

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von unverzweigten Alkanen

Martin Trockel, Dorsten; Petra Wlotzka, Dortmund

Niveau: Sek. I/II

Dauer: 3 Unterrichtsstunden

Kompetenzen: Die Schülerinnen und Schüler¹ können ...

- Zusammenhänge zwischen Molekülbau und Eigenschaften (Viskosität, Siedetemperatur, Entflammbarkeit) von organischen Stoffen (Alkanen) mithilfe geeigneter Bindungsmodelle beschreiben und erklären.
- einfache qualitative Experimente durchführen und protokollieren.
- in erhobenen Daten Trends, Strukturen und Beziehungen finden, diese erklären und daraus geeignete Schlussfolgerungen ziehen.
- geeignete Modelle zur Beantwortung chemischer Fragestellungen nutzen.
- chemische Sachverhalte unter Verwendung der Fachsprache und mithilfe von Modellen beschreiben und erklären.
- ihre Versuchsergebnisse in angemessener Form protokollieren sowie situationsgerecht und adressatenbezogen präsentieren.
- fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren.

Der Beitrag enthält Materialien für:

- ✓ offene Unterrichtsformen (Kugellager)
- ✓ Schülerversuche
- ✓ Material zur Differenzierung (Tippkarten, niveaudifferenziertes Arbeitsmaterial)

Hintergrundinformationen

Alkane sind Kohlenwasserstoffverbindungen mit der Zusammensetzung C_nH_{2n+2} (wobei $n = 1, 2, 3 \dots$). Die Moleküle der Alkane sind wegen des geringen Elektronegativitätsunterschiedes der Bindungspartner nahezu unpolar. Aufgrund der unpolaren Struktur wirken zwischen den Molekülen nur schwache Anziehungskräfte, die sogenannten Van-der-Waals-Kräfte. Die Van-der-Waals-Kräfte beruhen auf der kurzzeitigen Ladungsverschiebung innerhalb der Elektronenhülle eines Moleküls. Diese Polarisierung führt auch zu Ladungsverschiebungen bei Nachbarmolekülen. Es entstehen kurzzeitige induzierte Dipole, zwischen denen Anziehungs- und Abstoßungskräfte wirken. Die Stärke der Van-der-Waals-Kräfte ist von der Moleküloberfläche abhängig: Je größer die Oberfläche, desto mehr Polarisierungsmöglichkeiten gibt es, desto stärker sind die Anziehungskräfte.

Die physikalischen Eigenschaften der Alkane lassen sich mithilfe der Van-der-Waals-Kräfte erklären. Da mit ansteigender Moleküloberfläche auch die Van-der-Waals-Kräfte zunehmen, nimmt die Schmelz- und Siedetemperatur der Alkane mit wachsender Kettenlänge zu. Während die niedermolekularen Alkane (bis C_4H_{10}) bei Raumtemperatur gasförmig sind, sind Alkane ab einer Kettenlänge von 17 C-Atomen bei Raumtemperatur fest. Auch die Viskosität der verschiedenen Alkane ist von der Kettenlänge abhängig. Beim Fließen einer Flüssigkeit gleiten Moleküle aneinander vorbei. Je größer die zwischenmolekularen Anziehungskräfte sind, desto schlechter können die Moleküle aneinander vorbeigleiten und desto zähflüssiger ist die Flüssigkeit. Mit zunehmender Kettenlänge werden Alkane deshalb zähflüssiger, d. h., ihre Viskosität nimmt zu.

¹ Im weiteren Verlauf wird aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit nur „Schüler“ verwendet. Schülerinnen sind genauso gemeint.

Ähnlich wie die Viskosität und die Schmelz- und Siedetemperaturen lassen sich auch die geringe Dichte der Alkane und ihre hohe Flüchtigkeit mithilfe der Van-der-Waals-Kräfte erklären.

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Die Deutung makroskopisch beobachtbarer Stoffeigenschaften mithilfe der Struktur der kleinsten Bausteine ist ein zentrales Anliegen des Chemieunterrichts. Umgekehrt lassen sich aber auch aus den makroskopisch beobachtbaren Stoffeigenschaften Rückschlüsse auf die Struktur der Teilchen ziehen (Basiskonzept Struktur-Eigenschaften).

Der vorgestellte Unterrichtsbaustein eignet sich dazu, in der 9./10. Klasse bzw. in der Sekundarstufe II schülerorientiert den Zusammenhang zwischen den Stoffeigenschaften der Alkane (Siedetemperatur, Viskosität, Entflammbarkeit) und der Kettenlänge zu erarbeiten. Dazu werden die Van-der-Waals-Kräfte als intermolekulare Wechselwirkung zwischen unpolaren Molekülen eingeführt. Voraussetzung für die Bearbeitung der Unterrichtsmaterialien sind Kenntnisse bezüglich der Elektronenpaarbindung und der homologen Reihe der Alkane.

Durchführung

Zur Durchführung des Unterrichtsmoduls wird die Lerngruppe in zwei gleich große Gruppen aufgeteilt, die dann nochmals in Kleingruppen zu drei bis vier Schülern gruppiert werden. Die eine Hälfte der Lerngruppe untersucht die **Entflammbarkeit** verschiedener Alkane (**M 1**), die andere Hälfte die **Viskosität** (**M 2**). Zur Deutung der Versuchsbeobachtungen erhalten die Schüler einen **Informationstext** zu den Van-der-Waals-Kräften. Je nach Lerngruppe (Sek. I oder Sek. II) bzw. zur Differenzierung kann dazu ein einfacher (**M 3 a**) bzw. ein komplexerer Text (**M 3 b**) gewählt werden. Sollten die Schüler mit der Erklärung der Beobachtungen auf Teilchenebene Probleme haben, so können vom Lehrer zusätzlich **Tippkarten** zur Verfügung gestellt werden (**M 4**).

Der **Austausch der Arbeitsergebnisse** erfolgt nach der „Speed-Date-Variante“ der Kugellagermethode (siehe Abbildung 1 und 2). Dazu verteilen sich die Lernenden mit dem Thema A (Entflammbarkeit verschiedener Alkane) an den Tischen im Raum, so dass neben (Abb. 1) oder gegenüber (Abb. 2) jedem Schüler ein freier Platz ist. Die Schüler mit dem Thema B (Viskosität verschiedener Alkane) ordnen sich einem Partner mit dem Thema A zu.

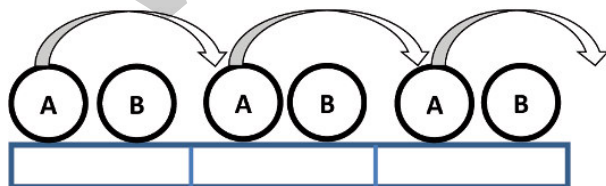


Abb. 1

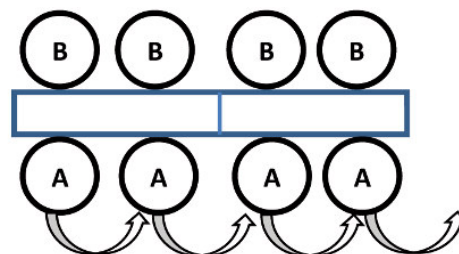


Abb. 2

Die Schüler berichten sich gemäß der Reihenfolge der **Arbeitsaufträge** (**M 5**) – die Sie als Lehrkraft stellen – gegenseitig ihre Arbeitsergebnisse und machen sich Notizen in ihrem Heft. Nach jedem Arbeitsauftrag bewegt sich die Schülergruppe mit Thema A um einen Platz weiter nach rechts (siehe Abbildung 1 und 2). Zur Sicherung und Festigung des gerade Gehörten wiederholt nun jeder Schüler seinem jeweils neuen Partner, was er gerade über das fremde Thema erfahren hat. Der neue Partner korrigiert und ergänzt gegebenen-

falls. Nach einem weiteren Platzwechsel wiederholt sich das Vorgehen für einen neuen Arbeitsauftrag.

Zur **Zusammenfassung, Sicherung und Vertiefung des Gelernten** werden zum Abschluss Zweierteams aus jeweils einem Experten zum Thema Entflammbarkeit bzw. Viskosität gebildet, die gemeinsam eine Aufgabe zum Zusammenhang zwischen Siedetemperatur und Kettenlänge der Alkane bearbeiten (**M 6**).

Literatur

Most, Bettina; Witteck, Thorsten; Eilks, Ingo: Wein und Bier, MilkyWay und Cola – Zwei Beispiele für kooperatives Lernen im Kugellager. *Naturwissenschaften im Unterricht* 16, 2005 (88/89), S. 22–27.

In diesem Beitrag werden Beispiele zur Kugellager-Methode vorgestellt und Tipps zur Durchführung gegeben.

Pfeifer, Peter: Struktur-Eigenschafts-Konzept. Chemische Zusammenhänge erschließen, verstehen und anwenden. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie* 18, 2007 (100/101), S. 36–41.

In diesem Beitrag werden Inhalte genannt, die für den systematischen Aufbau des Struktur-Eigenschafts-Konzepts in der Schule grundlegend sind.

Das Kugellager: eine schüleraktivierende und kommunikative Unterrichtsmethode; www.schuelerecke.net/schule/das-kugellager-eine-schuleraktive-und-kommunikative-unterrichtsmethode/



In diesem Beitrag wird die Speed-Date-Variante des Kugellagers ausführlich vorgestellt.



Materialübersicht

🕒 V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt

🕒 D = Durchführungszeit Info = Informationsblatt

Die [Gefährdungsbeurteilungen](#) finden Sie auf **CD 53**.

M 1	SV, Ab, GBU#	Entflammbarkeit verschiedener Alkane – Gruppe A
🕒 V: 5 min	<input type="checkbox"/> n-Heptan 	<input type="checkbox"/> 4 kleine Porzellantiegel
🕒 D: 15 min	<input type="checkbox"/> n-Nonan 	<input type="checkbox"/> 3 Tropfpipetten
	<input type="checkbox"/> Paraffinöl	<input type="checkbox"/> Tiegelzange
	<input type="checkbox"/> festes Paraffin	<input type="checkbox"/> Holzspäne
		<input type="checkbox"/> Becherglas (400 ml)
		<input type="checkbox"/> Gasbrenner
		<input type="checkbox"/> Spatel
		<input type="checkbox"/> heißes Wasser

M 2	SV, Ab, GBU#	Entflammbarkeit verschiedener Alkane – Gruppe B
🕒 V: 5 min	<input type="checkbox"/> n-Heptan 	<input type="checkbox"/> 3 Luer-Lock-Spritzen mit Absperrhahn
🕒 D: 15 min	<input type="checkbox"/> n-Nonan 	<input type="checkbox"/> 3 Stative mit jeweils einer Muffe und Klemme
	<input type="checkbox"/> Paraffinöl	<input type="checkbox"/> 3 Bechergläser (100 ml)
		<input type="checkbox"/> Stoppuhr

M 3 a	Ab	Informationstext „Eigenschaften der Alkane“, Level I
M 3 b	Ab	Informationstext „Eigenschaften der Alkane“, Level II
M 4	Ab	Tippkarten zur Erklärung der Versuchsbeobachtungen
M 5	Info	Arbeitsaufträge für die Austauschrunden des Kugellagers (für die Lehrkraft)
M 6	Ab	Überprüfungsaufgabe: Siedetemperaturen der Alkane

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie [hier](#).

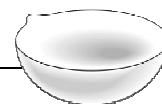
M 1 Entflammbarkeit verschiedener Alkane – Gruppe A

Als Flammpunkt bezeichnet man die niedrigste Temperatur, bei der sich aus einer Flüssigkeit **genügend Dämpfe** entwickeln, so dass sie mit der über der Flüssigkeit stehenden Luft ein entflammbares Gemisch ergeben.

Schülerversuch: Untersuchung der Entflammbarkeit verschiedener Alkane

🕒 Vorbereitung: 5 min

🕒 Durchführung: 15 min



Chemikalien / Gefahrenhinweise	Geräte	
<input type="checkbox"/> n-Heptan	<input type="checkbox"/> 4 kleine Porzellantiegel	<input type="checkbox"/> Gasbrenner
<input type="checkbox"/> n-Nonan	<input type="checkbox"/> 3 Tropfpipetten	<input type="checkbox"/> Holzspäne
<input type="checkbox"/> Paraffinöl	<input type="checkbox"/> Tiegelzange	<input type="checkbox"/> Spatel
<input type="checkbox"/> festes Paraffin	<input type="checkbox"/> Becherglas (400 ml)	<input type="checkbox"/> heißes Wasser
Achtung: Schutzbrille tragen! Alle brennbaren Stoffe müssen sich in sicherer Entfernung zur offenen Flamme befinden! Auf ausreichende Lüftung achten!		
Entsorgung: Die Stoffe vollständig verbrennen lassen.		



Versuchsdurchführung

- Gib mit einer Tropfpipette jeweils ca. 2 ml der flüssigen Stoffe bzw. mit einem Spatel ein erbsengroßes Stück des festen Paraffins in einen Porzellantiegel. Versuche zunächst, die Stoffe mit einem brennenden Holzspan zu entzünden.
- Erwärme die Tiegel mit den Stoffen, die sich bei Zimmertemperatur nicht entzünden lassen, indem du sie mit der Tiegelzange in ein Becherglas mit heißem Wasser hältst. Versuche erneut, die Stoffe mit einem brennenden Holzspan zu entzünden.
- Sollte es noch Stoffe geben, die sich durch das Anwärmen nicht entzünden lassen, so erhitze sie im Porzellantiegel über der Brennerflamme. Versuche erneut, die Stoffe mit einem brennenden Holzspan zu entzünden.
- Achte bei der Verbrennung der Stoffe auf die Flammenfärbung und die Rußentwicklung.

? Aufgaben

1. Informiere dich über den Begriff „Zündtemperatur“. Wie unterscheidet sich die Zündtemperatur von der Flammpunkttemperatur?
2. Zeichne die Strukturformeln für n-Heptan, n-Nonan und ein Beispiel für eine Verbindung des Paraffinöls.
3. Führe das Experiment durch und notiere deine Beobachtungen.
4. Werte deine Beobachtungen aus. Wie unterscheidet sich die Entflammbarkeit der verschiedenen Kohlenwasserstoff-Verbindungen? Formuliere eine Regel (Je ... ,desto ...).
5. Lies den Text zu den Van-der-Waals-Kräften (M 3). Begründe mithilfe der Informationen aus dem Text die unterschiedliche Entflammbarkeit der Alkane.
Falls du weitere Hilfen benötigst, kannst du dir vom Lehrer **Tippkarten** geben lassen.
6. Bereite dich darauf vor, deinen Mitschülern dein Experiment mit den dazugehörigen Erklärungen vorzustellen. Mach dir Stichpunkte!



Hinweis: Paraffinöl ist eine Mischung flüssiger, gesättigter Kohlenwasserstoffe mit einer Kettenlänge von ca. C₁₂ bis C₁₆. Festes Paraffin besteht aus Kohlenwasserstoffen mit einer Kettenlänge von ca. C₂₂ bis ca. C₄₀.








M 2 Viskosität verschiedener Alkane – Gruppe B


Die Viskosität bezeichnet das Fließverhalten einer Flüssigkeit. Eine hohe Viskosität bedeutet Dickflüssigkeit, eine niedrige Dünnsflüssigkeit. Beim Fließen gleiten Moleküle der Flüssigkeit aneinander vorbei. Mit steigender Temperatur nimmt die Viskosität der Flüssigkeit ab.

Schülerversuch: Untersuchung der Viskosität verschiedener Alkane

🕒 Vorbereitung: 5 min

🕒 Durchführung: 15 min

Chemikalien / Gefahrenhinweise	Geräte
<input type="checkbox"/> n-Heptan    	<input type="checkbox"/> 3 Luer-Lock-Spritzen mit Absperrhahn
<input type="checkbox"/> n-Nonan   	<input type="checkbox"/> 3 Stative mit jeweils einer Muffe und Klemme
<input type="checkbox"/> Paraffinöl	<input type="checkbox"/> 3 Bechergläser (100 ml)
	<input type="checkbox"/> Stoppuhr

 **Achtung:** Schutzbrille tragen!

Entsorgung: Die Stoffe werden in das Sammelgefäß für organische, halogenfreie Lösungsmittel gegeben.

Versuchsaufbau



Foto: Martin Trockel

M 3 b Informationstext „Eigenschaften der Alkane“, Level II

Aufgrund des gleichartigen Aufbaus ihrer Moleküle haben Alkane ähnliche chemische Eigenschaften. Die Abstufungen der physikalischen Eigenschaften (z. B. Schmelztemperatur, Siedetemperatur) weisen auf Unterschiede in den Anziehungskräften zwischen den Molekülen hin. Größe und Form der Moleküle spielen dabei eine wichtige Rolle.

Van-der-Waals-Kräfte

Zwischen den nahezu unpolaren Alkanmolekülen wirken schwache Anziehungskräfte. Diese Anziehungskräfte sind darauf zurückzuführen, dass sich Elektronen in der Elektronenhülle bewegen und dadurch kurzzeitige unsymmetrische Ladungsverteilungen zustande kommen.

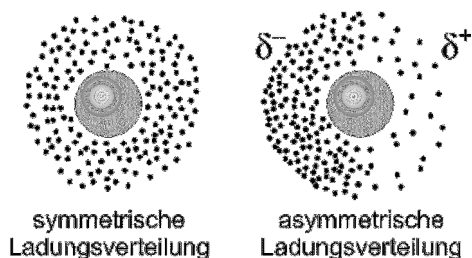


Abb. 1: Entstehung temporärer Dipole durch unsymmetrische Ladungsverteilungen

Es entstehen sogenannte momentane oder temporäre Dipole (siehe Abb. 1). Nähern sich solche Atome oder Moleküle mit asymmetrischer Elektronen- und damit Ladungsverteilung Nachbaratomen oder -molekülen, so können sie diese ebenfalls polarisieren (induzierte Dipole, siehe Abb. 2). Je nach Orientierung der kurzzeitigen Dipole wirken zwischen den Atomen bzw. Molekülen Anziehungs- bzw. Abstoßungskräfte.

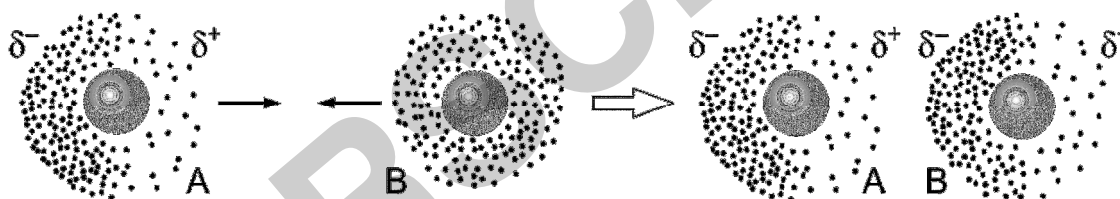


Abb. 2: Polarisierung von Nachbaratomen bzw. Molekülen

Die Stärke dieser Anziehungskräfte hängt von der Atom- bzw. Moleküloberfläche ab: Je größer die Oberfläche ist, desto mehr nehmen die Polarisierungsmöglichkeiten zu und desto stärker sind die Anziehungskräfte zwischen den Atomen bzw. Molekülen.

Bei den Alkanen besitzen z. B. langgestreckte Moleküle eine größere Oberfläche als Moleküle, die wenige Kohlenstoffatome enthalten (siehe Abb. 3), d. h., die Anziehungskräfte zwischen langkettigen Molekülen sind größer als zwischen kurzkettigen Molekülen.

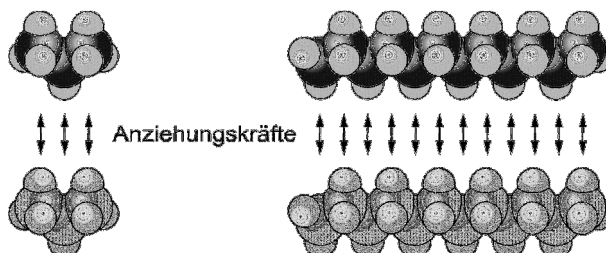


Abb. 3: Van-der-Waals-Kräfte zwischen Alkanen unterschiedlicher Kettenlänge

Diese zwischenmolekularen Anziehungskräfte bezeichnet man nach dem niederländischen Physiker van der Waals als *Van-der-Waals-Kräfte*.

M 4 Tippkarten zur Erklärung der Versuchsbeobachtungen



Entflammbarkeit – Tipp 1



Erkläre die Änderung des Aggregatzustands von flüssig nach gasförmig auf Teilchenebene.

Im flüssigen Zustand herrschen Anziehungskräfte zwischen den Teilchen eines Stoffes. Mit zunehmender Temperatur bewegen sich die Teilchen immer schneller. Wird die Siedetemperatur erreicht, bewegen sich die Teilchen so heftig, dass sie die Anziehungskräfte überwinden. Der Stoff ändert seinen Aggregatzustand von flüssig nach gasförmig.

Entflammbarkeit – Tipp 1



Entflammbarkeit – Tipp 2



Erkläre auf Teilchenebene woran es liegt, dass manche Flüssigkeiten schon bei Raumtemperatur leicht verdampfen, andere nicht.

Wenn zwischen den Teilchen eines Stoffes schwache Anziehungskräfte herrschen, wird weniger Energie benötigt, um die Anziehungskräfte zu überwinden. Der Stoff verdampft schon bei Raumtemperatur. Sind die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen eines Stoffes sehr hoch, wird entsprechend mehr Energie benötigt, diese Anziehungskräfte zu überwinden. Der Stoff verdampft erst bei höheren Temperaturen.

Entflammbarkeit – Tipp 2

Entflammbarkeit – Tipp 3



Erkläre den Zusammenhang zwischen Flammtemperatur und den Anziehungskräften, die zwischen den Teilchen eines Stoffes bestehen.

Damit ein entflammbares Gasgemisch entsteht, muss der Brennstoff verdampfen. Sind die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen gering, so verdampft der Stoff schon bei Raumtemperatur und das Gemisch lässt sich schon mit einem Streichholz entzünden. Herrschen zwischen den Teilchen eines Stoffes starke Anziehungskräfte, so muss der Stoff erst erhitzt werden, damit die Anziehungskräfte überwunden werden und der Stoff verdampft. Erst dann entsteht ein entflammbares Gemisch.

Entflammbarkeit – Tipp 3

Erläuterungen und Lösungen

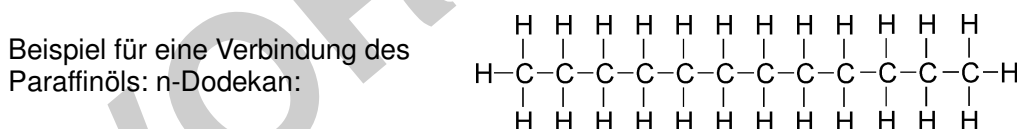
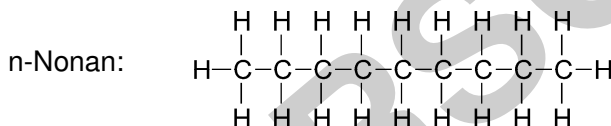
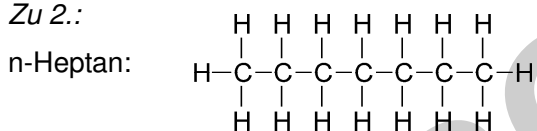
Erläuterung (M 1)

Paraffinöl ist eine Mischung flüssiger, gesättigter Kohlenwasserstoffe mit einer Kettenlänge von ca. C_{12} bis C_{16} . Festes Paraffin besteht aus Kohlenwasserstoffen mit einer Kettenlänge von ca. C_{22} bis ca. C_{40} . Da die Zusammensetzung der Paraffine variieren kann, ist auch der Flammpunkt sehr variabel. Bei dünnflüssigem Paraffinöl liegt er i. d. R. über $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei festem Paraffin über $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Für die Versuchsdurchführung muss dünnflüssiges Paraffinöl benutzt werden, da dickflüssiges Paraffinöl erst bei Temperaturen über $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ entflammbare Dämpfe bildet.

Lösungen (M 1)

Zu 1.: Flammtemperatur (auch Flammpunkt) und Zündtemperatur charakterisieren das Brennverhalten von brennbaren Stoffen. Die Flammtemperatur ist die Temperatur, bei der so viel Brennstoff verdunstet, so dass sich über dem Brennstoff ein zündfähiges Dampf-Luft-Gemisch bildet. Die Zündtemperatur ist die Temperatur, bei der sich das entflammbare Gemisch selbst entzündet.

Zu 2.:



Zu 3.: *Beobachtungen:* Heptan und Nonan lassen sich bei Raumtemperatur mit dem Holzspan entzünden, Paraffinöl nach dem Anwärmen im Wasserbad. Festes Paraffin lässt sich nur mit dem Gasbrenner entzünden. Bei der Verbrennung von Heptan und Nonan ist die Flamme gelb gefärbt und es entsteht wenig Ruß. Paraffine verbrennen mit leuchtend gelber Flamme und starker Rußentwicklung. Die stärkste Rußentwicklung ist bei der Verbrennung von festem Paraffin zu beobachten.

Zu 4.: Die Flammtemperatur nimmt von Heptan über Nonan und Paraffinöl zu festem Paraffin zu. Das Gleiche gilt für die Rußentwicklung.

Regel: Je länger die Kohlenwasserstoffkette des Alkans, desto höher ist die Flammtemperatur und desto stärker die Rußentwicklung.

Zu 5.: Mit zunehmender Kettenlänge nehmen die Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen zu, d. h., es wird mehr Energie benötigt, um die einzelnen Moleküle voneinander zu trennen und so den Stoff zu verdampfen. Dadurch steigt auch die Flammtemperatur mit zunehmender Kettenlänge der Alkane an.