



**Projekt**

**Chemie mit Mikrowellen**

**im**

**Stuttgarter Fehling-Lab**

**Prof. Dr. Peter Menzel**  
**Ingeborg Kaufmann**  
**Dr. Marco Spurk**

**gefördert durch die**  
**Landesstiftung Baden-Württemberg**  
**gGmbH**

L 1.2008

Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 55  
70569 Stuttgart  
Tel.: 0711 685 65810  
Fax: 0711 685 67756

spurk@fehling-lab.de  
www.fehling-lab.de

**GDCh**  
Gesellschaft Deutscher  
Chemiker

**FCI**  
Fonds der Chemischen  
Industrie

**MKJS**  
Ministerium für Kultus,  
Jugend und Sport BW

**RPS**  
Regierungspräsidium  
Stuttgart

**Chemieverbände**  
Baden-  
Württemberg

**CHF**  
Institut Dr. Flad

---

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Inhaltsverzeichnis .....   | 2  |
| Mikrowelle.....  | 3  |
| Popcorn-Versuch .....  | 5  |
| Luftballonversuch .....  | 6  |
| Luft - Wasser - Wasser (mit Alufolie abgeschirmt) – Salzwasser - Öl.....                     | 7  |
| Hot - Spot - Ermittlung .....  | 8  |
| Kunststoffe in der Mikrowelle.....   | 9  |
| Polyester aus Citronensäure und Glycerin .....   | 10 |
| Wassergehalt verschiedener Fette .....   | 11 |
| Erwärmen eines Zwei-Phasen-Systems.....  | 12 |
| Zucker-Stärke-Vergleich .....  | 13 |
| Entwässern von Kupfer(II)-sulfat-Pentahydrat .....   | 14 |
| (Kupfervitriol) .....  | 14 |
| CD-Versuch .....   | 15 |
| Aktivkohle .....   | 16 |
| Die Boraxperle, ein einfaches Glas .....   | 17 |
| Vorversuch zur Glasherstellung.....  | 17 |
| Farbe der Oxidationsperle .....  | 17 |
| Glasherstellung in der Mikrowelle.....   | 18 |
| Farblose Grundmischung zur Glasherstellung.....  | 19 |
| Herstellung der Tiegelform für die Graphit-Suszeptor-Tiegel-Technik (GST –<br>Element) ..... | 19 |

---

# Mikrowelle

## Fachliche Grundlagen

Die Erwärmung in der Mikrowelle kommt von der Energie der dort eingesetzten elektromagnetischen Strahlung. Die Energie stammt von den bewegten elektrischen Ladungen, die sich als Welle im Raum ausbreitet.

Mit zunehmendem Energieinhalt nimmt dabei die Wellenlänge der Strahlung ab. Liegt der Wellenlängenbereich zwischen 1 mm und 1 m, spricht man von Mikrowellen. Dies entspricht einem Frequenzbereich von 300 MHz bis 300 GHz. Eine Haushaltsmikrowelle erzeugt eine Festfrequenz von 2,45 GHz. Wenn man das gesamte Spektrum betrachtet, liegt die Mikrowellenstrahlung zwischen den Radiowellen (1 m bis  $10^4$  m) und der Wärmestrahlung bzw. dem Infrarot (760 nm bis 0,5 mm).

Mikrowellenstrahlung entsteht z.B. bei elektrischen Entladungsvorgängen (Gewitter). Auch Mensch und Tier geben neben der Wärmestrahlung messbare Mikrowellenstrahlung ab.

Technisch kann man Mikrowellen mit einem so genannten Magnetron erzeugen. In einem Sender (Laufzeitröhre) werden von einer zylindrischen Glühkathode Elektronen emittiert und zu einer umgebenden, hülsenförmigen Anode beschleunigt. Auf ihrer Flugbahn werden die Elektronen von einem senkrecht stehenden Magnetfeld durch die dabei auftretende Lorentz-Kraft abgelenkt. Dadurch gelangen die Elektronen tangential an die in spezieller Weise konstruierte Anodenfläche, so dass sie dort Resonanzschwingungen erzeugen. In einem komplizierten Schwingkreis wird schließlich Mikrowellenstrahlung von einer Antenne des Magnetrons abgestrahlt.

Vereinfacht lässt sich die Funktionsweise eines Magnetrons mit einer Pfeife vergleichen. Wenn in einer Pfeife ein Luftstrom über eine scharfe Kante streicht, entsteht im Pfeifenkörper eine Schwingung. In einem Magnetron wird ausgehend von einer Glühkathode ein Elektronenstrom erzeugt, der durch das Magnetfeld der beiden Ringmagnete in eine kreisförmige Bahn umgelenkt wird. Dabei streichen die Elektronen entlang der Schlitze in der Anode und regen Schwingungen in den Resonatorhöhlen an.

Mikrowellen breiten sich wie jede elektromagnetische Strahlung im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus, jedoch werden sie unter anderem an Metalloberflächen reflektiert. Aufgrund dieser Eigenschaft kann Mikrowellenstrahlung durch Metallbleche und schon durch feinmaschige Drahtnetze wirksam abgeschirmt werden. Das Blechgehäuse und das gelochte Frontblech des haushaltsüblichen Mikrowellenofens gewährleisten eben diese sichere Abschirmung. Die Mikrowellenstrahlung kann also nur dann die nähere Umgebung des Geräts erreichen, wenn die Ofentür während des Betriebs nicht fest verschlossen ist. Moderne Ofenkonstruktionen schließen diese Möglichkeit jedoch aus.

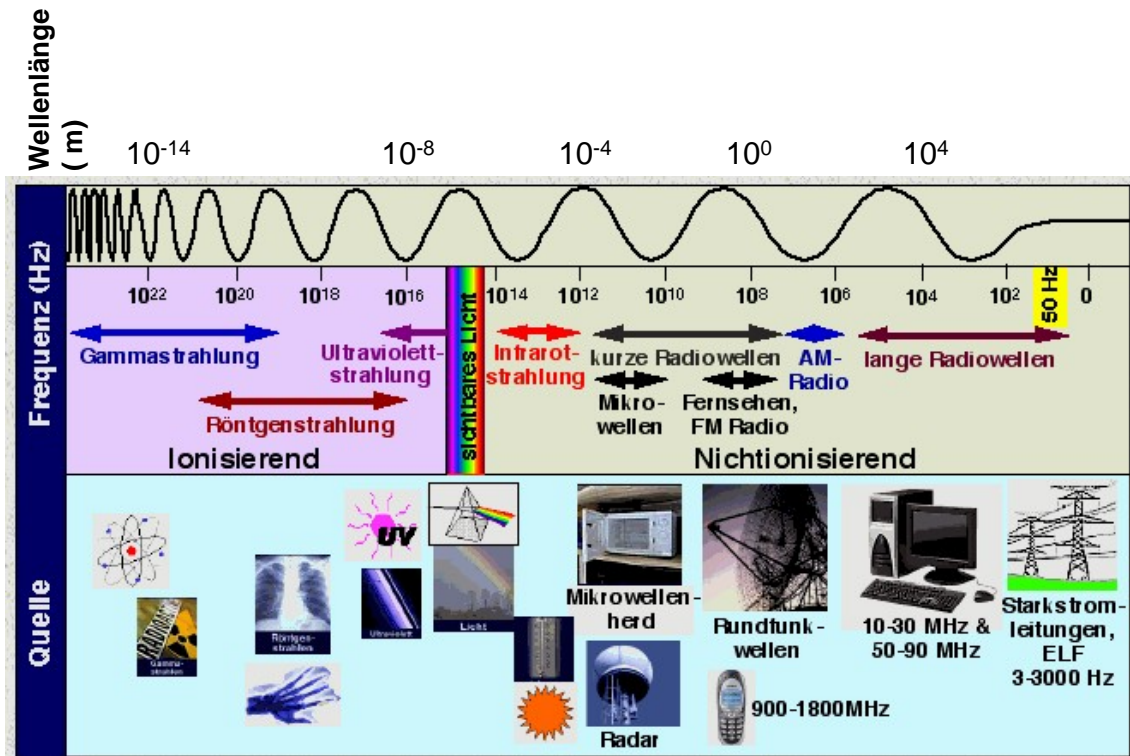
Die Erwärmung verschiedener Materialien und Substanzen durch das von Mikrowellen verursachte elektromagnetische Wechselfeld beruht auf der Anregung der Rotationsschwingungen dipolarer Moleküle bzw. der Elektronenanregung, insbesondere der delokalisierten Elektronen von Metallen. Die Anregbarkeit ist stoffspezifisch und wird als Suszeptibilität bezeichnet. Maßgebend für die Erwärmbarkeit eines Materials im Mikrowellenfeld sind auch dessen Oberflächenbeschaffenheit, Oberflächen-Volumen-Verhältnis und Homogenität.

Beim Erhitzen von Speisen und Getränken im Mikrowellenofen werden Molekülschwingungen der Inhaltsstoffe mit polarer Struktur, vor allem von Wasser, angeregt. Die Mikrowellenstrahlung dringt dabei nur einige Millimeter tief in das zu erhitzende Gut ein. Die tiefer gehende, vollständige Erwärmung erfolgt durch Wärmeleitung bzw. Konvektion.

Werden Metallgegenstände mit großer, spitzer oder scharfkantiger Oberfläche im Mikrowellenofen der Strahlung ausgesetzt, reicht deren Leitfähigkeit meist nicht aus, die Elektronenanregungsenergie ausreichend abzuleiten und es kommt zu Funkenentladung. Aus diesem Grund dürfen keine Teller mit Goldrand oder mit Metallteilen ausgestattete Gefäße in der Mikrowelle erhitzt werden.

**Achtung: Bitte führen Sie die folgenden Versuche nicht zu Hause durch!**

# Elektromagnetisches Spektrum



---

## Popcorn-Versuch

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, Becherglas (150 ml), Uhrglas, Maiskörner.

### Vorbereitung:

Die Bodendecke des Becherglases mit den Maiskörnern füllen und mit dem Uhrglas abdecken.  
Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Das Becherglas in die Mikrowelle auf den Glasdrehsteller stellen und schließen.  
Zeitschaltuhr auf **ca. 2 min** einstellen.

### Beobachtung:

Die Maiskörner platzen nach **ca. 1 - 2 Minuten** auf.

### Erklärung:

Die Maiskörner erwärmen sich innen durch die enthaltene Feuchtigkeit schneller als die Schale.

---

## Luftballonversuch

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 2 Luftballone, Kunststoffpipette

### Vorbereitung:

Einen Luftballon mit Hilfe der Pipette mit 1 ml Wasser füllen und mit einem Knoten verschließen. Den zweiten Luftballon leer verschließen.

Die Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Die beiden Luftballone auf den Drehteller in die Mikrowelle legen und starten.

### Beobachtung:

Nach **wenigen Sekunden** bläst sich der mit Wasser gefüllte Luftballon auf. Er fällt nach dem Abkühlen wieder zusammen. Der leere Luftballon hingegen verändert sich nicht.

### Erklärung:

Die dipolaren Wassermoleküle werden angeregt, das Wasser verdampft. Der entstehende Wasserdampf bläst den Luftballon auf. Beim Abkühlen kondensiert der Wasserdampf, der Luftballon fällt zusammen. Die Kunststoffmoleküle des Luftballons verändern sich nicht.

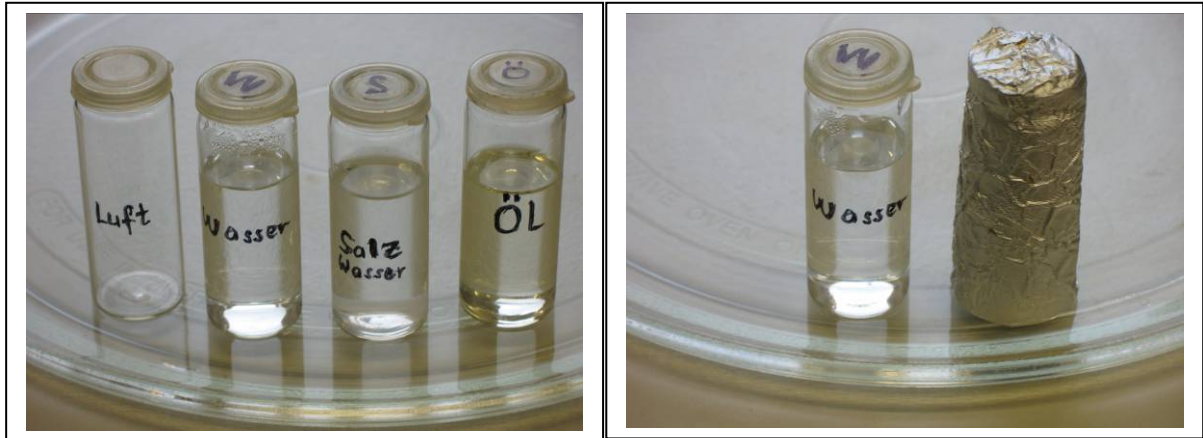
## Luft - Wasser - Wasser (mit Alufolie abgeschirmt) – Salzwasser - Öl

### Geräte- und Materialbedarf:

5 kleine Schnappdeckelgläser (20-30 ml), Wasser, Kochsalz, Speiseöl, Alu-Folie

### Vorbereitung:

3 kleine Schnappdeckelgläser werden mit gleich hoch mit Wasser gefüllt. Von diesen wird ein Glas mit Aluminiumfolie umwickelt und in einem Gefäß eine Spatelspitze Salz gelöst. Das vierte Glas wird gleich hoch mit Öl (Speiseöl oder Paraffinöl) gefüllt.



### Versuchsdurchführung:

Die vier gefüllten Schnappdeckelgläser werden verschlossen und mit einem leeren Schnappdeckelglas (Luft) nacheinander je **20 Sekunden** in der Mikrowelle erhitzt. Die Temperatur der Schnappdeckelgläser nach dem Erhitzen wird jeweils gemessen und notiert. Mehrere Gläser gleichzeitig zu erhitzen führt u.U. zu einer Verfälschung des Ergebnisses, da vor allem das mit Aluminium geschirmte Schnappdeckelglas wie eine Antenne fungiert.

### Beobachtung:

Der anschließende Temperaturvergleich mit der Hand zeigt, dass Aluminiumfolie die Mikrowellenstrahlung abschirmt, dass die Salz-Ionen zur wesentlich stärkeren Erwärmung führen und dass das unpolare Öl kaum erhitzt wird.

### Erklärung:

Mikrowellenstrahlung kann Metalle nicht durchdringen, stattdessen induziert sie Elektronenfluß im Metall. Ionen können aufgrund ihrer Ladung besonders gut angeregt werden und sorgen so dafür daß das Wasser stärker erhitzt wird. Unpolare Stoffe wie Öl können von Mikrowellen nicht angeregt werden.

---

## Hot - Spot - Ermittlung

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, zugeschnittene Kunststoffplatte (Styroporplatte auch geeignet), Thermo-Fax-Papier, Küchenkrepp, Wasserzerstäuber, Klebestreifen (Tesa-film), Filzstift.

### Vorbereitung:

Fax-Papier auf die Größe der Kunststoffplatte zuschneiden. Die Kunststoffplatte mit Küchenkrepp belegen und mit dem Wasserzerstäuber **gut anfeuchten**. Anschließend mit dem zugeschnittenen Thermo-Fax-Papier abdecken (Oberseite nach oben, bei Nagelprobe erkennbar durch Schwärzung) und dieses mit Klebestreifen befestigen.

Den Glasdrehsteller und den Träger entfernen.

Die bezogene Kunststoffplatte einsetzen.

Mikrowelle auf **800 Watt einstellen**.

### Versuchsdurchführung:

An der Zeitschaltuhr **1 min** einstellen und starten. Wenn der Hot-spot schon vor Ablauf der Zeit gut sichtbar ist, die Mikrowelle stoppen.

Die Hot-spot-Stelle mit einem Stift **kennzeichnen**.

Den Träger und den Glasdrehsteller wieder einsetzen.

### Beobachtung:

Ohne Drehsteller ergibt sich für jede Mikrowelle typische schwarze Bereiche, die so genannten **Hot-spot-Zonen**.

### Erklärung:

Im Ofenraum kommt es durch die Reflexion der Mikrowellen an den Innenwänden zu Interferenzen, was zu einem inhomogenen elektromagnetischen Feld führt. Mikrowellenfelder von Haushaltsmikrowellen zeigen Bereiche vollständiger Feldlöschung einerseits und andererseits so genannter hot spots, das sind Bereiche erhöhter Strahlungsintensität. Das Problem wird technisch durch den Einbau des Glasdrehstellers gelöst, auf dem das zu erhitzende Gut kontinuierlich durch die Löschungszonen und die hot spots bewegt und so homogen erhitzt wird.

In den hot-spot-Zonen des inhomogenen Mikrowellenfelds erhitzt sich das feuchte Thermofaxpapier sehr viel schneller, und das Wasser verdampft hier früher als in den übrigen Flächenbereichen des Papiers. Der heiße Wasserdampf verursacht die Schwärzung des Thermopapiers.

---

## Kunststoffe in der Mikrowelle

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, Kunststoffgegenstände aus dem täglichen Bedarf (Jogurtbecher, Trinkbecher, Kunststoffgeschirr, Kunststoffpipette), Kunststoffproben von der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoff Industrie AKI: Polystyrol PS, Polypropylen PP, Polyvinylchlorid PVC, Polyethylen PE, Polyamid PA, Papier, Probenblatt für Kunststoffproben.

### Vorbereitung:

Die Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Die verschiedenen Haushaltsgegenstände aus Kunststoff auf einem Blatt Papier kreisförmig auf dem Drehteller der Mikrowelle anordnen.

Die Proben in der Mikrowelle **2 min** erhitzen.

In einem zweiten Durchgang Kunststoffproben auf das vorbereitete Probenblatt geben und ebenso verfahren.

### Beobachtung:

Die Kunststoffgegenstände des alltäglichen Bedarfs verändern sich nach 1min und 800 Watt nicht. Von den Kunststoffproben verändert sich unter diesen Bedingungen nur das Polyamid.

### Erklärung:

Die unpolaren Kunststoffmoleküle PS, PP, PVC und PE werden in der Mikrowelle nicht angeregt. Das Molekül von PA besitzt C=O-Doppelbindungen und NH-Gruppen, ist polar, kann Wasserstoffbrücken ausbilden und verändert daher bei diesen Bedingungen bereits seine Eigenschaften.

---

## Polyester aus Citronensäure und Glycerin

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 1 Becherglas (150 ml), 1 Uhrglas, 1 Spatel, Citronensäure (von Heitmann), Glycerol (85% Ph. Eur., Firma Hedinger), Laborwaage

### Vorbereitung:

6 g Citronensäure und 1,5 g Glycerol in ein Becherglas einwiegen.  
Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Das Becherglas an den Rand des Glasdrehellers stellen. Die Zeitschaltuhr zunächst auf **0,5 min** einstellen und die Mikrowelle starten. Sollte die Citronensäure nach dieser Zeit noch nicht vollständig gelöst sein, nochmals **0,25 min** an der Zeitschaltuhr einstellen und erneut starten. Die entstandene Flüssigkeit auf ein Uhrglas gießen.

### Beobachtung:

Die Citronensäure löst sich nach kurzer Zeit vollständig. Die Lösung siedet, Wasser verdampft. Es entsteht eine klare Lösung. Gießt man die Lösung nach dem Erhitzen auf ein Uhrglas, kann man nach kurzem Abkühlen mit einem Spatel oder einem Glasstab Fäden ziehen, die sich aufwickeln lassen. Erhitzt man das Gemisch zu lange, verfärbt sich die Lösung gelb-braun und es entstehen unangenehm riechende gasförmige Produkte; die Lösung bläht sich schaumartig auf.

### Erklärung:

Bei der Veresterung der dreiwertigen Citronensäure mit dem dreiwertigen Glycerol entsteht ein Polyester. Es handelt sich um eine Polykondensation. Der Polyester weist je nach Temperatur unterschiedliche Eigenschaften auf. Nach dem Erkalten erstarrt er zu einer harten Masse, mit der sich zum Beispiel zwei Glasplatten verbinden lassen. Im warmen Zustand besitzt er eine hohe Elastizität (Endlosfaden). Der Polyester ist im übrigen wasserlöslich, deshalb lassen sich die benutzten Geräte leicht reinigen.

---

## Wassergehalt verschiedener Fette

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 3 Reagenzgläser (20x120 mm), 1 Becherglas (150 ml), 1 Spatel, Watte, Stoppuhr, Butter, Halbfettbutter, Frittierfett, Filzstift.

### Vorbereitung:

Von jedem Fett einen halben Spatel in ein Reagenzglas geben. Reagenzgläser beschriften. Um Fettspritzer zu vermeiden jedes Reagenzglas mit Watte verschließen. Die Mikrowelle auf **240 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Die Fettproben werden nacheinander in der Mikrowelle untersucht. Jedes Reagenzglas in einem Becherglas in die Mikrowelle auf den Glasdrehsteller stellen. Die Position auf dem Drehteller muss immer die gleiche sein. Mit Hilfe der Stoppuhr nun die Zeit bis zum vollständigen Schmelzen der Fette bestimmen.

Wie verhalten sich die Fette beim Abkühlen?

### Beobachtung:

Die Halbfettbutter schmilzt am schnellsten, das Frittierfett braucht am längsten.

### Erklärung:

Die gering polaren Fettmoleküle werden durch die Mikrowellenstrahlung nur wenig angeregt. Die Erwärmung beruht also auf dem Wassergehalt der Fettprodukte. Je höher der Wassergehalt, desto schneller erwärmt sich die Probe.

---

## Erwärmen eines Zwei-Phasen-Systems

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 3 Bechergläser (150 ml), 2 Uhrgläser (passend zu 150 ml BG), 1 Heizplatte (oder Brenner mit Dreifuss und Drahtnetz), 1 kleiner Messlöffel, eine 50 ml Kunststoffspritze mit Schlauchaufsatz, Siedesteine, Schutzhandschuhe, Schutzbrille, Haushaltszucker, Methylenblau oder Tinte.

### Vorbereitung:

Man stellt aus dem Haushaltszucker eine Lösung her. Hierzu nimmt man 10 Messlöffel Haushaltszucker und löst diese in ca. 50 ml Wasser. Die Zuckerlösung mit einigen Tropfen Methylenblau oder Tinte gut anfärben.

Zwei 150 ml Bechergläser werden mit je 80 ml Wasser gefüllt. 1-2 Siedesteine zugeben.

Die angefärbte Zuckerlösung mit der Kunststoffspritze aufziehen. Das Wasser in den beiden Bechergläsern mit 20 ml dieser blauen Zuckerlösung **langsam unterschichten**. Zum Unterschichten den Schlauchaufsatz der Spritze bis auf den Boden der Bechergläser einführen und die Zuckerlösung einfüllen (Stempel der Spritze vorsichtig nach unten drücken). Beide Bechergläser mit den Uhrgläsern abdecken.

Die Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

Die Heizplatte auf **höchste Stufe** einstellen oder Brenner mit Dreifuss aufbauen.

### Versuchsdurchführung:

Ein Becherglas wird in die Mikrowelle auf den Glasteller gestellt (nicht ganz in die Mitte stellen) und bis zum Sieden erhitzt (Zeitschaltuhr auf **ca. 1 min** einstellen).

Das zweite Becherglas wird anschließend auf die Heizplatte (oder Brenner) gestellt und dort bis zum Sieden erhitzt.

### Beobachtung:

Beim Erhitzen in der Mikrowelle bleiben die zwei Phasen lange Zeit, trotz Erreichen des Siedepunktes, erhalten. Beim Erhitzen auf der Heizplatte kommt es schon vor Erreichen des Siedepunktes zu einer Durchmischung der beiden Phasen.

Der Siedepunkt wird in der Mikrowelle außerdem wesentlich schneller erreicht.

### Erklärung:

Beim Erhitzen auf der Heizplatte (oder Brenner) kommt es bereits vor dem Erreichen des Siedepunktes zu aufsteigenden Konzentrationschlieren aufgrund der Wärmekonvektion. Die Phasentrennung bleibt bis zum Beginn des Siedens jedoch relativ stabil, wird dann aber durch aufsteigende Gasblasen aufgehoben und es kommt zur Durchmischung der beiden Phasen.

Bei der Erwärmung in der Mikrowelle bleibt die Phasentrennung auch nach Erreichen des Siedepunktes noch einige Zeit erhalten. Es ist nur das Aufsteigen weniger Gasblasen zu beobachten. Der Inhalt des Becherglases siedet nach kürzerer Zeit und im Vergleich ruhiger, was auf eine gleichmäßigere Erhitzung schließen lässt. Die gleichmäßige Erhitzung in der Mikrowelle hängt von der Polarität und der Struktur des Kochguts ab

---

## Zucker-Stärke-Vergleich

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 3 Petrischalen, 1 Spatel, Haushaltszucker (Saccharose), Traubenzucker (Dextrose/Glucose), Speisestärke.

### Vorbereitung:

Von jedem Produkt eine Spatelspitze in je eine Petrischale geben.  
Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Alle drei Petrischalen in gleichmäßigem Abstand zur Mitte auf dem Glasdrehsteller anordnen.  
Die Zeitschaltuhr auf **5 min** einstellen und starten.

### Beobachtung:

Nach **ca. 4 Minuten** beginnt die Dextrose zu karamellisieren, die Saccharose und die Speisestärke verändern sich nach dieser Zeit noch nicht.

### Erklärung:

Die Dextrose verändert sich bereits bei diesen Bedingungen, da das enthaltene Kristallwasser die Wärmeenergie schneller aufnimmt. Der Haushaltszucker würde bei weiterer Energiezufuhr ebenfalls karamellisieren und die Stärke „verkohlen“.

---

## Entwässern von Kupfer(II)-sulfat-Pentahydrat (Kupfervitriol)

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 1 Becherglas (150 ml), Laborwaage, 1 Spatel, Schutzhandschuhe, 1 Rundfilter,  $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$

### Vorbereitung:

Zunächst das Leergewicht des Becherglases auf der Laborwaage ermitteln. Anschließend eine genaue Menge Kupfervitriol (~250 mg) einwiegen.

Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Das Becherglas mit einem Rundfilter abdecken und auf den Glasdreheller in die Mikrowelle stellen.

Das Kupfervitriol **3 min** erhitzen.

Anschließend Becherglas aus der Mikrowelle nehmen und abkühlen lassen.

Gewicht ermitteln.

Vorgang so lange wiederholen bis keine Gewichtsveränderung mehr eintritt.

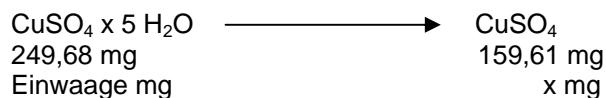
### Beobachtung:

Es ist eine Entfärbung des Kupfervitriols zu sehen.

### Erklärung:

Die Kristallwasser werden durch die zugeführte Energie angeregt, sie spalten sich ab.

### Quantitative Auswertung:



X = theoretischer Wert

---

## CD-Versuch

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, CD (alt), 1 Blatt Papier

### Vorbereitung:

Die Mikrowelle auf **80 Watt** einstellen.  
Papier auf den Glasdrehsteller legen.

### Versuchsdurchführung:

Die CD wird mit der Spurseite nach oben auf den mit dem Papier abgedeckten Glasdrehsteller in die Mikrowelle gelegt und mit der Zeitschaltuhr (**max. 0,5 min einstellen!**) gestartet.

### Beobachtung:

Nach **wenigen Sekunden** kommt es zur Funkenbildung.

### Erklärung:

Die aufgedampfte Metallschicht verhält sich wie eine Antenne. Die Energie wird aufgenommen und in kinetische Energie der frei beweglichen Elektronen des Metalls umgewandelt. Genau betrachtet, befinden sich die Elektronen in einem elektrischen Feld, in dem sie von Minus nach Plus beschleunigt werden. Dieses elektrische Feld wechselt in einem Mikrowellenofen knapp zweieinhalbmilliardenmal pro Sekunde. Das führt dazu, dass die Elektronen extrem schnell hin- und herbeschleunigt werden. Dabei nehmen sie teilweise so viel Energie auf, dass sie (vereinfacht gesagt) kurzfristig in höhere Elektronenbahnen wechseln und beim Verlassen dieser Bahnen helle Lichtimpulse aussenden. Zudem erhitzt die Elektronenbewegung die Metallschicht an einigen Stellen so stark, dass sie zu glühen beginnt und verdampft. Genau an diesen Stellen entstehen die Risse, durch die man hindurchsehen kann.

## Aktivkohle

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, 1 Reagenzglas, 1 Becherglas, Aktivkohle gekörnt.

### Vorbereitung:

Das Reagenzglas **1 cm** hoch mit der gekörnten Aktivkohle füllen. Reagenzglas in das Becherglas stellen.

Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

### Versuchsdurchführung:

Das Becherglas auf den Glasdrehteller in die Mikrowelle stellen (nicht in die Mitte!) und mit der Zeitschaltuhr starten.

Nach **30 Sekunden** abschalten.

### Beobachtung:

Nach **wenigen Sekunden** kommt es zur Funkenbildung an der Aktivkohle.

### Erklärung:

Aktivkohle lässt sich von der Mikrowellenstrahlung anregen, erklären lässt sich das durch das teilweise delokalisierte Elektronensystem und den hohen elektrischen Innenwiderstand aufgrund der ausgeprägten Porenstruktur. Die dabei erzeugten hohen Temperaturen, nützt man in der Graphit-Suszeptor-Tiegel-Technik bei der Glasherstellung aus. Ausgangspunkt ist die gute Suszeptibilität des graphitischen Kohlenstoffs.

## Die Boraxperle, ein einfaches Glas Vorversuch zur Glasherstellung

### Geräte- und Materialbedarf:

Borax (di-Natriumtetraborat-Decahydrat,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ ) oder Phosphorsalz (Natrium-ammoniumhydrogenphosphat-Dekahydrat,  $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ ), Kupfer(II)-sulfat-pentahydrat ( $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ ), Kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) oder Braunstein ( $\text{MnO}_2$ ), Chrom(III)-oxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Magnesiastäbchen, 1 Pinzette, 1 Tüpfelplatte, 1 Brenner mit Schlauch, 1 Anzünder.

### Durchführung:

Eine Vertiefung der Tüpfelplatte mit Borax füllen, in eine zweite Vertiefung wenige Körnchen einer der drei Metallverbindungen geben.

Mit Hilfe des Brenners das Magnesiastäbchen an einem Ende erwärmen und zunächst in das Borax tauchen. Das aufgebrachte Borax nun in der Brennerflamme schmelzen und durch Drehen zu einer Perle formen.

Mit der heißen Perle wenige Kristalle der ausgewählten Metallverbindung aufnehmen. Die Perle wieder in die Flamme bringen und unter Drehen schmelzen.

### Beobachtung:

| Boraxperle (Phosphorsalzperle) |                           |      |
|--------------------------------|---------------------------|------|
|                                | Farbe der Oxidationsperle |      |
|                                | Heiß                      | Kalt |
| Chrom                          |                           |      |
| Kupfer                         |                           |      |
| Mangan                         |                           |      |

### Hinweis:

In der Analytik wird die Boraxperle (bzw. Phosphorsalzperle) als Nachweis einiger Metalle verwendet. Boraxgläser haben technisch keine Bedeutung, da sie chemisch wenig resistent sind.

---

## Glasherstellung in der Mikrowelle

### Geräte- und Materialbedarf:

Mikrowelle, GST-Element (Graphit-Suszeptor-Tiegel-Technik, ein in einem Tontopf und Ofenmörtel eingebetteter Porzellantiegel, als Suszeptor dient Graphit), feuerfeste Unterlage Schamottstein, Porzellanplatte, Schutzhandschuhe, Schutzbrille, Tiegelzange, Spatel.

### Glasgrundmischung bestehend aus:

Borsäure, Lithiumcarbonat, Natriumcarbonat, Calciumcarbonat und Quarzsand.

### Zusätze zum Färben:

Eisenoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Gelbfärbung), Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Grünfärbung), Kupfervitriol ( $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ , Blaufärbung).

### Vorbereitung:

Den Porzellantiegel gut zur Hälfte mit der Glasgrundmischung füllen. Eine Spatelspitze, z.B. des Eisenoxids zugeben und mit dem Spatel gut verrühren. Den Glasdrehteller entfernen. Porzellanplatte auf die ermittelte Hot-spot-Stelle legen und darauf das GST-Element mit dem befüllten Tiegel stellen. Mikrowelle auf **800 Watt** einstellen.

**Das Benutzen der Tiegelzange vorher üben!**

### Versuchsdurchführung und Beobachtung:

Die Zeitschaltuhr hochdrehen, Mikrowelle startet.

Der Tiegel beginnt nach **ca. 2 min** zu glühen. Die Glasmischung beginnt sich aufzublähen, fällt dann wieder zusammen und ist nach **ca. 5-6 min** eine Schmelze.

Die Mikrowelle abstellen, wenn eine gleichmäßige Schmelze vorliegt. Das GST-Element mit der Tiegelzange aus der Mikrowelle nehmen und auf dem Schamottstein abstellen. Tiegel mit der Tiegelzange herausnehmen und Glasschmelze auf den Schamottstein gießen.

**Es muss zügig gearbeitet werden!**

Tiegel zum langsamen abkühlen in das GST-Element zurückstellen.

**Unbedingt Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen!**

---

## **Farblose Grundmischung zur Glasherstellung**

### **Chemikalien:**

Borsäure ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) 10,6 g  
Lithiumcarbonat ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) 2,5 g  
Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 1,8 g  
Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) 1,7 g  
Quarz ( $\text{SiO}_2$ ) 1,0g

### **Herstellung:**

Alle Chemikalien einwiegen und in einem Mörser sorgfältig zerreiben.

### **Gefärbte Gläser:**

Grünes Glas    Zugabe von  $\text{Cr}_2\text{O}_3$   
Gelbes Glas    Zugabe von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
Blaues Glas    Zugabe von  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Pro Tiegelfüllung reicht die Zugabe einer kleinen Spatelspitze der jeweiligen Chemikalie um eine Färbung zu erreichen. Ein durchmischen im Tiegel mit dem Spatel reicht aus.

## **Herstellung der Tiegelform für die Graphit-Suszeptor-Tiegel-Technik (GST – Element)**

### **Material:**

Tontopf (Kerzontopf, Firma Rombold, Ø 6 cm)  
Ofenmörtel (Feuerfest Mörtel, quick-mix, toom-Baumarkt)  
Porzellantiegel (mittelhohe Form, Ø 4 cm, Firma Hedinger, Best. Nr.: 79MF Nr. 7a)  
Graphitspray (Kontakt Chemie, über Conrad-electronic)  
Luftballon

### **Herstellung:**

Den Hals des Luftballons abschneiden und den Porzellantiegel mit dem Luftballon überziehen. Es wird dadurch das Festbacken des Tiegels bei der Trocknung des Ofenmörtels verhindert.

Den Ofenmörtel mit wenig Wasser anrühren. Es muss eine knetbare Masse entstehen. Angerührten Mörtel zügig verarbeiten.

Den Tontopf bis gut zur Hälfte mit dem Mörtel füllen. Den Tiegel mittig soweit hineindrücken bis er mit dem Tontopfrand abschließt. Den Rand weiter mit Mörtel füllen und glatt streichen. Den Tiegel noch mal herausnehmen und in den weichen Mörtel mit einer Tiegelflange eine kleine Mulde eindrücken.

Den Tiegel wieder einsetzen.

Den Tontopf so bei 80 °C, am besten über Nacht, in einen Trockenschrank stellen.

Den Tiegel herauslösen. Den Ofenmörtelrand oben mit Klebestreifen abdecken. Den Tontopf innen mit dem Graphitspray gut einsprühen und an der Luft trocknen lassen. Das Einsprühen muss eventuell wiederholt werden.

---

## Literaturhinweise und Versuchsvorschriften:

### Mikrowelle

I. Kaufmann und P. Menzel, Chemie mit Mikrowelle, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 56 (2007) Heft 5, 31

A. Lühken und H. J. Bader, Hochtemperaturchemie im Haushaltsmikrowellenofen, CHEMKON (Weinh.) Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim; 8 (2001) Heft 1, 7

[www.kopfball-online.de/experimente](http://www.kopfball-online.de/experimente),

Mikrowellen-Experimente aus der Sendung „Kopfball“ des WDR

„Experimente mit Mikrowellen“, unter <http://www.hcrs.at/MIKRO:HTM>

### Bezugsquellen:

Tontöpfe für GST-Element:

**Kerzentopf** (6cm), Firma Rombold, Tonwarenfabrik (G. Rombold & Sohn, Welzheimer Str. 34, 71554 Weissach im Tal, Telefon:07191 35240, Fax: 07191 59333), Fabrikverkauf.

„**Feuerfest Mörtel**“, quick-mix (quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG, Mühlenschweg 6, 49090 Osnabrück, Telefon 054160101, Fax: 0541601853), erhältlich in Baumärkten (toom).

„**Graphit-Spray**“, Leit- und Gleitlack auf Graphitbasis, Kontakt Chemie, CRC INDUSTRIES DEUTSCHLAND GmbH, 76473 Iffezheim Telefon: 07229 3030, erhältlich z.B. über Conrad-electronic, 92240 Hirschau, [www.conrad.de](http://www.conrad.de).

**Porzellantiegel** (mittelhohe Form, Durchmesser oben 40mm, 32mm hoch, 20ml Inhalt), erhältlich über Firma Aug. Hedinger GmbH & Co., Heiligenwiesen 26, 70327 Stuttgart, Telefon 0711 402050, Fax: 07114020535, Best.-Nr.: 79MF/7A.

**Lecktester**, z.B. über Conrad-electronic (s.o.) erhältlich, Best.-Nr.:102156