

Jugend Forscht 2022
Regionalwettbewerb

Manipulation des
Brandverhaltens
von Epoxidharz

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	3
2. Das Vorgängerprojekt	3
3. Die Idee.....	3
4. Die Theorie.....	4
4.1.1 Feuertheorie und daraus resultierende Carbonate.....	4
4.1.2 Versuchstheorie.....	5
Herstellung von Mikrokapseln (Experiment der TU Dortmund)	5
Herstellung von Mikrokapseln – Umkehrung in Lipophile Wandmaterialien	6
Masterexperiment Carbonatkügelchen	6
5. Experimente zu Mikropartikeln	7
5.1 Herstellung von Carbonatpartikeln	7
Experiment 1 – Natriumcarbonat in Gelatinekügelchen	7
Experiment 2 – Calciumcarbonat in Walratersatz	8
Experiment 3 – Magnesiumcarbonat in Walratersatz.....	9
5.2 Untersuchung von Carbonatpartikeln	9
5.2.1 Experimente zu Carbonatpartikeln	10
Experiment 4 – Untersuchung von Calciumcarbonatpartikeln nach Entstehung von CO ₂	10
Experiment 5 – Untersuchung von Carbonatpartikeln nach Entstehung von CO ₂ , Absicherungsprobe	10
6. Experimente zu Epoxidharz.....	11
6.1 Was ist Epoxidharz?.....	11
6.2 Herstellung von Epoxidharzplatten.....	11
Experiment 6 – Herstellung einer Rohplatte	11
Experiment 7 – Herstellung einer Platte mit Carbonatkugeln.....	12
6.4 Untersuchung der Brennbarkeit von Epoxidharzplatten.....	13
Experiment 8 und 9 – Verbrennen einer Rohplatte oder einer Platte mit integrierten Carbonatkugeln.....	14
7. Ergebnisse	14
8. Ergebnisdiskussionen	16
9. Fazit	17
10. Die Unterstützer*innen.....	18
11. Quellenangaben, Literaturverzeichnis.....	19
Bilderquellen	19
Literaturquellen	19

1. Kurzfassung

Das Projekt "*Manipulation des Brandverhaltens von Epoxidharz*" setzt sich mit der Fragestellung auseinander, ob die Brennbarkeit von Epoxidharz durch Carbonate reduzierbar sei. Das Konzept ist, ein Carbonat mithilfe eines bestimmten Verfahrens mit einer festen, undurchlässigen Hülle zu umgeben, sodass der Wirkstoff bei hohen Temperaturen freigegeben wird und unter anderem zu Kohlenstoffdioxid zerfällt. Ausschlaggebend hierbei sind geeignetes Wand- sowie Kernmaterial, ihr Verhalten in Epoxidharz und natürlich ob sie die Brennbarkeit reduzieren, wenn nicht sogar einen Brand verhindern können. Dieses Projekt baut auf die Erkenntnisse des Vorläuferprojektes auf, welches zum letzten Wettbewerb eingereicht wurde.

2. Das Vorgängerprojekt

Die Versuchsanleitung und die Grundlegende Idee stammen von der TU Dortmund, welche unter www.tb.bci.tu-dortmund.de/Pharmaceutical%20Bio-Engineering/Herstellung%20von%20Mikrokapseln.pdf ein Experiment veröffentlichte, welches das Verfahren der Mikroverkapselung ausführlich beschrieb.

Im letzten Projekt wurden darauf basierend bereits Gelatine- und Walratersatzkügelchen hergestellt, die mit Farbe, Duftstoffen und Phenolphthalein gefüllt wurden. Außerdem beinhaltete das Vorgängerprojekt eine Umkehrung dieses Verfahrens, welche es möglich machte, mit unpolaren Wandmaterialien (Wachs und Wachsesterne) zu arbeiten und diese zu füllen. Die Ergebnisse letzten Jahres waren mehrheitlich ohne Mehrwert für den Nutzer, weshalb das nächste Projekt eine neue Idee für die Mikropartikel verfolgte.

3. Die Idee

Die Idee des jetzigen Projektes war zunächst die Fortführung des Vorläuferprojektes unter dem Thema *Feuerlöschen* und *Brandschutz*. Bereits im letzten Jahr wurde eine Hypothese aufgestellt:

„Wenn man eine gewisse Menge eines verkapselten Stoffes, der bei hohen Temperaturen in CO₂ zerfällt, in ein Epoxidharz (Kunstharz) einbaut, so verändert man bei Verbrennung das Brandverhalten des Kunststoffes“.

Es galt nun ein mehrschrittiges Projekt zu entwickeln, welches diese Hypothese überprüfen würde. Dafür standen zum Zeitpunkt des Startes zwei Parameter fest:

- a) Das Brandschutzmittel, welches die Kügelchen füllen würde, sollte ein Carbonat sein, damit es bei hohen Temperaturen unter anderem in CO₂ zerfallen würde.
- b) Das Einsatzgebiet sollte in einem Kunststoff erfolgen, da der einzige Verwendungsbereich eines Kohlenstoffdioxidfeuerlöschers bei flüssigen Stoffen (Brandklasse B) liegt und diese häufig in Plastikbehältern aufbewahrt werden. Es wurde sich gegen eine Anwendung in einem flüssigen Stoff entschieden, da dies unsinnig erschien (Erdrückung der Kügelchen, Hinderung des Einsatzgebietes des flüssigen Stoffes, ...)

4. Die Theorie

4.1.1 Feuertheorie und daraus resultierende Carbonate

Um den Gedankengang hinter den Parametern etwas zu erläutern, muss ein gewisses Basiswissen über das Thema *Feuer* vorherrschen:

Feuer entsteht nicht bedingungslos, es braucht drei bestimmte Voraussetzungen, welche im richtigen Mengenverhältnis zueinander vorkommen müssen, damit ein Feuer lodert. Dies seien zum einen Sauerstoff und Brennmaterial, zum anderen Wärme zum Erreichen der Zündtemperatur.

Ein Feuer wird gelöscht, indem mindestens eines dieser drei Variablen aus dem Verhältnis genommen oder komplett entzogen wird. So entzieht Wasser dem Feuer die Wärme, eine Löschdecke ihm den Sauerstoff und eine Brandschneise das Brennmaterial.

Durch das Einsetzen von Mikropartikeln kann weder das Brennmaterial weggenommen, noch das Feuer abgekühlt werden, jedoch kann der Sauerstoff verdrängt werden, indem andere Gase freigesetzt werden können.

Dies führt zu der Überlegung, welche Feuerlöscher bereits mit dieser Methode arbeiten (CO₂-Feuerlöscher) und welche Brandklasse sie bedienen (Brandklasse B).

Weil der Begriff *Feuer* eine Oxidation betitelt und bereits bekannt ist, dass mindestens ein Produkt CO₂ sein sollte, liegen verschiedene Carbonate nahe, welche direkt zu Anfang in die Liste der engeren Auswahl kamen. Hierbei waren die Auswahlkriterien, dass...

- I. ... die Carbonate bei Temperaturen zerfallen, die einer normalen Brandtemperatur entsprechen und;
- II. ... die Schule die Chemikalien bereits besitzt oder diese einfach zu bestellen sind. Durch diesen Parameter fielen jegliche Sorgen zum Thema *Gefährlichkeit der Stoffe* oder *Toxikologie* weg, da diese nicht bestellbar wären.

Carbonate der engeren Auswahl lauten wie folgt:

Carbonat	Schmelztemperatur	Reaktionsgleichung	Wasserlöslich?
Natriumcarbonat	851°C, CO ₂ -Abspaltung beginnt ab 400 °C ¹	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$	Ja
Kaliumcarbonat	891°C ²	$\text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{O} + \text{CO}_2$	Ja

¹ Vgl. Quelle 1 GESTIS-Stoffdatenbank, o. D.

² Vgl. Quelle 2 GESTIS-Stoffdatenbank, o. D.

Calciumcarbonat	Zersetzung bei 825 °C ³	CaCO ₃ CaO + CO ₂	→	Nein
Magnesiumcarbonat	Zersetzung bei 350 °C ⁴	MgCO ₃ MgO + CO ₂	→	Nein

4.1.2 Versuchstheorie

Mikrokapseln beschreiben eine besondere Art von Mikropartikeln. Sie bestehen aus einem Wandmaterial, welches Stabilität verleiht und das Kernmaterial vor äußeren Beschädigungen schützt, und einem Kernmaterial, welches gasförmig, flüssig oder fest vorliegen kann. In einem Prozess von Verteilung, Phasentrennung, Umhüllung und Verfestigung schließt sich das Wandmaterial um das Kernmaterial in eine Kugel und formt somit die Mikrokapsel.⁵

Die TU Dortmund beschrieb das Herstellungsverfahren wie folgt:

Herstellung von Mikrokapseln (Experiment der TU Dortmund)

Materialien: 6g Gelatine, 20g Wasser, unpolares Kernmaterial, Paraffinöl (ca. 100-150ml), Ethanol (ca. 50ml) 2 Bechergläser, 1 Heizplatte, 2 Thermometer, 1 Magnetrührer und 2 Rührfische, Eisbad, Nutsche mit Filterpapier und Vakuumpumpe, 1 Spritze inkl. Aufsatz

Durchführung:

1. 6g Gelatine in 20g Wasser kurz quellen lassen (10-30 Minuten).
2. Unpolares Kernmaterial hinzugeben, falls vorhanden.
1. Gelatine-Wassergemisch auf 60°C erhitzen, mit Rührfisch umrühren.
2. Das Paraffinöl auf der Heizplatte ebenfalls auf 60°C erhitzen.
3. Paraffinöl auf den Magnetrührer stellen; Rührfisch hinzugeben.
4. Mit der Spritze die Gelatinemischung in das Paraffinöl geben.
5. Einige Minuten weiter umrühren (bis die Kügelchen stabil sind).
6. Paraffinöl-Gelatinemischung in Eisbad stellen, wobei der Rührfluss möglichst wenig unterbrochen werden soll.
7. Nutsche bereitstellen, Vakuumpumpe anschließen, Filterpapier ansaugen lassen.
8. Wenn die Temperatur der Paraffinöl-Gelatinemischung unter 10°C (idealerweise 8°C) beträgt, wird die Mischung in die Nutsche gegeben.
9. Mit Ethanol abspülen.

³ Vgl. Quelle 3 GESTIS-Stoffdatenbank, o. D.

⁴ Vgl. Quelle 4 GESTIS-Stoffdatenbank, o. D.

⁵ Vgl. Quelle 5 A TU-Dortmund, o. D.

Vgl. Quelle 5 B Flegler et al., 2019

Vgl. Quelle 5 C Mikroverkapselung, o. D.

Für lipophile Stoffe geht aus dem Vorgängerprojekt hervor:

Herstellung von Mikrokapseln – Umkehrung in Lipophile Wandmaterialien

Materialien: Walratersatz (wenige Gram), polares Kernmaterial, Wasser (ca. 100-150ml), Wasser (ca. 50ml) 2 Bechergläser, 1 Heizplatte, 2 Thermometer, 1 Magnetrührer und 2 Rührfische, Eisbad, Nutsche mit Filterpapier und Vakuumpumpe, 1 Spritze inkl. Aufsatz

Durchführung:

1. Wasser auf der Heizplatte auf 60°C erhitzen.
2. Walratersatz ebenfalls auf 60°C erhitzen, mit einem Rührfisch umrühren.
3. Polares Kernmaterial zu Walratersatz hinzugeben, falls vorhanden.
4. Wasser auf den Magnetrührer in ein Eisbad stellen; Rührfisch hinzugeben.
5. Mit der Spritze den Walratersatz und die Füllung in das Wasser geben.
6. Einige Minuten weiter umrühren (bis die Kügelchen stabil sind).
7. Nutsche bereitstellen, Vakuumpumpe anschließen, Filterpapier ansaugen lassen.
8. Wenn die Temperatur der Flüssigkeit unter 10°C und idealerweise 8°C beträgt, wird die Mischung in die Nutsche gegeben.
9. Mit Wasser abspülen.
10. Kügelchen aushärten lassen.

Im neusten Projekt wurde das Verfahren erneut abgeändert. Für die Optimierung eines Mikropartikels, welches einen Brand verhindern sollte, sollten wasserlösliche Wandmaterialien für (gut) wasserlösliche Kernmaterialien verwendet werden, anders als in beiden vorherigen Experimenten. Dies sollte vergewissern, dass die Carbonate besonders schnell erreicht werden, ohne zunächst durch eine Wand getrennt zu sein. Dabei wird keine Fähigkeit des Wandmaterials eingebüßt. Die Kügelchen sind trotzdem stabil und die schützende Wirkung wird größtenteils vom Epoxidharz übernommen. Außerdem verändert sich *nicht* die leichtere Dosierung sowie der Schutz vor Konzentrationsgefällen. Durch eine Einsetzung von Mikropartikeln kann abgeschätzt werden wie viel Carbonat gleichzeitig zu CO₂ zerfällt.

Für Kugeln in diesem Projekt geht daraus hervor:

Masterexperiment Carbonatkügelchen

Materialien: Polares Wandmaterial, polares Kernmaterial, Paraffinöl (ca. 100-150ml), Ethanol (ca. 50ml) 2 Bechergläser, 1 Heizplatte, 2 Thermometer, 1 Magnetrührer und 2 Rührfische, Eisbad, Nutsche mit Filterpapier und Vakuumpumpe, 1 Spritze inkl. Aufsatz

Durchführung:

1. Polares Wandmaterial auf 60°C erhitzen, mit einem Rührfisch umrühren.
2. Polares Kernmaterial hinzugeben, falls vorhanden.
3. Paraffinöl auf der Heizplatte ebenfalls auf 60°C erhitzen.
4. Paraffinöl auf den Magnetrührer in ein Eisbad stellen; Rührfisch hinzugeben.
5. Mit der Spritze das Wand-Kern-Material-Gemisch in das Paraffinöl geben.
6. Einige Minuten weiter umrühren (bis die Kügelchen stabil sind).
7. Nutsche bereitstellen, Vakuumpumpe anschließen, Filterpapier ansaugen lassen.
8. Wenn die Temperatur der Flüssigkeit unter 10°C und idealerweise 8°C beträgt, wird die Mischung in die Nutsche gegeben.
9. Mit Ethanol abspülen.
10. Kügelchen aushärten lassen.

Dabei wird Gelatine für wasserlösliche Kernmaterialien und Walratersatz für schlecht Wasserlösliche Materialien verwendet.

Um in dieser Arbeit komplett fachlich korrekt zu bleiben, muss unterschieden werden zwischen dem Oberbegriff „Mikropartikel“ und „Mikrokapseln“. Weil die hier vorgestellten Partikel *keine* eindeutige Grenze zwischen „Wand“ und „Kern“ besitzen, werden sie im Verlauf der Arbeit als „Mikropartikel“, zwischenzeitlich auch als „Kugeln“ oder dessen Diminutiv bezeichnet.

5. Experimente zu Mikropartikeln

5.1 Herstellung von Carbonatpartikeln

Mit dem Wissen der ersten drei Kapitel dieser Ausarbeitung sind also alle Variablen festgelegt um im ersten Schritt einfache Kugeln mit Füllung herzustellen. Alle Abmaße waren in diesem Schritt unwichtig, da es um das Bekanntmachen mit den Materialien ging.

Experiment 1 – Natriumcarbonat in Gelatinekügelchen

Materialien: 6g Gelatine, 20g Wasser, 3g Natriumcarbonat, Paraffinöl (ca. 100-150ml), Ethanol (ca. 50ml), 2 Bechergläser, 1 Heizplatte, 2 Thermometer, 1 Magnetrührer und 2 Rührfische, Eisbad, Nutsche mit Filterpapier und Vakuumpumpe, 1 Spritze inkl. Aufsatz

Durchführung:

1. 6g Gelatine in 20g Wasser einweichen und auf 60°C erhitzen, mit einem Rührfisch umrühren.
2. 3g Natriumcarbonat zu der Gelatine geben
3. Paraffinöl auf der Heizplatte ebenfalls auf 60°C erhitzen.
4. Paraffinöl auf den Magnetrührer in ein Eisbad stellen; Rührfisch hinzugeben.

5. Mit der Spritze das Gelatine-Natriumcarbonat-Gemisch in das Paraffinöl geben.
6. Einige Minuten weiter umrühren (bis die Kügelchen stabil sind).
7. Nutsche bereitstellen, Vakuumpumpe anschließen, Filterpapier ansaugen lassen.
8. Wenn die Temperatur der Flüssigkeit unter 10°C und idealerweise 8°C beträgt, wird die Mischung in die Nutsche gegeben.
9. Mit Ethanol abspülen.
10. Kügelchen aushärten lassen.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 1.

Experiment 2 – Calciumcarbonat in Walratersatz

Materialien: Walratersatz, 1g Calciumcarbonat, Wasser (ca. 100-150ml), 2 Bechergläser, 1 Heizplatte, 2 Thermometer, 1 Magnetrührer und 2 Rührfische, Nutsche mit Filterpapier und Vakuumpumpe, 1 Spritze inkl. Aufsatz

Aufbau:



Abbildung 1 - Versuchsaufbau

Durchführung:

1. Wasser auf der Heizplatte auf 60°C erhitzen.
2. Walratersatz ebenfalls auf 60°C erhitzen; Rührfisch hinzugeben.
3. Wasser auf den Magnetrührer stellen; Rührfisch hinzugeben.
4. 1g Calciumcarbonat zu dem Walratersatz geben.
5. Mit der Spritze das Calciumcarbonat-Walratersatz-Gemisch in das Wasser geben.
6. Einige Minuten weiter umrühren (bis die Kügelchen stabil sind).
7. Nutsche bereitstellen, Vakuumpumpe anschließen, Filterpapier ansaugen lassen.
8. Wenn die Temperatur der Flüssigkeit unter 10°C und idealerweise 8°C beträgt, wird die Mischung in die Nutsche gegeben.
9. Kügelchen aushärten lassen.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 2.

Experiment 3 – Magnesiumcarbonat in Walratersatz

Materialien: Walratersatz, 0,5g Magnesiumcarbonat, Wasser (ca. 100-150ml), 2 Bechergläser, 1 Heizplatte, 2 Thermometer, 1 Magnetrührer und 2 Rührfische, Nutsche mit Filterpapier und Vakuumpumpe, 1 Spritze inkl. Aufsatz

Durchführung:

1. Wasser auf der Heizplatte auf 60°C erhitzen.
2. Walratersatz ebenfalls auf 60°C erhitzen; Rührfisch hinzugeben.
3. Wasser auf den Magnetrührer stellen; Rührfisch hinzugeben.
4. 0,5g Magnesiumcarbonat zu dem Walratersatz geben.
5. Mit der Spritze das Magnesiumcarbonat-Walratersatz-Gemisch in das Wasser geben.
6. Einige Minuten weiter umrühren (bis die Kügelchen stabil sind).
7. Nutsche bereitstellen, Vakuumpumpe anschließen, Filterpapier ansaugen lassen.
8. Wenn die Temperatur der Flüssigkeit unter 10°C und idealerweise 8°C beträgt, wird die Mischung in die Nutsche gegeben.
9. Kügelchen aushärten lassen.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 3

5.2 Untersuchung von Carbonatpartikeln

Bei der Untersuchung von Carbonatpartikeln galten vorrangig zwei Dinge; dass beim Erwärmen

- a) CO₂ entsteht und; dass
- b) CO₂ in ausreichender Menge entsteht um ein Feuer damit zu löschen oder zu verhindern.

Diese beiden Untersuchungsschritte wurden aufgeteilt; zunächst wurde die Entstehung von CO₂ bei Verbrennung der rohen Kügelchen untersucht. Die Menge des dabei entstehenden CO₂s ist zum gegebenen Zeitpunkt noch unwichtig. Die Kügelchen sollten verbrannt werden um somit zu prüfen, ob die Carbonate erfolgreich eingeschlossen wurden. Die Probe erfolgte durch eine Kalkwasserprobe, welche im nächsten Unterpunkt genauer beschrieben wird. Auf diese Probe folgte eine Kontrollprobe mit demselben Aufbau. Der Unterschied würde sein, dass statt Kalkwasser normales Wasser verwendet wird. Trübt sich dieses normale Wasser auch, könnte es sein, dass sich nur das Hüllenmaterial löst.

Bereits an diesem Punkt entschied sich, welcher Stoff der geeignetste für die Weiterverarbeitung ist. Nur dieser Stoff würde auf CO₂ in den Abgasen überprüft werden.

5.2.1 Experimente zu Carbonatpartikeln

Experiment 4 – Untersuchung von Calciumcarbonatpartikeln nach Entstehung von CO₂

Material: Becherglas (100ml), Dreifuß, Mineralfaserdrahtnetz, Bunsenbrenner, Streichhölzer, Schutzbrille, Reagenzglas mit Stopfen und integriertem, gebogenen Ableitrohr, Calciumcarbonatkügelchen des Experimentes 2, Kalkwasser, Reagenzglasklammer

Durchführung:

1. Stelle den Bunsenbrenner unter den Dreifuß und das Becherglas auf das Mineralfaserdrahtnetz. Bereite den Bunsenbrenner vor.
2. Lege die Kügelchen in das Reagenzglas, schließe dieses mit dem Stopfen durch welches das Ableitrohr geht.
3. Gieße genügend Kalkwasser in das Becherglas, sodass das Ableitrohr komfortabel im Wasser endet.
4. Entflamme den Bunsenbrenner in die rauschende Flamme und halte mit der Reagenzglasklammer das Ende des Reagenzglases mit den Kügelchen in die Flamme und das Ende des Ableitrohres in das Kalkwasser.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 4.

Experiment 5 – Untersuchung von Carbonatpartikeln nach Entstehung von CO₂, Absicherungsprobe

Material: Becherglas (100ml), Dreifuß, Mineralfaserdrahtnetz, Bunsenbrenner, Streichhölzer, Schutzbrille, Reagenzglas mit Stopfen und integriertem, gebogenen Ableitrohr, Walratsersatz, Wasser, Reagenzglasklammer

Durchführung:

1. Stelle den Bunsenbrenner unter den Dreifuß und das Becherglas auf das Mineralfaserdrahtnetz. Bereite den Bunsenbrenner vor.
2. Lege den Walratsersatz in das Reagenzglas, schließe dieses mit dem Stopfen durch welches das Ableitrohr geht.
3. Gieße genügend Wasser in das Becherglas, sodass das Ableitrohr komfortabel im Wasser endet.
4. Entflamme den Bunsenbrenner in die rauschende Flamme und halte mit der Reagenzglasklammer das Ende des Reagenzglases mit dem Walratsersatz in die Flamme und das Ende des Ableitrohres in das Wasser.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 5.

6. Experimente zu Epoxidharz

6.1 Was ist Epoxidharz?

Unter Epoxidharzen versteht man Kunstharze, die nach Zusammensetzung von Harz und Härter einen festen Kunststoff bilden. Dieser Kunststoff ist „duroplastisch, von hoher Festigkeit und chemischer Beständigkeit“⁶ sowie in diesem Falle nach ca. 48 Stunden ausgehärtet⁷. Beim Epoxidharzgießen muss unbedingt das Verhältnis 2:1 (Harz:Härter) eingehalten werden, ohne welches das Harz nicht vollständig aushärtet.

Folgende Experimente wurden beliebig oft nach selbem Schema mit denselben Abmaßen durchgeführt, je nach Bedarf an Platten. In keinem der Experimente wurde auf die Vermeidung von Luftblasen bei der Anmische geachtet. Meistens entwichen diese von selbst während der Trocknungszeiten.

6.2 Herstellung von Epoxidharzplatten

Experiment 6 – Herstellung einer Rohplatte

Material: Silikonform (8 cm x 7 cm), 20g Epoxidharz, 10g Härter, 2 Wegwerfschalen, Unterlage, Stab zum Wegwerfen, Einmalhandschuhe, Atemmaske (wenn auffindbar), Waage, Folienstift, Tuch, Wasser (Leitung), Seife

Durchführung:

1. Reinige die Silikonform mit einem Tuch, Wasser und Seife. Lege die Silikonform auf die Unterlage, die Handschuhe und Atemmaske an
2. Messe in einer Schale 20g Epoxidharz ab. Dieser Becher wird mit einem Stift als „Harz-Becher“ markiert
3. Messe mit der zweiten Schale 10g des Härters ab. Markiere diesen ebenfalls entsprechend.
4. Führen den Harz dem Härter hinzu. Rühre so lange um, bis die Flüssigkeit erst milchig und dann klar wird.
5. Schütte diese Masse in die Silikonform und lass eine Woche austrocknen.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 6.

6.3 Herstellung einer Epoxidharzplatte mit integrierten Carbonatkugeln

Um die Carbonatkugeln ordentlich in den Kunststoff einzubringen, muss in zwei Phasen gegossen werden. Zwei Mal 10g:5g, das erste Mal mit den Kügelchen; das zweite Mal ohne. Der Kunststoff dient beim zweiten Mal also nur als abdichtende Schicht. Dies liegt daran, dass die Carbonatkügelchen eine geringe Dichte als die Mischung zur Herstellung des Epoxidharzes haben und auf der Oberfläche „schwimmen“. Mit

⁶ Quelle 6 Epoxidharz, o. D.

⁷ Vgl. Experiment 6

einem Zweiphasenguss können so die Kügelchen direkt in die Mitte der Platte platziert werden.

Experiment 7 – Herstellung einer Platte mit Carbonatkugeln

Material: Silikonform (8 cm x 7 cm), 20g Epoxidharz, 10g Härter, 2 Wegwerfschalen, Unterlage, Stab zum Wegwerfen, Einmalhandschuhe, Atemmaske (wenn auffindbar), Waage, Folienstift, Tuch, Wasser (Leitung), Seife, 0,3g Carbonatkugeln

Aufbau:



Abbildung 2 – Versuchsaufbau



Abbildung 3 – Anrühren des Epoxidharzes



Abbildung 2 – Trocknen der Kügelchen

Durchführung:

1. Reinige die Silikonform mit einem Tuch, Wasser und Seife. Lege die Silikonform auf die Unterlage, die Handschuhe und Atemmaske an.
2. Messe in einer Schale 10g Epoxidharz ab. Dieser Becher wird mit einem Stift als „Harz-Becher“ markiert.
3. Messe mit der zweiten Schale 5g des Härters ab. Markiere diesen ebenfalls entsprechend.
4. Führe den Harz dem Härter hinzu. Rühre so lange um, bis die Flüssigkeit erst milchig und dann klar wird.
5. Füge dieser Flüssigkeit alle Carbonatkugeln vorsichtig zu und rühre weiter um.
6. Schütte diese Masse in die Silikonform und lass eine Woche austrocknen.
7. Komme nach einer Woche wieder und gieße die zweite Schicht. Mische dazu 10g Harz aus dem „Harz-Becher“ mit 5g Härter aus dem „Härter-Becher“ und gieße diese auf die bereits getrocknete Platte.
8. Lasse diese eine weitere Woche aushärten.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 7.

6.4 Untersuchung der Brennbarkeit von Epoxidharzplatten

Dieser Unterpunkt beschäftigt sich nun mit der zweiten CO₂ Überprüfung, welche in Kapitel 4 angeschnitten wurden. Diesmal wird überprüft, ob genügend CO₂ entsteht, um das Brandverhalten von Epoxidharz zu beeinflussen. Ausschlaggebende Daten waren hierbei Branddauer, Schweregrad des Brandverlaufes sowie Produkte der Oxidation. Dieses Ergebnis wurde aufgelegt gegen eine Verbrennung einer Rohplatte ohne Kügelchen.

Bevor die Platten verbrannt werden konnten, mussten sie zunächst abgemessen und gewogen werden, damit ein angemessener Vergleich hergestellt werden konnte. In der untenstehenden Tabelle kann beobachtet werden, dass obwohl fast gleiche Materialien in selber Silikonform verwendet wurden, deutliche Unterschiede in den Messungen zu erkennen sind. Ihr Ursprung ist nicht eindeutig geklärt. Mögliche Gründe sind jedoch Messfehler, schiefe Produktionen, aber auch andere Trocknungsverhältnisse. Temperatur sowie Druckunterschiede beeinflussen den Trocknungsprozess⁸. Weil einige Platten an anderen Standorten in anderen Räumen mit anderen Umgebungen entstanden sind, weisen sie eine andere Form und anderes Gewicht auf.

Die Tabelle zeigt ausschließlich Daten derer Platten, dessen Verbrennung ein verwendbares Ergebnis ergaben – in diesem Falle waren das nur zwei, weswegen beide Verbrennungen direkt miteinander vergleichbar und auf ihre Messwerte zurückzuführen sind.

	Rohplatte	Kugelplatte
Maße	7,5 Länge 5,4 Tiefe 0,5 Höhe	8cm Länge 5,5cm Tiefe 0,7cm Höhe
Volumen	20,25 cm ³	30,8 cm ³
Gewicht	23g	27g
Dichte	$\frac{23}{20,25} = 1.1358024691... \approx 1,1 \frac{g}{cm^3}$	$\frac{27}{30,8} = 0,87662337662... \approx 0,9 \frac{g}{cm^3}$

Die Experimente für das Verbrennen einer Rohplatte und die, für das Verbrennen einer Kugelplatte unterscheiden sich inhaltlich nicht. In der Ergebnisdiskussion werden sie

⁸ Vgl. Quelle 7 A How Long Does It Take Epoxy Resin To Dry?, 2021
Vgl. Quelle 7 B Einführung in die Arbeit mit Epoxidharz

unter „8) Verbrennung Roh“ und „9) Verbrennung Plus“ voneinander unterschieden. Alle Verbrennungen fanden ohne Feuchtigkeits- und Druckzugabe statt.

Experiment 8 und 9 – Verbrennen einer Rohplatte oder einer Platte mit integrierten Carbonatkugeln

Material: Dreifuß der Höhe ca. 24cm, Mineralfaserdrahtnetz, Bunsenbrenner, Schutzbrille, Abzug, Streichhölzer, Stoppuhr, Epoxidharzplatte

Durchführung:

1. Bereite den Abzug so vor, dass ein Bunsenbrenner unter dem Dreifuß steht, über welchem das Mineralfaserdrahtnetz liegt.
2. Lege die Platte, die verbrannt werden soll auf das Mineralfaserdrahtnetz.
3. Bereite die Stoppuhr vor.
4. Mache Lüftung und Licht des Abzugs an.
5. Zünde den Bunsenbrenner an, stelle ihn auf die rauschende Flamme und zentriere ihn korrekt, sodass er in der Mitte des Dreifußes steht.
6. Starte die Stoppuhr.

Beobachtung und Deutung: Siehe unter → Ergebnisse: Experiment 8 bzw. → Ergebnisse: Experiment 9.

7. Ergebnisse

	Experiment	Beobachtung
1)	Natriumcarbonat	- Sehr kleine, weiße Kügelchen entstehen.
2)	Calciumcarbonat	- Vermehrt große Kugeln entstehen.
3)	Magnesiumcarbonat	- Große Kugeln entstehen, vermehrt kleinere dazwischen.
4)	Kugelverbrennung	- Das Kalkwasser trübt sich.
5)	Absicherungsprobe	- Das Kalkwasser trübt sich nicht.
6)	Rohplatten	- Eine durchsichtige Epoxidharzplatte härtet aus.

		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Hinweis:</i> Hintergrund ausgewählt durch Sichtbarkeit der Durchsicht.  <p>Abbildung 5 – Rohplatte</p>
7)	Kugelplatten	<ul style="list-style-type: none"> - Eine weitgehend durchsichtige Epoxidharzplatte härtet aus.  <p>Abbildung 6 – Kugelplatte</p>
8)	Verbrennung Roh	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Nach 1 Minute:</i> leichte Krümmung, leichter Rauch. - <i>Nach 1:25 Minuten:</i> Braune Färbung mittig, starke Rauchbildung. - <i>Nach 2 Minuten:</i> Starke Braunfärbung, starke Krümmung, dann Entflammen. - <i>Nach 4:15 Minuten:</i> Brand erlischt langsam. - Zurück bleibt ein schwarzes Pulver bestehend aus den nicht verbrannten Überresten.
9)	Verbrennung Plus	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Nach 1:14 Minuten:</i> Rauch, Knacken. - <i>Nach 1:30 Minuten:</i> Braunfärbung. - <i>Nach 1:40 Minuten:</i> Epoxidharz entflammt, in der Mitte bildet sich eine Wölbung wie eine Kuppel aus. - <i>Nach ca. 2 Minuten:</i> Brandhöhepunkt.

		<p>Nach 3:40 Minuten: Wölbung geht zurück. Nach 4:20 Minuten: Brandende.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zurück bleibt durchlöchertes, dennoch stabiles, verkohltes Epoxidharz in blockform.
--	--	---

8. Ergebnisdiskussionen

	Experiment	Deutung
1)	Natriumcarbonat	<ul style="list-style-type: none"> - Bei der Verarbeitung von Natriumcarbonat zeigten sich keine besonderen Schwierigkeiten. <i>Einschätzung für Weiterverarbeitung:</i> Sehr gut. - <i>Einziges Problem, welches sich nach dem Trocknen herausstellte:</i> Die Kügelchen haften am Filterpapier. <i>Eventuelle Lösung:</i> Kügelchen vor Trocknung vom Filterpapier lösen. - <i>Warum gab es dann keine Platte mit Natriumcarbonatkugeln?</i> Es hätte eine gegeben, jedoch verklumpten alle Kugeln beim Herstellungsprozess. Der enge Zeitplan zum Ende des Jahres ließ keine Wiederholung des Versuches zu.
2)	Calciumcarbonat	<ul style="list-style-type: none"> - Die Verarbeitung lief erneut problemlos. Einziger Mangel war die Größe: Die Kugeln fallen nicht unter den Schirm „Mikro“-partikel. Stattdessen sind sie leicht zu Handhaben. <i>Einschätzung für Weiterverarbeitung:</i> Mittelmäßig. - <i>Warum wurde Calciumcarbonat trotzdem weiterverarbeitet?</i> Die Größe gab einen gewissen Vorteil in der Menge an Carbonat, welches zu CO₂ zerfallen würde. Dies wurde als Pluspunkt angesehen. Außerdem wurde es bevorzugt durch die Vertrautheit mit dem Material, Vorrat des Materials und guter Handhabung. Die Voraussetzung des „Mikros“ war hierbei zunächst zweitrangig. Siehe ebenfalls: Gründe, warum Natriumcarbonat nicht weiterverarbeitet wurde.
3)	Magnesiumcarbonat	<ul style="list-style-type: none"> - Bei der Herstellung von Magnesiumcarbonatpartikeln erschloss sich keine Schwierigkeit. <i>Einschätzung für Weiterverarbeitung:</i> Mittelmäßig, auf Grund von Größe.
4)	Kugelverbrennung	<ul style="list-style-type: none"> - Man kann daraus schließen, dass CO₂ bei Verbrennung von Calciumcarbonatpartikeln entsteht.
5)	Absicherungsprobe	<ul style="list-style-type: none"> - Experiment 4 liegt richtig, die Trübung wurde nicht ausgelöst durch verdampften Walratersatz. Mit den Kugeln kann weitergearbeitet werden.
6)	Rohplatten	<ul style="list-style-type: none"> - Das Epoxidharz lässt sich sehr gute verarbeiten. Die Platten sind schlagfest, robust, sehr klar (sieht Bild)

		<p>und sehr einfach hergestellt. Die meisten Luftblasen verpuffen im Trocknungsprozess, einige sind unten Rechts im Bild sichtbar.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Einziges Problem:</i> Zwei Phasenguss kostet eine ganze Woche Trocknungszeit. <i>Eventuelle Lösung:</i> Materialien periodisch mitnehmen und Platten zuhause gießen.
7)	Kugelplatten	<ul style="list-style-type: none"> - Wie Rohplatten sind sie ebenfalls sehr einfache zu verarbeiten. Die Kugeln sind leicht einzumischen, kein Zerdrücken während des Rührens und kein Zerkratzen beim Trocknen, Transportieren etc.
8)	Verbrennung Roh	<ul style="list-style-type: none"> - Das Material hält der Hitze lange stand, bevor es dann entflammt. Der Brandhöhepunkt ist spät erreicht. - <i>Vermutung bestätigt:</i> Epoxidharz ist leicht entflammbar.
9)	Verbrennung Plus	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Bestätigte Hypothese:</i> Das Beisetzen von Kügelchen, die bei hohen Temperaturen zu CO₂ zerfallen, verändert den Brandverlauf einer Epoxidharzplatte. - Das Epoxidharz mit Kügelchen ist wider Erwarten leichter entflammbar, um ca. 20 Sekunden, als die Rohplatte. - Anzumerken ist, dass das Epoxidharz mit Kügelchen ein sehr abruptes Brandende erlebte. Fast so, als hätte jemand einen Lichtschalter ausgeschaltet. - <i>Mögliche Theorien:</i> Alle Kügelchen, die in der Mitte ansässig waren gingen auf einmal auf und trugen zum Löschen des Brandes bei. - <i>Unbestätigte Vermutungen:</i> Die Beisetzung macht die Platte nicht hitzeresistenter und trägt auch nicht dazu bei, dass die Platte nicht entflammt. Im Gegenteil: Die Kugelplatte entflammt schneller. - <i>Mögliche Behebungen der Fehler:</i> Auf andere Verteilung der Kugeln in Epoxidharz achten, andere Kügelchen in anderen Stoffen eventuell mit anderen Herstellungsverfahren ausprobieren, auf Kern-/Hülletrennung wieder achten, Kugeln in einer dicken Schicht auf einer Seite anbringen (dafür muss die Verbrennmethode verändert werden) - <i>Anmerkung:</i> Messdatenanzahl ist unzureichend, weitere Versuche wären wünschenswert.

9. Fazit

Was passierte in diesem Projekt? Gehen wir nochmal an den Anfang zurück. Zunächst wurde aus dem Experiment der TU Dortmund ein Herstellungsverfahren für Mikrokapselfen in unpolaren Hüllenmaterialien und später ein Herstellungsverfahren für

Mikropartikel ohne Kern-/Hüllentrennung extrahiert. Mit diesem wurden experimentelle Mikropartikel geschaffen. Eine Sorte wurde davon gründlich auf seine Abgase überprüft, wonach sie in eine Epoxidharzplatte eingeschlossen worden sind und verbrannt worden. Mit den daraus resultierenden Messdaten, können wir die zu Anfang gestellte Hypothese mit Einschränkungen bestätigen. Der Brandverlauf ändert sich, indem sich Brandhöhepunkt, Brandende und auch der Entflammzeitpunkt voneinander unterscheiden. Um jedoch eine greifbare Auswirkung damit hervorzurufen, muss noch einiges geschehen.

Zukünftige Ziele wie die schnellere Verbrennung zur Herstellung einer Brandschneise oder die komplette Hitzeresistenz zur einen „Schutzschild“ an Kügelchen wären denkbar. Es muss im Blick behalten werden, wo die Kugeln eingesetzt werden: Plastikbehälter für leicht entflammbare Flüssigkeiten. Bis jetzt schützen die hergestellten Kügelchen noch keine Flüssigkeit vor einem Brand.

Letzten Endes kann ich allerdings sagen, dass ich zumindest einen Schritt weiter im Verstehen von Brandschutz durch Mikropartikel (und Mikrokapseln) bin. Vielleicht nützen meine Kügelchen momentan noch keinem, aber mit dem Wissen, welches ich aus dem Projekt schöpfte, könnte theoretisch an weitere Experimente angeknüpft werden.

Außerdem finde ich, sollte hervorgehoben werden, dass das momentane Projekt nur ein halbes Jahr lang existierte. Grund dafür war der Lockdown im ersten Halbjahr. Dafür, denke ich, habe ich sehr viel geschafft.

Das Endergebnis ist zwar so noch nicht sehr zufriedenstellend, doch im Anbetracht aller Tatsachen bin ich bereits froh einen abschließenden Satz fassen zu können und behaupten zu können, dass ich mich mit meinem Projekt in großer Tiefe befasst habe. Ob das Projekt mit mir eine Zukunft hat, ist nicht gesichert.

10. Die Unterstützer*innen

Ich bedanke mich bei meinen Unterstützer*innen herzlich für jegliche Hilfeleistungen des vergangenen halben Jahres. Dazu zählen besonders mein Projektbetreuer Herr Schindler, der die AG leitet, und alle Mitforschenden, die sich zu AG-Zeiten im Chemieraum befanden.

11. Quellenangaben, Literaturverzeichnis

Bilderquellen

Alle Photographien wurden von mir eigens angefertigt. Ich halte das Urheberrecht auf diese.

Literaturquellen

Quelle 01

GESTS: Natriumcarbonat, in: GESTIS-Stoffdatenbank, o. D., <https://gestis.dguv.de/data?name=490211> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 02

GESTS: Kaliumcarbonat, in: GESTIS-Stoffdatenbank, o. D., <https://gestis.dguv.de/data?name=002070> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 03

GESTS: Calciumcarbonat, in: GESTIS-Stoffdatenbank, o. D., <https://gestis.dguv.de/data?name=001650> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 04

GESTS: Magnesiumcarbonat, in: GESTIS-Stoffdatenbank, o. D., <https://gestis.dguv.de/data?name=002610> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 05 A

TU-Dortmund: Herstellung von Mikrokapseln, in: Datenbank der TU-Dortmund, o. D., <https://www.tb.bci.tu-dortmund.de/Pharmaceutical%20Bio-Engineering/Herstellung%20von%20Mikrokapseln.pdf> (abgerufen am 10.01.2022)

Quelle 05 B

Flegler, Florian/Frank Antwerpes/Bijan Fink: Mikropartikel, in DocCheck Flexikon, 2019, <https://flexikon.doccheck.com/de/Mikropartikel> (abgerufen am 10.01.2022)

Quelle 05 C

Mikroverkapselung: in: Chempagedia, o. D., <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/16/tc/microcaps/microcaps.vlu.html> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 06

Epoxidharz: in: Chemie.de, o. D., <https://www.chemie.de/lexikon/Epoxidharz.html> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 07 A

How Long Does It Take Epoxy Resin To Dry?: in: RoxyEpoxy, 2021, <https://roxyepoxy.com/blogs/news/how-long-does-it-take-epoxy-resin-to-dry> (abgerufen am 10.01.2022).

Quelle 07 B

Einführung in die Arbeit mit Epoxidharz: in: BERGERBOOTE, o. D., <https://www.bergerboote.de/post/einf%C3%BChrung-in-die-arbeit-mit-epoxidharz> (abgerufen am 10.01.2022).