

Die Herstellung von Flachglas

von Daniel Muschick

EINLEITENDES VORWORT

Die Herstellung von Glas in Europa wurde nachweislich bereits um 1000 n. Chr. praktiziert, wenn auch nur in mangelhafter Ausführung. Erst im 17. Jahrhundert wurden große Mengen an Fensterglas für den Bau von Schlössern produziert. Damals galt das teure Glas als Demonstration von Reichtum und Wohlstand.

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts konnte durch das Foucault-Verfahren und dem Libby-Owens-Verfahren dünnes Flachglas wirtschaftlich produziert werden. Doch erst das von Pilkington 1952 entwickelte Floatglasverfahren revolutionierte die Glasindustrie und sorgte für eine massenhafte Herstellung von hochqualitativem Flachglas.

In dieser Hausarbeit wird die Herstellung von Flachglas mittels des Floatglasverfahrens behandelt. Dazu wird thematisch durch die jeweiligen Abschnitte des Herstellungsprozesses geführt mit visueller Unterstützung durch dargestelltes Bildmaterial. Die Tiefe der Thematik wurde dem Umfang der Arbeit angepasst, sodass weiterführende Aspekte der Chemie, Mechanik oder auch speziell der Entwicklung der Glasindustrie nicht vollumfänglich beinhaltet sind. Dennoch wird ein in sich geschlossenes und informatives Werk geboten, das auch bei einer Leserschaft, die nicht vom Fach ist, für Verständlichkeit sorgt.

INHALTSVERZEICHNIS

1. DIE FLACHGLASHERSTELLUNG IM ÜBERBLICK.....	1
2. DIE EINZELNEN PROZESSABSCHNITTE.....	2
2.1 Das Einschmelzen der Rohstoffe.....	2
2.2 Das Zinn-Bad.....	4
2.3 Der Formungsprozess.....	6
2.4 Der Kühlkanal.....	7
2.5 Die Qualitätsprüfung und der Glasschnitt	8

1. DIE FLACHGLASHERSTELLUNG IM ÜBERBLICK

Flachglas wird in einem Prozess hergestellt, der in mehrere nacheinander ablaufende Teilschritte untergliedert werden kann: Die Zusammenstellung des Rohmaterials als Gemenge, das Einschmelzen, das Zinn-Bad, das Ziehen und Formen, das Abkühlen und das Schneiden des Glases. Der Transport durch die einzelnen Abschnitte hindurch wird stets durch spezielle Rollenbänder gewährleistet. Entsprechend der jeweiligen Glas-temperatur wird die Produktionsstrecke zudem in ein heißes Ende und ein kaltes Ende unterteilt.

Die verschiedenen Rohmaterialien, welche zu Flachglas verarbeitet werden sollen, werden zunächst mit Mixern zu einem Gemenge zusammengestellt, in einem Schmelzofen erhitzt und eingeschmolzen. Während das Glas im Ofen seine Solltemperatur erreicht, wird es gleichzeitig geläutert. Das flüssige Glas wird dann über einen Kanal auf ein sogenanntes Zinn-Bad weitergeleitet, worauf es gleichmäßig verteilt wird. Das flüssige Glas schwimmt auf dem ebenfalls flüssigen Zinn und erhält durch die kontrollierte Flussgeschwindigkeit die gewünschte Glasstärke. Mechanische Formungswerkzeuge tragen dazu bei, das Glas für die weitere Verarbeitung auf die richtige Breite zu bringen.

Nach dem Formungsprozess wird das Glas durch spezielle Rollenschleusen aus dem Zinn-Bad gehoben und in den Rollenköhlofen transportiert. Dort wird das Glas während der stetigen Vorwärtsbewegung innerhalb der Produktionsstrecke bis zum völligen Erstarren langsam heruntergekühlt. Aufgrund dieser kontinuierlichen und spannungslosen Abkühlung sind Flachglasanlagen nicht selten bis zu 1000 m lang. Das entstandene Flachglas wird nachfolgend auf seine Qualität untersucht, wobei defekte Stellen durch optische Sensoren festgestellt und daraufhin markiert werden. Anschließend wird das Glas mit Schneidwerkzeugen geschnitten und an den dadurch entstandenen Sollbruchstellen gebrochen. Die Zuschnitte werden dann zur Weiterverarbeitung transportiert oder eingelagert.

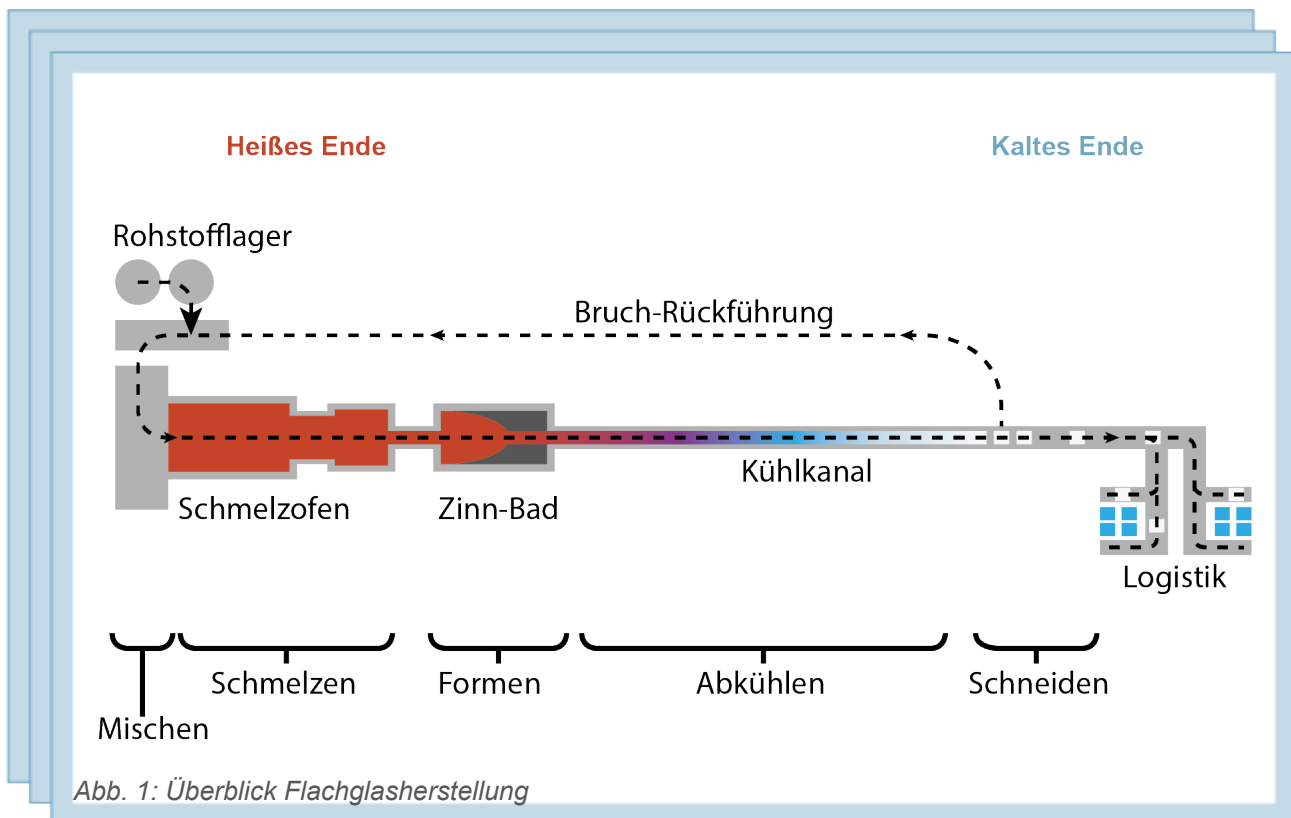


Abb. 1: Überblick Flachglasherstellung

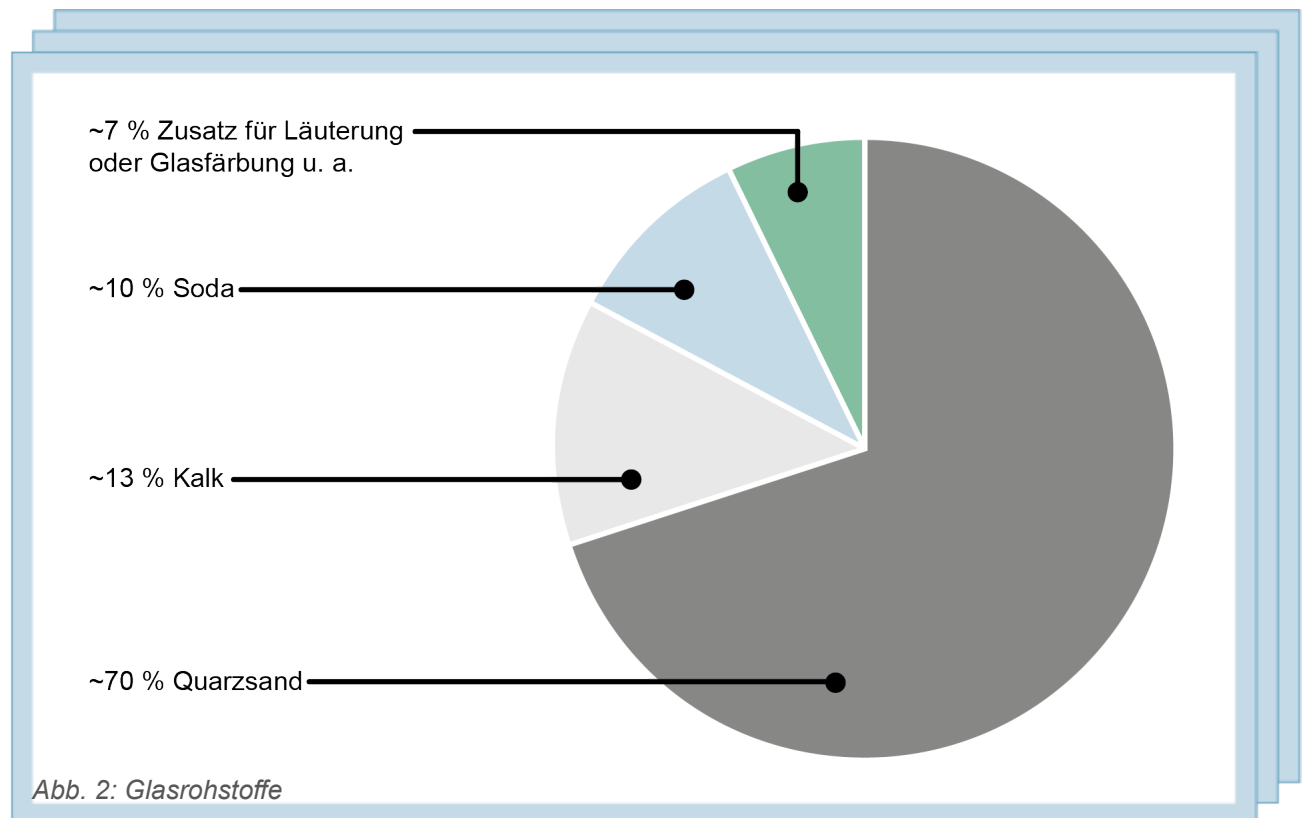
2. DIE EINZELNEN PROZESSABSCHNITTE

2.1 Das Einschmelzen der Rohstoffe

Die Herstellung von Flachglas beginnt bei der Zusammenstellung des dafür benötigten Rohmaterials. Dieses ist ein Gemenge, welches in den meisten Fällen aus Quarzsand, Kalk, Soda und recycelten Glasscherben zusammengestellt wird.

Der Quarzsand ist mit einem Anteil von ca. 70 % Hauptbestandteil des Rohgemenges und sorgt durch seine spätere atomare Struktur für die Durchsichtigkeit des Glases. Der hinzugegebene Kalk dient als Bindemittel, das die Härte der entstehenden Glasscheibe ausmacht und eine Undurchlässigkeit des Glases z. B. von Wasser erzeugt. Soda, auch bekannt als Natriumkarbonat, wird hinzugegeben, um das geschmolzene Glas zu läutern. Die zusätzlichen Glasscherben sind Merkmal einer funktionierenden Materialverwertung von aussortiertem Glas mit niedriger Qualität und Glasverschnitt, der beim Schneiden entsteht. Tatsächlich wird heutzutage auch Altglas, das schon als Endprodukt im Umlauf war, recycelt und damit einen Materialkreislauf aufrecht erhalten. Dies kann die Verwendung von neuem Quarzsand maßgeblich reduzieren und die Nachhaltigkeit der Glasherstellung erhöhen. Außerdem können dem Gemenge noch Oxide von Magnesium und/oder Aluminium hinzugegeben werden, um die Schmelztemperatur zu senken. Somit kann die spätere Weiterverarbeitung innerhalb der Produktionsanlage erleichtert und die Qualität und Härte des Endprodukts weiter gesteigert werden. Der bekannte grüne Schimmer von Glas kann durch die Zugabe von Eisenoxid erwirkt werden.

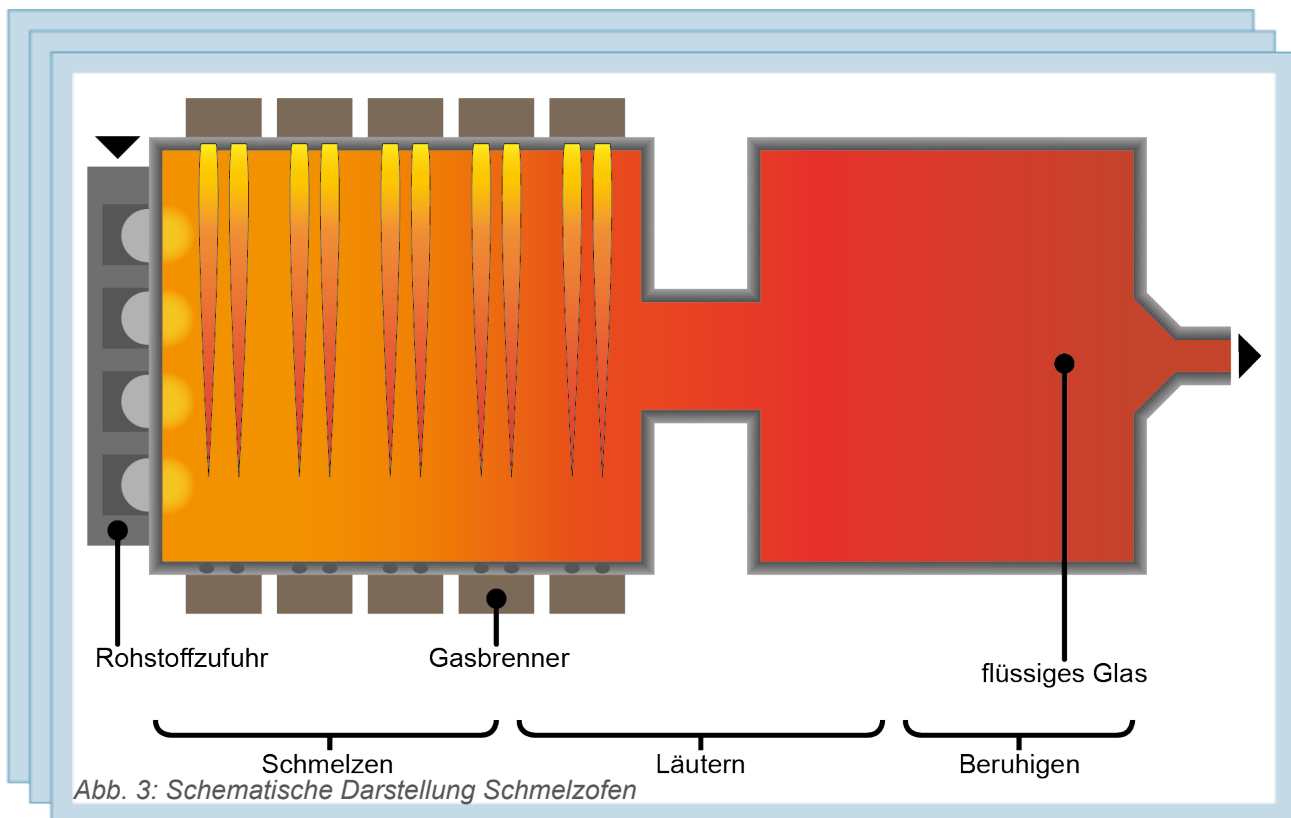
In der Glasindustrie werden Quarzsand, Kalk und Soda über Transportbänder großen Materialmischern zugeführt und durchmischt. Anschließend werden die Glasscherben hinzugegeben, bevor das Gemenge kontinuierlich in einen Schmelzofen hineingeschoben wird. Um den andauernden Prozess einer modernen Glasherstellungsanlage zu gewährleisten, werden dieser täglich ca. 700 Tonnen an Glasmasse zugeführt, wobei sich stetig ca. 2000 Tonnen in dem Schmelzofen befinden.



Der Schmelzvorgang des Rohstoffgemenges beginnt bei 800 bis 900 °C. Normalerweise schmilzt Quarzsand erst bei Temperaturen um 1700 °C, da aber das enthaltene Soda und der Kalk als Flussmittel dienen, wird der Schmelzpunkt enorm reduziert. Die benötigte Hitze wird von großen Gasbrennern beigesteuert, die sich über dem Glasoberflächenniveau eingebaut in den Seiten oder der Decke des Ofens befinden und das Glas erhitzen. Mittels elektrischer Regelungen wird die Stärke der Brennerflammen kontrolliert, um die sensorisch erfasste Ofentemperatur nach Bedarf anzupassen. Bei ca. 1450 °C ist der Schmelzprozess vollständig beendet. Im vorderen Teil des Schmelzofens ist das nun flüssige Gemenge allerdings ständig in Bewegung, denn das kontinuierliche Nachfüllen des Ofens sorgt für erhebliche Temperaturunterschiede. Erst in den letzten zwei Dritteln des Ofens beruhigt sich die geschmolzene Masse. Im Großteil des Ofenvolumens herrscht eine Temperatur von ca. 1600 °C, wobei gleichzeitig der Prozess der Läuterung stattfindet.

Mit Läutern ist in der Glasindustrie das Austreiben von Blasen aus geschmolzenem Glas zu verstehen. Blasen in fertigen Glasprodukten werden in der Regel als Glasfehler und damit als Qualitätsdefizit betrachtet, woraufhin das betroffene Glas für die Weiterverarbeitung unbrauchbar und aussortiert wird. Die kleinen Blasen können nicht schnell genug in der zähen Glasmasse aufsteigen, weshalb größere Blasen erzeugt werden, um kleinere mitzureißen. Eine zusätzliche Blasenbildung kann durch die Zugabe von Läutermitteln wie Natriumsulfat erreicht werden. Aber auch Ultraschall und ein vorherrschender Unterdruck im Schmelzofen finden schon Verwendung, um Blasen aus dem Glas zu treiben.

Am Ende des Ofens wird das geläuterte Glas geregelt auf ca. 1100 °C abgekühlt und damit auf den nächsten Prozessabschnitt vorbereitet. Die geschmolzene Masse sieht nun aus wie Honig und wird über einen Lippenstein am Ofenausgang auf das Zinn-Bad gegossen.



2.2 Das Zinn-Bad

Das Zinn-Bad, welches auch Float-Bad (vom engl. „to float“ = schweben) genannt wird, ist Kernbestandteil des Float-Prozesses. Hier beginnt die Formgebung des herzustellenden Flachglases.

Hauptgegenstand dieses Verfahrens ist ein geschlossenes Becken, das mit flüssigem Zinn gefüllt ist. Um die ebene und glatte Oberfläche des Zinns beizubehalten, ist das Becken als geschlossener und luftdichter Anlagenteil konstruiert. Hinzu kommt, dass das Innere des Float-Bads mit einem Schutzgas wie Stickstoff oder Wasserstoff gefüllt ist, um eine Schutzatmosphäre für den enthaltenen Zinn zu erzeugen, wobei Stickstoff die weniger risikoreiche Variante bildet. Diese Vorkehrungen sind notwendig, damit eine mögliche Oxidation des Zinns mit dem in der normalen Umgebungsluft enthaltenen Sauerstoff unterbunden wird. Das Entstehen von Zinnoxid würde die glatte Oberfläche des flüssigen Zinns zerstören und gleichermaßen die Qualität des herzustellenden Flachglases reduzieren.

In der Ummantelung des Beckencontainers sind ebenfalls wie im Schmelzofen Temperatursensoren und heutzutage nicht selten auch Kameras verbaut, um den Float-Prozess genau überwachen und kontrollieren zu können. Damit der Formprozess der flüssigen Glasmasse und der liquide Zustand des Zinns gewährleistet werden können, halten elektrisch betriebene Heizelemente die innere Temperatur auf konstante 1100 °C. In der Dachummantelung sind Dampfabzugs- und Zirkulationsaggregate installiert, die den minimal entstehenden Zinndampf ableiten. Denn dieser könnte an Beckenrand oder -decke kondensieren und durch Abtropfen Defekte im Glas erzeugen. Des Weiteren werden Hochdruckaggregate verwendet, die einen Überdruck im Vergleich zum Normaldruck außerhalb der Float-Anlage erzeugen. Dadurch wird ebenfalls das Eindringen von Fremdstoffen in den abgeriegelten Produktionsbereich stark reduziert und eine daraus resultierende atmosphärische Kontamination verhindert.

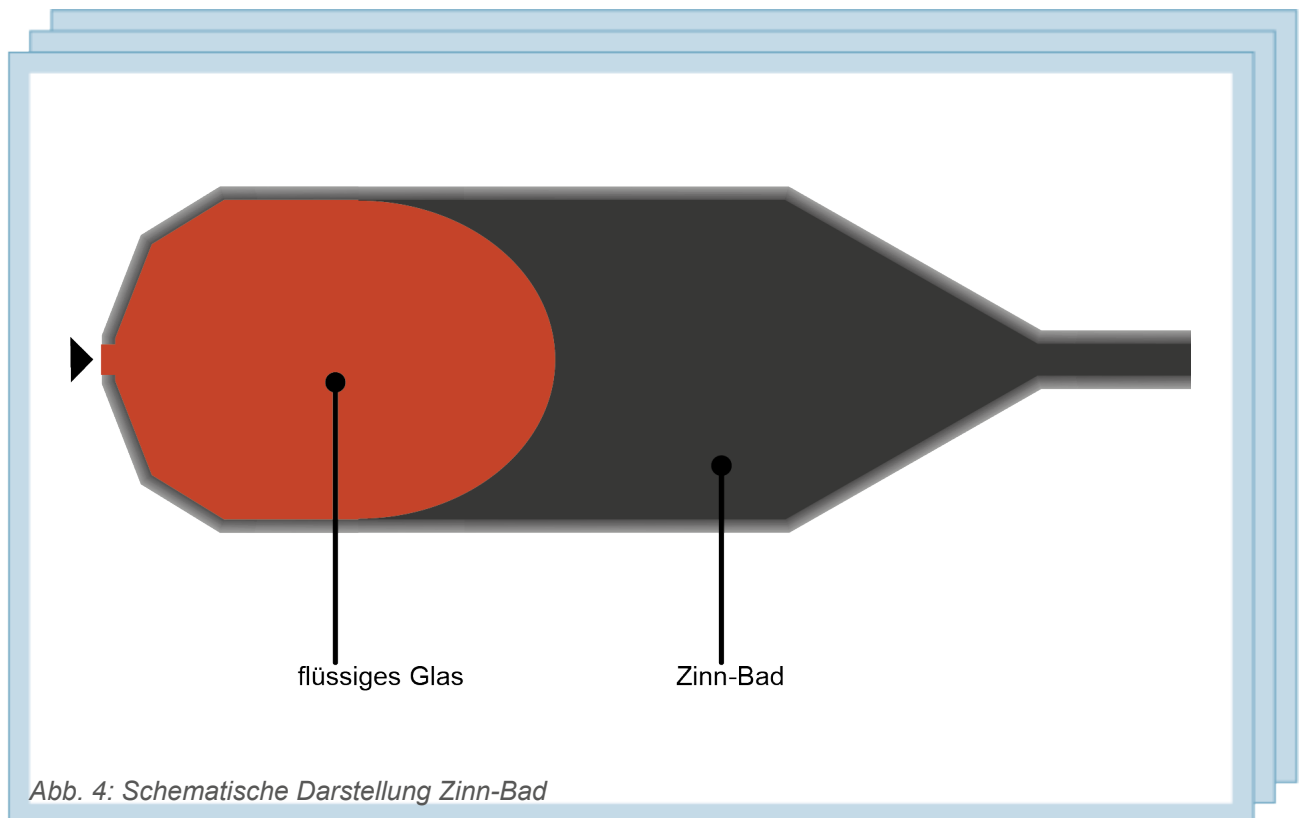


Abb. 4: Schematische Darstellung Zinn-Bad

Das flüssige Glas wird in das Float-Becken geleitet und ergießt sich über das Zinn-Bad. Das darauf folgende Phänomen, ist eine physikalische Wechselwirkung, deren Form und Eigenheit der Float-Prozess seinen Namen zu verdanken hat.

Zinn ist aufgrund seiner Stoffeigenschaften das ideale Material, um auf die Art und Weise des Float-Prozesses Flachglas herzustellen. Es schmilzt bereits bei 232 °C und fängt mit einer Siedetemperatur von 2620 °C bei der normalen Betriebstemperatur der Glasformung nicht an zu kochen. Somit bietet das Bad eine Oberfläche frei von Unebenheiten, die gegenüber Glas zudem inert, also nahezu reaktionslos ist. Die wohl wichtigste Beschaffenheit von flüssigem Zinn ist dessen Dichte von ca. 6,5 g/cm³, was den folgenden Effekt nach sich zieht: Das flüssige Glas, als Quarz-Kalk-Soda-Gemisch, besitzt nur eine Dichte von ca. 2,3 g/cm³ und ist damit fast dreimal leichter als Zinn. Somit vermischen sich die Glasmasse und das Zinn selbst bei direktem Kontakt nicht und es entsteht eine nahezu perfekte und scharfe Trennlinie zwischen den beiden Materialien. Das Glas beginnt allem Anschein nach zu „schweben“, was die Prozessbezeichnung aufklärt.

Unterstützt wird dieser Vorgang durch die Oberflächenspannung des Zinn-Bads, sowie der Viskosität, also der Zähigkeit des geschmolzenen Glases bei der Prozesstemperatur von ca. 1100 °C. Es bildet sich außerdem eine Art von Gleichgewicht zwischen der Gravitation, also der Größe, die bestimmt, wie tief das Glas in das Zinn-Bad einsinkt und der Verteilung der Glasmasse. Daraus ergibt sich auf der Zinnoberfläche eine gleichmäßig verteilte Schicht aus geschmolzenem Glas, deren Ober- und Unterseite planparallel sind. Würde man die ausgebreitete Glasmasse in diesem Zustand bereits abkühlen und aushärten lassen, kann man bereits von herkömmlichem Flachglas reden. Allerdings ist die Formgebung durch den bloßen Float-Prozess noch nicht vollendet.

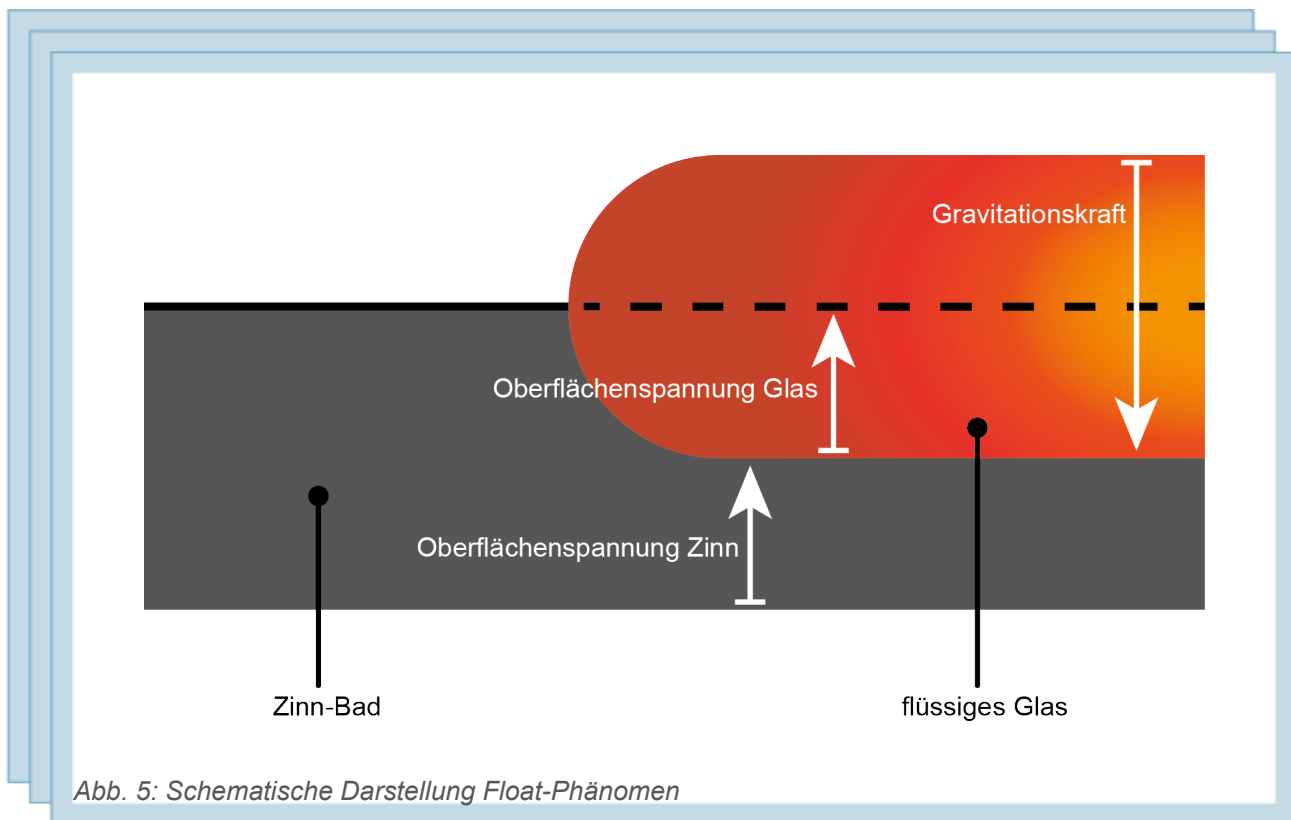


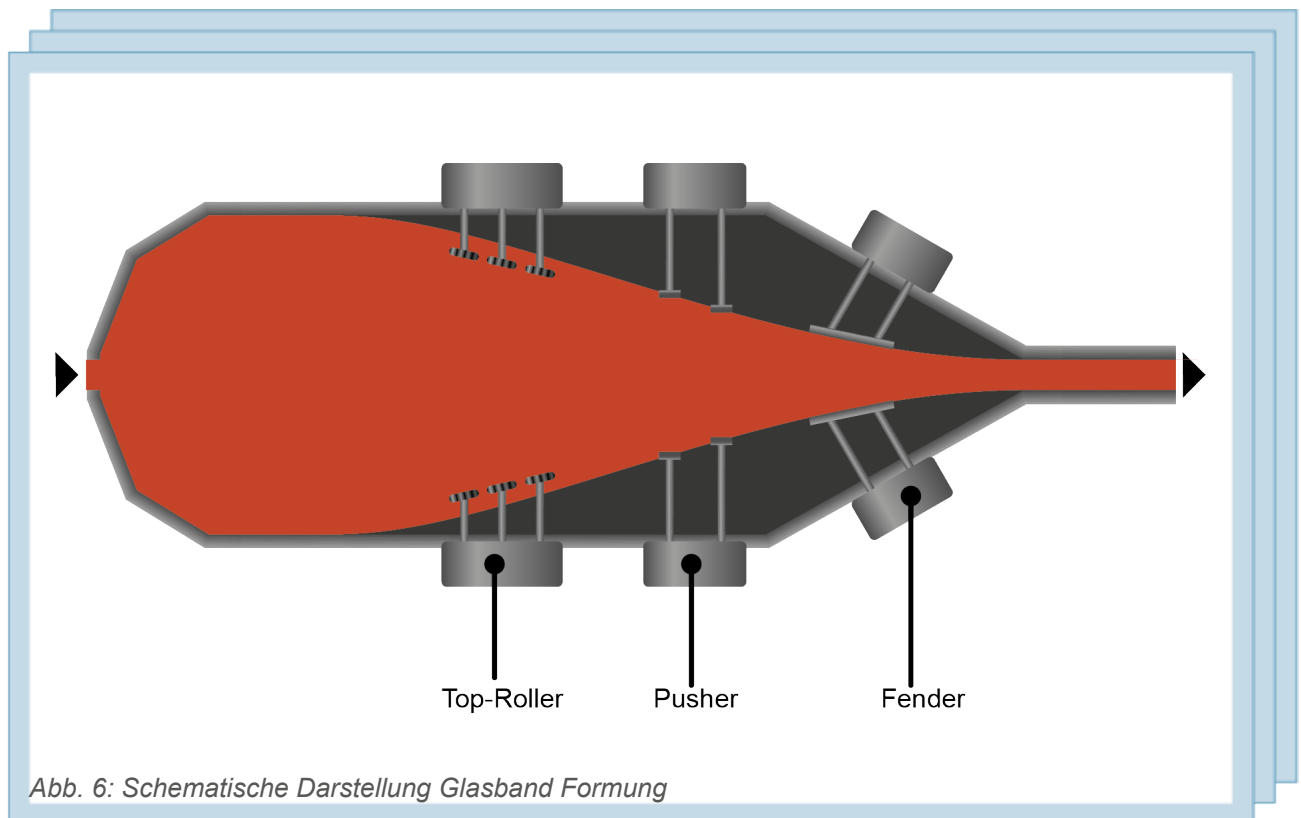
Abb. 5: Schematische Darstellung Float-Phänomen

2.3 Der Formungsprozess

Während sich das Glas auf dem Zinn-Bad ausbreitet, erhält es zwar eine einheitliche Stärke, jedoch scheint die einzige Begrenzung für die Ausbreitung in der Länge und Breite nur der vorhandene Beckenrand zu sein. Tatsächlich sind im Float-Becken aber einstellbare Vorrichtungen montiert, die die Glasformung mechanisch ausführen.

Nicht nur das ununterbrochene Nachgießen in das Float-Bad lässt das geschmolzene Glas vorantreiben, an den Seiten des Beckens sind sogenannte Top-Roller angebracht. Dies sind betriebene Zahnräder, die minimal in die Glasmasse greifen. Durch die Drehbewegung des Rollers kann das Glas schneller vorangetrieben und mit der dadurch erhöhten Ziehgeschwindigkeit die Glasstärke variiert werden. Ebenso kann durch den Stellwinkel des Top-Rollers kontrolliert werden, wie stark sich das Glas in der Breite ausdehnen soll. Zum Erhöhen der Glasstärke kommen zudem sogenannte Fender und Pusher zum Einsatz. Pusher sind in der Regel hydraulisch oder pneumatisch bewegte Barriere-Elemente bestehend aus Graphitblöcken, die die fließende Glasmasse beidseitig schrittweise zusammenschieben. Fender sind auch Barriere-Elemente, die allerdings wie ein Keil in die Flussbahn geschoben werden und diese verengen. Fließt das Glas durch die Fender hindurch, wird es zunehmend in der Breite zusammengestaucht. Mit dieser verstellbaren Mechanik können Standardstärken von 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19 und 24 mm produziert werden, wobei durch das Float-Verfahren bereits Stärken ab 0,4 mm möglich sind.

Mit der Umsetzung der Glasformung während des Float-Prozesses wird die Glasmasse zum Ende des Zinn-Bads bereits auf ca. 600 °C heruntergekühlt. Da das Glas bei dieser Temperatur noch immer leicht formbar ist, werden heutzutage nicht nur geradlinige Übergänge zur Kühlstrecke realisiert, sondern auch Übergänge mit Höhenunterschieden über verstellbare Rollenschleusen.

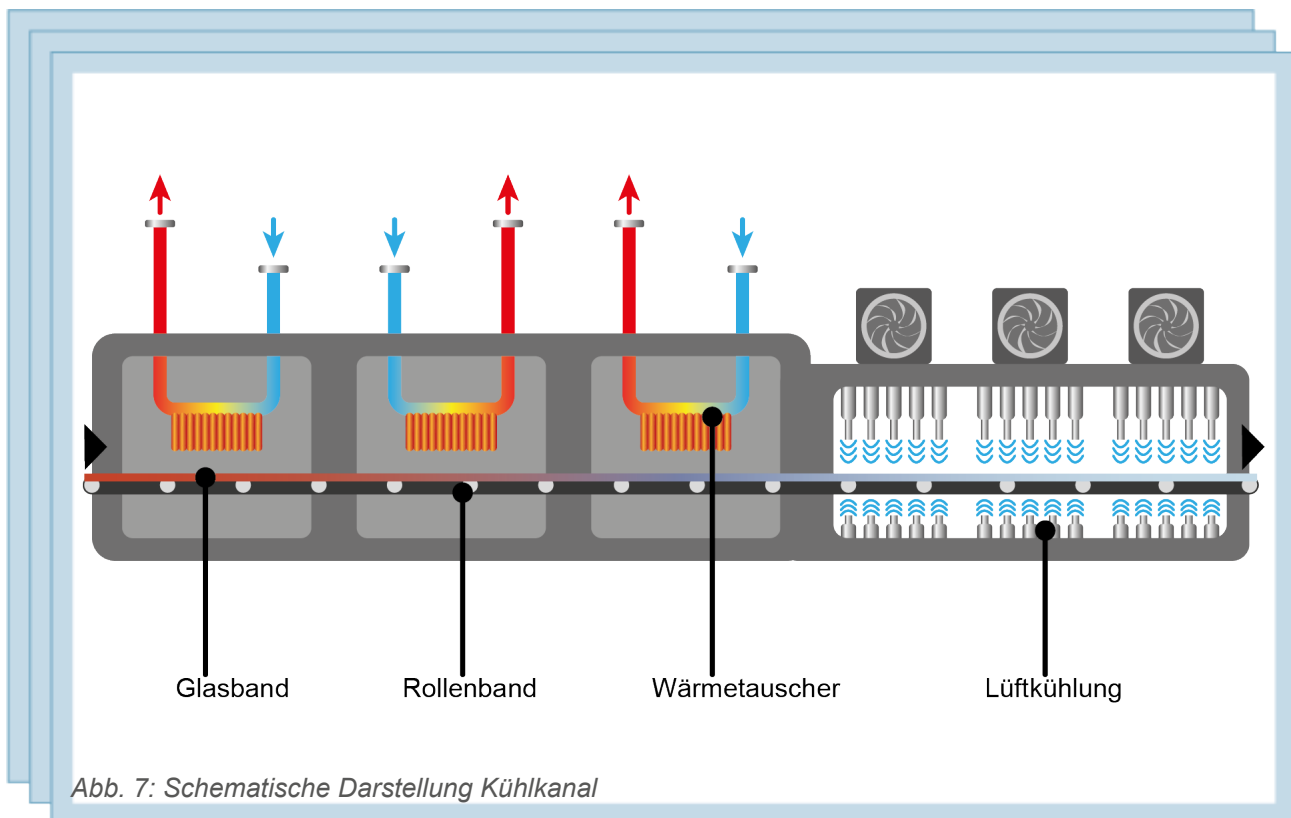


2.4 Der Kühlkanal

Das Glas erreicht nun den letzten Herstellungsabschnitt, der über die finale Qualität des Endprodukts entscheidet: Den Kühlkanal. Diesen durchläuft das Flachglas als unterbrechungsloses Gesamterzeugnis, als sogenanntes Glasband, bis es geschnitten wird.

Der Kühlprozess beginnt in einem geschlossenen Rollenkühlofen, der ebenfalls wie das Zinn-Bad von der Atmosphäre der Produktionshalle isoliert ist. Das Glasband wird während des Kühlvorgangs über ein Rollenband transportiert. Dies besteht aus gelagerten Rollen, die untereinander versetzt mit breiten Gummiringen bestückt sind. Somit wird immer eine optimale Auflagefläche für das Glasband garantiert, um Kratzer und Brüche vorzubeugen. Innerhalb des Rollenkühlofens befinden sich mehrere Abschnitte mit installierten Wärmetauschern, die das 600 °C heiße Glasband Schritt für Schritt abkühlen. Dazu wird die vom Glas abgegebene Hitze von Kühlkörpern aufgenommen und durch die kontinuierliche Durchströmung mit kalter Prozessluft abtransportiert, damit sie sich nicht im Kühlkanal anstaut. Dabei wird zudem der atmosphärisch abgeriegelte Kühlprozess aufrechterhalten, da keine Fremdluft von außen in den Kühlofen gelangt, die das Glasband verunreinigen könnte. Die montierten Wärmetauscher werden regeltechnisch so aufeinander abgestimmt, dass das Glas spannungsfrei auf ca. 350 °C heruntergekühlt den Rollenkühlofen verlässt.

Daraufhin durchläuft das Glasband eine offene Kühlstrecke und verlässt die Schutzatmosphäre. Hier wird das Glas direkt durch den Luftstrom von installierten Kühlungsventilatoren weiter abgekühlt. Diese Luftkühlung ist ebenfalls in Abschnitte unterteilt, wobei die verbauten Lüfter in Anzahl und Leistung so abgestimmt sind, dass das Glasband weiterhin spannungslos abkühlen kann. Das Flachglas verlässt die offene Kühlstrecke komplett erstarrt und ist nur noch ca. 60-80 °C warm, womit es bereit ist, den letzten Produktionsabschnitt zu durchlaufen

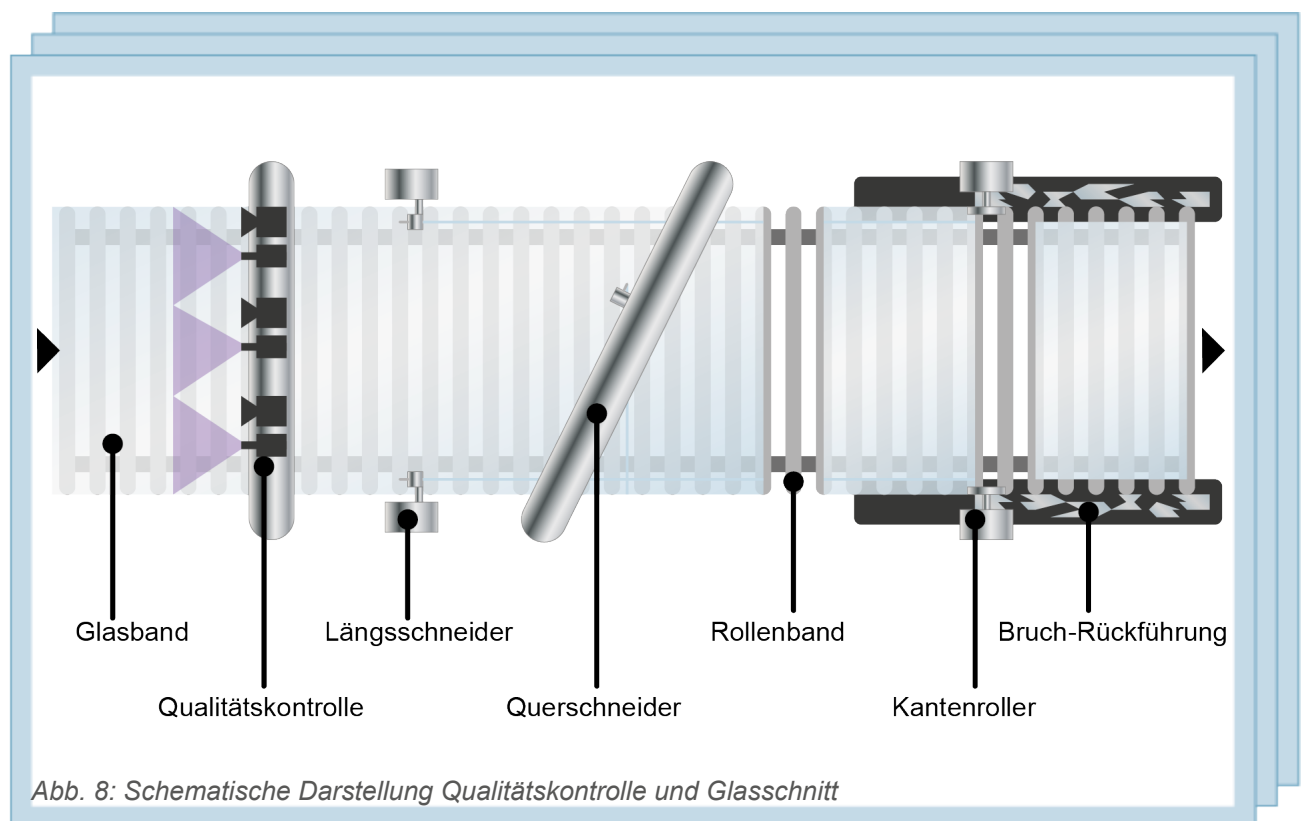


2.5 Die Qualitätsprüfung und der Glasschnitt

Das Flachglas ist an sich bereits fertig hergestellt. Was allerdings noch fehlt, ist eine abschließende Qualitätskontrolle, sowie das Schneiden des Glasbands in marktübliche Größen.

Um die Qualität des entstandenen Flachglases festzustellen, durchläuft dieses zunächst eine Prüfstrecke, die mit optischen Sensoren bestückt ist. Dies sind meist mit Kamertechnik gepaarte UV-Strahler, die in Bruchteilen einer Sekunde agieren müssen. Das UV-Licht kann sowohl Verunreinigungen durch Fremdkörper als auch eingeschlossene Blasen, Schlieren oder Mikrorisse und -brüche sichtbar machen. Die sensible Kamertechnik nimmt diese Glasdefekte auf und lässt sie von einem Software-basierten Kontrollsystem prüfen. Ist ein Defekt festgestellt, wird dieser von Sprühköpfen farblich markiert, um später beim Schneiden entfernt zu werden.

Das Schneiden des Glasbands erfolgt erst an den Seiten in Längsrichtung, da dort Einkerbungen der Top-Roller zurückgeblieben sind. Dazu wird spezielles Schneidwerkzeug verwendet, das mit Diamanten besetzten Schneidköpfen und eingebauten Kraftsensoren jede Glasstärke schneiden kann. Diese Längsschneider schneiden allerdings nicht die gesamte Schadstelle weg, sondern dienen dem Zweck, das Glasband einzuritzen, um Sollbruchstellen zu erzeugen. Die eingeritzten Kanten des Glasbands werden später durch den Kontakt mit massiven Kantenrollern, die sich abgesenkt an den Seiten der Transportstrecke befinden, weggebrochen. Die Querschneider befinden sich in sogenannten Schneidbrücken, die über dem Rollenband verlaufen und ritzen das Glasband in Querrichtung ein. Durch eine Rolle im Rollenband, die angehoben werden kann, wird das Glasband an den Sollbruchstellen gebrochen. Einige Flachglashersteller verwenden für das Auftrennen des Glasbands mittlerweile auch feine Lasertechnik. Das Flachglas ist damit fertig hergestellt und wird mit einem Gestell, das mit Vakuum-Saugnapfen bestückt ist, zum Einlagern oder Abtransport automatisch vom Rollenband gehoben.



QUELLENVERZEICHNIS

Khatib, J. M. (2016). *Sustainability of Construction Materials*. 2. Auflage. Sawston: Woodhead Publishing.

Francis, L. F. (2016). *Materials Processing. A Unified Approach to Processing of Metals, Ceramics and Polymers*. Cambridge: Academic Press.

Grenzebach Group (2022, 22. September). *Wir sehen die Welt durch Glas*. <https://www.grenzebach.com/de/produkte/produktionsanlagen/flachglas/floatglas/>

C3 marketing agentur GmbH (2022, 22. September). *Produkte*. <https://www.hornglass.com/de/produkte>

Grönegräs, J. (2022, 22. September). *Fachbücher*. <https://www.bundesverband-flachglas.de/flachglas/fach-buecher>

Mirum Agency Website (2022, 22. September). *Media*. <https://www.saint-gobain.com/en/medi>

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

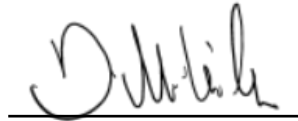
Abb. 1: Überblick Flachglasherstellung	1
Abb. 2: Glasrohstoffe	2
Abb. 3: Schematische Darstellung Schmelzofen.....	3
Abb. 4: Schematische Darstellung Zinn-Bad.....	4
Abb. 5: Schematische Darstellung Float-Phänomen.....	5
Abb. 6: Schematische Darstellung Glasband Formung.....	6
Abb. 7: Schematische Darstellung Kühlkanal.....	7
Abb. 8: Schematische Darstellung Qualitätskontrolle und Glasschnitt.....	8

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Hausarbeit selbstständig verfasst habe, dass ich sie zuvor an keiner anderen Hochschule und in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung eingereicht habe und dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Naumburg, 22.09.2022

Ort, Datum



Unterschrift

ÜBER DEN AUTOR

Name: Daniel Muschick

Studiengang: Bachelor Technisches Informationsdesign (B-TID-21)

Matrikelnummer: 28056

E-Mail: daniel.muschick@stud.hs-merseburg.de



©2022

Diese Hausarbeit dient als Prüfungsleistung im Modul Grundlagen der Technikwissenschaften der Hochschule Merseburg und ist nicht über diesen Zweck hinaus zu verwenden. Die beinhalteten Abbildungen wurden vom Autor mit Adobe® InDesign erstellt.

