

Acrylglassynthese

Herstellung von farbigem Kunststoff
mit eigenem Farbstoff aus Vanille-Aroma

Jax Tibert

Erarbeitet in der FEBB

Betreut von Markus Will

Jugend Forscht Bremen, 2026

Projektüberblick

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Synthese von farbigen Acrylglas und eines geeigneten Farbstoffes. Das Projekt ist aus einem gescheiterten Versuch im Unterricht entstanden, bei dem es nicht gelungen ist, transparenten Kunststoff herzustellen. Nachdem dieser Versuch gescheitert war, habe ich für inzwischen mehr als ein Jahr daran gearbeitet, die Probleme zu beheben und zusätzlich Kunststoff in verschiedenen Farben herzustellen.

Das eigentliche Ziel der Forschungen ist mit der Herstellung von einfachem Acrylglas schon längst erfüllt gewesen, aber das Projekt ist immer weiter gewachsen, mit dem inoffiziellen Ziel, in der Zukunft Kunststoff in allen Farben des Regenbogens herstellen zu können. Dieses Ziel hat das Projekt von der einfachen Synthese von Plastik zur Untersuchung von Farbstoffen und zur Herstellung von Farbstoff aus Vanillin (Vanille-Aroma) geführt.

Genutzte Abkürzungen

PMMA	Polymethylmethacrylat
MMA	Methacrylsäuremethylester/Methylmethacrylat
DBPO	Dibenzoylperoxid
Rührfisch	Magnetrührstäbchen

Inhaltsverzeichnis

1	Fachliche Kurzfassung	3
2	Motivation	3
3	Hintergrund und theoretische Grundlagen	4
3.1	Über den Stoff	4
3.2	Mechanismus	4
4	Forschung	5
4.1	Methoden, Vorgehensweisen und Materialien	6
4.1.1	Polymerisation	6
4.1.2	Färben	6
4.1.3	Vanillin und Vanillin-Farbstoff	7
4.2	Ergebnisse	8
4.2.1	Polymerisation	8
4.2.2	Färben	9
4.2.3	Vanillin und Vanillin-Farbstoff	10
4.3	Ergebnisdiskussion	11
5	Fazit und Ausblick	12
6	Quellen	14

1 Fachliche Kurzfassung

Das Projekt befasst sich in mehreren Abschnitten mit der Erforschung der Synthese Acrylglases und dessen Färbung während der Synthese. Am Anfang der Forschung stand das Problem der überschüssigen Energie, die bei der Polymerisation entsteht und zum Sieden des MMA geführt hat bevor die Polymerisation vollständig abgeschlossen war. Das hat zu einem unschönen Schaum geführt, der zwar festes Polymer war, aber nicht das gewünschte Produkt.

Nachdem dieses Problem mit Hilfe eines Wärmebades, in dem die Polymerisation unter kontrollierten Bedingungen ablaufen kann, gelöst wurde, gab es das neue Ziel, farbiges Acrylglas herzustellen. Dafür wurde das genutzte Monomer mit verschiedenen Zusatzstoffen versetzt, um ihren Einfluss auf die Polymerisation zu untersuchen.

Einer der genutzten Zusatzstoffe war Vanillin, welches scheinbar eine Reaktion mit dem Radikalstarter eingeht und so die Polymerisation verhindert. Um dieses Problem, welches bei anderen Zusatzstoffen auch gut möglich ist, zu beheben, wurde ein Prozess entwickelt, der einen Zusatzstoff vor der Polymerisation mit dem Radikalstarter reagieren lässt. Das Ergebnis dieses Prozesses mit Vanillin ist ein gelb-oranger Farbstoff, mit dem es möglich ist, MMA (das Monomer) zu färben und so klaren, orangenen Kunststoff herzustellen.

2 Motivation

Im Chemie Unterricht wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem in einem Reagenzglas eine kleine Menge PMMA hergestellt werden sollte. Bei der Durchführung des Versuches lief einiges anders als geplant: Die Wartezeit, bis sich der Stoff im Reagenzglas sichtbar veränderte, war sehr lang, und selbst nachdem sich die ersten Blasen in der Mitte des Glases gebildet hatten, lief der Prozess nur sehr langsam. Nach weiterem Erhitzen des Wasserbades, in dem das Reagenzglas stand, fing die Reaktion plötzlich an, sehr schnell zu laufen und innerhalb von wenigen Minuten eine weiße, Schaumartige Substanz zu bilden, die fest und zerbrechlich war. Dieser Schaum ist auf *Abbildung 1* zu sehen.



Abbildung 1: PMMA Schaum

Nach diesem unerwarteten Ergebnis ist die Frage aufgekommen, wie es möglich ist, das Produkt zu verbessern. Dieser Punkt war der Beginn der Forschung, die im folgenden Jahr die Grundlagen der Herstellung von PMMA, aber auch einige Details im Bereich des Färbens des Produktes neu erforschen sollte.

Ein wichtiger Reiz, der zur weiteren Entwicklung der Methoden geführt hat, war zu jeder Zeit der Forschung der, dass es sich um die Grundlagen eines Produktes handelt, welches heutzutage zwar auf der ganzen Welt in großen Mengen und in vielen Bereichen genutzt wird, allerdings im Detail nur wenigen bekannt ist. Nach einiger Zeit der Forschung ist klar geworden, dass selbige für die „P5-Arbeit“, die in Bremen alle Schüler*innen für ihr Abitur schreiben müssen, als Thema dienen sollte, wo sie mit dem Fach Kunst verbunden wurde. Diese Verbindung hat auch nach Abschluss der Projektarbeit die Forschung stark beeinflusst und sie in die Richtung der Farbstoffe gebracht, die Grundlage für die meisten Künstlerischen Nutzungen des Stoffes sind.

3 Hintergrund und theoretische Grundlagen

3.1 Über den Stoff

Polymethylmethacrylat, PMMA, Polymethacrylester oder Acrylglas ist ein Thermoplast, der durch eine radikalische Polymerisation hergestellt wird.^[1] Der Stoff wird heutzutage an vielen verschiedenen Stellen genutzt, wie unter anderen in der Kunst, Medizin oder Architektur. Ursprünglich entwickelt wurde PMMA von Dr. Otto Röhm, der es 1933 unter dem Markennamen PLEXIGLAS[®] registriert hat. Seine Firma verkauft Acrylglas bis heute unter diesem Markennamen.^[2]

3.2 Mechanismus

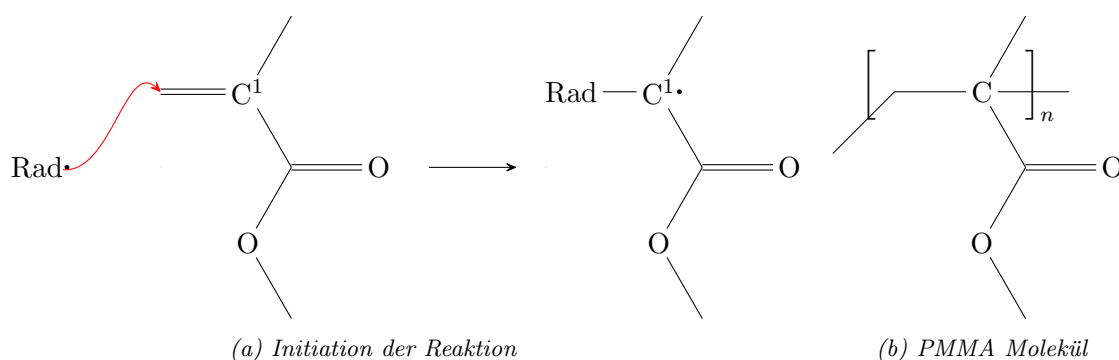


Abbildung 2: PMMA Synthese

Polymethylmethacrylat wird durch eine radikalische Polymerisation hergestellt. Für eine solche Reaktion sind im Wesentlichen zwei Stoffe nötig: ein Monomer und ein Radikalstarter. Zur Synthese von PMMA wird als Monomer Methacrylsäuremethylester und als Radikalstarter Dibenzoylperoxid genutzt. Der Zweck des Radikalstarters ist es, die MMA Moleküle anzugreifen

^[1]Otto Schwarz, Friedrich-Wolfhard Ebling, Frank Richter (2016). *Kunststoffkunde*. 10. Aufl. Vogel Business Media. ISBN: 978-3-8343-3366-7, S. 102–104.

^[2]Vera Koester (2023). *A Short History of PLEXIGLAS[®]*. URL: <https://www.chemistryviews.org/a-short-history-of-plexiglas/>. aufgerufen: 23.1.2026.

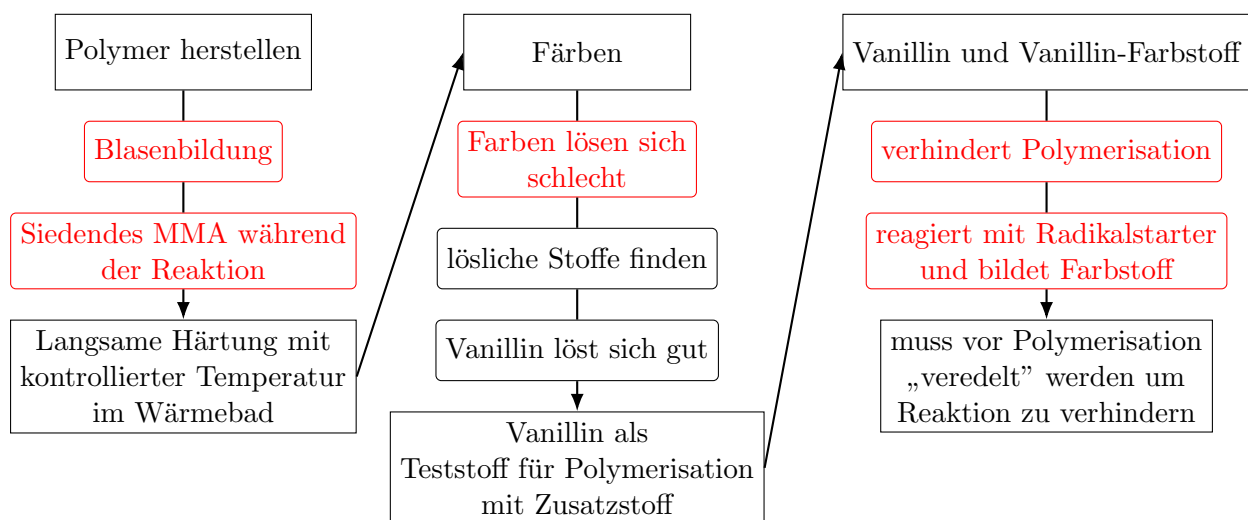
und dabei eine Kettenreaktion zu starten, bei der das angegriffene Molekül selbst zum Radikal wird und ein weiteres MMA Molekül angreift. Damit der Radikalstarter zu Radikalen wird, muss er aktiviert werden; bei DBPO wird das mit Wärme gemacht. Ein Molekül spaltet sich dabei in zwei Radikale.

In *Abbildung 2a* greift ein Radikal (*Rad*) eines der C-Atome des MMA Moleküls (Monomers) an, wodurch die Doppelbindung gespalten und das Molekül zum Radikal wird. Dieses neue, größere Radikal wird im Folgenden ein weiteres MMA Molekül angreifen, wodurch es wieder an Größe zunimmt. Einmal durch ein Radikal in Gang gesetzt, wiederholt sich diese Reaktion weiter, bis die sogenannte “Abbruchreaktion” stattfindet, bei der zwei Radikale aufeinander treffen und so ein stabiles Molekül bilden.

In *Abbildung 2b* ist die Repetiereinheit des PMMA-Moleküls abgebildet. Die Menge dieser Repetiereinheiten innerhalb eines PMMA-Moleküls ist nicht genau bestimmbar, da die Reaktion nicht vollständig kontrollierbar abläuft.^[3] Somit sind auch die genauen Stoffeigenschaften, wie beispielsweise der Schmelzpunkt, nicht genau bestimmbar und immer etwas unterschiedlich.

4 Forschung

Die Forschung für diese Arbeit hat sich mit der Zeit weiter entwickelt und hat sich so in verschiedene Richtungen bewegt, die in *Abbildung 3* dargestellt sind und im Folgenden nach diesem Schema behandelt werden.



*Abbildung 3: Forschungsverlauf in mehreren Forschungszweigen;
rot gefärbt sind Probleme*

Jeder Schritt besteht aus weiteren kleineren Schritten und Versuchen, weswegen das Diagramm keine direkte Repräsentation des Textes ist, sondern nur als grobe Orientierung dienen soll.

^[3]Schwarz/Ebling/Richter 2016, S. 26.

4.1 Methoden, Vorgehensweisen und Materialien

NB. sind einige Mengenangaben von MMA bei frühen versuchen ursprünglich in Gramm und nicht in Millilitern angegeben. Da es sich um eine Flüssigkeit handelt, sind diese im folgenden für bessere Vergleichbarkeit in Milliliter umgerechnet worden ($\rho = 0.9337\text{g/cm}^3$ ^[4]), während die originalen Angaben eingeklammert dahinter stehen.

4.1.1 Polymerisation

Um den Siedepunkt des MMA nicht zu überschreiten darf nicht zu viel externe Energie dazu gegeben werden. Zum Erreichen dieses Ziels wird die Probe (mit einer auf MMA basieren Lösung mit DBPO und optionalen anderen Zusatzstoffen) in einem verstopften Reagenzglas in ein Wärmebad bei ca. 50°C abgestellt. Nach ca. 24 Stunden wird die Probe vollständig gehärtet aus dem Wärmebad entfernt. Die genaue Zeit für die Polymerisation ist nicht bekannt, da alle Versuche in regulären Schulwochen durchgeführt wurden und so keine Möglichkeit bestand, einen Versuch über mehrere Stunden zu beobachten.

Wichtig für eine Polymerisation ohne Blasenbildung ist die Beachtung des Siedepunktes des MMA (100.5°C^[5]), der zum verdampfen von selbigen führen kann. Der Versuchsaufbau bestand aus einem Reagenzglas mit 0.3g DBPO in ca. 13.2ml (12.29g) MMA, das zunächst in einem Wasserbad auf ca. 85°C erhitzt wurde. Zum Vergleich wurde ein Reagenzglas mit Wasser im selben Wärmeband erhitzt. Im folgenden Schritt sind beide Gläser, nachdem sich erste Blasen in der Probe gebildet hatten, in einen Reagenzglas-Ständer überführt worden, wo, mit Hilfe einer Wärmebildkamera (Fluke Ti27), regelmäßig die Höchsttemperatur der Probe und die Temperatur des Wassers gemessen wurden.

4.1.2 Färben

Da MMA sowohl polare als auch unpolare Bereiche hat, wurden in ersten Versuchen das fettlösliche Sudan III (Sudanrot) und das wasserlösliche Cochenillerot A als Farbstoffe verwendet. Drei Proben mit jeweils 7ml MMA und 0,2g DBPO wurden vorbereitet. In eine der Proben wurde eine kleine Spatelspitze Sudanrot bzw. Cochenillerot gegeben. Die dritte Probe wurde als Kontrolle nicht weiter Verändert. Alle Proben wurden, wie in *Abschnitt 4.1.1* beschrieben, im Wärmebad gehärtet. Der gleiche Versuch wurde im folgenden mit Indigo und Fluorescein wiederholt.

^[4]National Center for Biotechnology Information (2026b). *Methyl Methacrylate*. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-methacrylate>. aufgerufen: 10.I.2026.

^[5]National Center for Biotechnology Information 2026b.

Um Polymerisation mit einen gut löslichen Stoff zu testen, wurde, anhand der Strukturformel, Vanillin als möglicher Zusatzstoff ausgesucht. Um die einfache Polymerisation mit Zusatzstoff zu testen wurden zwei Proben mit jeweils 2ml MMA und 0.1g DBPO vorbereitet. Eine der Proben wird mit einer kleinen Menge Vanillin angereichert. Die Härtung wurde wie oben beschrieben durchgeführt.

Um zu prüfen, ob sich Zusatzstoffe bei höheren Temperaturen besser in MMA lösen, wurden drei Proben mit je 2ml MMA und 0.1g DBPO in einem Wasserbad auf ca. 80°C erhitzt. Nach augenscheinlichem Beginn der Reaktion wurden in zwei der Proben Indigo oder Vanillin gegeben. Die letzte Probe blieb als Kontrolle unverändert. Nach wenigen Minuten im Wasserbad bei bis zu 85°C wurden alle Proben im Wärmebad gehärtet.

4.1.3 Vanillin und Vanillin-Farbstoff

Um eine Reaktion von Vanillin mit DBPO an Stelle der Polymerisation zu verhindern, ist es nötig, Vanillin vorher reagieren zu lassen. Diesen Prozess nenne ich, angelehnt an Begriffe üblich bei der Oxydation von Metallen, „Veredelung“. Für die Veredelung wird ein einfacher Versuchsaufbau verwendet, bei dem ein Rundkolben mit Magnetrührer, der in einem Heizpilz steht, mit einem Liebigkühler an einen weiteren Kolben angeschlossen ist.

Ein vergleichbarer Aufbau ist auf *Abbildung 4* zu sehen. Im Kolben mit Rührer ist eine Lösung von DBPO und dem zu veredelnden Zusatzstoff in einem passenden Lösemittel aufgelöst. Diese Lösung wird erst auf eine mittlere Temperatur erhitzt, um die Reaktion von DBPO und dem Zusatzstoff zu ermöglichen, ohne das Lösemittel zu verdampfen. Wenn die Reaktion augenscheinlich abgeschlossen ist, was daran gesehen werden kann, dass keine weitere Farbveränderung stattfindet,

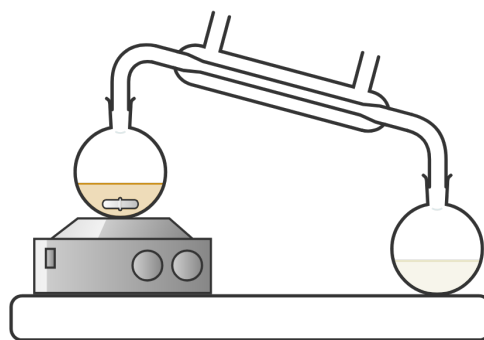


Abbildung 4: Veredelung von Zusatzstoffen

wird die Temperatur erhöht, um so viel Lösemittel wie möglich durch den Kühler abdampfen zu lassen. Das Abdampfen wird beendet, wenn eine konzentrierte Lösung vorhanden ist, um die mögliche Verbrennung des Produktes zu verhindern. Das übrige Lösemittel wird im zweiten Kolben für weitere Untersuchungen aufgefangen.

Um das erste Mal Vanillin zu veredeln und so den gelben Farbstoff zu bekommen, wurde zuerst eine Lösung von 2.5g Vanillin und 4g DBPO in 50ml Benzylalkohol angesetzt. Benzylalkohol

wurde hier verwendet, weil es einerseits beide Feststoffe gut löst und weil es, andererseits, einen hohen Siedepunkt ($205.3^{\circ}\text{C}^{[6]}$) hat, der das Verdampfen vor Abschluss der Reaktion verhindert.

Um zu prüfen, ob der Farbstoff, der zuvor aus Vanillin und DBPO hergestellt wurde, für die Zugabe als Zusatzstoff in PMMA geeignet ist, wurde eine Lösung aus 5ml MMA, 0.2g DBPO und einem Tropfen der konzentrierten Farbstofflösung in Benzylalkohol hergestellt. Diese Lösung wurde zusammen mit einer gleichwertigen Kontroll-Probe bei 55°C nach der in *Abschnitt 4.1.1* erklärten Methode für etwa 24 Stunden gehärtet.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Polymerisation

Wärmeentwicklung

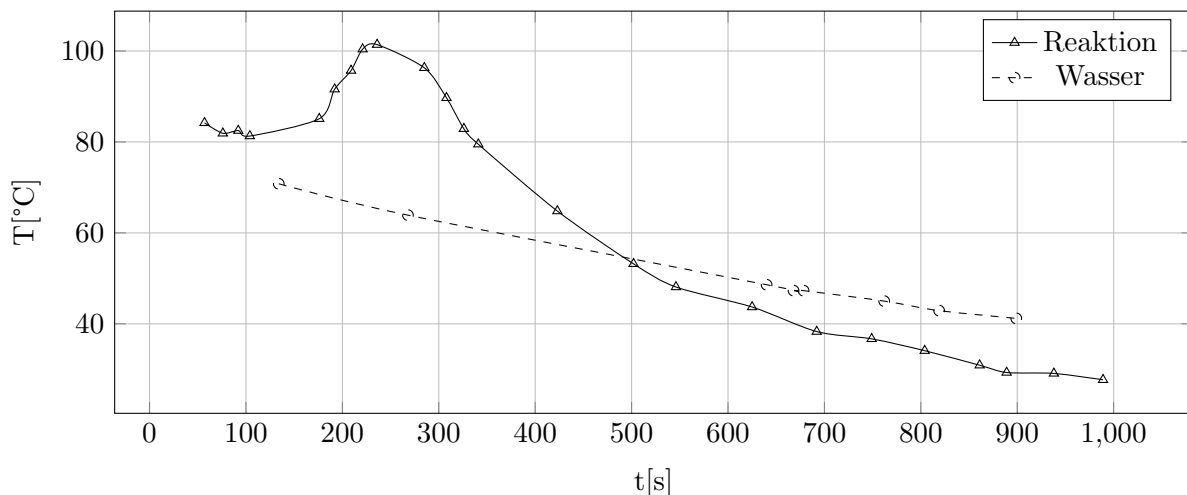


Abbildung 5: Wärmemessungen von laufender Reaktion und abkühlendem Wasser

Die Messungen der Wärmeentwicklung während der Reaktion haben ergeben, dass mit Sicherheit eine exotherme Reaktion stattfindet und, dass der Siedepunkt des MMA überschritten wird. Mit einer gemessenen Höchsttemperatur der Reaktion von 101.4°C ist der Siedepunkt von MMA um fast 1°C überschritten. Außerdem ist die Temperatur deutlich über der, die das Wasserbad hatte ($\sim 85^{\circ}\text{C}$), was bestätigt, dass die Energie aus der Reaktion selbst kommt.

Auf *Abbildung 5* ist die Entwicklung der Temperatur der Reaktion verglichen mit abkühlendem Wasser zu sehen. Ein interessantes Detail, welches auf der Abbildung zu sehen ist, ist, dass die Wärmeentwicklung nach kurzer Zeit wieder absinkt. Das lässt sich damit erklären, dass der größte Teil der Reaktion bei ca. 220 Sekunden, wo der Hochpunkt der Temperaturen liegt, abgeschlossen

^[6]National Center for Biotechnology Information (2026a). *Benzyl Alcohol*. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzyl-Alcohol>. aufgerufen: 17.1.2026.

ist.

Härtung im Wärmebad

Die zuvor erklärte Vorgehensweise zur kontrollierten Polymerisation im Wärmebad hat sich, nach Kalibrieren der Temperatur, als sehr zuverlässig und zufriedenstellend herausgestellt. Die Ergebnisse der Härtungen sind bei einer Wassertemperatur von 50°C in der Regel frei von Blasen und somit völlig klar, ohne sichtbare Verzerrungen.

Durch die Variation der Temperatur konnte mit der Zeit auch festgestellt werden, dass die Temperatur, die DBPO zum spalten braucht, mit 50°C erreicht ist und, dass es bei geringeren Temperaturen von beispielsweise 35°C nicht zu einer Spaltung in Radikale kommt. Diese Beobachtungen sind bei späteren Versuchen, besonders bei der Synthese von Farbstoff aus Vanillin (4.2.3), noch relevant, da sie die Mindesttemperatur, die DBPO als Radikalstarter braucht grob bestimmen.

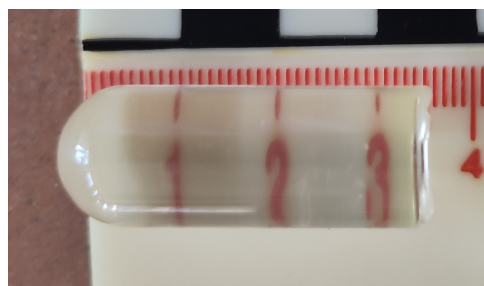


Abbildung 6: Acrylglas

Auf *Abbildung 6* ist ein gutes Beispielprodukt, welches im Wärmebad gehärtet wurde, zusehen.

4.2.2 Färben

Stoff	Löslich	Löslich nach Härtung	Reagiert	Härtet
Sudan III	x	x		x
Cochenillerot A				x
Indigo		x	x	x
Fluorescein	x	x		x
Vanillin	x	x	x	

Abbildung 7: Löslichkeiten von Zusatzstoffen

In den oben genannten Versuchen sind verschiedene Zusatzstoffe verwendet worden, um zu prüfen, welche Stoffe sich in MMA lösen oder ein gefärbtes Polymer ergeben. *Abbildung 7* fasst die wesentlichen Ergebnisse dieser Versuche zusammen. Die Spalten, von links nach rechts, beinhalten die Löslichkeit im MMA, ob die Stoffe nach dem Wärmebad gelöst sind, ob die Stoffe sich sichtbar verändert haben, also mit anderen reagiert haben, und zuletzt, ob die Probe hart geworden ist.

Bemerkenswert ist, dass die Probe mit Sudan III etwas länger gebraucht hat, um zu polymerisieren. Besonders interessant für die folgende Forschung waren hier allerdings die Stoffe, die reagiert haben oder die Reaktion aufgehalten haben. Einer dieser Aspekte trifft auf Indigo zu, welches sich im MMA bei ausreichend Temperatur, auch ohne DBPO, rot färbt, was auf eine

Reaktion mit dem Monomer hinweist. In der weiteren Forschung wurde aber mehr auf Vanillin geachtet, da dieses die Polymerisation aufhält und gleichzeitig einen gelb-orangen Farbstoff bildet. Die aufgehaltene Polymerisation äußert sich hier nicht dadurch, dass die gesamte Probe flüssig ist, sondern dadurch, dass der untere Teil der Probe fest ist und der obere Teil auch nach mehreren Tagen im Wärmebad nur sehr viskos wird. Zwischen der festen- und flüssigen Phase ist bei diesen Proben eine harte Grenze zu sehen, an der sich das Licht bricht. Die Vermutung hier ist, dass Vanillin mit DBPO reagiert; diese wird in *Abschnitt 4.2.3* weiter behandelt.

4.2.3 Vanillin und Vanillin-Farbstoff

Farbstoff Synthese

Bisher gab es zu diesem Teil der Forschung die Vermutung, dass Vanillin mit DBPO reagiert und so nicht ausreichend Radikale für eine vollständige Polymerisation vorhanden sind.

Um diese Vermutung zu prüfen, wurde versucht, wie in *Abschnitt 4.1.3* beschrieben, eine kleine Menge des gelben Farbstoffes ohne MMA herzustellen. Auf *Abbildung 8* ist die deutlich orangene Färbung der Lösung sichtbar, während sie bei etwa $\frac{3}{4}$ der Laufzeit des Versuches ist. Diese, erst leicht gelbe Färbung, war der erste Indikator dafür, dass der Versuch das gewünschte Ergebnis hat. Das Ergebnis des Versuches war eine sehr viskose Lösung auf Basis von Benzylalkohol, in der augenscheinlich eine hohe Konzentration des gelben Farbstoffes vorhanden war, wodurch die Lösung als dunkel-braun erschien. Die genaue Ausbeute oder Konzentration der Lösung konnte hier nicht festgestellt werden, da es mit verschiedenen



Abbildung 8: Synthese des Farbstoffes

Lösungsansätzen nicht gelungen ist, den Farbstoff als Feststoff aus dem Alkohol zu isolieren, da dieser einen zu hohen Siedepunkt für die meisten üblichen Methoden hat. Durch die Abwesenheit von MMA konnte hier auch bestätigt werden, dass der gelbe Farbstoff unabhängig von selbigen entsteht.

Das Destillat dieses Versuches hatte einige Auffälligkeiten: Einerseits hatte die aufgefangene Flüssigkeit einen deutlichen Gelbstich, was vermuten lässt, dass eine verhältnismäßig kleine Menge des hergestellten Farbstoffes mit dem Dampf des Alkohols transportiert wurde. Andererseits fällt auf, dass eine kleine Menge an Wasser entstanden ist, welches mit Watesmo-Papier nachgewiesen wurde. Diese Beobachtung weist darauf hin, dass es sich bei der Reaktion, die zum Farbstoff führt um eine Kondensation handelt, was bei der Bestimmung des Farbstoffes eine wichtige Information

sein kann. Dass die Kondensationsreaktion zwischen dem Benzylalkohol und einem anderen Stoff stattfindet ist allerdings auch eine Möglichkeit, die wiederum dadurch unwahrscheinlich wird, dass bei dem gleichen Versuch mit Ethylacetat anstelle des Benzylalkohols auch Wasser als Nebenprodukt entsteht. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Hydroxy-Gruppen zweier Vanillin-Moleküle miteinander reagieren und so das Wasser entstehen lassen.

Farbiger Kunststoff

Um die Hypothese zu prüfen, dass der zuvor hergestellte Farbstoff tatsächlich „veredelt“ ist und so die Reaktion zu PMMA nicht mehr aufhält, wurde Kunststoff mit einer kleinen Menge der Farbstofflösung hergestellt. Auf *Abbildung 9* ist das gewonnene Plastik zu sehen. Der Kunststoff ist, in der erwarteten Zeit von ca. 24 Stunden, vollständig ausgehärtet.

Die auf der oberen Abbildung auffälligen Blasen sind vermutlich der zu hohen Temperatur des Wärmebades zuzuordnen, die für diesen Versuch bei etwa 55°C lag. Bei einer Wiederholung des Versuches ist herausgekommen, dass die große Menge an Blasen mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die zu hohe Hitze entstanden ist. Allerdings sind, durch die hohe Klarheit des zweiten Produktes, einige kleinere Blasen mit Durchmessern von etwa 0.5mm zu sehen, die vermutlich durch den zugefügten Benzylalkohol entstanden sind. Auf *Abbildung 9* ist im unteren Bereich das zweite Stück PMMA zu sehen, welches keine größeren Blasen zeigt.



Abbildung 9: Orangenes PMMA

Bei anderen Versuchen mit Benzylalkohol in der MMA/DBPO-Lösung ist herausgekommen, dass sich selbiger Alkohol zwar homogen mit MMA mischt, sich aber während der Polymerisation in Blasen innerhalb des Kunststoffes absetzt.

Nebenergebnisse dieses Versuches bestätigen, dass die Konzentration der Farbe in der zuvor gewonnenen Lösung hoch genug ist, um etwa 5ml farbloser Flüssigkeit mit einem Tropfen zu färben, während die Konzentration aber nicht annähernd so hoch ist, wie bei einem reinen Feststoff mit einem vergleichbaren Volumen. Zusätzlich ist klar geworden, dass eine kleine Menge des Benzylalkohols in der Monomer-Lösung sich nicht negativ auf die äußere Qualität des Kunststoffes auswirkt und die Polymerisation nicht aufhält, während allerdings keine weiteren Messungen des Verhaltens des Produktes gemacht wurden.

4.3 Ergebnisdiskussion

Die Forschung an diesem Projekt hat ein paar große Hürden aufgeworfen, aber am Ende ist ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis entstanden. Wie bei einer Zwiebel haben sich die Schichten des Projektes nacheinander aufgebaut, wobei immer neue Probleme aufgekommen sind, die gelöst werden sollten.

Die besten Endergebnisse sind im wesentlichen ein Prozess, mit dem erstens, zuverlässig eine kleine Probe an Acrylglas hergestellt werden kann und zweitens, eine Methode um Zusatzstoffe für ein Polymer, welches von Radikalen abhängig ist, zu veredeln. Wichtig ist hier, dass diese Methode noch nicht mit anderen Zusatzstoffen getestet wurde, was zum Teil auch daran liegt, dass mir bisher kein anderer Zusatzstoff bekannt ist, der die Polymerisation auf die gleiche Weise aufhält.

Mit den Ergebnissen der Forschung sind auch weitere neue Forschungsansätze sichtbar geworden, die in der Zukunft weiter erforscht werden könnten. Der heute relevanteste Aspekt, wäre hier die Energieeffizienz und die generelle Klimafreundlichkeit des Produktes. Bei Forschung in einem so kleinen Maßstab lässt sich leicht übersehen, dass es sich noch immer um ein Polymer handelt, welches mit einer ganz eigenen Gruppe an neuen Problemen für die Umwelt einher geht. Anschließend an diesen Punkt ist die bisherige Methode möglicherweise nur schwer zu skalieren und nicht praktikabel für Massenproduktion, was einen neuen Forschungsansatz eröffnet.

Auch die Herstellung des Farbstoffes aus Vanillin hat noch viele Unklarheiten und Verbesserungsmöglichkeiten, wie beispielsweise den Fakt, dass noch nicht bekannt ist, welcher Farbstoff eigentlich hergestellt wurde. Zusätzlich ist die Veredelungs-Methode, wie zuvor erwähnt, noch nicht mit anderen Stoffen getestet worden.

Rückblickend sind während der Forschung viele Dinge nicht so gelaufen, wie sie geplant waren. Außerdem sind an einigen Stellen Fehler gemacht worden, die zu Ungenauigkeiten bei den Ergebnissen geführt haben und die Forschung so verlangsamt haben.

Die größte Lehre außerhalb der eigentlichen Forschungsergebnisse für mich ist demnach, dass es sinnvoll ist, bei einem Forschungsprojekt von Anfang an die Ergebnisse strukturiert festzuhalten und, im besten Fall, mit normierten Stoffmengen und Methoden zu arbeiten. Auch die Nutzung von Kontroll-Proben und den richtigen Materialien für eine Aufgabe ist etwas, was zu Anfang noch selten war und so zu vielen künstlichen Hürden geführt hat.

5 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend hat die Forschung an der Acrylglassynthese mir sehr dabei geholfen, den Prozess der Polymerisation und einige Details besser zu verstehen. Während der Forschung ist klar geworden, dass Polymerisation an sich ein wesentlich komplexerer und fehleranfälligerer Prozess ist als es von außen den Anschein macht. Mit dieser Erkenntnis habe ich durch die Forschung einen anderen Blick auf Kunststoffe und Materialforschung generell bekommen, wodurch ein neues Interesse an diesem Fachgebiet entstanden ist. Die Erkenntnisse und die damit zusammenhängende Aufklärung über die chemischen Hintergründe von Kunststoffen sind somit auch der eigentliche Mehrwert dieser Arbeit.

Die hauptsächlichen Ergebnisse der Forschung sind einige Erkenntnisse über die Polymerisation von Acrylglas und über die Reaktionen auf Veränderungen der Reaktionsumstände. Besonders wichtig sind die Erkenntnisse über die Temperaturempfindlichkeit der Reaktion, da diese bei industrieller Produktion sicherlich eine Rolle spielt. Gleichzeitig ist festgestellt worden, dass die Polymerisation exotherm ist, was die Herstellung zusätzlich erschwert.

Wichtig bei den Farbstoffen ist, dass diese dazu in der Lage sind, aktiv in die Polymerisationsreaktion einzugreifen und diese aufzuhalten. Dieses Problem ist besonders interessant, wenn PMMA mit mehreren Zusatzstoffen hergestellt werden soll, um beispielsweise eine Mischfarbe zu erhalten.

Zukünftige Forschung an diesem Projekt wird sich weiter mit der Färbung des Kunststoffes befassen, wobei weiterhin das Ziel, eine Vielfalt an Farben an PMMA herzustellen, im Blick behalten werden soll. Allerdings gibt es noch viele weitere Forschungsideen, mit denen sich in der Zukunft beschäftigt werden kann, wie in *Abschnitt 4.3* erwähnt.

6 Quellen

Literatur

- Otto Schwarz, Friedrich-Wolfhard Ebling, Frank Richter (2016). *Kunststoffkunde*. 10. Aufl. Vogel Business Media. ISBN: 978-3-8343-3366-7.
- Koester, Vera (2023). *A Short History of PLEXIGLAS®*. URL: <https://www.chemistryviews.org/a-short-history-of-plexiglas/>. aufgerufen: 23.I.2026.
- National Center for Biotechnology Information (2026a). *Benzyl Alcohol*. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzyl-Alcohol>. aufgerufen: 17.I.2026.
- (2026b). *Methyl Methacrylate*. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-methacrylate>. aufgerufen: 10.I.2026.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Quelle (<i>L^AT_EX</i> Paket/Werkzeug)
<i>Abbildung 1:</i>	Eigenaufnahme
<i>Abbildung 2a:</i>	Eigenanfertigung (<i>chemfig</i>)
<i>Abbildung 2b:</i>	Eigenanfertigung (<i>chemfig</i>)
<i>Abbildung 3:</i>	Eigenanfertigung (<i>tikz</i>)
<i>Abbildung 4:</i>	Eigenanfertigung (chemix.org)
<i>Abbildung 5:</i>	Eigenanfertigung (<i>tikz, pgfplots</i>)
<i>Abbildung 6:</i>	Eigenaufnahme
<i>Abbildung 7:</i>	Eigenanfertigung
<i>Abbildung 8:</i>	Eigenaufnahme
<i>Abbildung 9:</i>	Eigenaufnahme