachten.“

Max Planck und Luise untersuchen den Computer genauer, als sie plötzlich einen Mitarbeiter entdecken, der an seinem PC eine Präsentation zu dem Thema „Licht“ vorbereitet.

**Max Planck:** „Was macht der denn noch hier? Um diese Zeit!“

**Luise:** „Immerhin jemand, der uns dazu etwas erklären kann! Entschuldigung, können Sie uns sagen, in welcher Abteilung wir uns befinden, und wozu man den großen Computer benötigt?“

**Mitarbeiter** (*fährt erschrocken herum, sammelt sich dann aber schnell wieder*): „Diese Abteilung ist die *Theoretische Chemie*. Manche sagen auch *Computerchemie*, weil hier fast ausschließlich mit dem Computer gearbeitet wird. Natürlich ist es eigentlich nicht üblich, dass jetzt noch gearbeitet wird, aber in der Nacht ist es am ruhigsten und ich persönlich kann mich so bei meiner Arbeit am besten konzentrieren, was sehr wichtig ist!“

**Max Planck:** „Das kann ich gut nachvollziehen. Und welche Rolle spielt der Computer nun in der theoretischen Chemie? Theoretisch gearbeitet haben wir in der Chemie schließlich früher auch schon immer.“

**Mitarbeiter:** „Mit Hilfe des Computers können wir durch komplizierte Rechnungen herausfinden, wie ein Molekül aufgebaut ist und wie sich das Molekül bewegt. Wenn wir wissen, wie es sich bewegt, sind wir auch in der Lage Theorien aufzustellen, wie Reaktionen ablaufen.“

**Luise:** „Unfassbar! Das bedeutet ja, dass gar keine Experimente mehr notwendig sind, oder?“

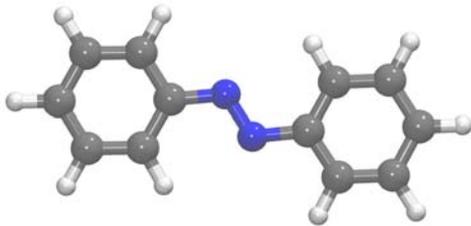
**Mitarbeiter:** „Na ja, nicht ganz, wir können aber schon eine Reihe von Experimenten am Computer simulieren, also nachstellen, statt die Arbeit im Labor zu machen.“

**Max Planck:** „Genial! Aber wieso arbeiten Sie an einer Präsentation zum Thema „Licht“? Welche Bedeutung hat das Licht für ihre Arbeit?“

**Mitarbeiter:** „Momentan ist das Licht für uns so wichtig, weil wir an einem *Schalter* arbeiten, den man durch Licht an- beziehungsweise ausschalten kann.“

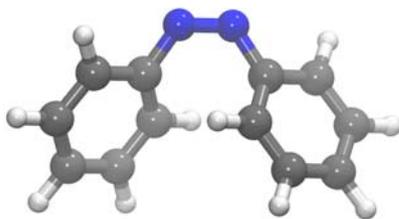
**Max Planck:** „Habe ich das richtig verstanden, dass Sie an einem Molekül forschen, das man wie einen Lichtschalter an- und ausschalten kann? Das müssen sie mir näher erklären!“

**Mitarbeiter:** „Ja, das ist richtig! Das Molekül, das wir untersuchen nennt sich *Azobenzol*.“



Wie man auf der Abbildung erkennen kann, ist das Molekül ähnlich aufgebaut wie zwei aneinander hängende Ringe. Die zwei Ringe sind durch zwei (in der Abbildung blau dargestellte) Stickstoffatome verbunden, die alles fest zusammen halten.

Wenn man genau diese Verbindung zwischen den Stickstoffatomen belichtet, gibt das Licht einen Teil seiner Energie ab und verändert so die Form des Moleküls.



So sieht das Molekül aus, nachdem es belichtet wurde. Wie man sieht, hat sich ein Ring leicht in sich gedreht und ist nach oben verschoben. Das Bemerkenswerte daran ist, dass das Molekül in dieser Form viel kürzer ist, als in der anderen Form. Wenn man das Molekül wieder in der längeren Form haben will, belichtet man es erneut, sodass sich der Ring wieder zurückschiebt. So kann man sich mit Hilfe des Lichts aussuchen, in welcher Form das Molekül vorliegen soll. Man kann also die kürzere Form "an"- und "aus"-schalten, wie mit dem Lichtschalter das Licht.“

**Max Planck:** „Das klingt interessant, aber wie kann man diese faszinierende Erkenntnis nutzen?“

**Mitarbeiter:** „Zum Beispiel in der Medizin! Bei Medikamenten kann Azobenzol in der Zukunft eine Rolle spielen. Denn gerade bei Medikamenten ist es wichtig, dass sie an bestimmten Stellen im Körper wirken, an denen sie gebraucht werden. Also ist es vielleicht

nach weiteren Jahren der Forschung möglich, dass man Azobenzol in ein Medikament einbaut, und an bestimmten Stellen im Körper durch das Licht "an"-schaltet, und so die Wirkung des Medikamentes nur an dieser Stelle entfaltet, damit die Krankheit dort besser geheilt werden kann. Mit Hilfe des "Schalters" könnten sogar winzig kleine Maschinen gebaut werden, doch das ist noch Wunschdenken der Forscher.“

Mittlerweile ist es draußen immer heller geworden.

**Max Planck:** „Jetzt muss ich aber wirklich los, sonst werde ich noch entdeckt und dann ist's aus mit den lustigen Ausflügen.“

**Luise:** „Na dann aber schnell!“

Sie verabschieden sich noch von dem Mitarbeiter, der aber schon wieder ganz in seine Arbeit versunken zu sein scheint. Keuchend erreicht Luise mit Max Planck die Eingangshalle. Ein wenig betrübt, ihrem neuen Freund *Auf Wiedersehen* sagen zu müssen, lässt Luise den Kopf hängen.

**Max Planck:** „Sei nicht traurig, Luise. Für mich war der Ausflug mit dir der spannendste, den ich seit Jahren unternommen habe. Außerdem können wir uns in einem Jahr doch wiedersehen, vorausgesetzt es gelingt dir wieder, auszubüxen ;-)“

**Luise** (*übers ganze Gesicht strahlend*): „Das ist eine prima Idee, soviel gelernt wie heute habe ich lange nicht mehr! Ich komme auf jeden Fall wieder, und da ich mich hier ja nun gut auskenne, werde ich schon ein passendes Versteck finden, damit wir uns noch einmal auf eine weitere Forschungsreise begeben können. Vielen Dank nochmals für alles!“

Max Planck lächelt ein letztes Mal, Luise dreht sich um, reibt sich die Augen, erblickt aber nunmehr nur die Büste. Da hört sie am Haupteingang einen Schlüssel klappern, die Eingangstür öffnet sich ...

ENDE

## Schlusswort

Im Rahmen eines Projektkurses Naturwissenschaften machte sich im Schuljahr 2011/2012 ein Kurs bestehend aus drei Schülerinnen und acht Schülern auf den Weg, das benachbarte Max-Planck-Institut für Kohlenforschung zu erkunden, „Luise trifft auf Max Planck“. Ziel war es, das Institut und seine verschiedenen Arbeitsbereiche und Serviceabteilungen angesichts des sich nahenden 100-Jährigen Jubiläums für eine Zielgruppe von 10-12-Jährigen altersgerecht vorzustellen. Dafür mussten sich die Schülerinnen und Schüler zunächst einmal in die Fachbereiche und Arbeitsweisen des Instituts fachwissenschaftlich einarbeiten. Unterstützt wurden sie dabei von Mitarbeitern des Instituts, die sich die Zeit nahmen, die Schülerinnen und Schüler bei dieser anspruchsvollen Aufgabe zu begleiten, anspruchsvoll auch deshalb, weil die zu vermittelnden chemischen und physikalischen Sachverhalte teilweise weit über die in der Schule thematisierten Inhalte hinaus gingen. Als besonders schwierig erwies sich das Ziel, fachwissenschaftliche Inhalte auf ein adressatengerechtes Niveau herunter zu brechen. Zwischenzeitliche Unterstützung gab es hier von Seiten der Redakteurin des ZEIT-Leos, Frau Hamm, die aus Ihrem Berufsalltag als Wissenschaftsjournalistin hilfreiche Tipps zu geben vermochte. Entscheidende Impulse erhielt die Gruppe gegen Ende der Arbeit von Frau Gombert, die seit Kurzem für die Öffentlichkeitsarbeit des Max-Planck-Instituts zuständig ist und über Erfahrungen im Bereich journalistischen Arbeitens verfügt, von denen der Kurs profitieren konnte. Als Kursleiterin des Projektkurses der Luisenschule möchte ich mich bei allen Beteiligten des Projektes für dessen Ermöglichung recht herzlich bedanken. Die Schülerinnen und Schüler haben sehr viele Erfahrungen auch bezüglich ihres weiteren Werdeganges und des Berufs- und Studienalltags sammeln können.

*Christin Theyßen*

## Mitwirkende:

### **Geschichte des Max-Planck Instituts und Katalyse allgemein**

*Ida Heinen, Eric Lapus und Jennifer Korus, begleitet von Frau Dr. Weidenthaler*

### **Arbeitsbereich Heterogene Katalyse und Elektronenrastermikroskopie**

*Hagen Holthusen und Thorsten Henning, begleitet von Herrn Dr. Schmidt, Herrn Bongard und Herrn Spliethoff*

### **Arbeitsbereich Homogene Katalyse und NMR-Spektroskopie**

*Felix Mohr und Daniel Jüptner, begleitet von Herrn Mahlau und Herrn Dr. Fàres*

### **Arbeitsbereich Metallorganische Katalyse**

*Philipp Uebachs und Nik Menzen, begleitet von Herrn Brewitz und Herrn Lehr*

### **Arbeitsbereich Theoretische Chemie**

*Eike Mühlemeier und Franziska Weischede, begleitet von Herrn Dr. Weingart*

### **Überarbeitung und Begleitung insgesamt**

*Frau Dr. Weidenthaler, Frau Gombert und Frau Theyßen*



---

# **Max-Planck-Institut für Kohlenforschung**