

Der Mikrowellenherd

Aufgabentyp: Einführung

Zielgruppe: 8. Schulstufe, SEK I

Zeitraumen: 2-3 Unterrichtseinheiten

Inhaltliche Voraussetzungen: keine

Arbeitsmaterialien, Hilfsmittel: PC oder Handy

LINKS

Videos:

<https://www.youtube.com/watch?v=hdbpBCKm7jw>

<https://www.youtube.com/watch?v=6N1RppAEWbs>

Apps:

<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/magnet-and-compass>

<http://www.falstad.com/loadedstring/>

Abstract

Der Mikrowellenherd ist ein fixer Bestandteil vieler Haushalte. In dieser Aufgabe wird die prinzipielle Funktionsweise des Mikrowellenherdes anhand von Analogiebetrachtungen (eingespannte Saite, magnetischer Dipol im Magnetfeld) illustriert und zahlreiche interessante Demonstrations- und Schüler*innenexperimente besprochen.

Der Mikrowellenherd ist ein praktisches Hilfsmittel, wenn man schnell eine Tasse heißen Tee oder Kakao zubereiten oder sein Mittagessen ohne viel Aufwand aufwärmen möchte. Wie funktioniert das – Feuer oder glühende Teile sind ja gewöhnlich nicht zu sehen?

1. Einstiegsexperiment

Die Lehrperson füllt einen Luftballon mit etwas Wasser, bindet ihn zu und gibt ihn für ca. 20 Sekunden (ev. kürzer/länger – bitte genau beobachten) in die Mikrowelle.

Beobachte genau, was passiert! Was glaubst du, warum das passiert? Halte deine Beobachtung und Vermutung schriftlich fest.

2. Was wird warm?

Die folgenden Aufgaben werden in Partner*innenarbeit durchgeführt. Zuerst untersuchen wir, was denn eigentlich im Mikrowellenherd warm wird. Dazu gibt die Lehrperson verschiedene Dinge nacheinander in den Mikrowellenherd und schaltet ihn für ca. 30 Sekunden ein. Welche Gegenstände erwärmen sich? Einige Schüler*innen begutachten die Gegenstände und berichten.

a) Haltet für jeden der Gegenstände fest, was passiert.

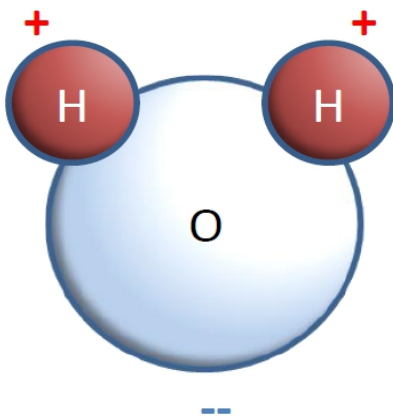
Gegenstand	Beobachtung
Reiswaffel/Toastbrot trocken	
Reiswaffel/Toastbrot nass	
Leere Tasse	
Tasse mit Wasser	
Radiergummi/Kreide	
Obst	

b) Diskutiert nun in Partner*innenarbeit folgende Punkte und haltet eure Überlegungen schriftlich fest.

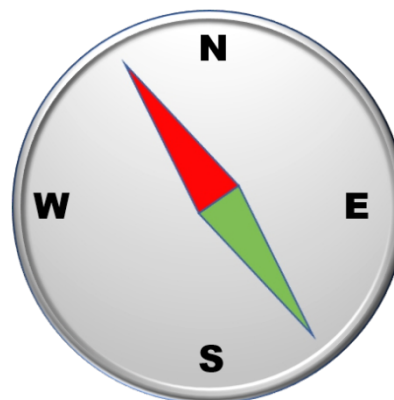
- Was haben Dinge, die erwärmt werden, gemeinsam?
- Überlege, warum manche Dinge nicht erwärmt bzw. unterschiedlich stark erwärmt werden.

3. Funktionsweise des Mikrowellenherdes

Wassermoleküle sind Dipole, d.h. das Sauerstoffatom ist negativ geladen, während die beiden Wasserstoffatome positiv geladen sind. Du kannst dir das ähnlich wie bei einem Magneten vorstellen, der auch einen Nordpol und einen Südpol besitzt. Aber Achtung – elektrische Dipole sind etwas anderes als magnetische Dipole, und die Analogie soll nur helfen, dir das besser vorzustellen. So wie eine Magnetnadel sich im Magnetfeld ausrichtet, passiert das auch mit einem elektrischen Dipol in einem elektrischen Feld.



Wassermolekül ist ein elektrischer Dipol



Magnetnadel ist ein magnetischer Dipol

Wir betrachten eine Magnetnadel in einem Magnetfeld.

a) Die folgende Aufgabe wird in Partner*innenarbeit entweder als Experiment mit Stabmagnet und Magnetnadel oder mit Hilfe der App <https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/magnet-and-compass> durchgeführt.

- Verändert die Position des Magneten oder der Magnetnadel. Was passiert? Haltet eure Beobachtungen fest.
- Versucht die Magnetnadel in Rotation zu versetzen. Beschreibt eure Vorgangsweise.

b) Demonstrationsexperiment: Ein Luftballon wird mit einem Fell/Tuch gerieben und in die Nähe eines dünnen Wasserstrahls gebracht.

- Beobachte was passiert! Halte deine Beobachtung schriftlich fest!
- Stelle eine Vermutung auf, warum das passiert (Hinweis: Reibungselektrizität).

Eure Lehrperson erklärt euch nun, wie Speisen und Getränke im Mikrowellenherd erwärmt werden. Oder hat jemand von euch schon eine Idee? Denkt daran, dass eine stärkere Bewegung von Teilchen einer höheren Temperatur entspricht.

4. Schwingende Saite – stehende Wellen

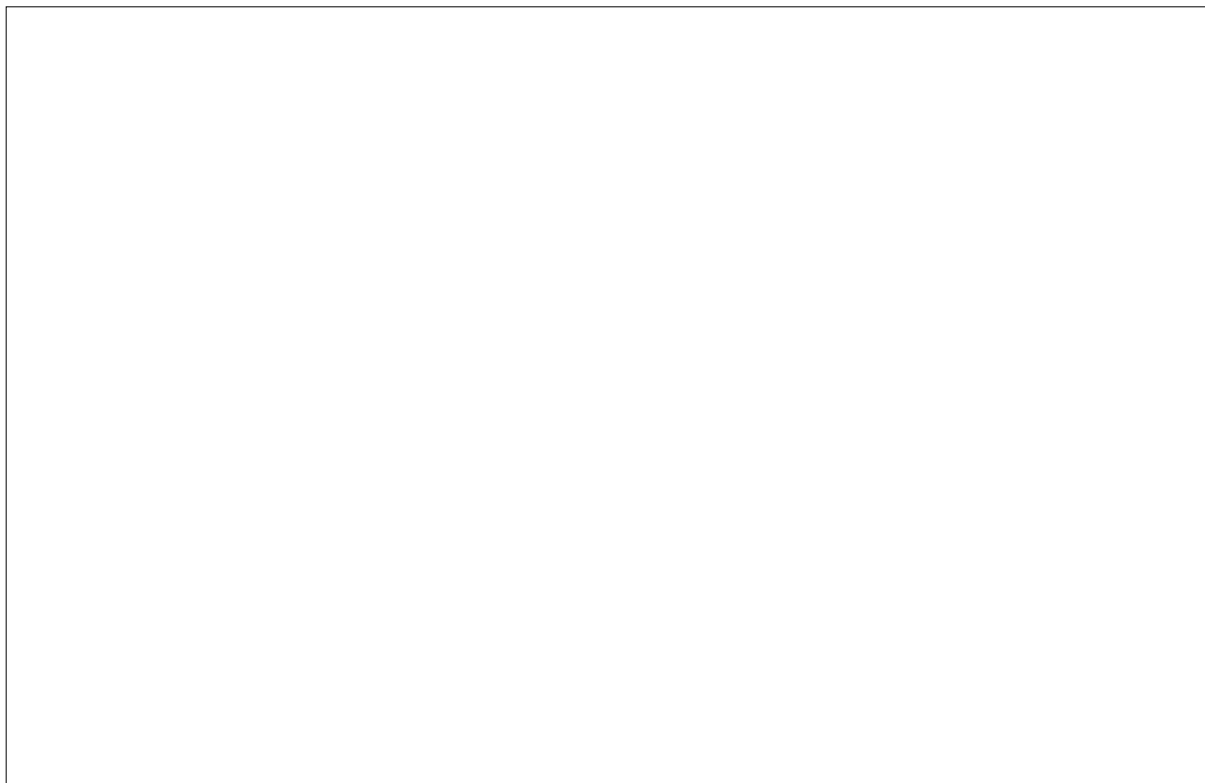
Diese Aufgabe wird in Partner*innenarbeit durchgeführt.

Eure Lehrperson demonstriert eine stehende Welle (z.B. mit Seil und/oder Applet <http://www.falstad.com/loadedstring/>).

- a) Recherchiert nun in eurem Schulbuch oder im Internet folgende Begriffe und haltet in eigenen Worten fest, was diese bedeuten.

Ordne diesen Begriffen Bilder oder Vorgänge aus dem Experiment oder Applet zu.

- Frequenz
- Wellenlänge
- Bauch & Knoten
- stehende Welle



- b) Kennt ihr stehende Wellen im Alltag? Haltet eure Ideen schriftlich fest! Du kannst auch das Internet zu Hilfe nehmen.

Zusatzaufgabe: Wie kann man stehende Wellen erzeugen?



- c) Auch beim Mikrowellenherd gibt es stehende Wellen. Das sind elektromagnetische Wellen im Innenraum. Diese haben eine Wellenlänge von ca. 10 cm und eine Frequenz von 2,455 Gigahertz (GHz). Formuliere, was das bedeutet. Verwende für deine Beschreibung die Begriffe Frequenz, Wellenlänge und Bäuche/Knoten mit den angegebenen Zahlenwerten.

Mach dir insbesondere die Größenordnung klar:

Kilo: 1 000

Mega: 1 000 000

Giga: 1 000 000 000

5. Schokolade in der Mikrowelle

Demonstrationsexperiment: Wir entfernen den Drehteller aus der Mikrowelle und geben stattdessen einen großen Teller hinein, der sich nicht dreht. Auf dem Teller platzieren wir eine große Tafel Schokolade und schalten für ca. 20-30 Sekunden den Mikrowellenherd ein.

- Halte deine Beobachtung schriftlich fest.
- Im Mikrowellenherd liegt eine stehende elektromagnetische Welle vor. Erkläre, warum das Experiment das zeigt.
- Bestimme die Wellenlänge durch Messen.

- b) Stelle eine Vermutung auf, warum in der Mikrowelle ein Drehteller verwendet wird.

c) Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c einer eindimensionalen Welle berechnet man mit der

Formel: $c = \lambda * f$

λ Wellenlänge (in Meter)

fFrequenz.

Berechne mit Hilfe deines Messergebnisses aus 5a) die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrowellen (und somit die Lichtgeschwindigkeit).

Zur Erinnerung: Die Frequenz der Mikrowellen ist: $f=2\,455\,000\,000$ Hz (Hertz).

Bemerkung: Das ist nur eine Schätzung. Nachdem wir dreidimensionale Wellen betrachten, ist der Zusammenhang in Wirklichkeit etwas komplizierter.

6. Demonstrations- & Showexperimente

Schaut euch folgende Videos an:

<https://www.youtube.com/watch?v=hdbpBCKm7jw>

(CD – Alufolie – Chipspackung – Glühbirne - Luftballon)

<https://www.youtube.com/watch?v=6N1RppAEWbs>

(Motoröl - Wodka – rohe Eier)

Überlegt euch jeweils, was der Grund für den beobachteten Effekt sein könnte.

Achtung! Nicht selber nachmachen!

Anmerkungen für die Lehrperson

Je nach Ausstattung können die Experimente mittels Handykamera auf eine elektronische Tafel übertragen werden.

Zur Funktionsweise:

In einem Mikrowellenherd wird ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt. Genauer handelt es sich um eine stehende Welle mit einer Frequenz von 2,455 GHz, also ca. 2.5 Milliarden Schwingungen pro Sekunde. Wassermoleküle sind elektrische Dipole (permanentes Dipolmoment) und richten sich in einem elektrischen Feld aus. In einem Wechselfeld – wie es im Innenraum (Hohlraum) des Mikrowellenherdes herrscht – fangen die Moleküle an, mit dieser Frequenz zu rotieren. Durch Stöße wird diese Rotationsenergie an andere Freiheitsgrade, insbesondere Bewegungsfreiheitsgrade, abgegeben – die Wassermoleküle bewegen sich dadurch im Mittel schneller, was einer höheren Temperatur entspricht. Im mikroskopischen Bild ist höhere Temperatur nichts anderes als eine größere mittlere Geschwindigkeit der Moleküle. Bei der gewählten Frequenz handelt es sich nicht um eine Resonanzfrequenz des Wassers, wo die Anregung noch besser funktionieren würde – die Resonanzfrequenz ist um etwa einen Faktor 10 höher. Allerdings würde dann ein Großteil der Energie an der Oberfläche absorbiert, was nicht erwünscht ist – man möchte eine gewisse Eindringtiefe der Mikrowellen in ein Volumen gewährleisten, um Speisen gleichmäßig zu erwärmen. Nicht jedes Material wird in der Mikrowelle warm (nicht alle Moleküle sind elektrische Dipole). Im Wesentlichen ist es immer der Wasseranteil von Speisen und Getränken, der nach dem oben beschriebenen Prinzip erwärmt wird – Mikrowellengeschirr ist für die Mikrowellen transparent.

Nachdem elektrische Dipole weniger bekannt sind als magnetische Dipole, schlagen wir eine Erklärung mittels Analogie vor. Ein magnetisches Feld hat auf einen magnetischen Dipol (Magnetnadel) eine ähnliche Wirkung wie ein elektrisches Feld auf einen elektrischen Dipol. Man kann also die Wirkung eines Magnetfeldes, insbesondere eines Wechselfeldes (z.B. erzeugt durch Rotation eines Hufeisenmagneten), auf einen Dipol sichtbar machen – und dann das Beobachtete auf elektrische Dipole und somit Wassermoleküle übertragen. Bitte dabei aber unbedingt darauf hinweisen, dass es sich dabei um eine Analogie handelt, und dass magnetische Dipole und elektrische Dipole (bzw. magnetische Felder und elektrische Felder) unterschiedlich sind.

Zusatzinformationen:

Bei Gefriergut/Eis sind die Wassermoleküle im Gitter gebunden und können deshalb nicht rotieren. Nur der bereits geschmolzene Teil wird erwärmt, und durch Wärmeleitung schmelzen weitere Teile des Eises.

Im Hohlraum wird eine 3-dimensionale stehende Welle erzeugt. So wie bei einer mechanischen stehenden Welle gibt es Bäuche und Knoten – insbesondere an den Wänden verschwinden die Tangentialkomponenten des elektrischen Feldes (das elektrische Feld steht senkrecht auf die Metalloberfläche). In den Knoten ist das Feld 0, dort erfolgt also auch keine Anregung der Wassermoleküle. Deshalb wird ein Drehteller verwendet, um die Speisen durch Bäuche und Knoten zu führen und eine gleichmäßige Erwärmung zu gewährleisten. Bäuche und Knoten können auf verschiedenen Arten sichtbar gemacht werden. Dazu wird der Drehteller entfernt, und z.B. eine große 300g Tafel Schokolade, oder eine große Kartoffel in die Mikrowelle gegeben. Auch angefeuchtetes Thermofaxpapier eignet sich dazu. Die Wellenlänge der Mikrowellen ist im Bereich von ca. 10cm – was sich dadurch schön sichtbar machen lässt.

Auf Grund der im Vergleich zu sichtbarem Licht großen Wellenlänge ist ein Metallgitter ausreichend, um die Mikrowellen (wie in einem Faradayschen Käfig) abzuschirmen. Ein feinmaschiges Gitter wirkt für Mikrowellen wie eine durchgehende Wand – sichtbares Licht kann allerdings durchdringen, da die Wellenlänge sehr viel kleiner als der Gitterabstand ist.

Mikrowellen dringen auch etwas in ein Metall ein (Elektronen benötigen kurze Zeit, um sich entsprechend auszurichten) – dadurch kommt es zu (geringen) Verlusten, und nach ca. 10 Millionen Reflexionen an den Wänden (was im Bruchteil einer Sekunde passiert) wird die Energie von den Wänden absorbiert. Deshalb gibt es auch keine Mikrowellenstrahlung nach dem Öffnen. Das ist auch als Skineneffekt bekannt – dabei kommt es zu einem Stromfluss (Bewegung der Elektronen durch das elektrische Wechselfeld) an metallischen Oberflächen. Bei vielen spektakulären Vorführexperimenten spielt der Skineneffekt eine wesentliche Rolle. Der Stromfluss bewirkt z.B., dass sich dünne Metallschichten (Goldrand bei Geschirr) stark erwärmen und verdampfen. Bei Spitzen Metalloberflächen (z.B. Stahlwolle oder CD) kommt es durch den Spitzeneffekt zu Funkenüberschlägen. Andererseits wirkt eine dünne Alufolie (z.B. die Verpackung eines Schokoladeosterhasen) als Faradayscher Käfig und verhindert das Eindringen der Mikrowellen.

Vorschläge für weitere Demonstrationsexperimente:

- a) **Eis** (Kristallstruktur verhindert Rotation der Moleküle und somit Erwärmung)
- b) **Luftballon in der Mikrowelle (gefüllt mit etwas Wasser)**
(Wasserdampf bläst Luftballon auf)
- c) **Schwedenbombe** (Eiweiss wird warm und dehnt sich aus)
- d) **Schokoosterhase – mit und ohne Alufolie** (Alufolie wirkt wie Faradayscher Käfig – innen feldfrei)
- e) **Leitende Materialien – Alufolie, CD, Goldrand Tasse**
(Skineneffekt – Strom wird in Metall an Oberfläche induziert, starke Erwärmung → Funkenüberschlag, Goldschicht verdampft)
- f) **Trauben** (Plasma – Funkenüberschlag)
- g) **Explodierendes Ei** (Überdruck durch Wasserdampf)
- h) **(Glühbirne/Leuchtstoffröhre in der Mikrowelle)**
(Leuchtstoffröhre: Elektrisches Feld erzeugt Plasma; Strom wird in Glühdraht induziert – hell und dunkel bei Durchlauf durch Bäuche/Knoten); kann explodieren

Vorschlag für eine Zusatzaufgabe - Wirkungsgrad der Mikrowelle

Partner*innenarbeit:

a) Plant ein Experiment, mit dem ihr den Wirkungsgrad der Mikrowelle feststellen könnt!

Hinweis: Die aufgenommene elektrische Energie könnt ihr aus den aufgedruckten Daten am Mikrowellenherd ermitteln – dort wird die Leistungsaufnahme angegeben. Energie ist Leistung*Zeit und wird in Joule gemessen. Ein Joule ist dabei 1 Watt * 1 Sekunde, $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$.

Man braucht eine bestimmte Energiemenge, um die Temperatur von Wasser zu erhöhen – um z.B. ein Kilogramm Wasser um 1°C zu erwärmen, werden ca. 4200 Joule benötigt. Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von verwendeter Energie zu aufgenommener Energie.

b) Führt das Experiment durch und ermittelt den Wirkungsgrad. Vergleicht den berechneten Wert mit anderen Möglichkeiten, Wasser zu erhitzen (Ceranfeld, Induktionsherd, Wasserkocher).

Klassifikation

1	E2	Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen
2	E2	Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen
3	E3 E2	Ich kann einzeln oder im Team zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen
4	W2 W1	Ich kann einzeln oder im Team aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen
5	E1 E2	Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen