



Medientechnik 3

V 2022.1 Pi, Semester 5/6

Inhaltsverzeichnis

1 FARBENLEHRE VERTIEFUNG.....	5
1.1 FARBMODELLE	5
1.2 ADDITIVE UND SUBTRAKTIVE FARBMISCHUNG	6
1.2.1 <i>Absorption und Remission</i>	7
1.2.2 <i>Exkurs: Paneltypen und ihre Parameter</i>	8
1.2.3 <i>Autotypische Farbmischung</i>	10
1.3 FARBEN IM DRUCK (PROZESS UND VOLLTON).....	11
1.3.1 <i>Bunt- und Unbuntaufbau</i>	13
1.3.2 <i>Buntaufbau</i>	13
1.3.3 <i>Unbuntaufbau</i>	13
1.3.4 <i>UCR und GCR</i>	14
1.4 CIE-NORMVALENZSYSTEM	16
1.4.1 <i>Von XYZ nach xyz</i>	16
1.5 CIELAB.....	19
1.5.1 <i>Farbabstand ΔE</i>	20
1.6 CIELCH.....	23
2 BILDBEARBEITUNG IN PHOTOSHOP	24
3 BILDVERARBEITUNGSPARAMETER.....	25
3.1 TONWERTE.....	26
3.2 HISTOGRAMM.....	26
3.3 GRADATION UND TONWERTKORREKTUR.....	29
3.4 NEUTRALKORREKTUR/TECHNISCHE KORREKTUR.....	35
3.5 AUFLÖSUNG UND FARBTIEFE.....	36
3.6 WEIßABGLEICH	37
4 INDUSTRIELLE DRUCKVERFAHREN	38
4.1 DIE DRUCKANFRAGE	40
4.2 TIEFDRUCK	41
4.3 HOCHDRUCK.....	42
4.4 FLACHDRUCK	43
4.5 DURCHDRUCK	44
4.6 DIGITALDRUCK	45
4.6.1 <i>Elektrofotografie</i>	45
4.6.2 <i>Inkjet</i>	46
4.6.3 <i>Thermodruck</i>	47

5	3D-DRUCK.....	48
5.1.1	<i>3DP Pulverdruck</i>	49
5.1.2	<i>Polyjet-Verfahren</i>	51
5.1.3	<i>SLM-Verfahren</i>	53
5.1.4	<i>FDM-Verfahren.....</i>	55
5.1.5	<i>SLS-Verfahren.....</i>	57
5.1.6	<i>SLA/STL-Verfahren.....</i>	59
5.1.7	<i>Datenformat 3D-Druck: STL</i>	61
5.1.8	<i>Workshop: Blender STL export</i>	63
5.1.9	<i>Workshop: Tinkercad STL-Export.....</i>	66
5.1.10	<i>Einstellungen Slicing in Cura</i>	71
5.2	MATERIALIEN FÜR FDM	74
5.2.1	<i>Kunststoffe</i>	74



Nutze die **Kommentarfunktion** vom **Acrobat Reader** um direkt in diesem PDF die Mitschrift, Ergänzungen und Erläuterungen anzulegen. Dabei sind die Funktionen „Notiz hinzufügen“, „Text hervorheben“, „Textfeld hinzufügen“ und „Zeichenwerkzeug“ hilfreich.

Teil oder Hauptteil jeder Abgabe ist das Protokoll. Wie dieses zu erstellen ist, wird im entsprechenden moodle Kurs behandelt.

Abgaben erfolgen primär über moodle, bzw. bei größeren Datenmengen mittels einer gdrive Freigabe.

Zur Unterstützung werden **Bilddaten bereitgestellt**, diese finden sich im Downloadbereich des moodle-Kurses MEDT3.

Beachte die **ergänzenden Inhalte** im moodle Kurs MEDT3.

1 FARBENLEHRE VERTIEFUNG

Im zweiten Jahrgang wurden die Farbmodell-Grundlagen betrachtet. Dieses Kapitel schließt daran an und vertieft das Thema.

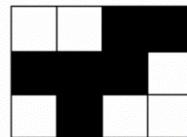
1.1 FARBMODELLE

Zur Wiederholung sollen im Folgenden die Farbmodelle und Bittiefen bei der digitalen Bildspeicherung kurz dargestellt werden.

Schwarzweiß-Grafiken
1 Bit = 2^1 = 2 Farbtöne

0	0	1	1
1	1	1	0
0	1	0	0

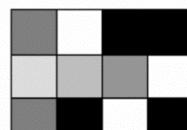
← 1 Bit



Schwarzweiß-Halbtönbilder
8 Bit = 2^8 = 256 Farbtöne (Graustufen)

...
...
...

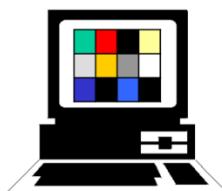
← 00110101
8 Bit = 1 Byte



Farbbilder in RGB (3 Farbkanäle):
3 x 8 Bit = 3 x 2^8 = 256 Farbtöne je Farbkanal

...
...
...

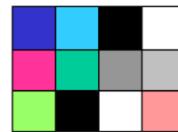
← 001011010111101000100011
24 Bit = 16,7 Mio. Farbtöne



Farbbilder in CMYK (4 Farbkanäle)
4 x 8 Bit = 4 x 2^8 = 256 Farbtöne je Farbkanal

...
...
...

← 00101101011110100010001100101110
32 Bit = 4,2 Milliarden Farbtöne



Übung: Konvertiere Testchart.tif in Photoshop in die oben erwähnten Farbmodelle. Beachte die Farbkanäle im **Kanalfenster**. Vergleiche die Dateigrößen im **Info-Fenster**. Kontrolliere rechnerisch die Richtigkeit der Anzeige im Info-Fenster.

1.2 ADDITIVE UND SUBTRAKTIVE FARBMISCHUNG

Bei der **additiven** Farbmischung wird Lichtenergie verschiedener Spektralbereiche addiert. Die Mischfarbe (**Lichtfarbe**) enthält also mehr Licht als die Ausgangsfarben. Sie ist somit immer heller.

Bei der **subtraktiven** Farbmischung wird Lichtenergie subtrahiert. Jede hinzukommende Farbe absorbiert einen weiteren Teil des Spektrums. Die Mischfarbe (**Körperfarbe**) ist deshalb immer dunkler als die jeweilige Ausgangsfarbe.

Körperfarben können aus Lichtfarben gemischt werden und umgekehrt. Die Primärfarben der Modelle sind zueinander **komplementär**. Mischt man **Komplementärfarben** ergeben diese eine **Unbuntfarbe**¹.



	Additive Farbmischung			Subtraktive Farbmischung		
Primär-farben	Rot	Grün	Blau	Cyan	Magenta	Yellow
Sekun-där-farben	G + B = Cyan	R + B = Magenta	R + G = Yellow (Gelb)	M + Y = Rot	C + Y = Grün	C + M = Blau
Tertiärfarben		R + G + B =	Weiß		C + M + Y =	Schwarz (Key oder Black)

Abbildung 1: Wichtige Farbmischungen.

Übung: Male in Photoshop mit einem Pinsel (Harte Kante/100 % Deckkraft) direkt in die Kanäle. Versuche im RGB und CMYK-Modus die Farbmischungen aus obiger Tabelle nachzuvollziehen. Starte jeweils mit schwarzem oder weißen Hintergrund.

¹ Eine Farbe ohne Buntkomponente

1.2.1 ABSORPTION UND REMISSION

Körperfarben **absorbieren** Teile des eingestrahlten Spektrums und **remittieren**² wiederum Lichtfarben. Durch die **Mischung von Körperfarben können wiederum Lichtfarben** bzw. beliebige **Farbvalenzen**³ erzeugt werden.

- Absorption von Rot = Remission von Blau und Grün = Cyan
- Absorption von Grün = Remission von Blau und Rot = Magenta
- Absorption von Blau = Remission von Rot und Grün = Gelb

Dieses Prinzip ist die **Grundlage der Farberzeugung im Druck**.

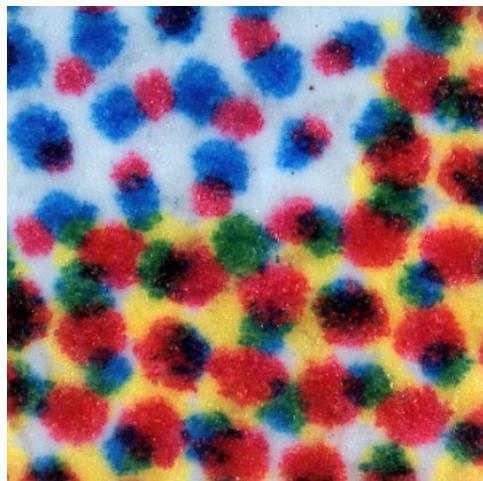


Abbildung 2: Druckpunkte eines Plakats im Offset-Druckverfahren in Vergrößerung

Bei **Bildschirmen** entsteht der Farbeindruck durch Mischung von Lichtfarben. Ein RGB-Pixel am Bildschirm besteht aus mind. einem R, G und B **Subpixel**.

² Remission (von lateinisch remittere zurückschicken) bezeichnet man in der Physik die **diffuse (ungerichtete) Reflexion von Wellen, insbesondere von Licht**, im Gegensatz zur regulären gerichteten Reflexion. Häufig wird aber in beiden Fällen von Reflexion gesprochen.

³ Farbeindruck beim Betrachter

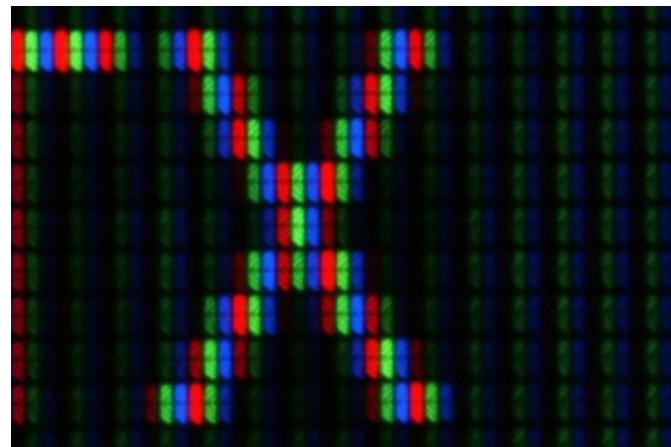


Abbildung 3: Subpixel eines VA-Panels in der Vergrößerung

1.2.2 EXKURS: PANELTYPEN UND IHRE PARAMETER

Zur Übersicht folgt eine Aufstellung der Vorteile und Nachteile von Bildschirm-Panels anhand der Parameter **Reaktionszeit**, **Wiederholrate**, **Kontrast**, **Farbwiedergabe**, **Schwarzwert**, **Blickwinkel**.

	Vorteile	Nachteile
TN-Panels	Reaktionszeiten 1 ms+	Kontrast 1000:1
Twisted Nematic	Wiederholraten 240 Hz+	Farbwiedergabe sRGB Blickwinkel 150/150
IPS	Blickwinkel 178/178	Stromverbrauch
In-Plane-Switching	Farbwiedergabe Rec2020	Reaktionszeiten 4 ms+ Kontrast 2000:1 Schwarzwert Wiederholraten
VA, PVA, MVA	Blickwinkel 178/178	Reaktionszeiten 2 ms+
Vertical Align	Farbwiedergabe DCI-P3 Wiederholraten 200 Hz Schwarzwert Kontrast 3000:1	

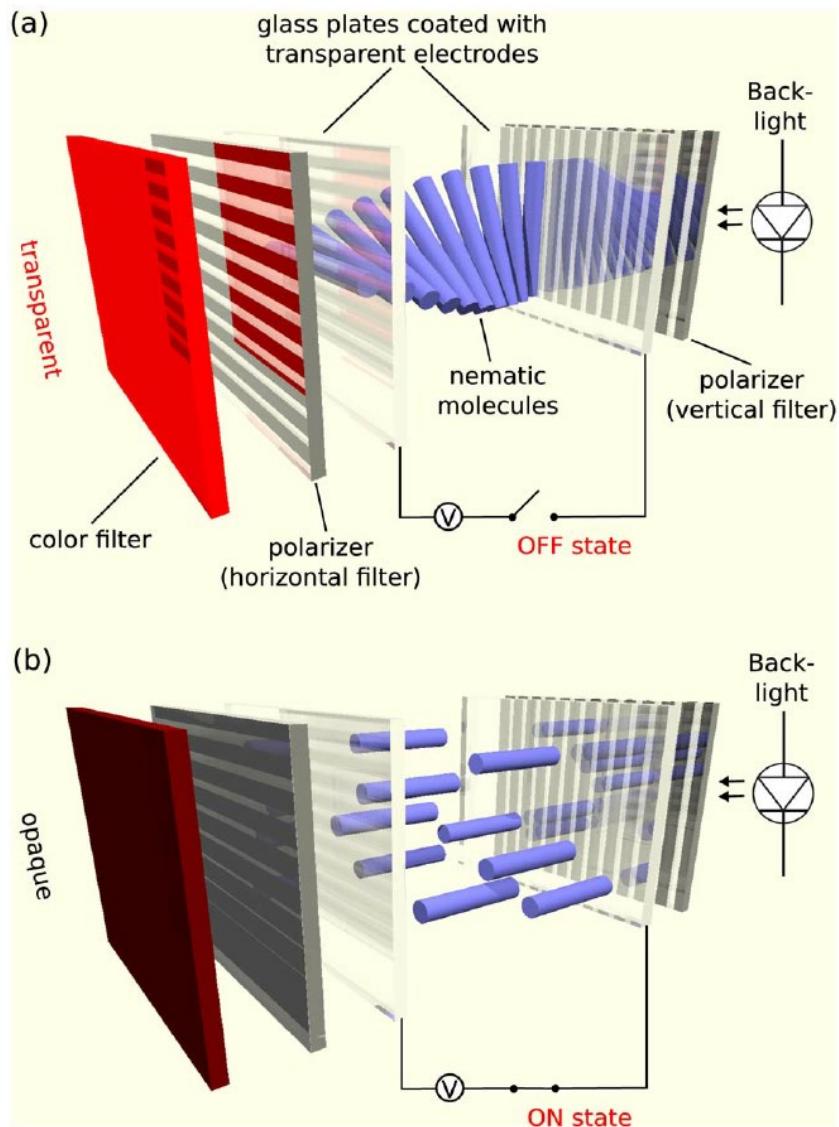


Abbildung 4: RGB Subpixel bei einem Twisted Nematic LCD-Panel in Form einer Schadt-Helfrich-Zelle. Die Helligkeitsintensität des Subpixels wird durch die Drehung der Flüssigkristalle reguliert, die sich zwischen den Polarisationsfiltern befinden. 90°-Stellung (a) entspricht der höchsten Helligkeit, bei 8-Bit-Panels entspricht das dem Bitwert 11111111 = 255.

Übung: Erstelle eine Vergleichstabelle von 3 selbst gewählten Monitoren mit unterschiedlichen Panels, mit jenen Parametern, die du im Kapitel kennengelernt hast. Nutze dazu Monitortests von prad.de. Stelle die Produktdatenblätter der Hersteller bei. Finde weitere wichtige Parameter von Panels/Monitoren.

1.2.3 AUTOTYPISCHE FARBMISCHUNG

Die Mischung der **Farben im Druck** (Prozessfarben) wird allgemein als autotypische Farbmischung bezeichnet. Ihre Gesetzmäßigkeiten gelten für alle Druckverfahren, vom Digitaldruck bis hin zu künstlerischen Drucktechniken wie der Serigrafie.

Die **autotypische Farbmischung vereinigt die additive und die subtraktive Farbmischung**. Voraussetzung ist allerdings, dass die Größe der gedruckten Farbflächen **unterhalb des Auflösungsvermögens⁴** des menschlichen Auges liegt.

Das remittierte Licht der **nebeneinander** liegenden Farbflächen mischt sich dann **additiv im Auge (physiologisch)**, die **übereinander** gedruckten Flächenelemente mischen sich **subtraktiv auf dem Bedruckstoff (physikalisch)**.

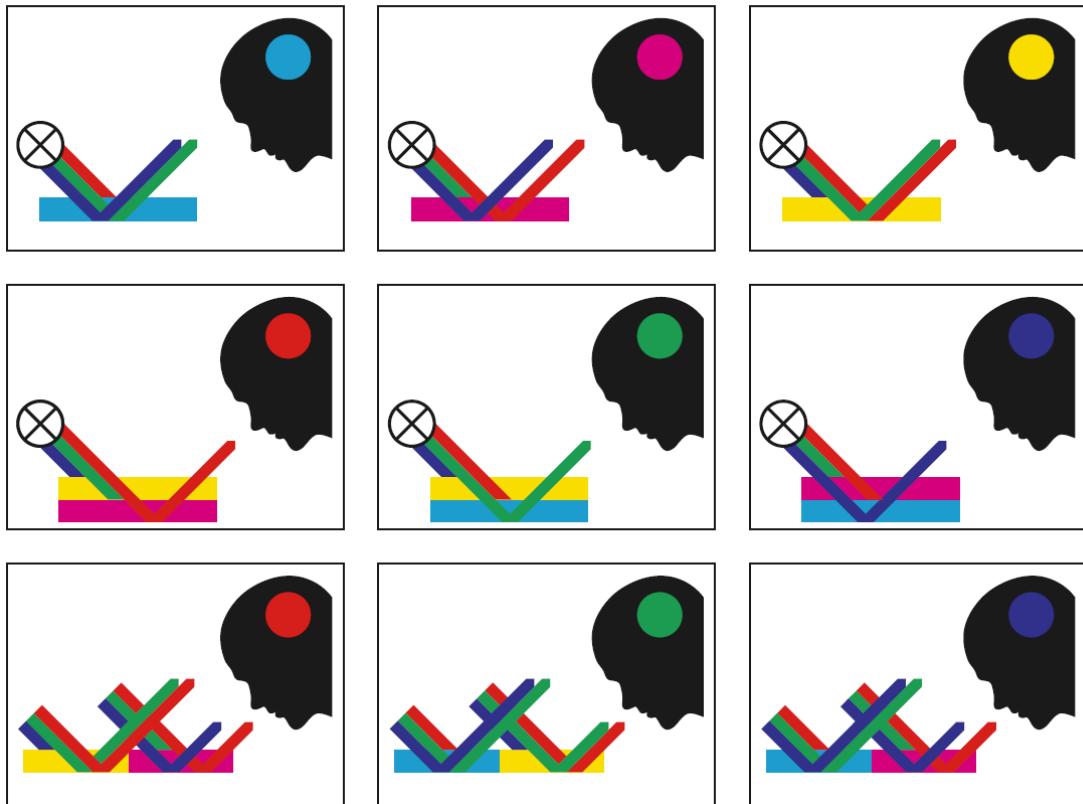


Abbildung 5: Autotypische Farbmischung. Die lasierenden Druckfarben transmittieren ihre Lichtfarben und absorbieren ihre Komplementärfarbe. Der Bedruckstoff remittiert die Lichtfarben. Diese werden im Auge additiv zum Farbeindruck der Körperfarbe gemischt.

⁴ Sehwinkel von ca. $1' - 2' = 1 - 2$ Bogenminuten

1.3 FARBEN IM DRUCK (PROZESS UND VOLLTON)

Volltonfarben, auch Schmuckfarben genannt, lassen sich nicht aus den Grundfarben der Standardfarbmodelle (RGB, CMYK...) mischen. Sie stellen eigene Farbsysteme dar, die durch Standards oder Herstellerstandards definiert sind.

Übliche **Volltonfarbsysteme** sind: Pantone, HKS und RAL

- **Pantone** (PMS Pantone Matching System) enthält 1755 Sonderfarben, gemischt aus 18 Basisfarben. Weiters ist eine „Solid to Process“-Umwandlung annäherungsweise möglich anhand definierter CMYK-Werte. Wird im Corporate Design und im Druck verwendet.
- **RAL Design System** enthält 1625 Farben und wird bei Lacken, Folien, Anstrichen usw. verwendet.
- **HKS** enthält 3520 und 88 Grundfarben und wird im Druck verwendet.

Prozessfarben (Halbtontonfarben) werden, im Gegensatz zu den Volltonfarben, durch **Rasterung** (Dithering, Screening) erzeugt und besitzen einen begrenzten Farbumfang (Gamut). Eine Halbtongrafik besitzt endliche Tonwerte, zB. 256 bei 8 bit Bittiefe pro Farbkanal.

Die Abstufungen der einzelnen Farben erfolgt in **Rastertonwerten** die zwischen 0 % und 100 % liegen.

CMYK-Farben sind Prozessfarben: C = 100 %, M = 50 %, Y = 0 %

Übung: Erkunde das Pantone Farbsystem PMS auf pantone.com.

Nutze bedruckungen.de/cmyk-in-pantone/ um in PS angelegte CMYK-Werte in PMS-Werte umzurechnen. Erstelle dazu ein CMYK-Dokument in PS und erzeuge eine beliebige Farbfläche. Ermittle den cmyk-Wert im Infofenster und suche die PMS-Entsprechung. Notiere Pantonefarbe, RGB und HEX-Wert der Farbe.

Danach öffne ein beliebiges RGB-Foto und konvertiere es nach CMYK. Dort ermittelst du zu einer mit dem Farbwähler selektierten Farbe den Pantone-, RGB-, und HEX-Wert.

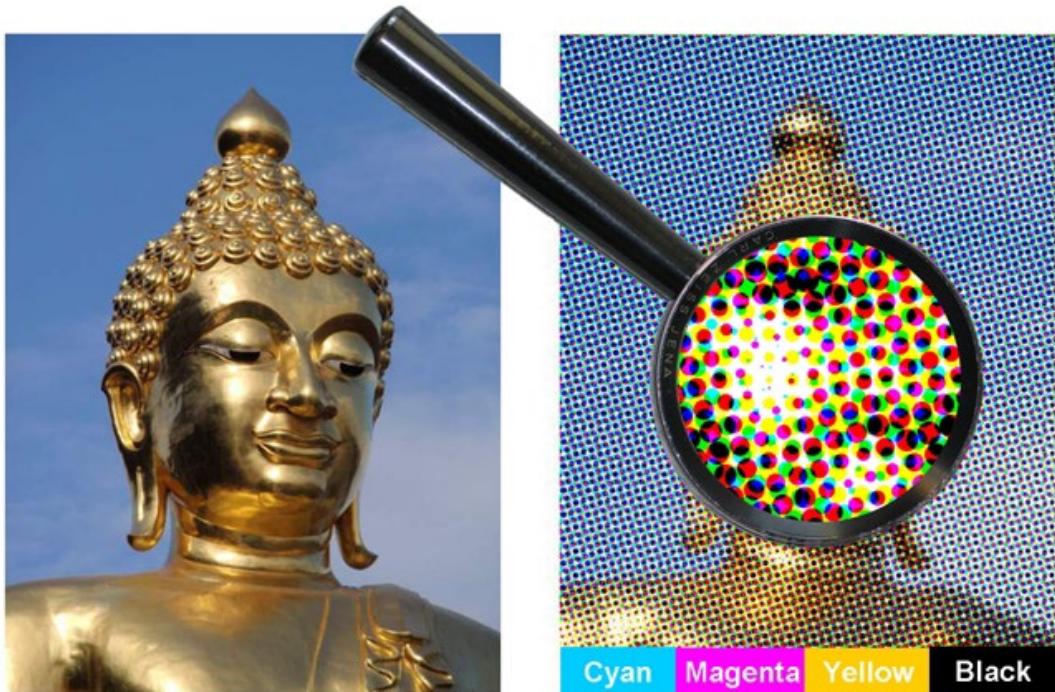


Abbildung 6: Rasterung im Druck

Manchmal ist von „echten“ Halbtönen die Rede, wobei ungerasterte Farbübergänge gemeint sind (zB. in den Tiefen beim Tiefdruckverfahren oder im Lichtdruck).

Ein **Druckraster wird durch Farbseparation** erzeugt. Erst dadurch wird es möglich, Druckplatten für zB. den Offsetdruck anzufertigen.



Abbildung 7: Farbseparation (4C)

Übung: Betrachte in 2er-Teams verschiedene Drucksorten mit der Lupe (Fadenzähler). Achte auf das Druckraster und eventuell vorhandene Volltonfarben.

1.3.1 BUNT- UND UNBUNTAUFBAU

Die CMY-Tonwerte werden, wie bereits besprochen, durch Umrechnung der RGB-Werte in Rastertonwerte ermittelt. Welche Rolle spielt nun der **K-Wert (Schwarzauszug)**?

Entscheidend für den Schwarzkanal ist, welche **Funktion die schwarze Druckfarbe** im Druckprodukt haben soll:

- Erhöhung des **Kontrastumfangs**
- Reduzierung der **Helligkeit** der Farben

Für beide Methoden werden die Begriffe **Bunt- und Unbuntaufbau** verwendet.

1.3.2 BUNTAUFBAU

Im Buntaufbau erfolgt die **Verschwärzung** der Buntfarben mit der **entsprechenden Komplementärfarbe**.

Das Schwarz dient dann lediglich zur **Erhöhung des Kontrastumfangs** und wird nur in den dunklen, neutralen Bildstellen verwendet.

Rot und Cyan ergeben ein Braun (verschwärzlichtes Rot)



1.3.3 UNBUNTAUFBAU

Im Unbuntaufbau wird ausschließlich das **Schwarz zur Verschwärzung** verwendet.

Rot und Schwarz ergeben ein Braun (verschwärzlichtes Rot)



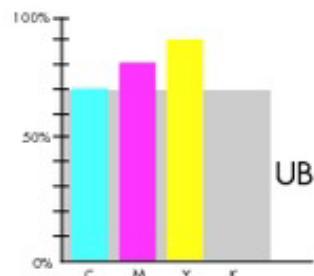
1.3.4 UCR UND GCR

Um **Farbauftrag zu sparen** werden **dunkle Buntfarben (Tiefen)** um ihren Unbuntanteil reduziert und dieser wird **teilweise** durch **Schwarz ersetzt**. Dies bezeichnet man als **Unterfarbenreduktion** oder **UCR**, Under Color Removal.

Buntaufbau

Alle Farben werden aus CMY aufgebaut.

$$\begin{array}{c} \text{C} + \text{M} + \text{Y} + \text{K} = \\ 70\% \quad 80\% \quad 90\% \quad 0\% \end{array} = 240\%$$



Buntaufbau mit Unterfarbenreduzierung

UCR [Under Color Removal]

Ein Teil des Unbuntanteils wird durch Schwarz ersetzt.

$$\begin{array}{c} \text{C} + \text{M} + \text{Y} + \text{K} = \\ 40\% \quad 50\% \quad 60\% \quad 30\% \end{array} = 180\%$$

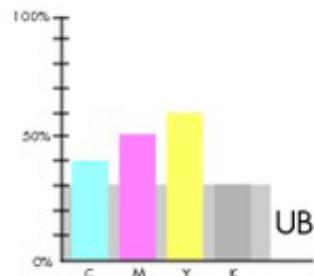


Abbildung 8: UCR

Bei der **GCR-Methode, Grey Component Replacement**, werden drei CMY-Grundfarbenanteile welche ein Grau ergeben würden, **komplett** durch Schwarz ersetzt. Bei starkem GCR besteht die Gefahr einer zu dunklen bzw. kraftlos wirkenden Bildwiedergabe.

Unbuntaufbau GCR-Maximum

GCR [Grey Component Replacement]

Alle Unbuntanteile werden durch Schwarz ersetzt.

$$\begin{array}{c} \text{C} + \text{M} + \text{Y} + \text{K} = \\ 0\% \quad 10\% \quad 20\% \quad 70\% \end{array} = 100\%$$

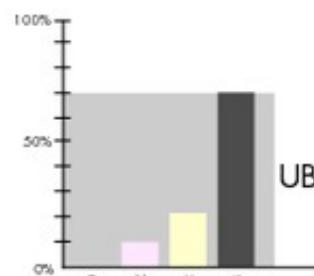


Abbildung 9: GCR

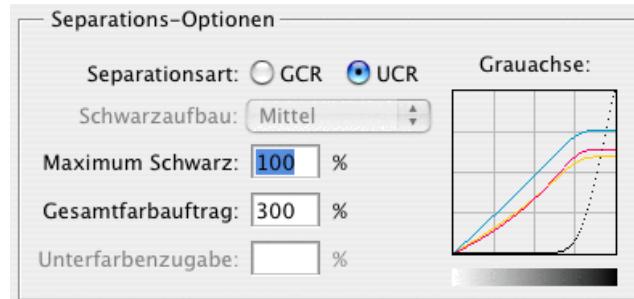


Abbildung 10: Funktion in Photoshop zur UCR/GCR (Farbeinstellungen/Eigenes CMYK)

Übung: Erstelle in PS ein eigenes CMYK-Profil und konvertiere Testchart.tif in dieses mit *Bearbeiten/In Profil umwandeln*. Erstelle 3 Profile mit unterschiedlichen Parametern und vergleiche die Transformationsergebnisse.

In den folgenden beiden Abbildungen ist die Auswirkung eines UCR zu sehen. Vorteil ist der verringerte Farbauftrag in den Buntfarben. Achte in den Abbildungen auf den Schwarzkanal, in den der Unbuntanteil der Buntfarben teilweise ausgelagert wird.



Abbildung 11: Originaldaten vor UCR



Abbildung 12: Daten nach UCR

1.4 CIE-NORMVALENZSYSTEM

Als eine der ersten internationalen Normen wurde 1931 von der CIE⁵ das **Normvalenzsystem** eingeführt. Die subjektive Farbempfindung wurde durch eine Versuchsreihe mit verschiedenen Testpersonen im 2°-Blickfeld auf allgemeine **Farbvalenzen** zurückgeführt. Es erfasst die **Gesamtheit wahrnehmbarer Farben**.

1.4.1 VON XYZ NACH XYZ

Das **Tristimulussystem CIE XYZ 1931** ist eine abgeänderte Version des RGB-Farb-Tristimulussystems. Dieses System ist rechnerisch einfacher, da keine negativen Zahlen vorkommen.

Farben können durch 3 Werte beschrieben werden (Tristimulus), nämlich **X, Y und Z**. X definiert den Stimulus des roten Kanals, Y den Stimulus des grünen Kanals und Z den Stimulus des blauen Kanals.

Zur anschaulichereren Darstellung von Farträumen entwickelte die CIE ein zweidimensionales Diagramm, die **CIE- xy-Normfarbtafel**. Dabei gilt: **1 – x – y = z**

Zur Umrechnung müssen die X, Y und Z-Werte **normiert** werden, um die Intensität bzw. Helligkeit rechnerisch zu entfernen.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Rechenbeispiel: Gegeben sei **[XYZ] = 35, 71, 11**. Errechne **[xyz]**. Welcher **Farbvalenz in Worten** entspricht das? Zeichne den **Farbort** in der **CIE xy-Normvalenz** ein.

Lösung: **[xyz] = 0,299, 0,607, 0,093**; Farbvalenz: Grün; Eingezeichnet mit rot gefülltem Kreis siehe Abbildung 14: CIE xy-Normfarbtafel

⁵ Commission Internationale de l'Eclairage

In der **Normfarbtafel** werden **nur x und y aufgetragen**, die den Farnton ergeben. Da helle oder dunkle Flächen denselben Farbwert haben, ergibt sich **z** rechnerisch.

- Im Normfarbraum sind **alle sichtbaren** Farben wiedergegeben.
- Die **Spektralfarben** (gesättigte Farben) liegen auf der gekrümmten Außenlinie.
- Auf der Geraden liegen die **gesättigten Purpurfarben** (additive Mischfarben aus Blau und Rot).
- Im **Unbuntpunkt E** ($x = y = 0,33$) steht senkrecht die Grauachse (Unbuntachse), Hellbezugswert $Y = 0 =$ Schwarz, $Y = 100 =$ Weiß.
- **Additive Mischfarben** liegen auf der Geraden zwischen den beiden Ausgangsfarben (P – Q).
- Innerhalb des **dreieckigen Bereichs** liegt sRGB (Standard RGB)
- Die Eckpunkte von Farträumen wie sRGB nennt man **Primärvalenzen**
- **Black-Body-Kurve** entspricht dem Temperaturverlauf des schwarzen Strahlers.
- **W** ist ein Bezugs-**Weißpunkt**.

Gamut	sRGB	Adobe RGB	EciRGB
R (x/y)	0,640 / 0,330	0,640 / 0,330	0,670 / 0,330
G (x/y)	0,300 / 0,600	0,210 / 0,710	0,210 / 0,710
B (x/y)	0,150 / 0,060	0,150 / 0,060	0,140 / 0,080

Abbildung 13: Primärvalenzen üblicher Farträume

CIE-Farbe	Wellenlänge (nm)	x	y	z
Spektral-Rot	700.0	0.73467	0.26533	0.0
Spektral-Grün	546.1	0.27367	0.71741	0.00892
Spektral-Blau	435.8	0.16658	0.00886	0.82456

Achtung: Verwechsle nicht XYZ mit xyz

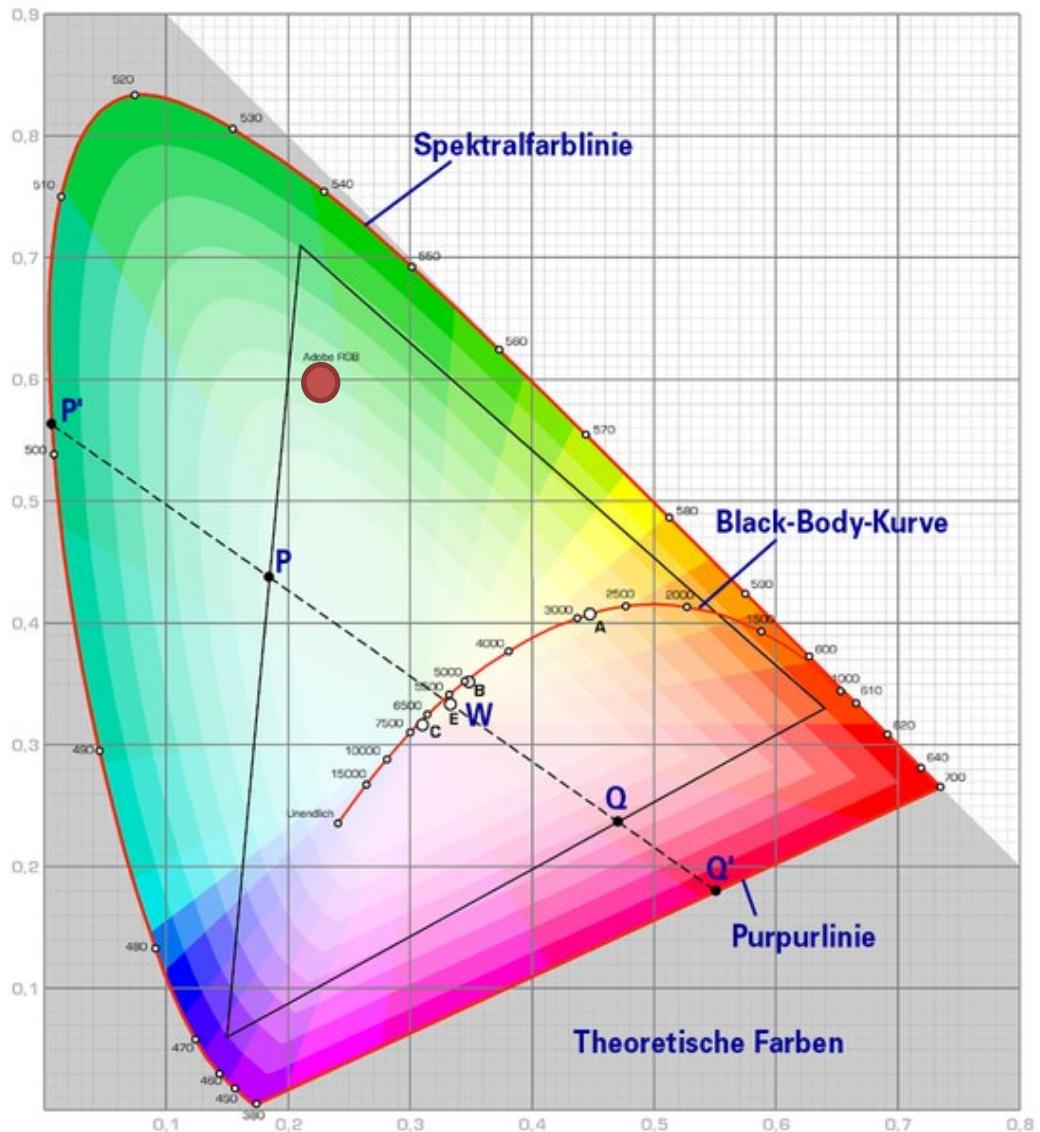


Abbildung 14: CIE xy-Normfarbtafel

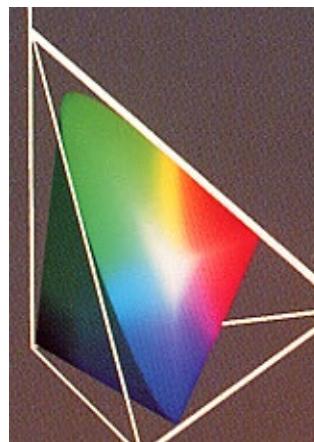


Abbildung 15: CIE-Normvalenzsystem 3D

1.5 CIELAB

Die CIE führte 1976 einen **neuen Farbraum** ein. Im **CIELAB**-Farbsystem sind Mängel des Normvalenzsystems (MacAdam Ellipsen) durch eine mathematische Transformation behoben. In den letzten Jahren hat sich das LAB-System als Referenzmodell für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche bewährt.

- Im $L^*a^*b^*$ -Farbenraum sind **alle sichtbaren** Farben wiedergegeben.
- Die **gesättigten** Farben (Spektral- und Purpurfarben) liegen auf der **Außenlinie** der mittleren Ebene ($L^* = 50$).
- In der **Mitte** des Farbraums steht senkrecht die **Unbunt- bzw. Grauachse** ($a^* = b^* = 0; L^* = 0$: Schwarz, $L^* = 100$: Weiß).

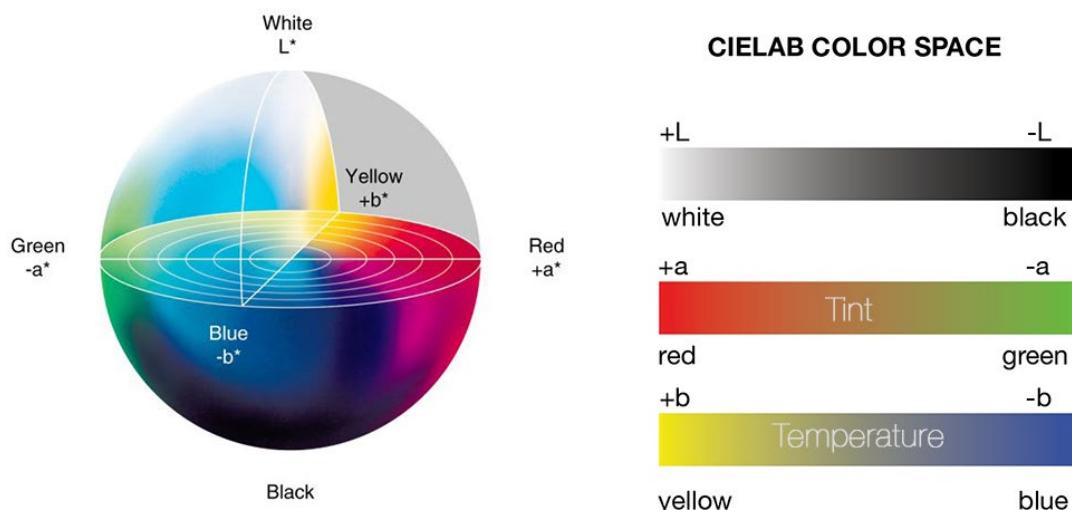


Abbildung 16: CIELAB Farbmodell

Zur Bestimmung des **Farbortes** einer Farbe dienen drei Kenngrößen:

- **Helligkeit** L^* (Luminanz): Ebene im Farbkörper
- **Sättigung** C^* (Chrominanz): Entfernung vom Unbuntpunkt
- **Farnton** H^* (Hue): Richtung vom Unbuntpunkt

1.5.1 FARBABSTAND ΔE

Im LAB-System entsprechen sich der **visuelle** Abstand und der geometrische Abstand zweier Farben.

Der **Farbabstand ΔE^6** ist die Strecke zwischen zwei Farborten im Farbraum.

Delta E bzw. ΔE ist ein Maß der CIE, das den visuellen Unterschied zwischen Farben ausdrückt. Das E steht für „Empfindung“.

Errechnet wird dieser wie folgt ($p = \text{Probe}$, $v = \text{Vergleich}$):

$$\Delta E_{p,v} = \sqrt{(L_p - L_v)^2 + (a_p - a_v)^2 + (b_p - b_v)^2}$$

Berechnung des Farbabstands ΔE

Schritt 1:
Berechnung der Diagonalen in der Ebene a^*/b^*

$$c^2 = (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2$$

Schritt 2:
Berechnung der Diagonalen im Quader

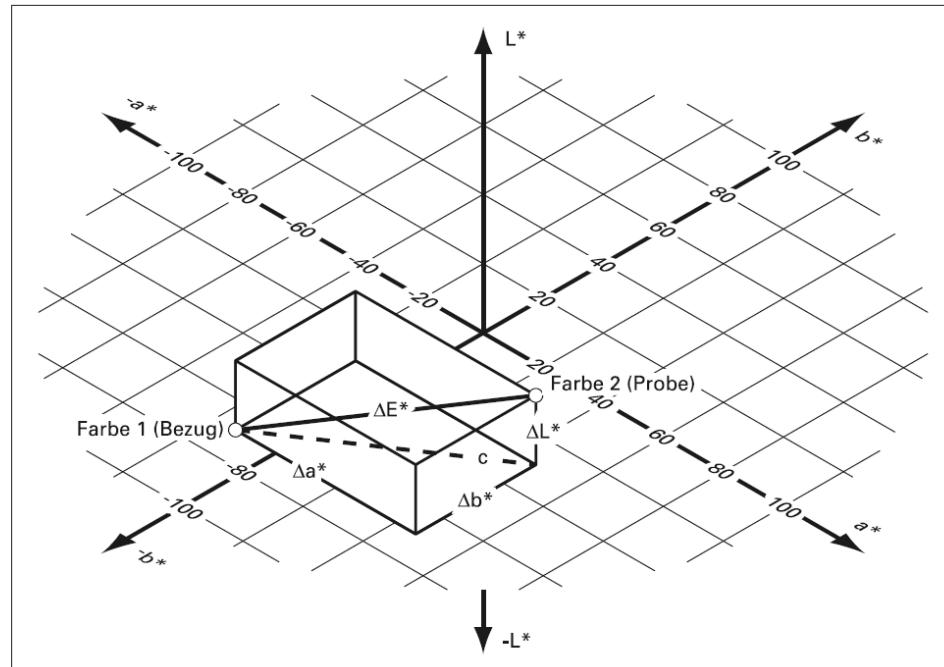
$$c = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

wobei:

$$\Delta E^* = \sqrt{c^2 + (\Delta L^*)^2}$$

daraus folgt:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$



⁶ Auch: E^* oder Delta E

ΔE	Bewertung
0,0 ... 0,5	nahezu unmerklich
0,5 ... 1,0	für das geübte Auge bemerkbar
1,0 ... 2,0	geringer Farbunterschied
2,0 ... 4,0	wahrgenommener Farbunterschied
4,0 ... 5,0	wesentlicher, selten tolerierter Farbunterschied
oberhalb 5,0	die Differenz wird als andere Farbe bewertet

• Color Gamut & ΔE

ΔE Measurement Condition

Color Temperature:	6500K
Gamma Curve:	2.2
Color Gamut:	sRGB
Input Signal:	Digital
Measurement Device:	Konica-Minolta CA310

ΔE Measurement Result

Gamut Boundary Patches:

	R	G	B	W
u'	0.4538	0.1243	0.1745	0.1965
v'	0.5250	0.5627	0.1644	0.4689

Delta E test result:

Avg. ΔE :

0.9168

Abbildung 17: Auszug aus einem Kalibrierreport eines Monitors

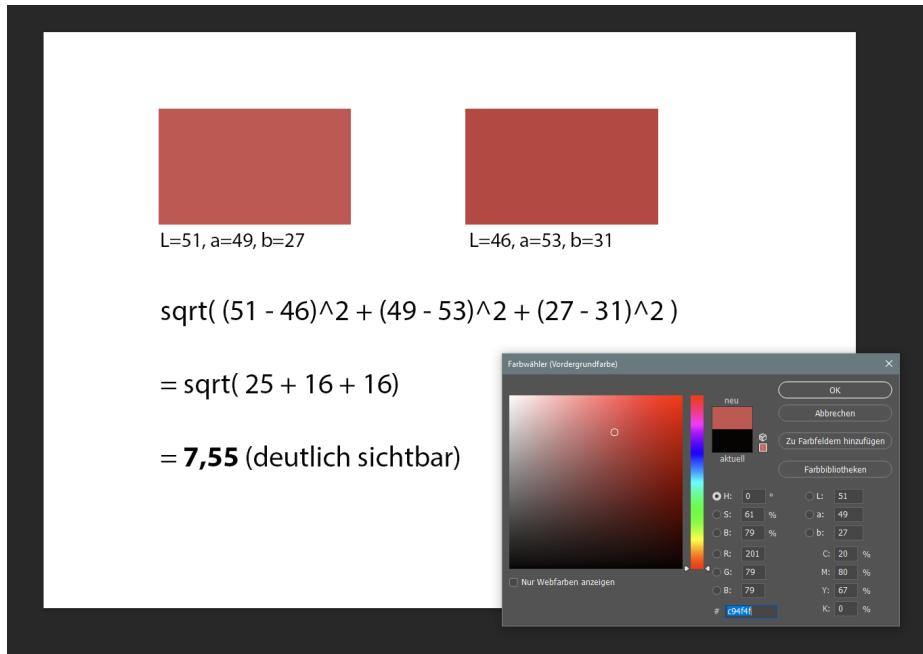


Abbildung 18: Beispiel in Photoshop



BenQ PD2700U Online Factory Calibration Report



BenQ AQCOLOR Technology brings factory-calibrated colors to elevate your creative workflow.
Enjoy the out-of-the-box color accuracy of color gamuts and bring your design work to life.

• Model Information

Model Name	PD2700U	Serial Number	ETI2345678SLO
------------	---------	---------------	---------------

• Color Gamut & ΔE

ΔE Measurement Condition

Color Temperature:	6500K
Gamma Curve:	2.2
Color Gamut:	sRGB
Input Signal:	Digital
Measurement Device:	Konica-Minolta CA310

ΔE Measurement Result

Gamut Boundary Patches:

	R	G	B	W
u'	0.4538	0.1243	0.1745	0.1965
v'	0.5250	0.5627	0.1644	0.4689

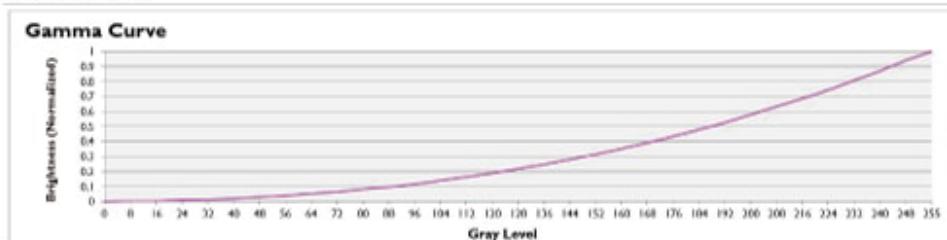
Delta E test result:

Avg. ΔE: 0.9168

• **ΔE:** ΔE is often used to evaluate the accuracy of color. ΔE < 1.00 means there is no perceivable difference for experts when comparing two colors side by side. ΔE < 3.00 means there is no significant difference for any average person.

• Gamma

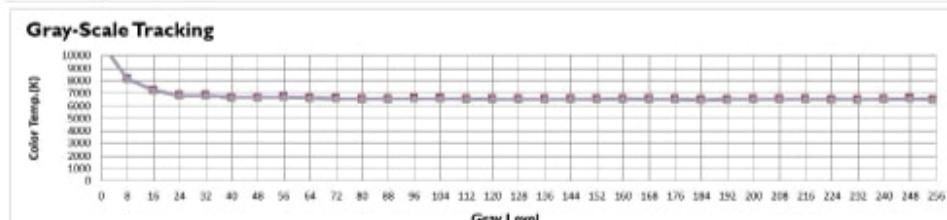
Gamma Curve



• **Gamma:** Gamma correction is to ensure that the gamma level of the monitor is corrected so that its gray level will be displayed smoothly.

• Color Temperature

Color Temperature Vibration



• **Color Temperature:** Color temperature refers to the color of light and is specified in units of Kelvin (K) to indicate how the picture quality is adjusted on a monitor. A stable color temperature will ensure correct color reproduction.

This report shows the measurement result at the time of shipment. The result may vary depending on the measurement device and measurement condition. Note that the monitor characteristics may change with secular variation.



V1.2

Abbildung 19: Kalibrierreport eines BenQ Monitors. Dieser muss bei professionellen Monitoren für jedes Gerät individuell angefertigt werden.

1.6 CIELCH

Die Bewertung von Farben und die Bestimmung von Farbdifferenzen erfolgt meist im CIELAB-Farbraum über die Kenngrößen L^* , a^* und b^* . Farnton H^* und Sättigung S^* werden dabei in der Ebene durch die Koordinaten a^* und b^* beschrieben.

In der **Bildverarbeitung** ist es sinnvoller, die drei Größen L^* , C^* und H^* **unabhängig voneinander verändern** zu können. Wir sprechen dann vom **CIELCH**-Farbraum. Dieser ist aber grundsätzlich identisch mit dem CIELAB-Farbraum. Der einzige Unterschied ist die Kennzeichnung des Farbortes in der Ebene.

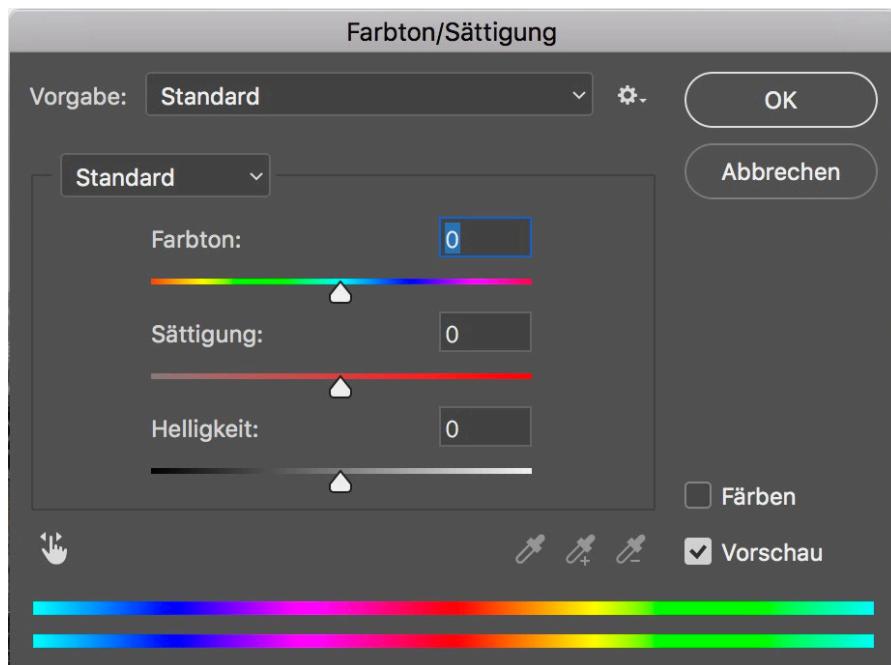


Abbildung 20: CIELCH-Korrektur in Photoshop

2 BILDBEARBEITUNG IN PHOTOSHOP

Hier wechseln wir zum HERDT-Lehrbuch und arbeiten die Kapitel 1 bis 11 durch.

3 BILDVERARBEITUNGSPARAMETER

Zur **Datenaufbereitung bei Bilddaten** gehört die Beurteilung und **Korrektur der Bildparameter**. Ziel der Korrektur ist grundsätzlich eine **Neutralkorrektur (technische Korrektur)**, bei der Fehler wie Farbstiche, Belichtung usw. behoben werden.

Unterscheide die **technische Korrektur von der kreativen Korrektur**, bei der empfindungsgemäß vorgenommen wird (color correction vs. color grading).

Folgende Begriffe werden dabei verwendet:

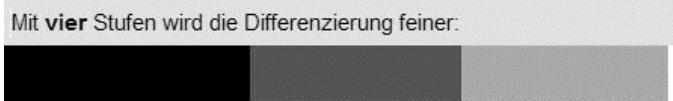
- **Tonwerte:** Technisch bedingte Abstufungen im Bild durch Quantisierung bei der A/D-Wandlung
- **Spitzlicht:** „Allerhellste“ Bildstelle, ein metallischer Reflex, das Funkeln im Auge
- **Licht/Lichter:** Höchste Tonwerte, hellste Bildbereiche
- **Vierteltöne:** Tonwerte zwischen Licht und Mittelton, helle Bildbereiche
- **Mitteltöne:** Mittlere Tonwerte im Bild
- **Dreivierteltöne:** Tonwerte zwischen Mittelton und Tiefe, dunkle Bildbereiche
- **Tiefe, Tiefen:** Niedrigste Tonwerte, dunkelste Bildbereiche
- **Kontrast:** Visuelle Differenz zwischen hellen und dunklen Bildstellen
- **Dynamik oder Kontrastumfang:** Unterschied minimaler und maximaler Tonwert im Bild.
- **Systemdynamik:** Unterschied minimaler und maximaler Abtastwert (zB. 0 und 255 bei 8 bit Quantisierung).
- **Gradation:** Tonwertabstufung, Bildcharakteristik. Üblicherweise wird von weicher, normaler und harter Gradation gesprochen. Siehe Abbildung.
- **(Durch-)Zeichnung:** Unterscheidbare Tonwerte, Strukturen
- **Absaufen/Abgesoffene Bereiche:** keine unterscheidbaren Tonwerte, Strukturen
- **Farbstich:** Ungleichgewicht der Prozessfarben
- **Weißpunkt, Weißabgleich, Graubalance, Graubedingung:** Verhältnis der Prozessfarben (RGB oder CMYK), das ein neutrales Weiß bzw. Grau ergibt
- **Schärfe:** Detailkontrast benachbarter Bildstellen
- **Clipping:** Tonwerte erreichen bei zB. 8 bit Werte von 0 oder 255

3.1 TONWERTE

Jedes digitale Bild setzt sich aus **Tonwerten** zusammen. Bei einer Bittiefe von **8 bit** besteht das Bild aus maximal **256 Tonwerten** (zB. pro Kanal). Es müssen nicht alle Tonwerte in einem Bild vorkommen.



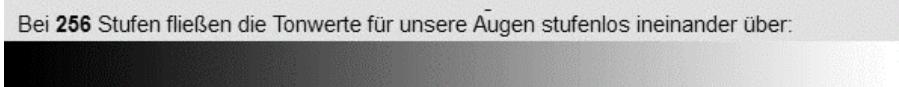
Der Helligkeitsverlauf kann in **zwei** Stufen geteilt sein.



Mit **vier** Stufen wird die Differenzierung feiner:



Mit **32** gleichmäßig verteilten Stufen ist der Helligkeitsverlauf bereits in kleine Stufen unterteilt.



Bei **256** Stufen fließen die Tonwerte für unsere Augen stufenlos ineinander über:

3.2 HISTOGRAMM

Ein Histogramm ist eine grafische Darstellung der **Häufigkeitsverteilung von Tonwerten** in einem Bild. Auf der X-Achse sind die Tonwerte, auf der Y-Achse ihre Häufigkeit dargestellt.

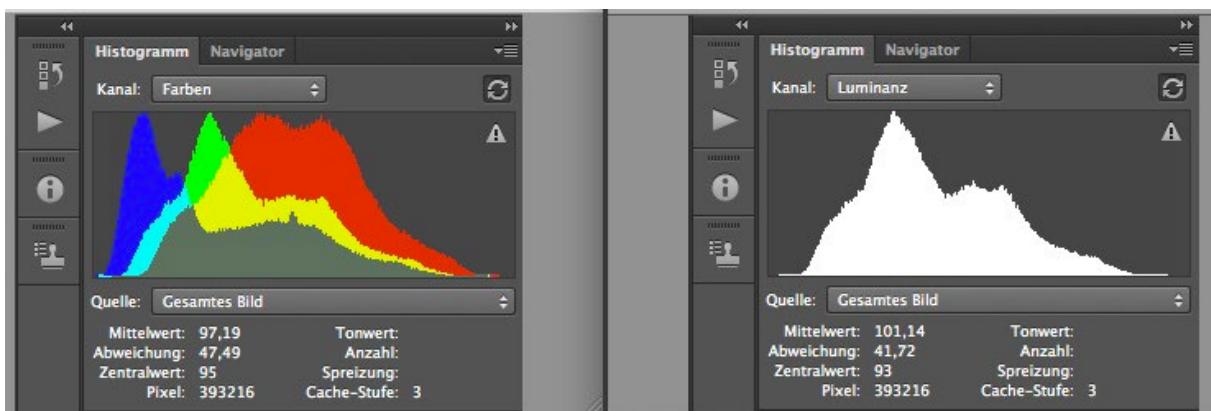


Abbildung 21: Histogramm in Photoshop

Im Histogramm eines Bildes können einige **Eigenschaften** abgelesen werden:

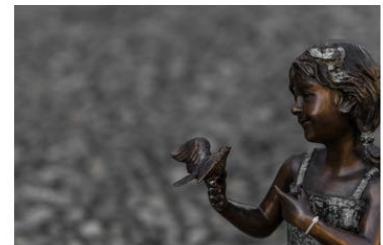
- Belichtung
- Helligkeitsverteilung
- Tonwertsprünge bzw. fehlende Tonwerte
- Kontrast und Gradation
- Dynamik
- Clipping
- Tiefen, Dreivierteltöne, Mitten, Vierteltöne, Lichter



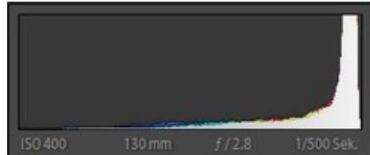
Überbelichtetes Bild



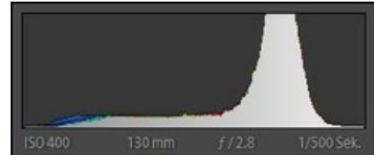
korrekt belichtetes Bild



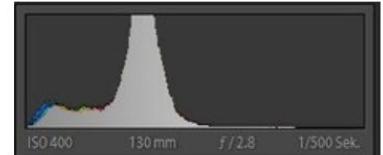
Unterbelichtetes Bild



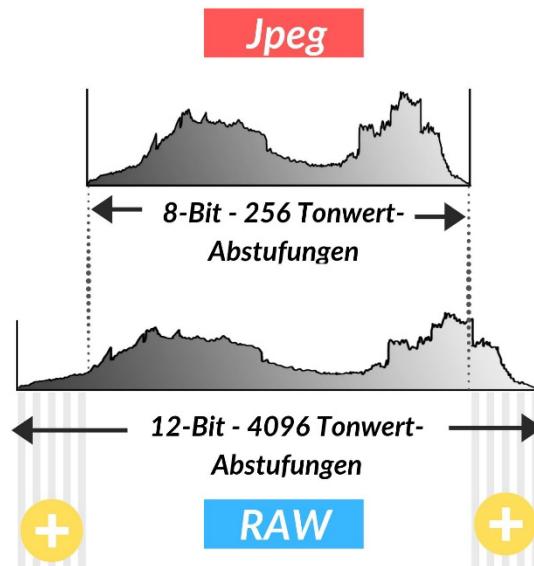
Histogramm des überbelichteten Bildes

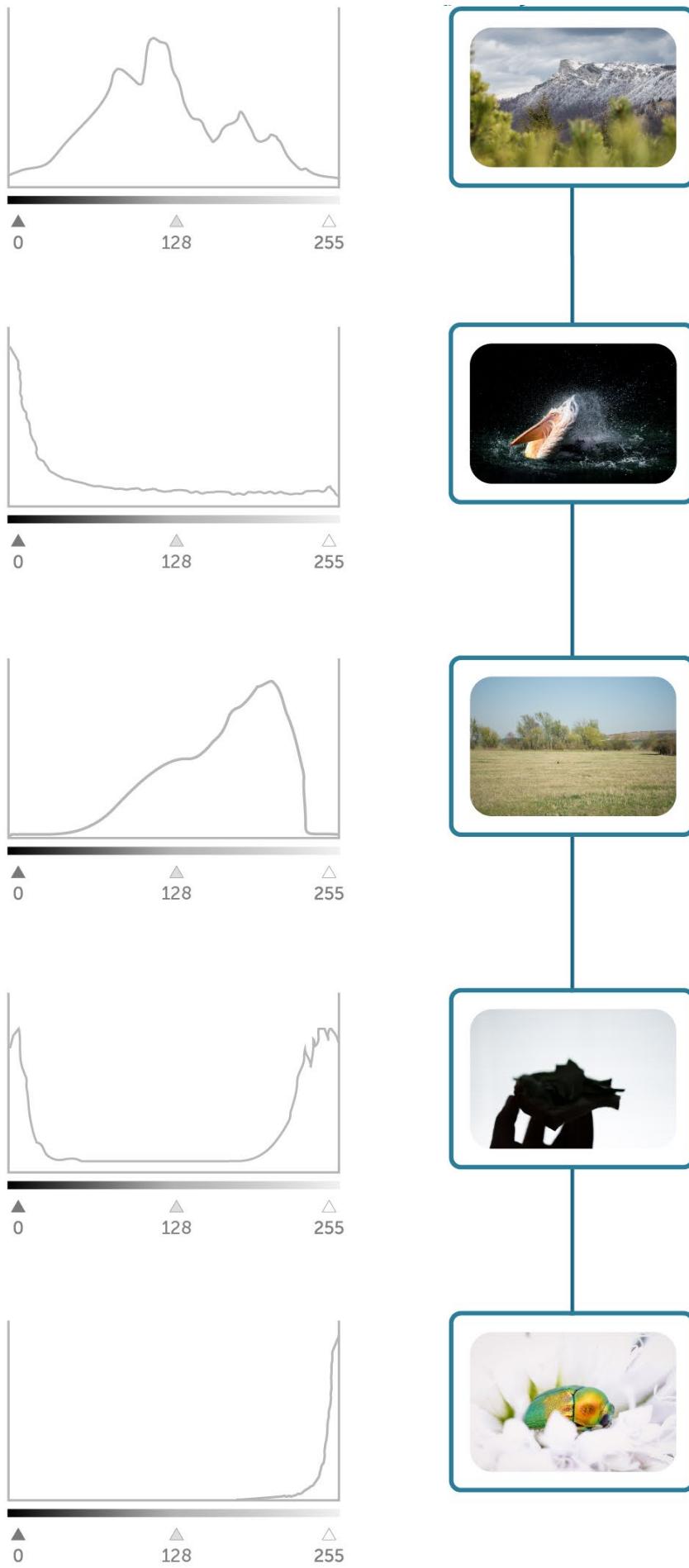


Histogramm des korrekt belichteten Bildes



Histogramm des unterbelichteten Bildes





3.3 GRADATION UND TONWERTKORREKTUR

Die Gradation beschreibt die Bildcharakteristik und die Verteilung der Tonwerte. Man spricht von **harter, weicher und normaler Gradation** als Beurteilungskriterium.



Abbildung 22: Harte Gradation: ausgeprägte Tiefen und Lichter, wenige Mitten, hoher Kontrast



Abbildung 23: Normale Gradation. Gute Verteilung der Tonwerte über das Tonwertspektrum

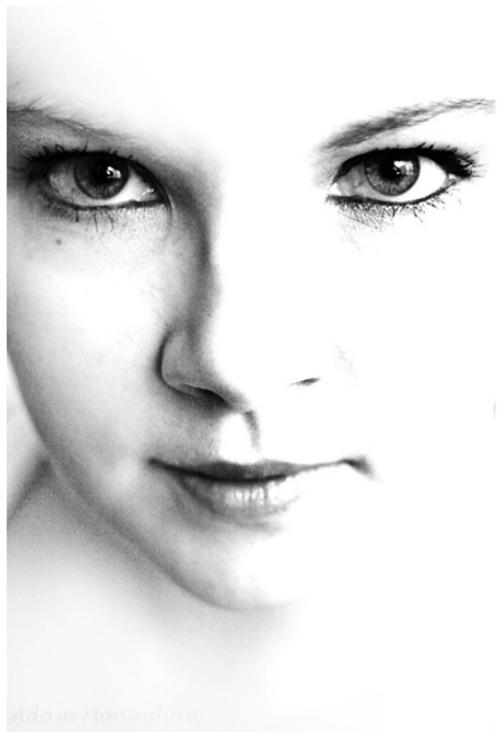


Abbildung 24: Flache Gradation. Wenig Kontrast, viele Mitten, wenige Tiefen und Lichter



Adam Monaghan

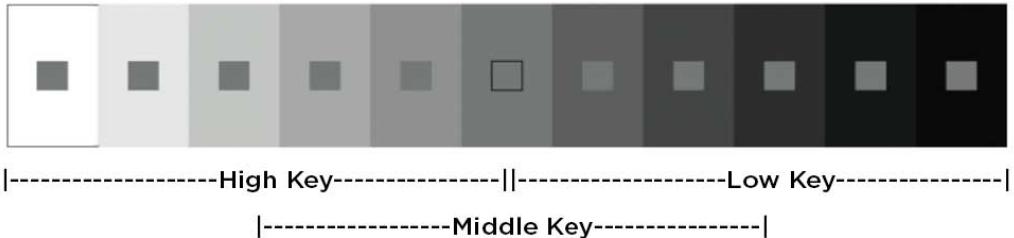
‘Barefoot Brothers, Helsinki’ 2009



Adam Monaghan

‘Eyes, Helsinki’ 2010

Abbildung 25: Sonderformen Low Key und High Key



Wichtigstes Mittel zur Korrektur der Tonwerte sind die **Tonwertkorrektur und die Gradationskurve** mit dem **Histogramm** als visuelles Hilfsmittel zur Beurteilung der Gradation.

Bei der **Tonwertkorrektur** werden die im Bild vorhandenen Tonwerte angepasst.

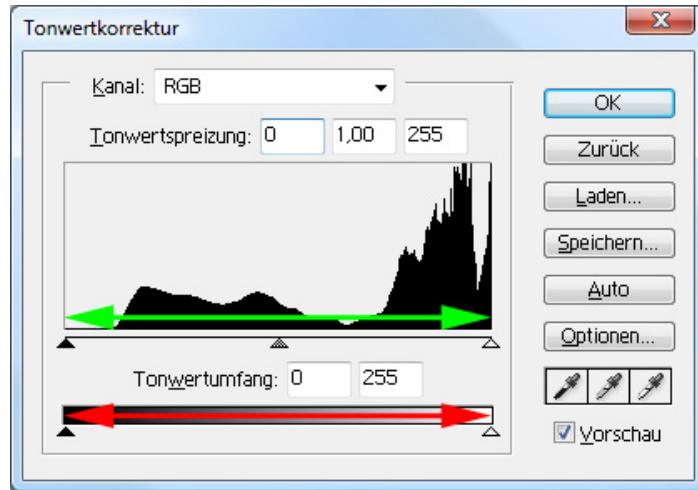


Abbildung 26: Tonwertkorrektur; Grün ist das Histogramm und rot der Tonwertumfang

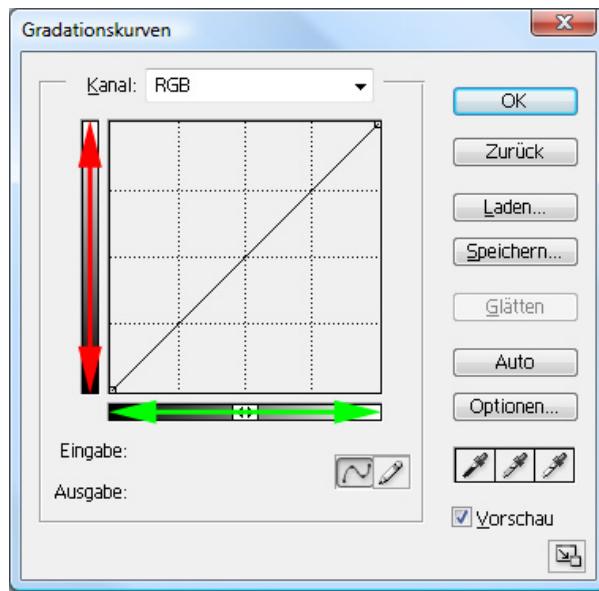


Abbildung 27: Gradationskurve; Rot sind die Ausgabewerte und grün die Eingabewerte

Tonwertkorrektur und Gradationskurve sind zwei Werkzeuge mit gleichem Effekt bzw. Ziel. Beachte auch, dass die Korrekturen **meist verlustbehaftet** sind. Man kann keine Tonwerte herzaubern.

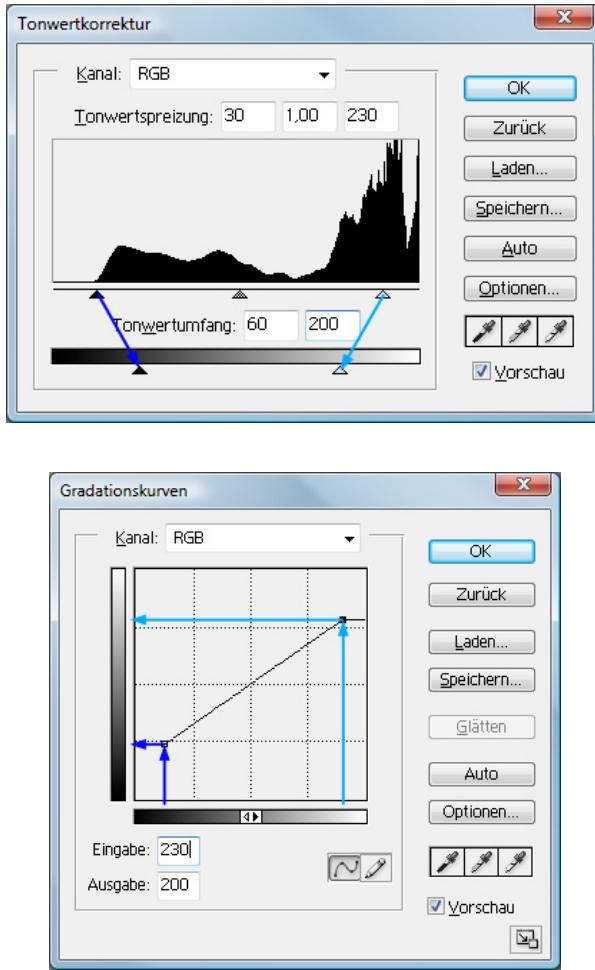


Abbildung 28: Zwei Werkzeuge für die Tonwertkorrektur

Oft werden **Histogramme in RGB-, Luminanz- oder Mittelwert-Darstellung** angezeigt.

- **RGB:** Die Tonwerte von R, G und B werden anhand ihrer Häufigkeit im Histogramm getrennt angezeigt
 - **RGB-Mittelwert:** Der Tonwert-Mittelwert ergibt sich aus $(R+G+B)/3$
 - **Luminanz:** R, G und B werden mit Gewichtungsfaktoren verrechnet, die von der Empfindlichkeit des Sehsinns abgeleitet sind (vergleiche V-Lambda-Kurve).
- Photoshop nutzt aktuelle die Gewichtungsfaktoren **$0,3*R + 0,59*G + 0,11*B$**

Das Luminanz-Histogramm ist besser zum Einschätzen der Belichtung geeignet, das RGB-Histogramm für die Korrektur und Clipping-Kontrolle.

Vorgehensweise, um herauszufinden, welche Histogrammberechnung verwendet wird:

Leg einen RGB-Farbwert $rgb\ 100/150/200$ an (oder einen beliebigen anderen Wert). Füll damit eine Arbeitsfläche von $1920*1080\ px$ (Bearbeiten/Fläche füllen/Farbe...).

Im Luminanz-Histogramm siehst du nun **einen einzelnen Ausschlag beim Tonwert 140** ($100*0,3+150*0,59+200*0,11$) bei $2073600\ Pixeln$ ($1920*1080$).

Im RGB-Histogramm siehst du nun **3 Ausschläge bei 100, 150 und 200**.

Im RGB-Mittelwert-Histogramm siehst du **einen Ausschlag bei 150**.

Vergiss nicht, das Histogramm mit dem Aktualisieren-Symbol zu refreshen.

Übung: Führe Tonwertkorrekturen bei den Beispielbildern durch und versuche, aus dem Histogramm Bildeigenschaften zu interpretieren. Worin besteht der Unterschied zwischen Tonwertumfang und Tonwertspreizung?

3.4 NEUTRALKORREKTUR/TECHNISCHE KORREKTUR

Jede digitale Bild, egal ob gescannt oder fotografiert weist mehr oder weniger starke technische Fehler auf. Dazu zählen

- Farbstiche und Graubalance
- Schärfemängel
- Sättigung
- Bildrauschen
- Farbverschiebungen
- Helligkeit und Kontrast

Eine **Neutalkorrektur** ist das Ergebnis der Korrektur der genannten Mängel. Diese erfolgt auf Basis konkreter **Messungen bzw. Analysen** und hat nichts mit einer stilistischen Korrektur bzw. Retusche zu tun. Jedes Bild wird zuerst neutalkorrigiert und erst danach stilistisch angepasst oder retuschiert.

Analytische Werkzeuge in der EBV sind: Pipette, Histogramm, Info-Fenster

Übung: Wir lernen die grafischen Parameter und grundlegende Farbkorrekturen in Form der Neutralkorrektur in der EBV-Software kennen. Nutze dabei die bereitgestellte Landschaftsaufnahme. Erstelle eine Neutalkorrektur mit Tonwertkorrektur, Farnton/Sättigung, Unscharfmaskierung/Schärfe, Rauschreduzierung und Farbbebalance (für Graubalance). Arbeitet im RGB-Farbmodus.

Workshop Neutalkorrektur Einstieg: Beachte die Anweisungen und führe eine Neutalkorrektur durch.

3.5 AUFLÖSUNG UND FARBTIEFE

Bei der Digitalisierung eines Bildes wird es in einzelne meist quadratische **Flächenelemente** zerlegt, die so genannten **Pixel** (px). Die Anzahl der **Pixel pro Streckeneinheit** wird als **Auflösung** bezeichnet. Die Auflösung hat als Einheit Pixel/Zoll bzw. Pixel/inch, **ppi/dpi**, oder Pixel/Zentimeter, ppcm bzw. **px/cm**. Im Druck wird auch Linien/cm (**L/cm**) bzw **Ipi** verwendet. **1 inch = 2,54 cm**.

Unterscheide die Begriffe **Auflösung**, **Bilddimension/Bildgröße** und **Pixelanzahl**. Ein Bild kann eine Dimension von 100 x 100 px aufweisen, was 0,1 Megapixel entspricht. Die Auflösung bestimmt nun die physikalische Größe der vorhandenen Pixel bei der Ausgabe, zB. 72 dpi oder 300 dpi. Dh. grundsätzlich hat ein Pixel gar **keine physikalisch Größe**, es bekommt erst eine durch die Auflösungszahl bzw. das Ausgabegerät. Ein Bild 1000 x 1000 px wird bei 300 dpi ca. 85 x 85 mm, bei 72 dpi ca. 353 x 353 mm groß dargestellt.

Ausgabe		Eingabe		
Anwendung	Bildaufösung Ausgabe	Farbmodi	Bildaufösung Scan/Bildverarbeitung	Farbmodi
Offsetdruck	48 L/cm, 120 Ipi 60 L/cm, 150 Ipi 70 L/cm, 175 Ipi	CMYK	240 ppi 300 ppi 350 ppi	RGB, CMYK, LAB
Tintenstrahldruck	720 dpi	CMYK	150 ppi	RGB, CMYK
Farblaserdruck	600 dpi	CMYK	150 ppi	RGB, CMYK
Multimedia	72 dpi (Mac) 96 dpi (PC)	RGB, Indiziert	72 dpi 96 dpi	RGB, Indiziert

Bei **Halbtonebildern im Druck** wird wie folgt gerechnet: $L/cm * 2,54 = Ipi * QF = dpi$

Der **Qualitätsfaktor** beträgt im Offsetdruck (autotypisches Raster) 2 und hängt von der Rastermethode ab. Die **Farbtiefe** wurde bereits besprochen und soll hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

3.6 WEIßABGLEICH

Um **Farbstichen entgegenzuwirken** ist bei technischer Farbreproduktion ein Weißabgleich bzw. die Graubalance zu beachten.

Das menschliche Auge passt sich **Farbveränderungen der Beleuchtung automatisch** an. Sie empfinden weißes Schreibmaschinenpapier auch unter rötlichem oder gelblichem Licht als weiß.

Bei Digitalkameras muss die sich verändernde spektrale Zusammensetzung der Beleuchtung korrigiert werden. Man nennt diese **Korrektur Weißabgleich**. Die drei Teilfarbenanteile Rot, Grün und Blau werden dabei so aufeinander abgestimmt, dass sie ein neutrales Weiß ergeben.

Dies kann automatisch durch die Software der Kamera oder manuell erfolgen. Beim **manuellen Weißabgleich wird eine Graukarte fotografiert** und diese dann über die Software in der Aufnahme neutral eingestellt. Der Weißabgleich ist also eher ein Graubalance. Da aber die Farbbalance für alle unbunten Tonwerte von Weiß über Grau bis Schwarz gilt, ist mit dem Abgleich mittels Graukarte auch das Weiß abgeglichen.



Abbildung 29: Weißabgleich manuell. Objektiv unscharf stellen und nicht überbelichten!

4 INDUSTRIELLE DRUCKVERFAHREN

Aufbauend auf den Inhalten des 3. und 4. Semesters MEDT sollen nun die Druckverfahren hinsichtlich ihrer Anwendung im industriellen Bereich erläutert werden.

Druck ist das Vervielfältigen, bei dem zur **Wiedergabe von Informationen** (Bild und/oder Text) **Druckfarbe auf einen Bedruckstoff** unter **Verwendung eines Druckbildspeichers** (zB. Druckform) aufgebracht wird.

Wir **unterscheiden** grundsätzlich die Hauptkategorien und die wichtigsten Verfahren:

- **Hochdruck:** Flexodruck
- **Tiefdruck:** Rotationstiefdruck, Illustrationstiefdruck
- **Flachdruck:** Offsetdruck
- **Durchdruck:** Siebdruck
- **Digitaldruck:** Elektrofotografie, Inkjet (continuous oder DoD - drop on demand, Thermodruck (Thermotransfer, Thermosublimation))
- **3D-Druck**

Eine grobe Unterscheidung nach **Qualität** und **Auflage/Druckgeschwindigkeit** ist sinnvoll.

- **Auflagenhöhe/Druckgeschwindigkeit:** Tiefdruck > Offsetdruck > Flexodruck > Digitaldruck > Siebdruck > 3D-Druck
- **Qualität** (mehrfarbig): Tiefdruck > Offsetdruck > Siebdruck > Digitaldruck > Flexodruck

Die Druckverfahren lassen sich **nach Auftragsart klassifizieren**. Dabei sind folgende Kriterien relevant:

- Auflagenhöhe
- Druckformkosten
- Bedruckstoffe
- Effekte/Veredelung
- Qualität
- Geschwindigkeit
- Rollen- oder Bogendruck

Erstelle eine Übersicht in Excel nach folgendem Schema.

Drucktechnologien in der Medientechnik

	Flexodruck	Rotationstiefdruck	Bogenoffsetdruck	Siebdruck Halbautomat	Elektrofotografie	Continuous Inkjet
typische Produkte						Etiketten, Adressen, EAN
Auflage hoch, mittel, niedrig						hoch
Druckformherstellung						direkt digitale Daten
Erkennungsmerkmale						einfarbig, Punkte erkennbar
Bogen/Rolle						beides
typische Qualität						gering
Hauptkategorie						Digitaldruck
direkt/indirekt						direkt

Beantworte zusätzlich folgende Fragen:

1. Bei welcher Art von Aufträgen ist Digitaldruck, wann ist Offsetdruck zu empfehlen?
2. Nenne 3 Druckereien aus der Umgebung Ybbs.
3. Nenne eine österreichische Online-Druckerei und stelle überblicksmäßig deren angebotene Leistungen/Druckprodukte dar. Ermittle die verwendeten Druckmaschinen. Stelle die Anforderungen an die Druckdaten-Erstellung dar (diese sind in einem PDF auf der Seite zu finden).
4. Besorge dir die Vorgaben zur Datenaufbereitung für A5-Flyer/4C im Offsetdruck von einer Online-Druckerei und interpretiere die Vorgaben. Beschreibe die Bedeutung jeder Vorgabe. Ermittle den Preis für 5000 Stück auf Recyclingpapier 200 g.
5. Nenne Software für die Erstellung von Druckdaten.
6. Welche konkreten Gestaltungsspielräume für Druckprodukte abseits der grafischen Gestaltung bestehen beim Offsetdruck (Veredelungen/Weiterverarbeitung)?

Anmerkungen zum Auftrag: Hohe Auflagen sind ab ca. 20.000 Stück, kleine Auflagen unter 500 Stück.

Abgabe: PDF mit Tabelle und Antworten

4.1 DIE DRUCKANFRAGE

Eine Druckanfrage dient der Kostenauskunft und ist Teil der sogenannten AVOR⁷.

Was **beinhaltet** eine Druckanfrage:

- **Druckprodukt** (Katalog, Buch, Flyer, Plakat...)
- **Auflage** in Stück
- **Format** offen und geschlossen
- **Umfang**: Seiten Inhalt und Seiten Umschlag
- **Farbigkeit**: Prozessfarben, Schmuckfarben, zB. 4/1farbig
- **Papier**: Grammatur und Art
- **Art der Vorlage**: PDF, Muster, PS
- **Korrektur**: PDF, farbverbindlicher Proof, Bürstenabzug
- **Veredelungen**: Prägung, Lack, Wasserzeichen ...
- **Weiterverarbeitungen**: Falzen, Bindung, Schneiden, Nuten...
- **Konfektionierungen**: Beilagen, Einklebungen...
- **Verpackung/Lieferung**: Kartons, einzeln, Paletten...
- **Liefertermin**

Erstelle eine **Druckanfrage** für ein **mehrseitiges Druckprodukt** deiner Wahl mit Veredelungen bei einer selbstgewählten Druckerei.

Abgabe: Anfrage als PDF

Achtung: Nicht an Druckerei senden, nur im Unterricht vorweisen.

⁷ Arbeitsvorbereitung

4.2 TIEFDRUCK

Die **druckenden Elemente der Druckform sind vertieft** und werden mit dünnflüssiger Farbe gefüllt. Nichtdruckende Bildelemente liegen in der oberen Ebene der Druckform, von Ihnen wird die Farbe abgerakelt.

Druckprodukte: Kataloge, Zeitschriften, Tapeten, Illustrierte, Verpackungen...

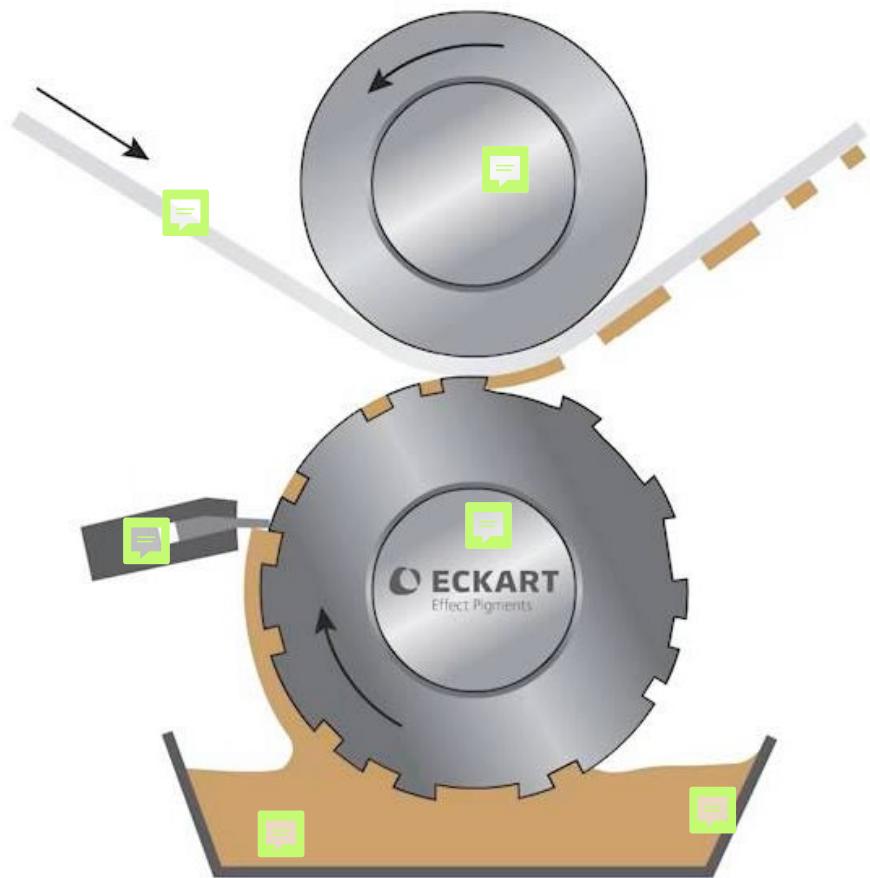


Abbildung 30: Tiefdruck-Prinzip

Beschrifte die Teile mit der PDF-Kommentarfunktion: Farbwanne, Farbe, Rakel, Druckformzylinder mit Vertiefungen, Papier, Gegendruckzylinder

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=oWUs4YUKtlw>

4.3 HOCHDRUCK

Die **druckenden Elemente der Druckform sind erhöht** und werden eingefärbt. Nichtdruckende Bildelemente liegen in der Druckform vertieft und werden nicht eingefärbt. Das Einfärben geschieht mittels farbführender Walzen. Vertreter dieses Verfahrens sind Buchdruck, **Flexodruck** und Letterset-Druck.

Druckprodukte: Karten, Prägungen, Bücher, Verpackungen, Visitenkarten, Kartonagen ...

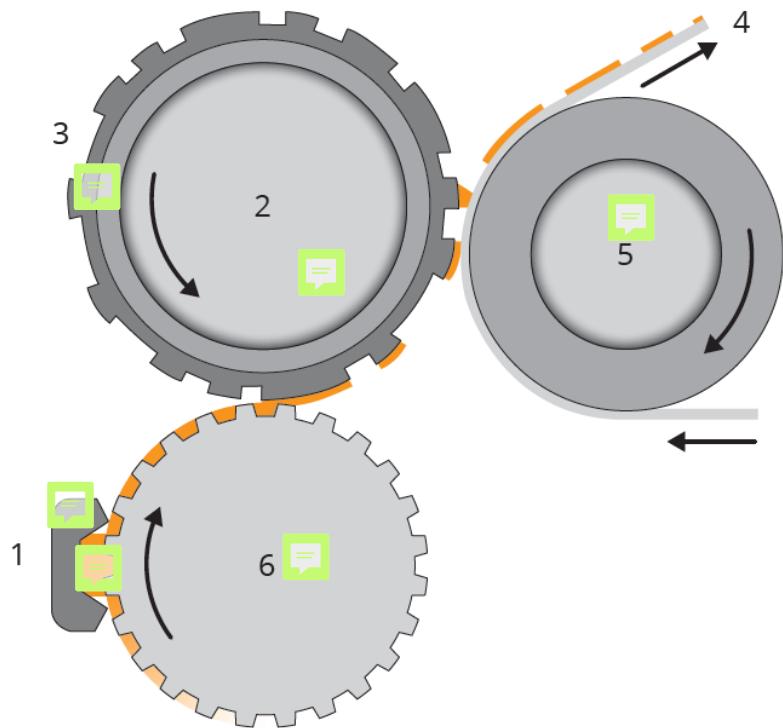


Abbildung 31: Flexodruck Prinzip

Beschrifte die Teile: Farbwerk, Farbe, Rasterwalze, Druckform, Druckformzylinder, Gegendruckzylinder, Papier

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=4ejm-FpLSAE>

4.4 FLACHDRUCK

Druckende und nichtdruckende Elemente der Druckform **liegen in einer Ebene**. Die druckenden Stellen der Druckform nehmen Farbe an, die nichtdruckenden stoßen die Farbe ab. Zu den Verfahren gehören der **Offsetdruck**, der Steindruck und der Lichtdruck.

Druckprodukte: Verpackungen, Akzidenzdruck, Zeitschriften, Zeitungen, Plakate, Flyer, ...

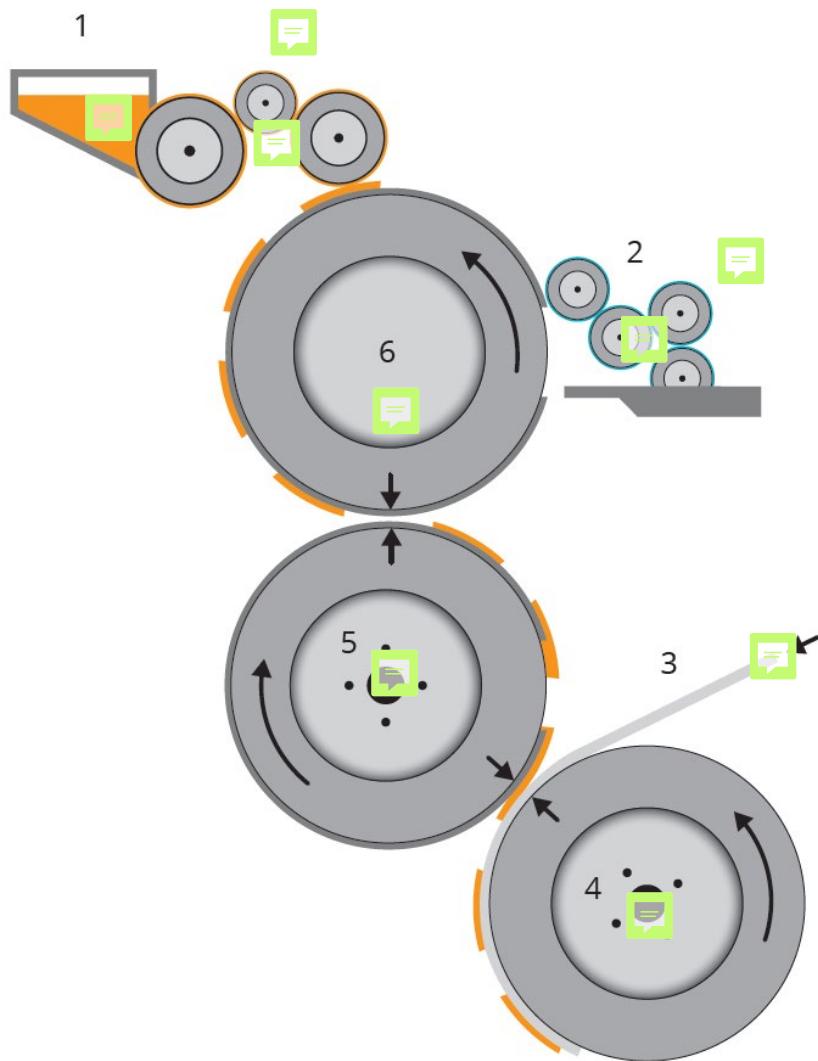


Abbildung 32: Offsetdruck Prinzip

Beschrifte die Teile: Druckformzylinder, Gegendruckzylinder, Gummituchzylinder, Papier, Farbe, Farbwerk, Farbwälzen, Fechtwerk, Fechtwälzen

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=bIV-OhyGdLs>

4.5 DURCHDRUCK

Die **Druckform** ist für Farbe **durchlässig**. Nichtdruckende Stellen werden abgedeckt. Die Farbe wird durch die Druckform hindurch auf den Bedruckstoff gepresst. Zu diesem Verfahren zählen **Siebdruck** und Risografie.

Druckprodukte: Textilien, Glas, Kunststoff, Metall, kleine Auflage, ...

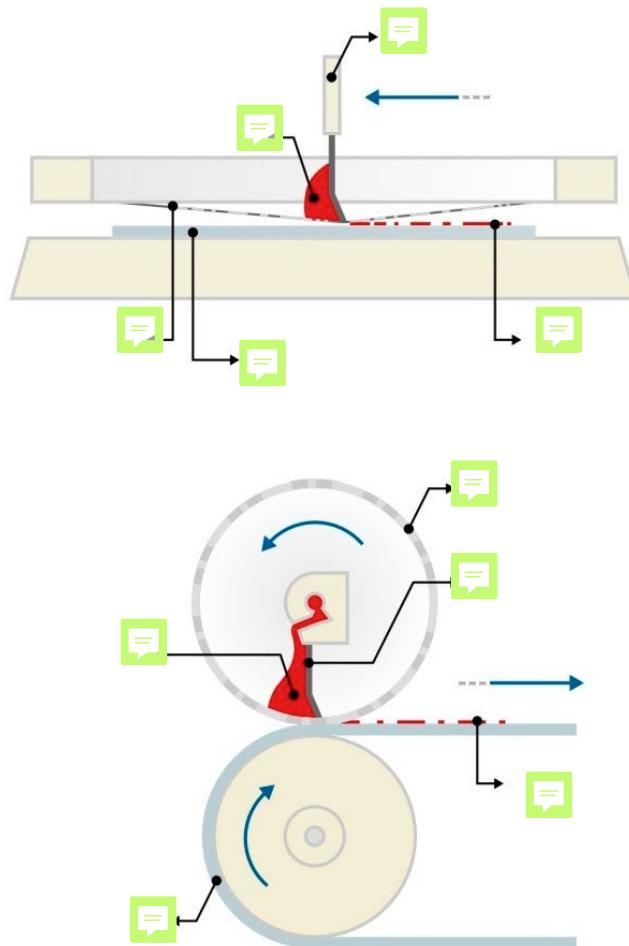


Abbildung 33: Siebdruck Prinzip

Beschrifte die Teile: Rake, Sieb, Farbe, Bedruckstoff, Gegendruckzylinder, Siebzylinder

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=o9fl7jOB7X8>

4.6 DIGITALDRUCK

Wir unterscheiden grob: **Elektrofotografie, Inkjet, Thermodruck**.

Druckprodukte: Vielfältig vom Flyer bis zum Transparent, kleine bis mittlere Auflage, Einzelstücke ...

4.6.1 ELEKTROFOTOGRAFIE

Als Farbmittel verwendet man **Trocken- oder Flüssigtoner**, welcher durch einen elektrostatischen Vorgang übertragen wird. Hierzu wird der Druckzylinder (auch **Fotoleiterzylinder**) durch eine Elektrode aufgeladen. Die **Belichtungseinheit** entfernt alle Ladungen an den nicht druckenden Stellen, das sog. **Latentbild** entsteht. Der Toner ist gegenpolig geladen und setzt sich an den druckenden Stellen des Zylinders ab. Durch mechanischen Druck und mit Hilfe einer Gegenelektrode wird nun der **Toner auf das Papier übertragen**. Im **Fixierwerk** werden die losen Tonerpartikel mit Druck und Hitze auf dem Substrat fixiert.

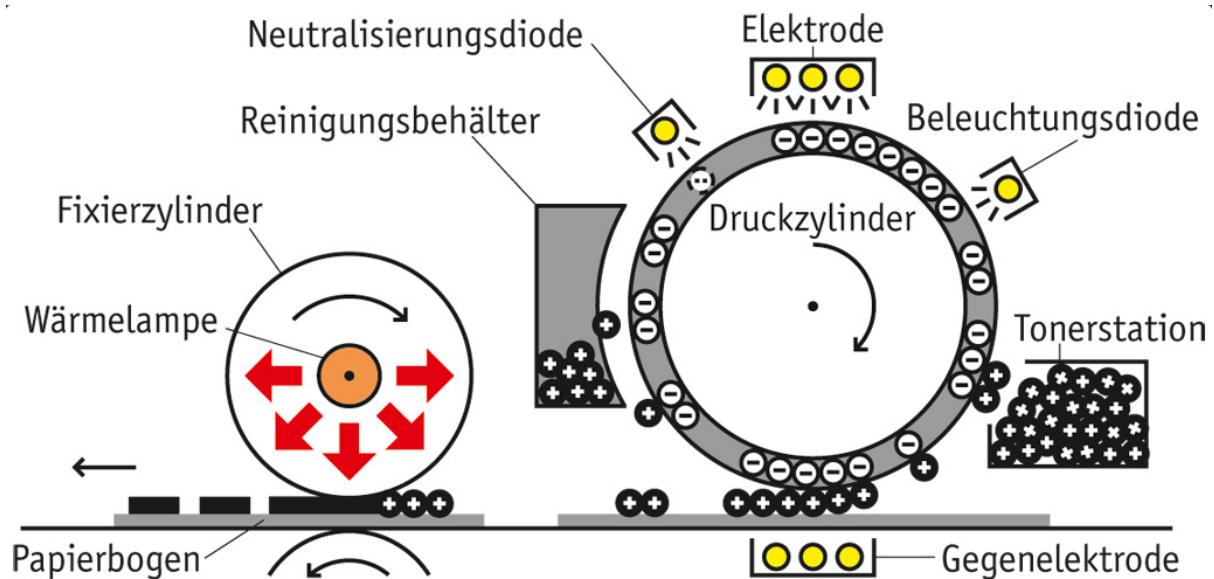


Abbildung 34: Elektrofotografie

4.6.2 INKJET

Es ist eines jener Druckverfahren, bei denen keine physikalische Druckform existiert, sondern das Bild direkt aus der Dateivorlage zu Papier gebracht wird. Dies geschieht durch einen Druckkopf, der über **Düsen feine Tintentropfen** auf das Papier aufbringt. Es wird zwischen **Drop-on-Demand** und **Continuous Inkjet** unterschieden.

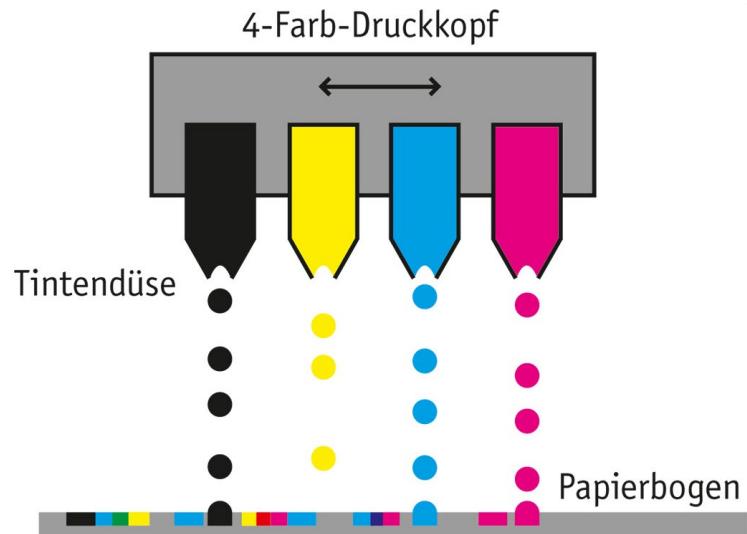


Abbildung 35: Inkjet DoD

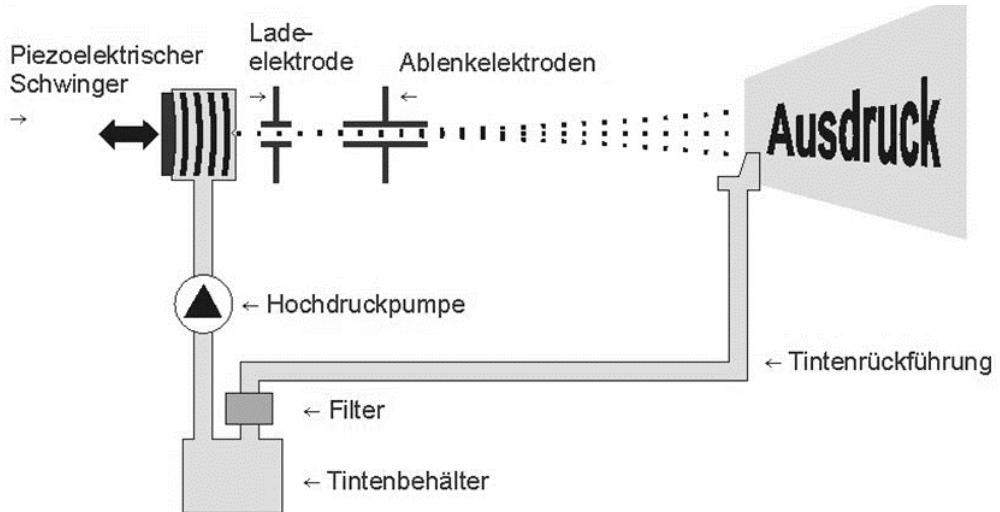


Abbildung 36: Inkjet continuous

4.6.3 THERMODRUCK

Beim **Thermosublimationsverfahren** wird die Druckfarbe über ein Heizelement aus einem Farbträgerband herausgeschmolzen. Dieses Druckverfahren wird zB. bei Fotodruckern eingesetzt und liefert sehr hohe Qualität.

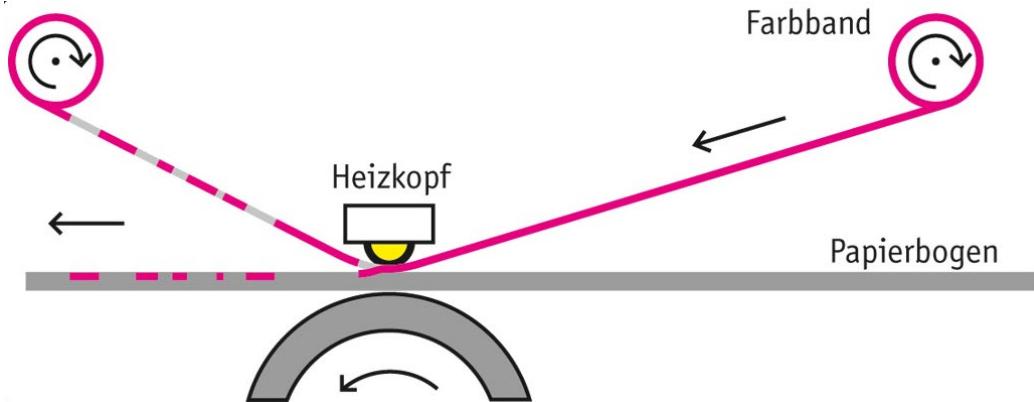


Abbildung 37: Thermosublimation



Abbildung 38: Thermosublimationsdrucker und Papier/Farbträgerband

5 3D-DRUCK

Um ein **Objekt aus einem 3D-Modell** aufbauen zu können, muss es zuvor (digital) in einzelne 2-Dimensionale (Layer) zerlegt werden. Diesen Vorgang nennt man **Slicing**.



In den folgenden Kapiteln werden 3D-Druckverfahren beschrieben. Die Abbildungen stammen von [pro-tec3d](#) und [vmr](#).

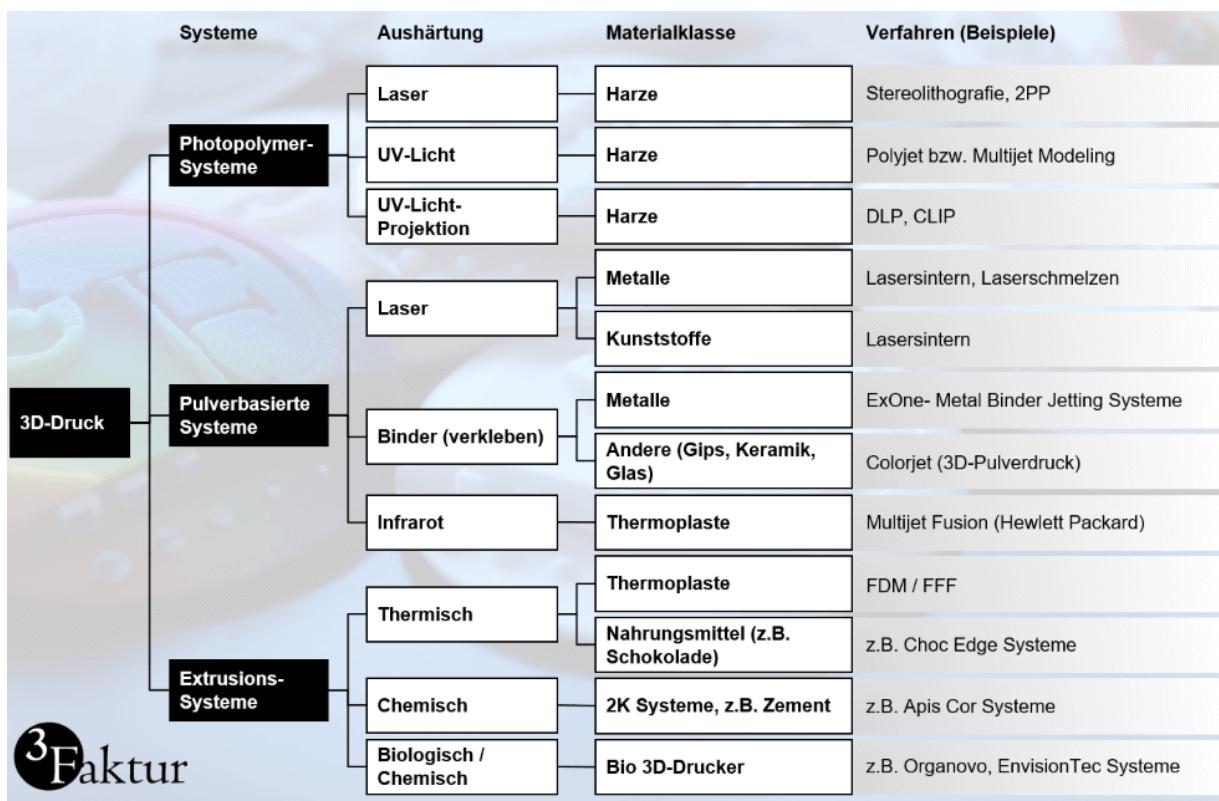
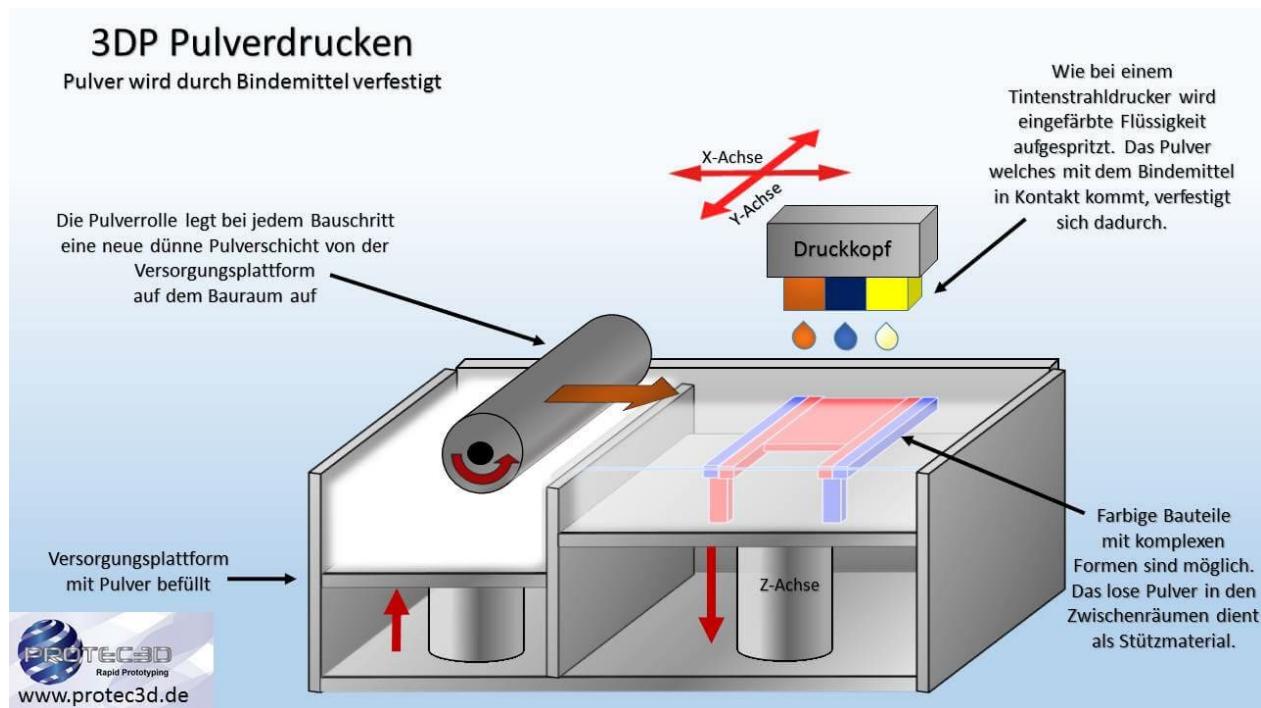


Abbildung 39: Ansätze im 3D-Druck

5.1.1 3DP PULVERDRUCK

Ein 3DP-Printer verfügt über einen oder mehrere Druckköpfe, der ähnlich wie bei einem herkömmlichen Tintenstrahl-Drucker funktioniert. Anstelle von Tinte, wird über diesen Druckkopf jedoch ein **flüssiger Klebstoff (Bindemittel)** auf eine **Pulverschicht** aufgetragen. Mithilfe des Binders haften die Schichten aufeinander, das Modell besteht aus vielen Schichten.

Genauigkeit	Mittel
Oberflächenglätte	Gering
Temperaturbeständigkeit	Gering
Robustheit	Sehr gering
Farben	Verschiedene, mehrfarbig



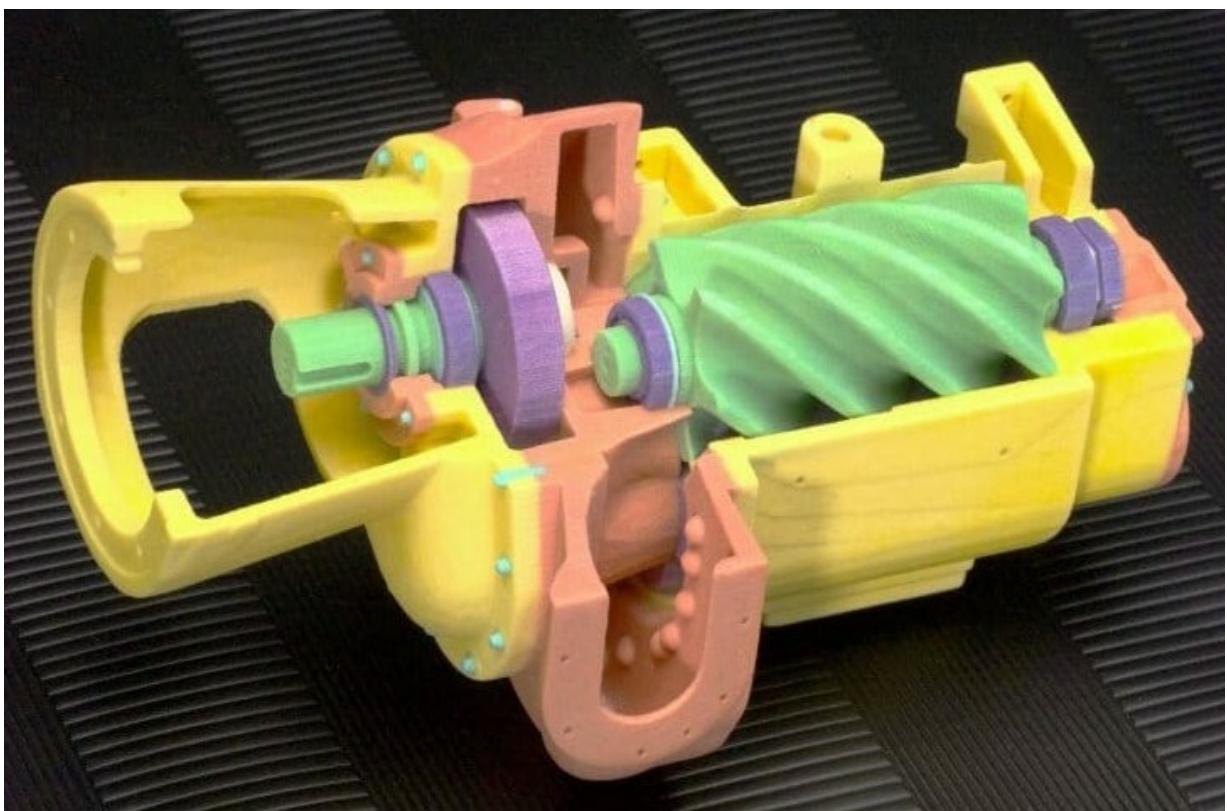


Abbildung 40: 3DP Druck

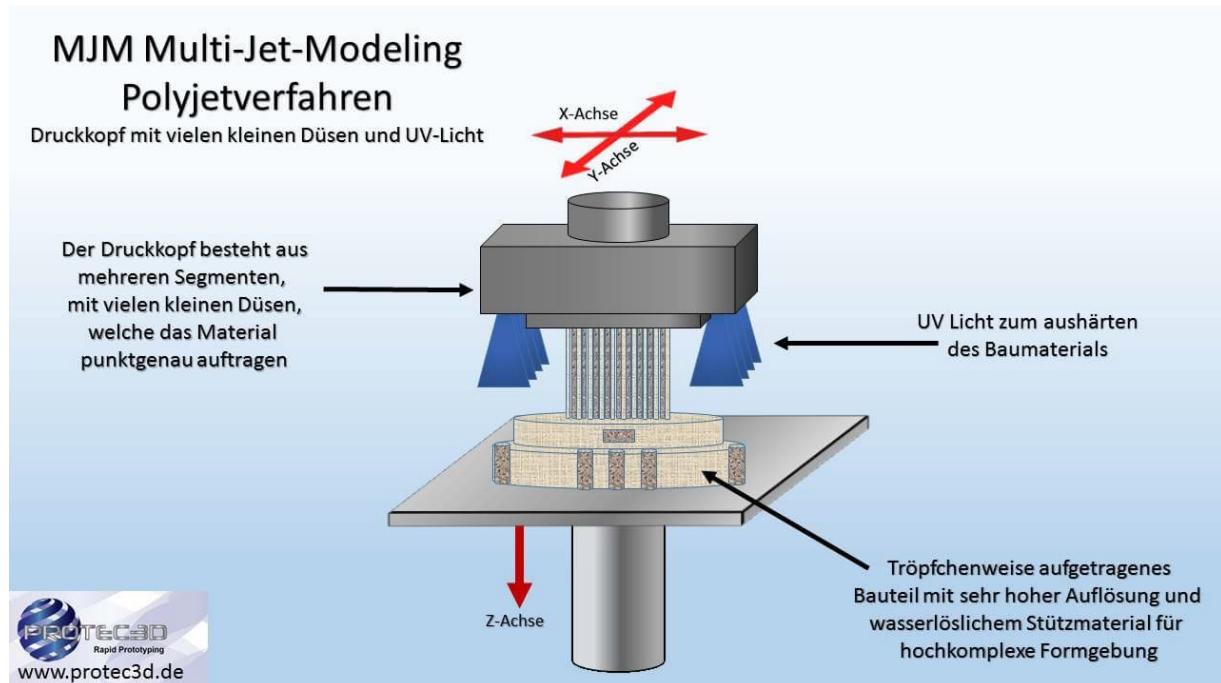


Abbildung 41: 3DP Pulverbett

5.1.2 POLYJET-VERFAHREN

Polygrafie - auch bekannt als Polyjet- oder Multijet-Verfahren - ist ein 3D Druckverfahren, bei welchem **Schicht für Schicht ein Photopolymer⁸** aufgebracht und anschließend **mittels UV-Licht ausgehärtet** wird. Das Polygrafie-Verfahren eignet sich besonders für Bereiche, in denen ein hoher Detailgrad der Objekte erzielt werden muss.

Genauigkeit	Sehr hoch
Oberflächenglättung	Hoch
Temperaturbeständigkeit	Gering
Robustheit	Gering
Farben	Verschiedene



⁸ Kunststoff, der durch UV-Licht aushärtet

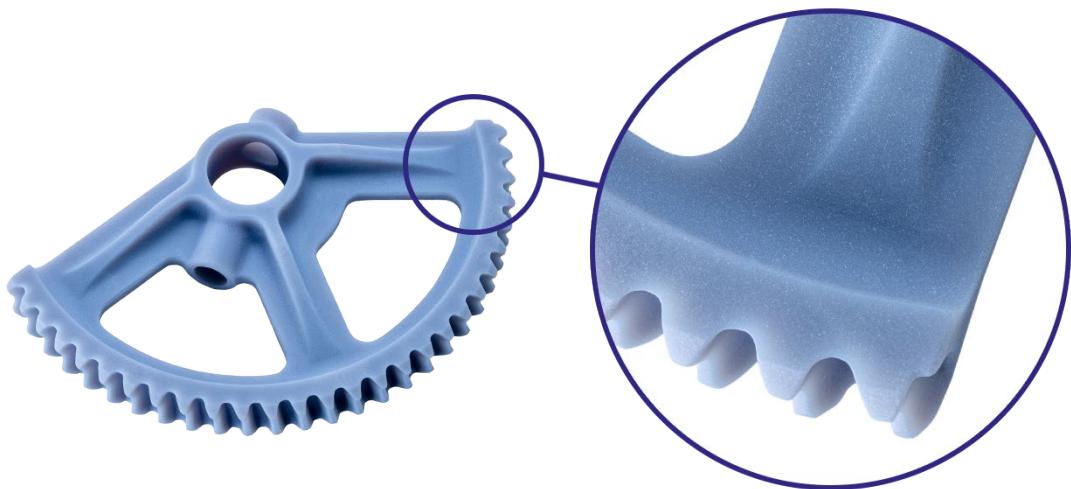


Abbildung 42: Polyjet Druck

- 1 Print Head
- 2 UV Light
- 3 Model Material
- 4 Support Material
- 5 Build Tray



Abbildung 43: Polyjet Drucker

5.1.3 SLM-VERFAHREN

Beim Selective Laser Melting SLM Verfahren handelt es sich um ein Verfahren welches **ausschließlich für die Fertigung von Metall** verwendet wird. Die Bauteile werden im **Schichtbauverfahren aus einem pulverförmigen Werkstoff** aufgebaut. Die Herstellung der Bauteile erfolgt mit dem **Laserstrahlschmelzen**.

Genauigkeit	Hoch
Oberflächenglättung	Gering
Temperaturbeständigkeit	Sehr hoch
Robustheit	Sehr hoch
Farben	Metallfarben

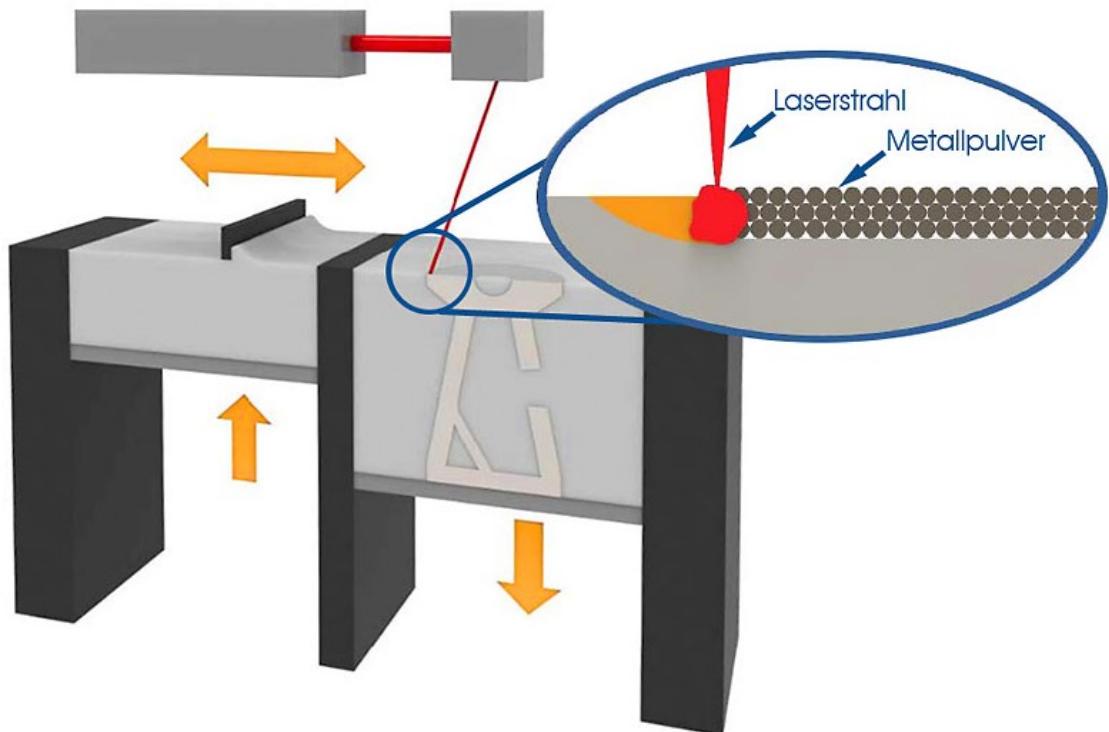


Abbildung 44: SLM-Prinzip



Abbildung 45: SLM Druck

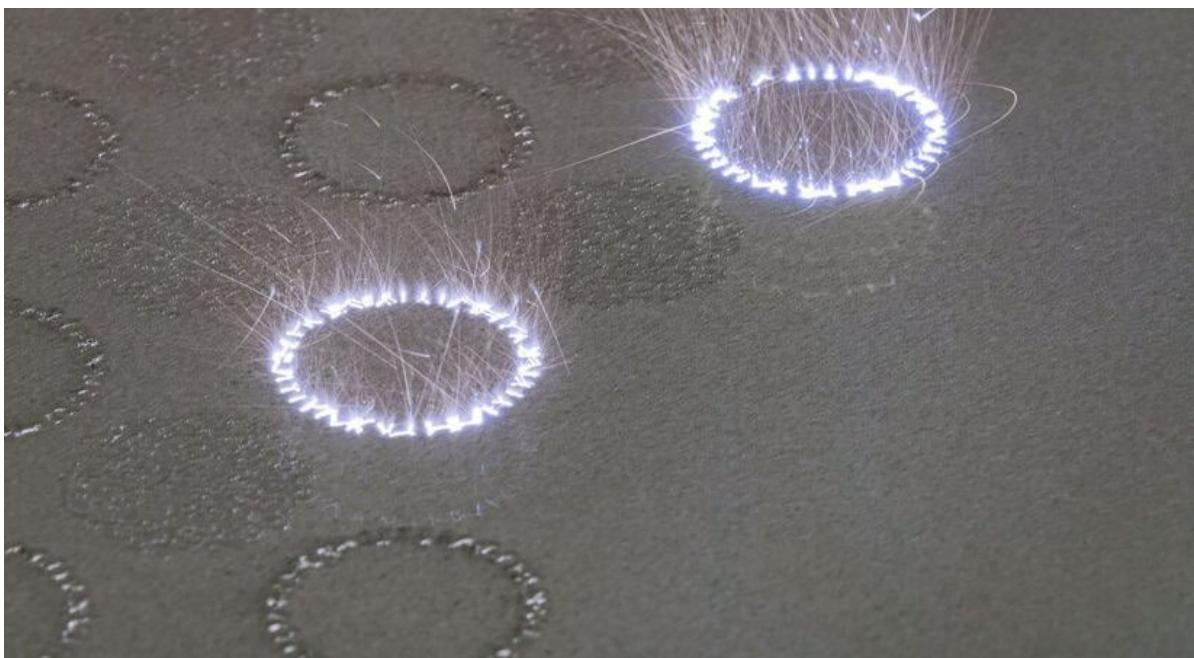
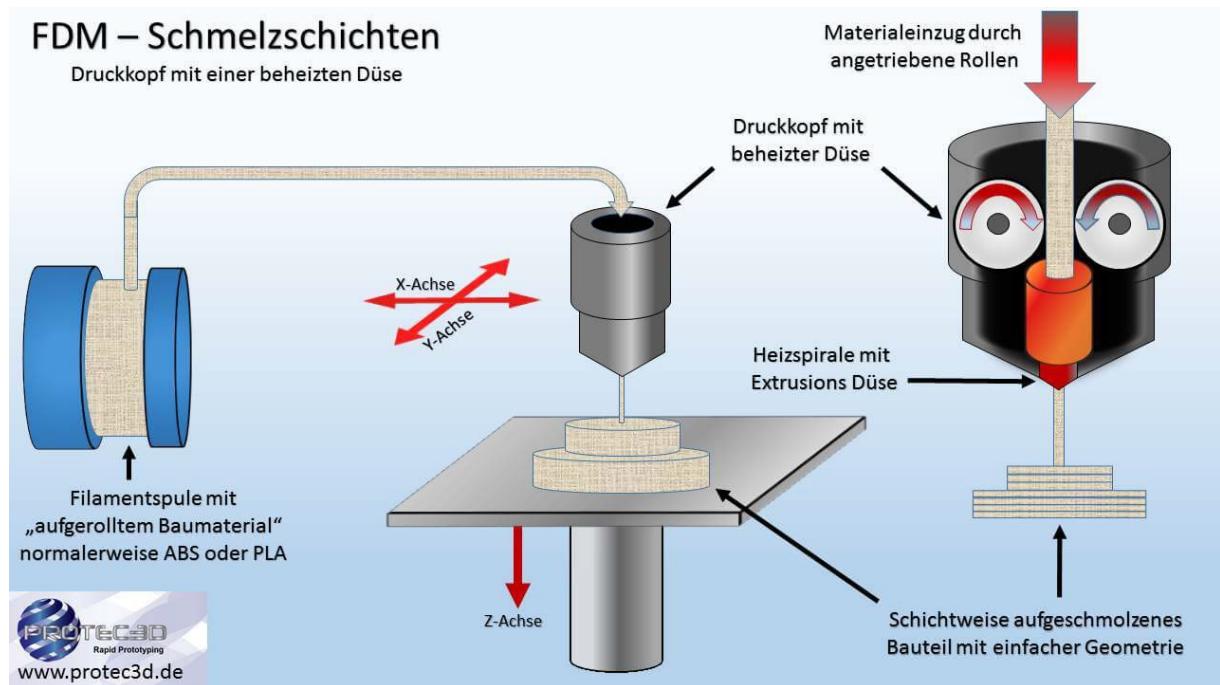


Abbildung 46: SLM Druckvorgang

5.1.4 FDM-VERFAHREN

Fused Deposition Modeling (FDM) ist ein weiteres Rapid Prototyping Verfahren, welches auch als **Schmelzsichtungsverfahren** bezeichnet wird, da bei FDM ein 3D Objekt schichtweise aus einem schmelzfähigen Kunststoff hergestellt wird, wie zB. bei Ultimaker oder Creality Druckern.

Genauigkeit	Mittel
Oberflächenglättung	Gering
Temperaturbeständigkeit	Mittel
Robustheit	Mittel
Farben	Verschiedene, mehrfarbig



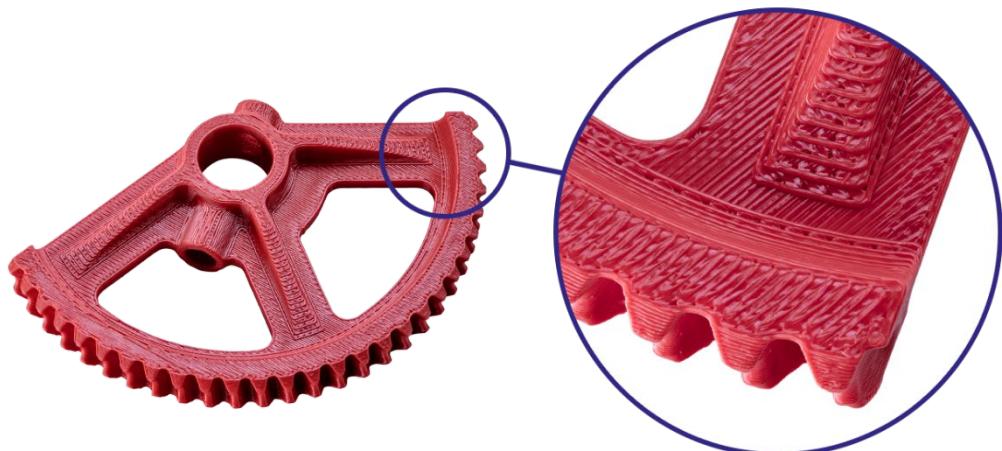


Abbildung 47: FDM Druck

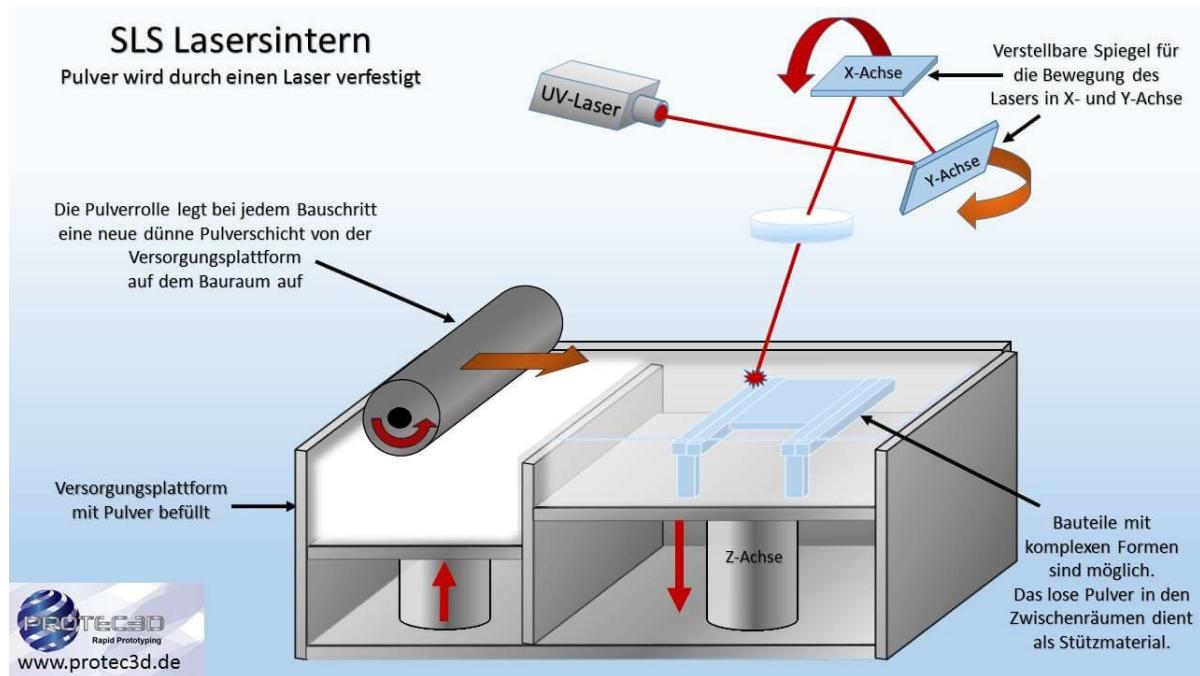


Abbildung 48: Creality Ender

5.1.5 SLS-VERFAHREN

Ein **Pulver wird durch einen Laser verfestigt**. Das Ausgangsmaterial (Nylon, Alumide, Polyamide...) liegt in feiner Pulverschicht, deren Partikel der Laser verschmilzt und so das Pulver Schicht für Schicht miteinander verbindet.

Genauigkeit	Hoch
Oberflächenglättung	Gering
Temperaturbeständigkeit	Hoch
Robustheit	Hoch
Farben	Verschiedene



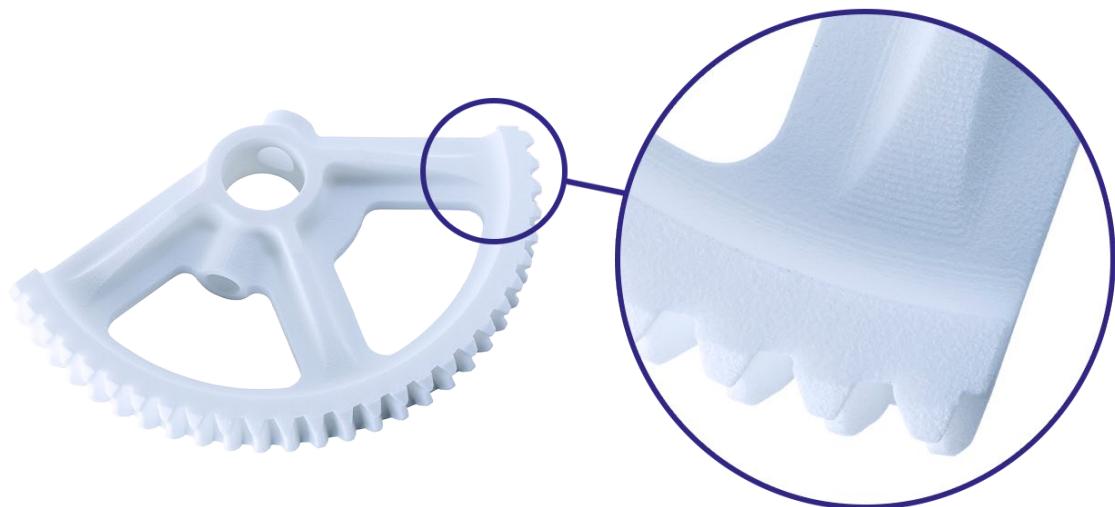


Abbildung 49: SLS Druck

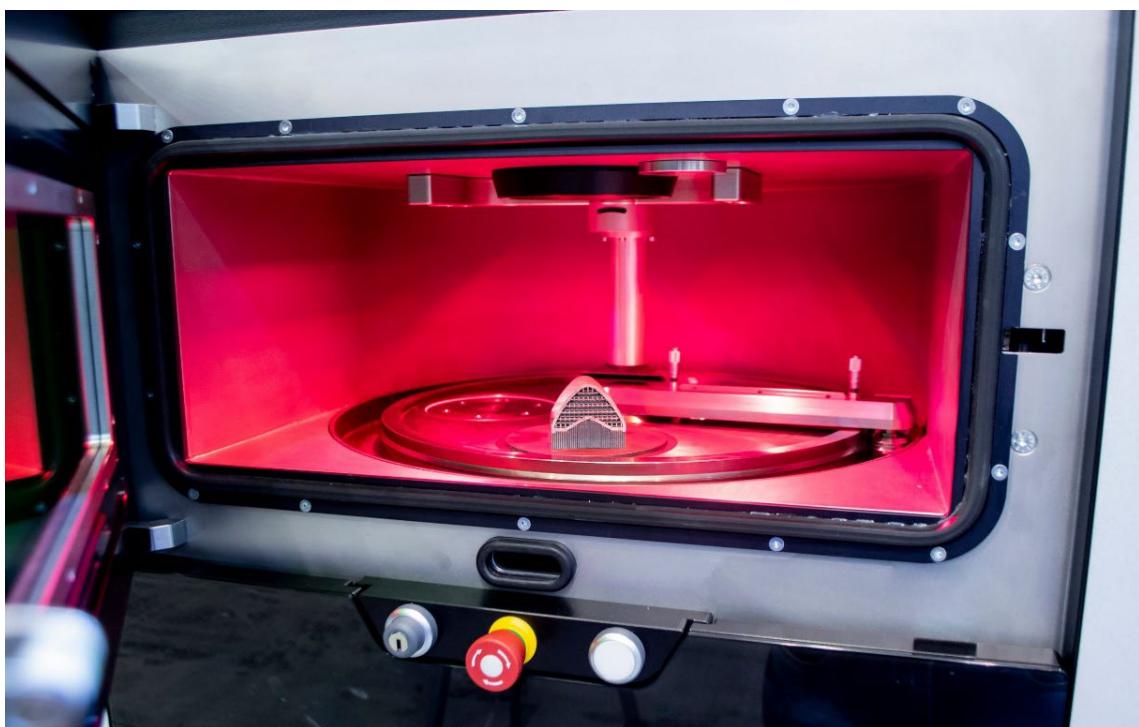
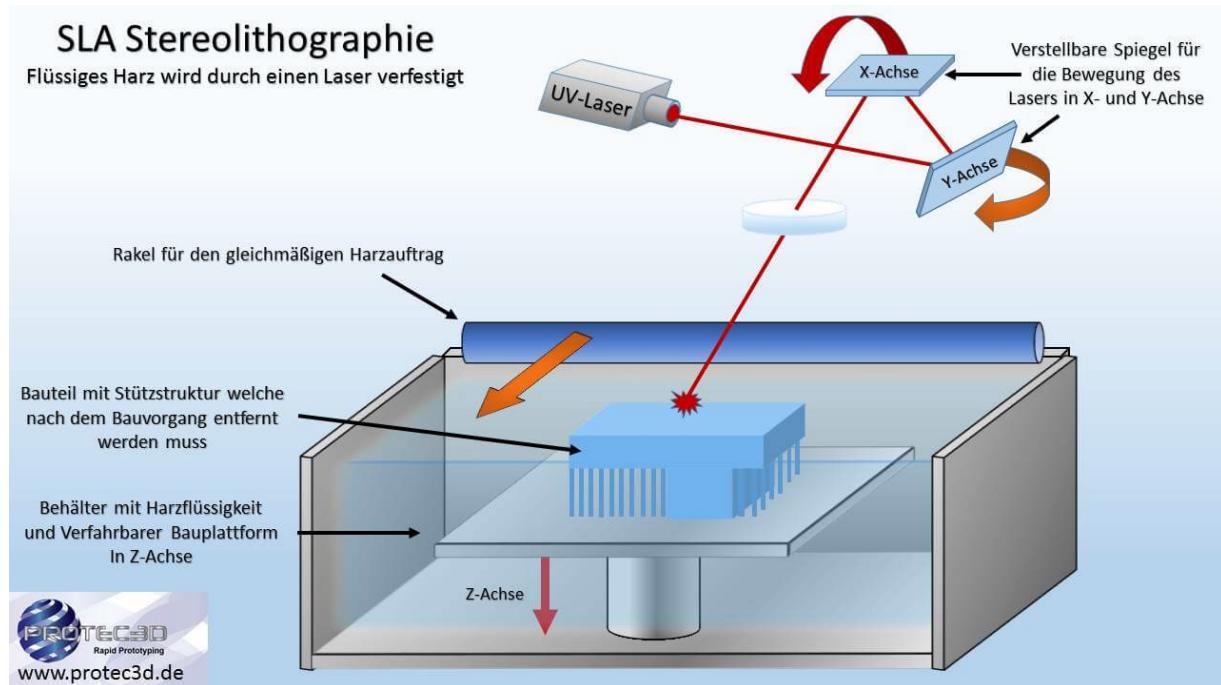


Abbildung 50: SLS Drucker

5.1.6 SLA/STL-VERFAHREN

Beim **Stereolithografie**-Verfahren werden lichtaushärtende Kunststoffe (Photopolymere) in dünnen Schichten von einem Laser ausgehärtet. Diese Verfahren werden seit Anfang der 80er Jahre eingesetzt.

Genauigkeit	Sehr hoch
Oberflächenglätte	Sehr hoch
Temperaturbeständigkeit	Gering
Robustheit	Gering
Farben	Verschiedene



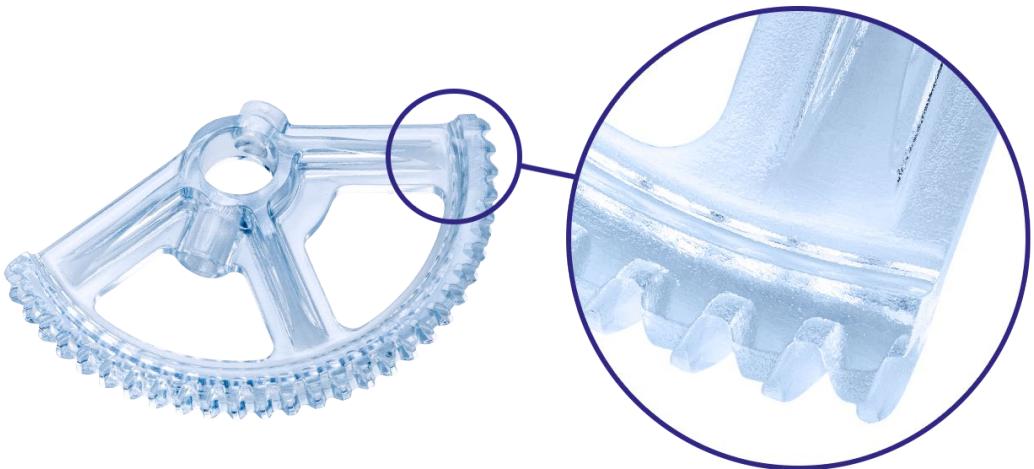


Abbildung 51: SLA Druck



Abbildung 52: Vergleich FDM, SLA, SLS

5.1.7 DATENFORMAT 3D-DRUCK: STL

Um Modelle für den 3D-Druck zu erstellen kann ein beliebiger **3D-Modeller** verwendet werden.

- Autodesk Fusion 360
- Blender
- Freecad
- Sculptris
- Photoshop
- ...

Liegt das Modell vor, kann mit einer **Slicing-Software** (zB. Slic3r, Cura...) die Datei in Druckanweisungen (GCODE) für die verschiedenen 3D-Drucker umgewandelt werden.

Für den Export des Modells aus der 3D-Software kommt oft das **STL**-Dateiformat zum Einsatz. **STL steht für Stereo-Lithography** und wurde Ende der 80iger für das SLA-Verfahren entwickelt. STL-Daten können auch in 3D-Modellern geöffnet und rudimentär bearbeitet werden. STL beinhaltet keine Texturen usw. sondern nur das triangulierte (Tesselation⁹) Objekt, weshalb es sich nicht zur Weiterbearbeitung eignet, sondern ein **reines Exportformat** ist.

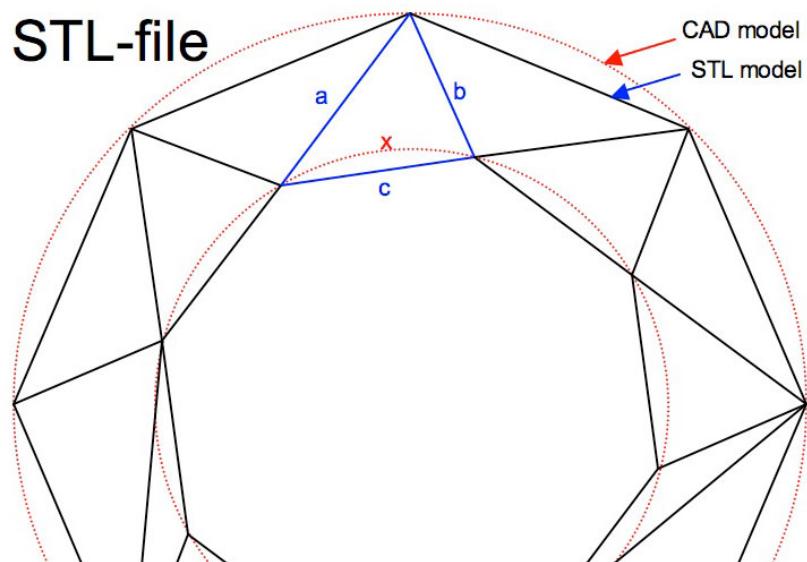


Abbildung 53: STL-Datei

⁹ Unterteilung einer Oberfläche in geometrische Strukturen (Tiles)

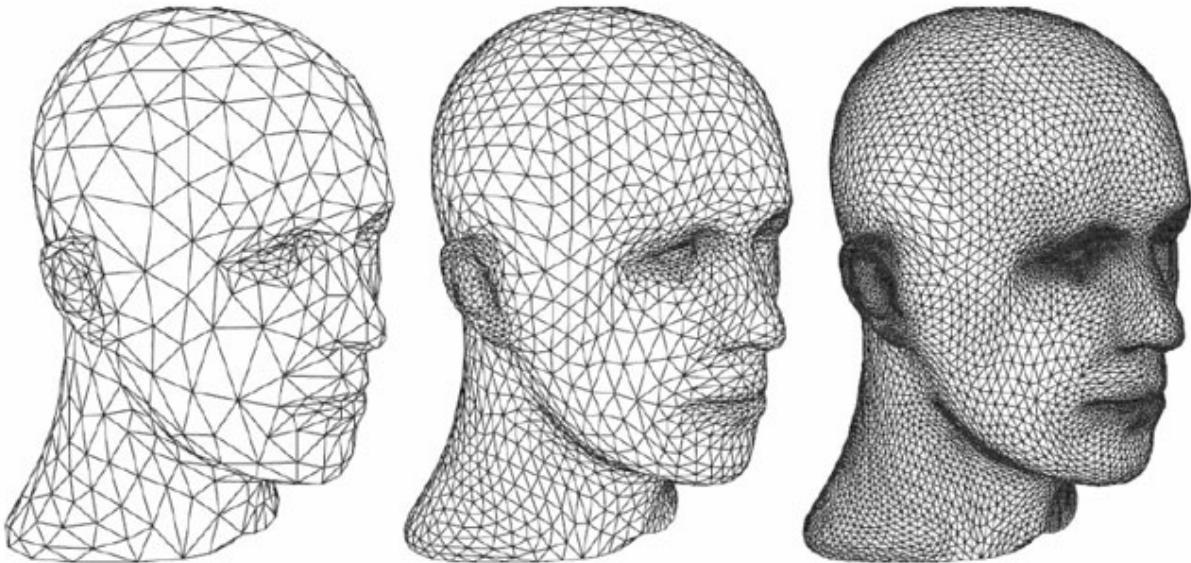


Abbildung 54: 3D-Objekt in Dreiecke unterteilt. Jede geometrische Form kann weiter unterteilt werden für glattere Oberflächen. Die Eckpunkte werden Vertex genannt. Ein Dreieck hat beispielsweise 3 Vertices.

Es empfiehlt sich folgender **Workflow**:

Modeller export (STL...) -> Slicer (GCODE) -> Drucker.

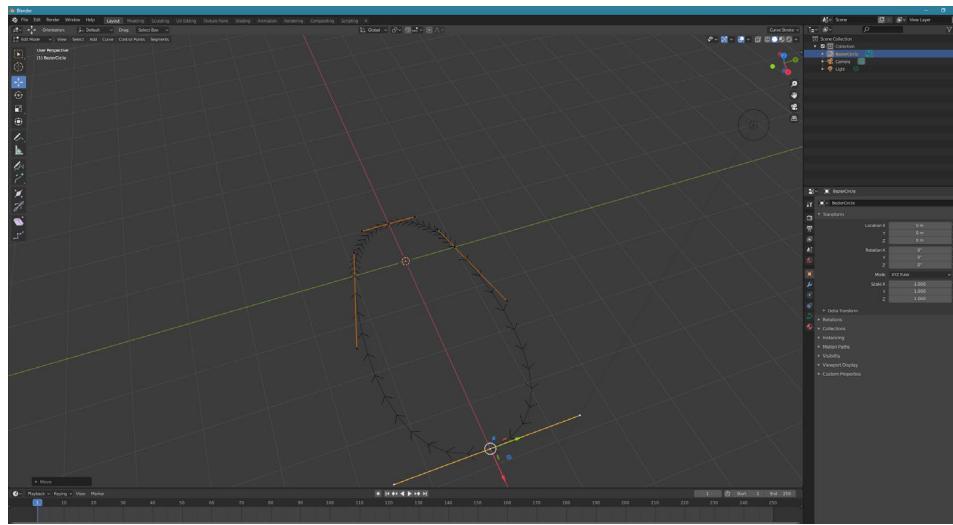
Importieren eines fertigen Modells:

- Füge in Cura einen neuen Drucker hinzu. Nimm zB. den Creality CR oder Ender
- Öffne die **bereitgestellte blender-Datei panther.blend** in Blender
- **Exportiere** das Objekt als .STL-Datei
- Öffne die .STL-Datei in **Cura**
- Drück auf **Slice** und betrachte das Ergebnis. Speichere die Datei im **GCODE**-Format. Betrachte die Schichten und die simulierten Druckbahnen. Du hast nun eine druckfertige Datei für einen FDM-Printer.

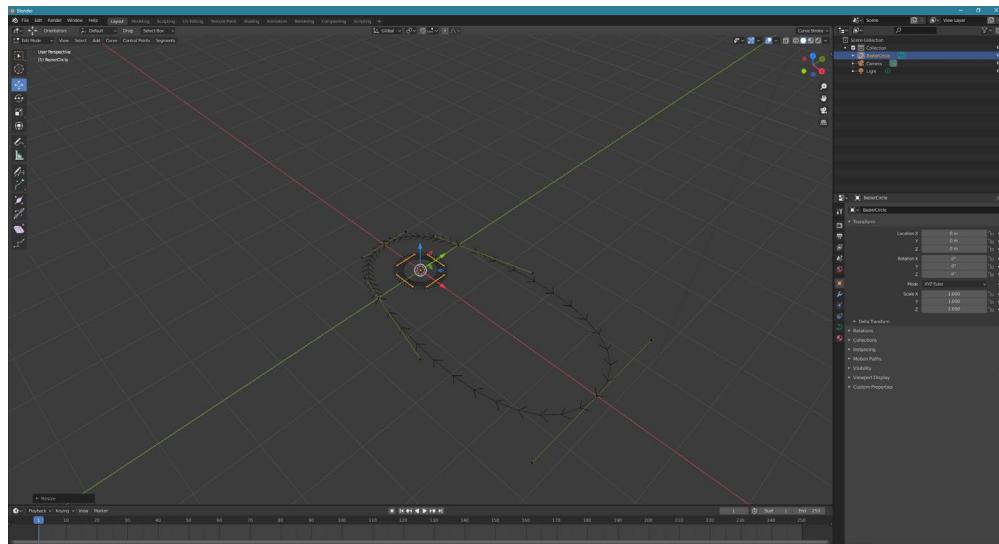
5.1.8 WORKSHOP: BLENDER STL EXPORT

Anlegen eines eigenen Objekts: Schlüsselanhänger in Blender

- Neu > General
- Lösche eventuelle Objekte in der Szene.
- Add > Curve > Circle oder Bezier.
- Wechsle in den Edit Mode (TAB).
- Wähle das MOVE-Tool und verschiebe die *Vertices* in einer Ebene. Achte darauf, nur entlang der X- und Y-Achse zu verschieben.
- Mit STRG fügst du neue Vertices hinzu. Nutze die *Handler* zur Kurvenanpassung.

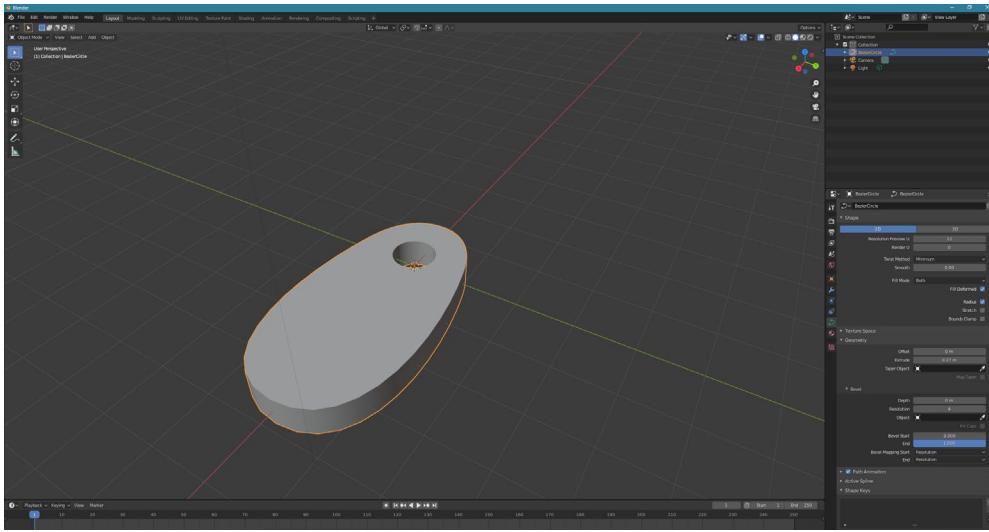


- ALT+C schließt die Kurve wenn diese offen sein sollte.
- Füge einen Bezier-Kreis hinzu um eine Öffnung für den Anhänger zu haben.
- Mit S kannst du skalieren.

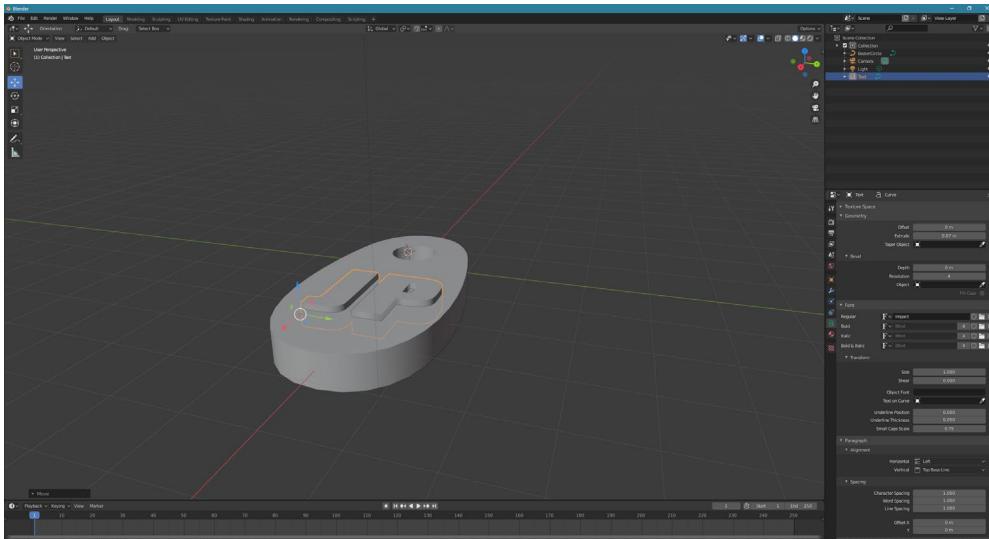


- Drücke TAB um in den Objektmode zu wechseln. In den *Object Data Properties* kannst du die Kurven nun füllen: Aktiviere 2D und Fill Mode.

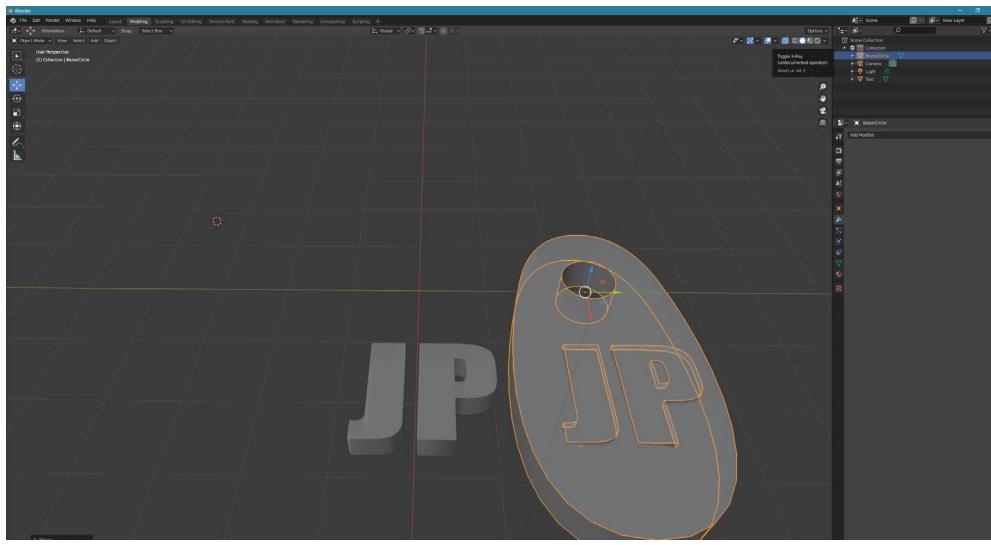
- In den Object Data Properties erstelle eine *Extrusion*. Die Basis ist fertig.



- Erstelle nun mit dem *Textwerkzeug* deine Initialen. Wähle einen fetten Font und extrudiere den Text.
- Dreh den Text mit dem *Transform*-Menü und positioniere diesen nach Wunsch.



- Konvertiere nun die Objekte im Objekt-Modus in ein *Gitternetz* (Object > Convert to Mesh).
- Füge der Basisplatte einen *Boolean* Modifier hinzu. Modifier Properties > Add
- Verschiebe das neue Objekt zur Kontrolle ob der Text vereint wurde. Schalte in den X-Ray Modus zur Kontrolle des Modells.

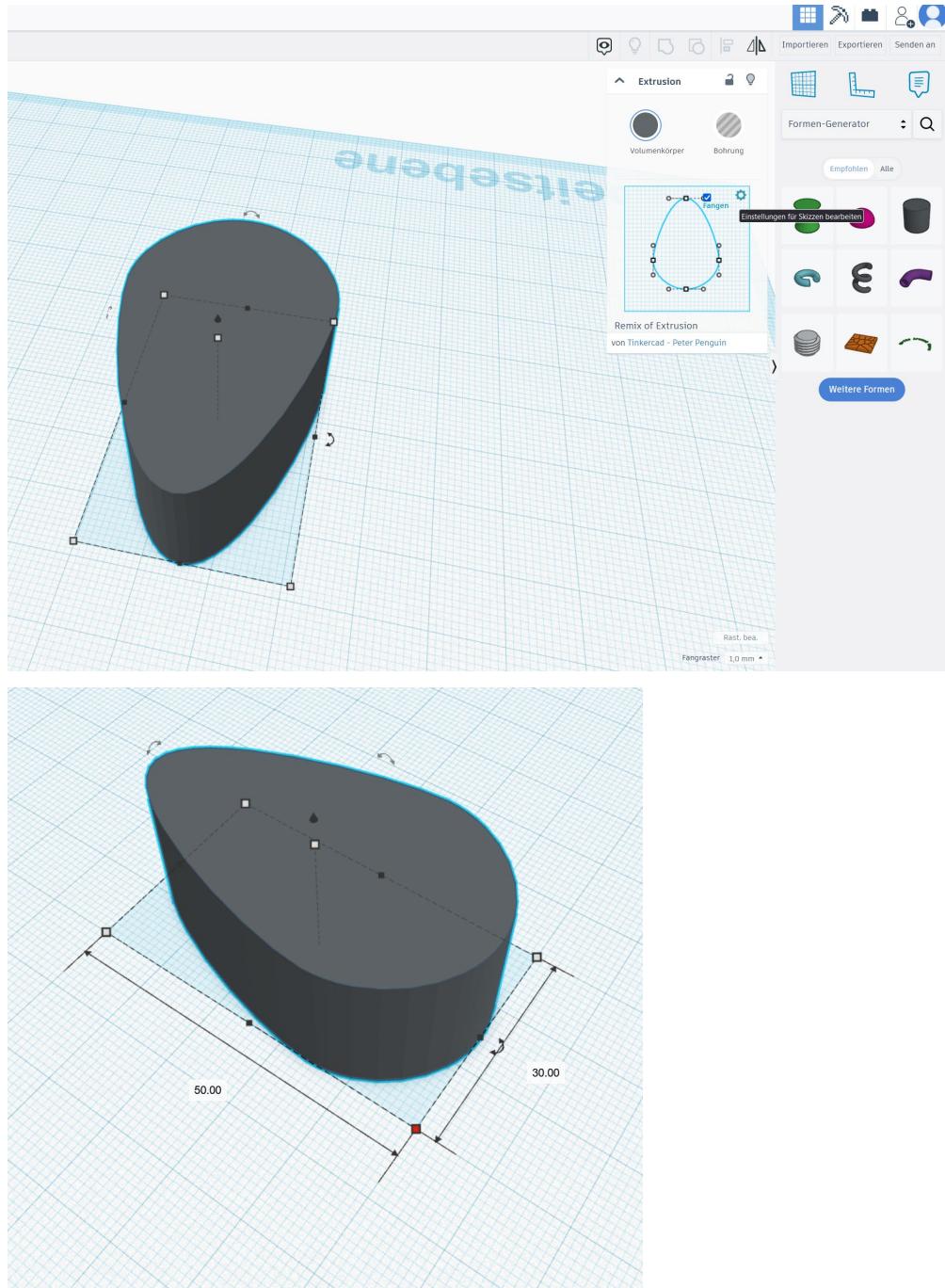


- Lösche alles bis auf das Modell und exportiere das Modell als .STL
- Importiere das Modell in Cura und skaliere es entsprechend.
- Speichere den GCODE. Du kannst das Objekt nun drucken.

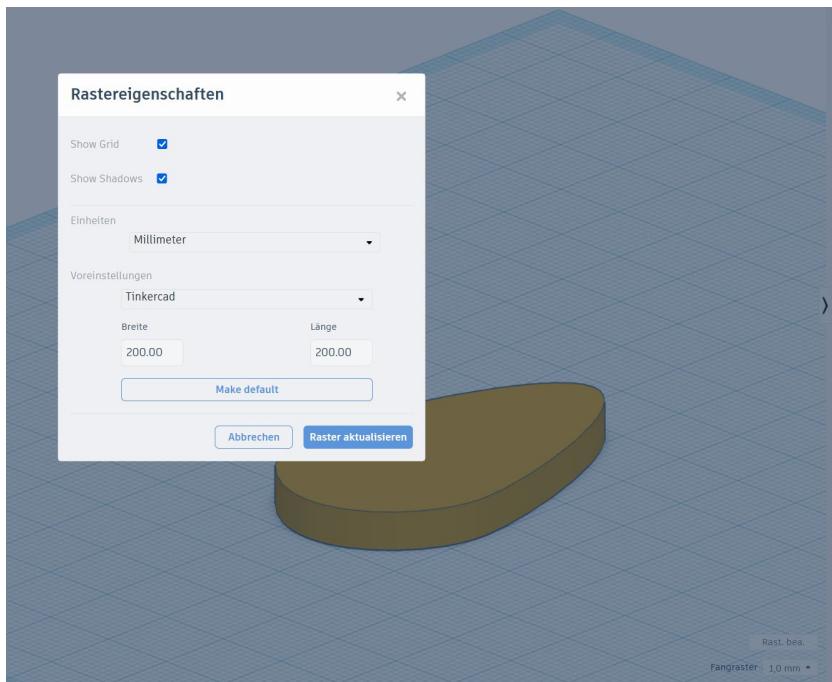
5.1.9 WORKSHOP: TINKERCAD STL-EXPORT

Anlegen eines eigenen Objekts: Schlüsselanhänger mit Tinkercad

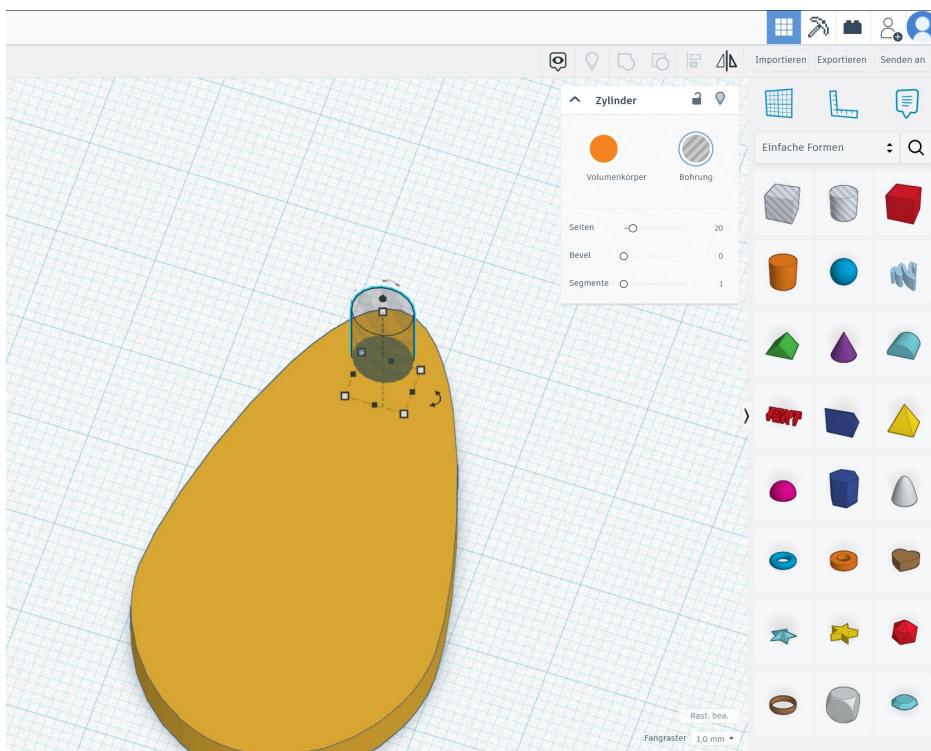
- Neuer Entwurf
- Erstelle mit dem Formengenerator eine **Extrusion**. Nimm den Zylinder und passe in der Skizze die Pfade und ihre Eckpunkte an. Aktiviere „Snap to grid“. Das Bauteil soll 30 x 50 Einheiten groß sein.



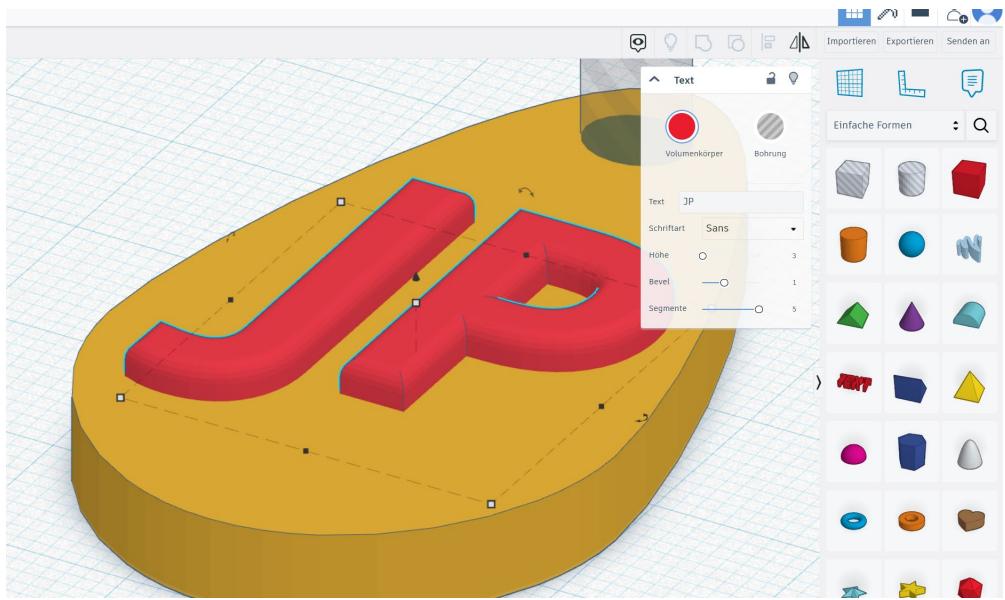
- Passe die Höhe auf 5 Einheiten an. Ändere die Farbe. Stelle das Raster auf 1 mm Einheiten.



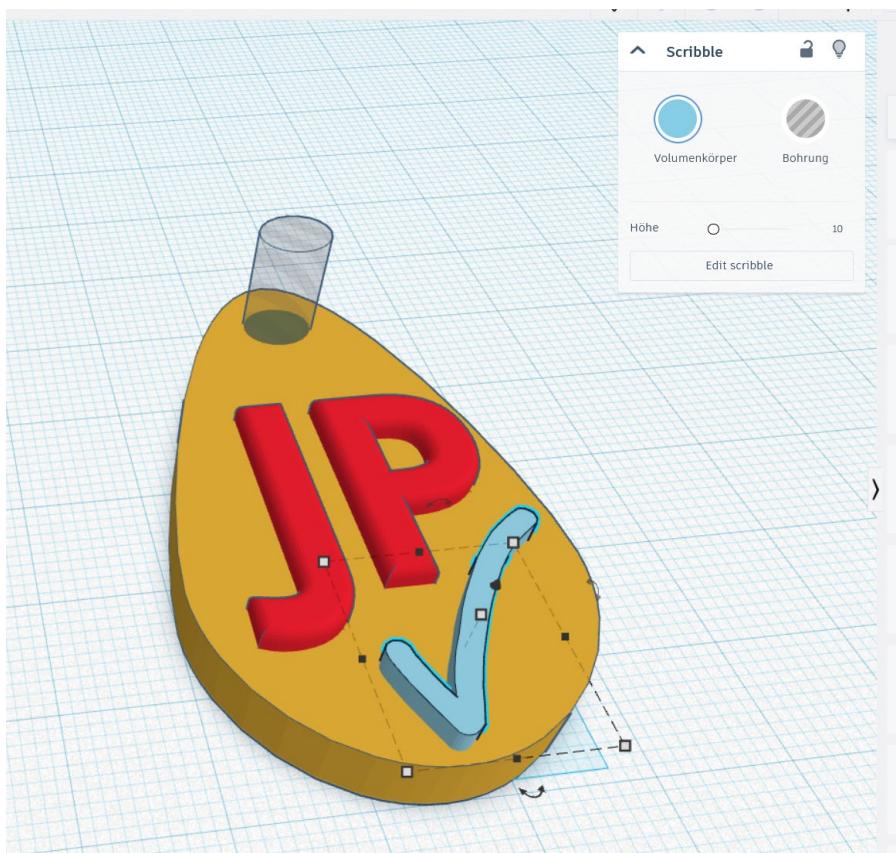
- Erstelle eine einfache Form, Zylinder 5 x 6 mm, den du als Bohrung definierst.



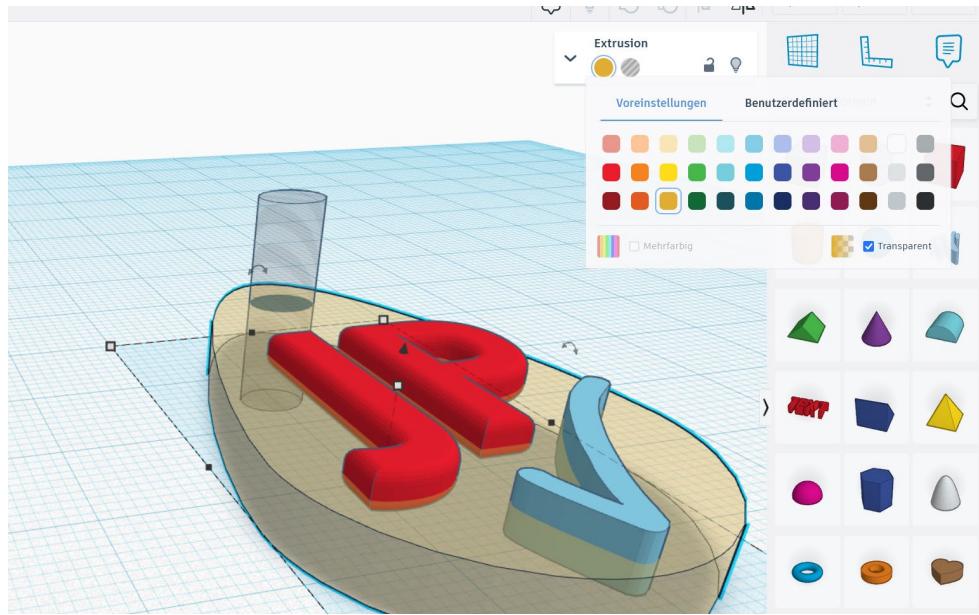
- Erzeuge deine Initialen als Textobjekt und schiebe es in die Basisplatte. Nutze Bevel und Segmente um an den Kanten eine Rundung zu erzeugen.



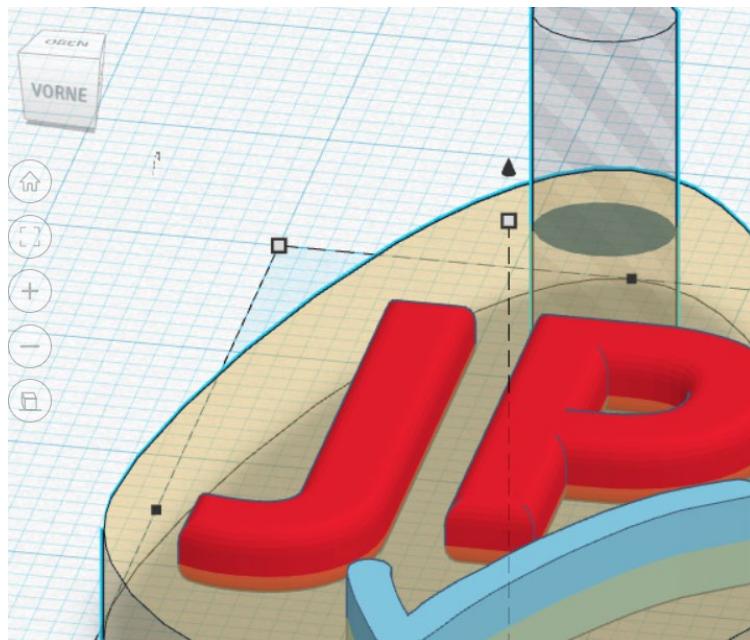
- Zeichne eine beliebige freie Form (scribble) und füge diese der Basisplatte hinzu.



- Stelle die Basisplatte auf Transparent, damit die Überlappungen kontrolliert werden können.

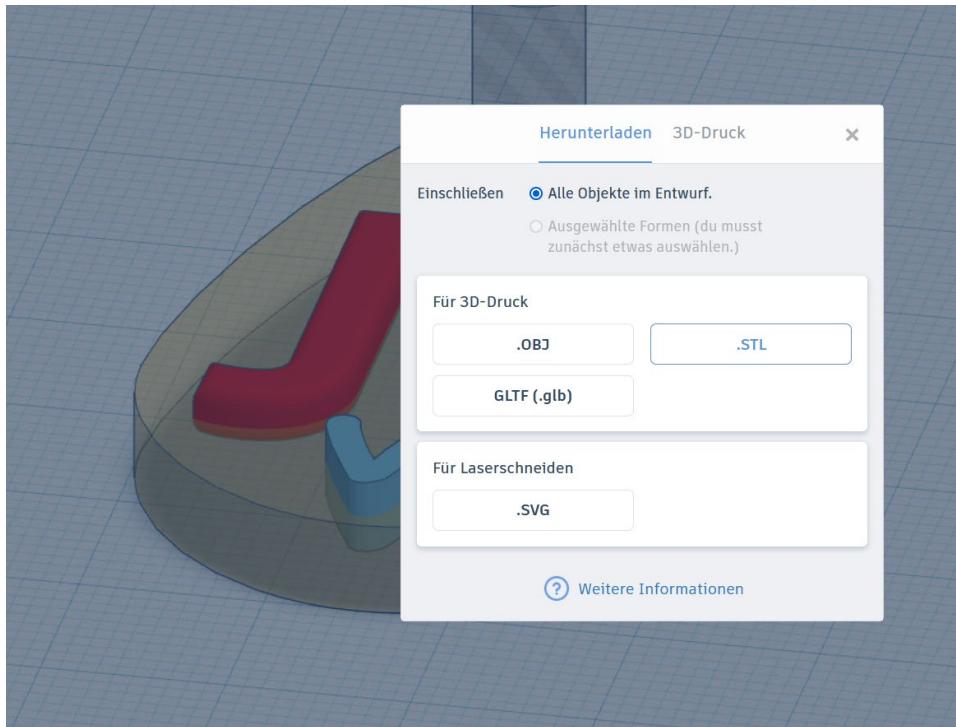


- Wähle Orthogonal¹⁰ als Ansicht, links im Fenster.

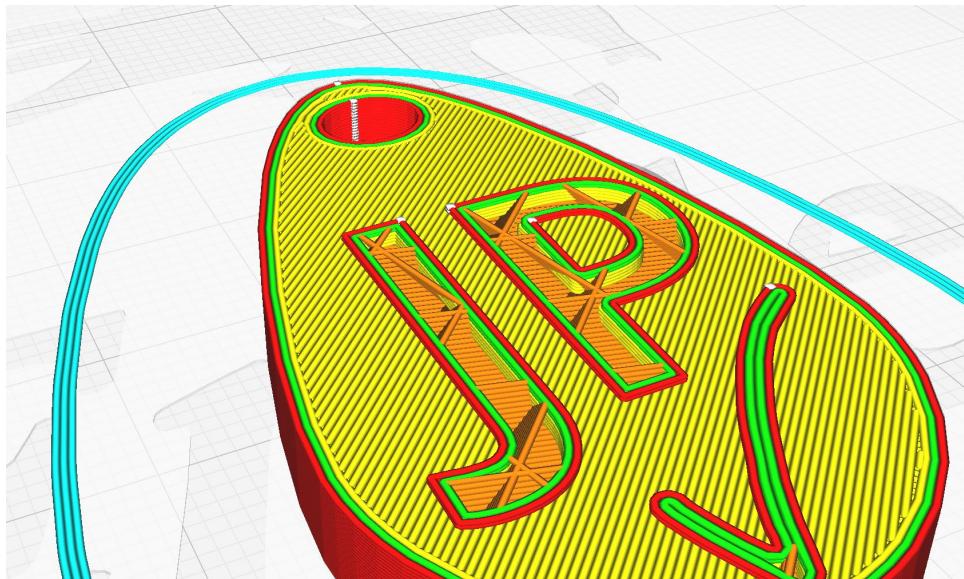


¹⁰ Eine nur durch 2 Weltachsen definierte Ansicht, somit 2D und ideal als Konstruktionsansicht

- Exportiere nun das Modell als .stl-Datei für den 3D-Druck. Beachte, dass man es auch als .obj für zB. Blender exportieren könnte.



- Nun kann das Modell in den Slicer, zB. Cura, importiert werden. Kontrolliere dort in der Preview-Ansicht den Aufbau.



5.1.10 EINSTELLUNGEN SLICING IN CURA

Cura bietet Ansichtsoptionen und Modifikationswerkzeuge. Beachte, dass Cura jedoch **kein 3D-Mo- deller ist** und keine Objekte modelliert werden können.

Die **Druckeinstellungen** sind der wichtigste Punkt zur Optimierung des Druckvorgangs. Beachte, dass viele wichtige Funktionen mit dem **Zahnradssymbol** erst hinzugefügt werden müssen.

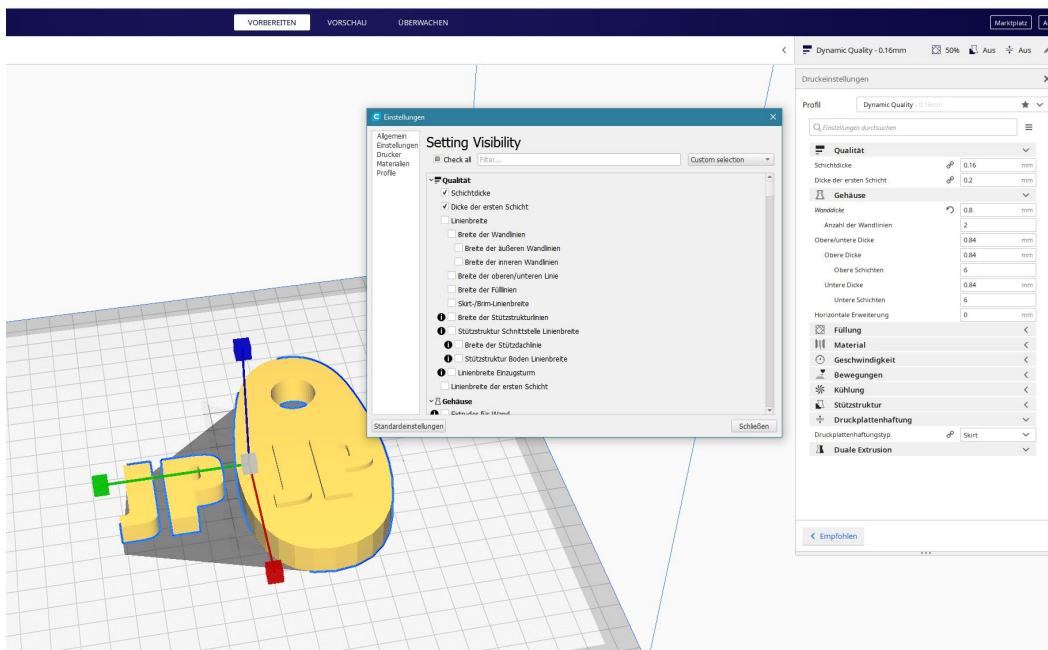


Abbildung 55: Cura Settings

Je nach Drucker variieren die Einstellungen. In diesem Beispiel beziehe ich mich auf den Creality Ender 3 – einem perfekten Einstiegsgerät und günstigen FDM-Printer. Viele Einstellungen sind selbsterklärend, besonders wichtige sind im Folgenden dargestellt.

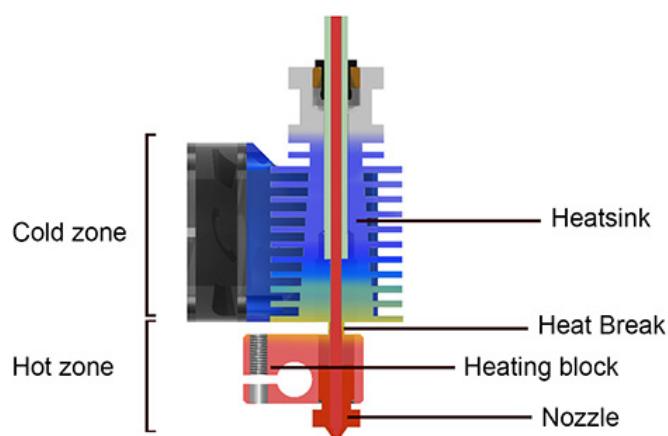


Abbildung 56: Druckkopf FDM

Schichtdicke: Vertikale Auflösung des Druckers in mm. Ein Vielfaches der geringsten Schrittweite des Druckers

Füllung und Fülldichte: Entscheidend für Stabilität und Gewicht. Bei Deko ca. 20 % Füllung wählen.

Drucktemperatur: Temperatur der Düse und des Druckbetts. Abhängig vom Material, siehe Kapitel 2.2

Geschwindigkeit: Erste Schicht immer langsam drucken um Ablösung zu verhindern

Einzug: Wenn der Druckkopf die Position wechselt wird dieser kurz angehoben und das Filament eingezogen um Tropfen zu verhindern. Gut zur Optimierung des Druckvorgangs. Mit korrekter Einstellung kann das Fadenziehen verhindert werden.

Kühlung: Kann bei den ersten Schichten deaktiviert werden um Ablösung zu verhindern.

Stützstruktur: Aktivieren bei überhängenden Modellteilen. Winkel konfigurieren.

Druckplattenhaftung: Aktivieren um Ablösung zu verhindern, speziell bei kleinen Modellen. *Raft* = Floß unter Modell, *Skirt* = zur Optimierung des Filamentflusses eine Kontur ohne Modellkontakt, *Brim* = wie Hutkrempe eine Umrandung zur Vergrößerung der Haftfläche.

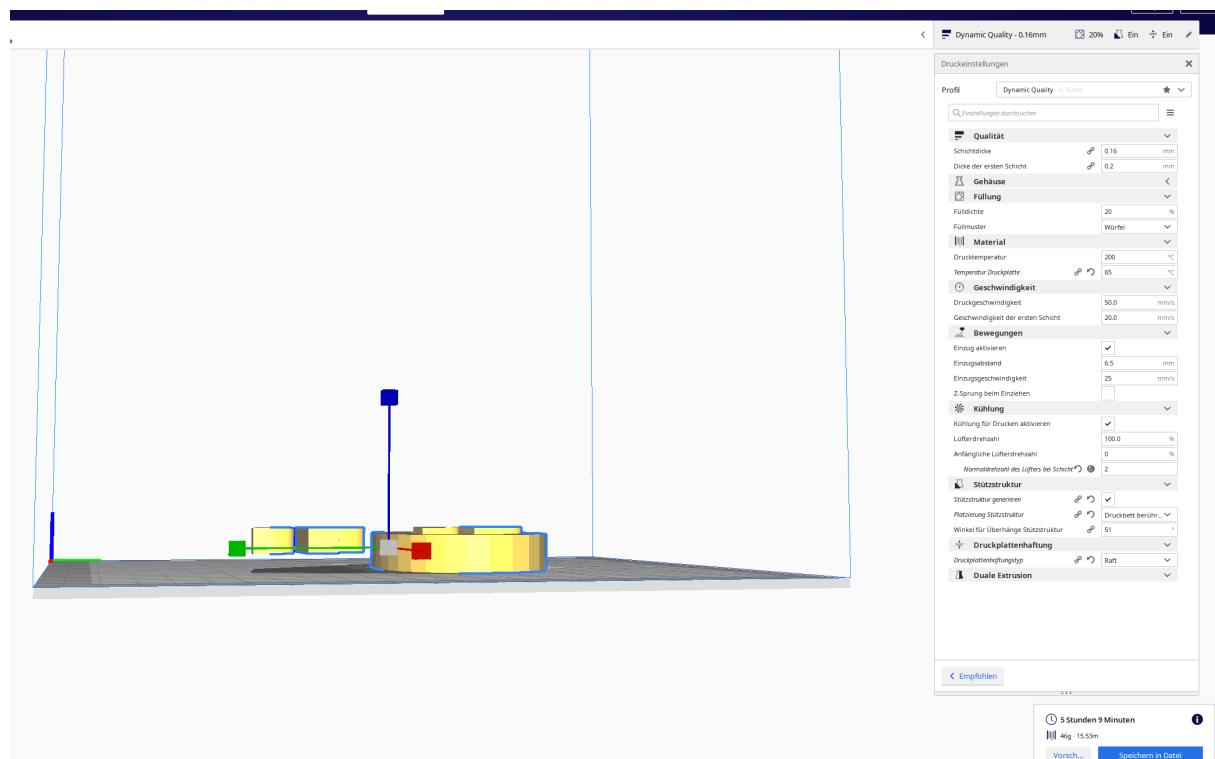


Abbildung 57: Modelle in Cura. Beachte die schwebende Struktur

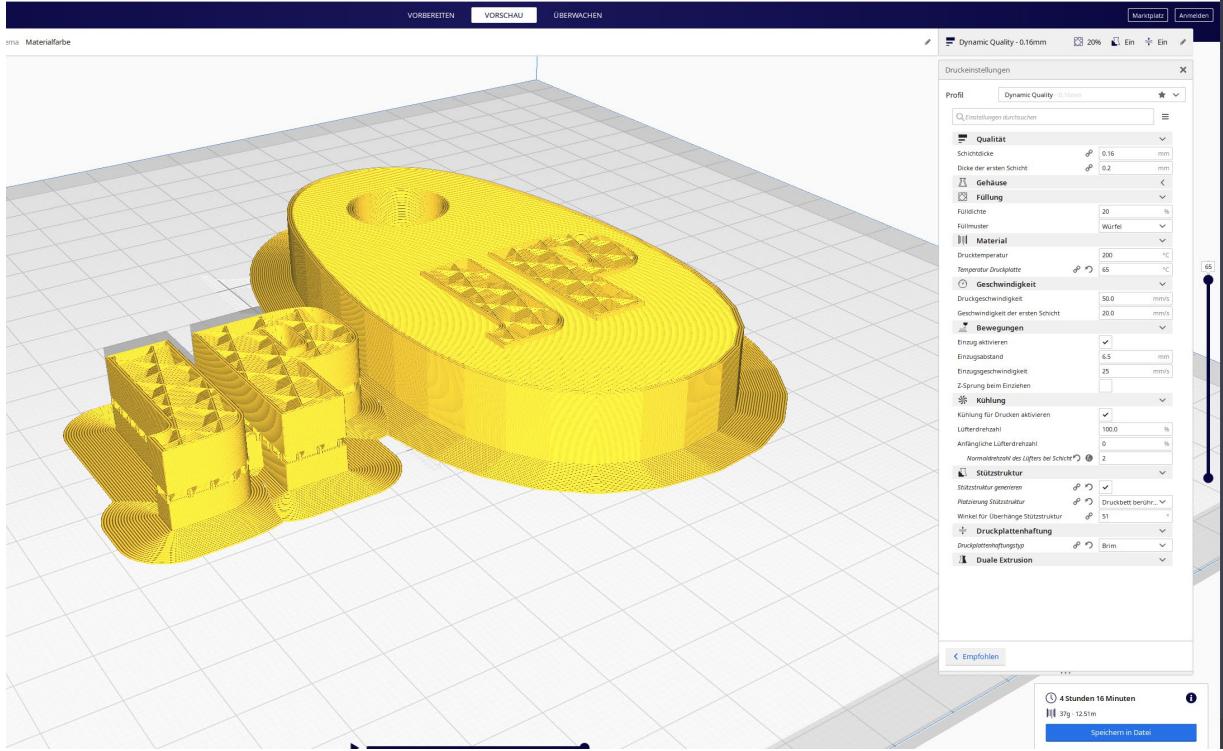


Abbildung 58: Modell in Cura bis Schicht 65. Beachte Supports, Füllung und Brim

Werde zum Maker: Erstelle nun ein **eigenes 3D-Objekt** in Blender oder Photoshop mit den verwendeten Arbeitstechniken. Überlege ein **sinnvolles Accessoire** für einen beliebigen Lebensbereich und integriere jedenfalls deine Initialen. *Für ein „gut“ oder „sehr gut“ sind über das Erlernte hinausgehende Arbeitstechniken zu verwenden. Für ein „sehr gut“ ist ein Blender-Modell nötig.*

Konvertiere das Modell für Cura und stelle einen selbst gewählten Drucker ein. Füge Optionen den Druckeinstellungen hinzu wenn nötig, jedenfalls die oben erwähnten. Slice das Modell mit sinnvollen Einstellungen.

Kopiere keine Objekte. Eure Ergebnisse werden voraussichtlich veröffentlicht.

Abgabe: .blend/.psd, .stl, .gcode, Screenshot der Cura-Einstellungen und Vorschau-Ansicht des gesliceden Modells. Screenshot Modell (geshadet oder texturiert) in sinnvoller Ansicht. Kurze Beschreibung des Objektnutzens.

5.2 MATERIALIEN FÜR FDM

In den Laboren stehen FDM-Drucker (Ultimaker, Creality) zur Verfügung. Deshalb wird hier auf die Eigenschaften der Materialien für dieses Verfahren besonders eingegangen.

5.2.1 KUNSTSTOFFE

Thermoplaste¹¹ werden im Hobby und industriellen Bereich verwendet.

ABS – Acrylnitril-Butadien-Styrol

- **Drucktemperatur:** 220° bis 250°
- **Eigenschaft:** leicht, sehr robust
- **Anwendung:** Prototypen, Produktion
- **Emission:** Dämpfe nicht einatmen, Nano-Partikel
- **Beständigkeit:** Öle, Fette, Temperatur, Witterung, Alterung
- **Recycling:** Durch Einschmelzung
- **Aufbewahrung:** Vor Luftfeuchtigkeit schützen

PLA – Polylactide

- **Drucktemperatur:** 190° bis 220°
- **Eigenschaft:** lebensmittelecht, ungiftig, leicht, geringe Feuchtigkeitsaufnahme, gering entflammbar, bis ca. 65° Formstabil
- **Anwendung:** Prototypen, Deko
- **Emission:** Dämpfe ungiftig, Nano-Partikel
- **Beständigkeit:** Witterung, hohe UV-Beständigkeit, Feuchtigkeit
- **Recycling:** evtl. biologisch abbaubar
- **Aufbewahrung:** keine hohen Temperaturen

¹¹ Kunststoffe, die sich bei bestimmter Temperatur verformen

Nylon – Polyamide

- **Drucktemperatur:** 225° bis 265°
- **Eigenschaft:** Schlagfest, abriebfest, teifflexibel, hygroskopisch
- **Anwendung:** Prototypen, Produktion
- **Emission:** Dämpfe gesundheitsschädlich, Nano-Partikel
- **Beständigkeit:** nicht für feuchte Umgebungen geeignet
- **Recycling:** möglich
- **Aufbewahrung:** vor Luftfeuchtigkeit schützen

PE(TG) – Polyethylen

- **Drucktemperatur:** 230° bis 250°
- **Eigenschaft:** lebensmittelecht, ungiftig, glatte Oberfläche, robust, flexibel
- **Anwendung:** Prototypen, Produktion, Funktionsmodelle
- **Emission:** Nano-Partikel
- **Beständigkeit:** verschleißanfällig, ab ca. 80° Erweichung, formstabil bis 70°, hohe Witterungsbeständigkeit
- **Recycling:** verbrennt rückstandsfrei zu CO₂ und Wasser
- **Aufbewahrung:** keine Besonderheiten

Neben den erwähnten Materialien gibt es noch viele weitere. Interessant ist noch **PVA**, da dieses als wasserlösliches Stützmaterial bei Doppelextrudern zum Einsatz kommt.

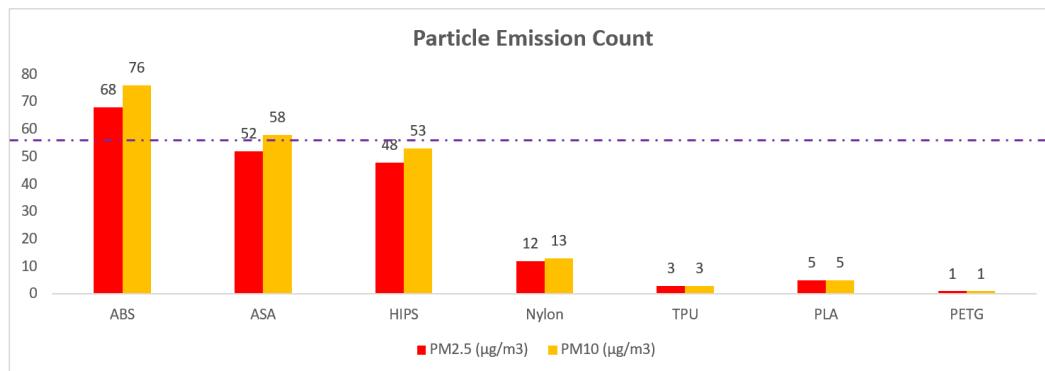


Abbildung 59: Partikelemission. Joseph Campbell 2018

Quellen:

- *J. Pirringer*
- *Medientechnik-Kompendium*
- *Vorlesungen*
- *DTP comedia Verlag*
- *Wikimedia*
- *AV-Medientechnik Heinen*
- *Researchgate*