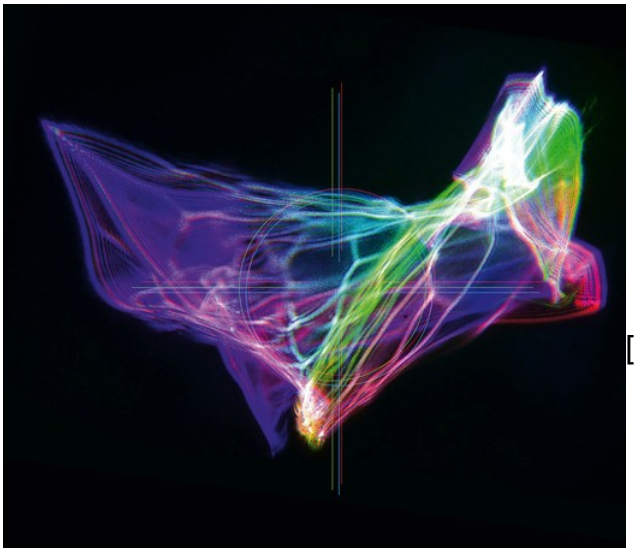
# Licht → Laser → Hologramm



Ein Laser – kurz für
*„**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation“*
(Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung) – funktioniert wie ein optischer Verstärker, der ein sehr gebündeltes, gleichschwingendes (kohärentes) und einfarbiges Licht erzeugt.

[

Das Grundprinzip beruht auf drei Hauptkomponenten:

## Die drei Hauptkomponenten

1. **Das Lasermedium (aktives Medium):**
- Das kann ein Kristall (z. B. Rubin- oder YAG-Kristall), ein Gas (z. B. $CO_2$ oder Helium-Neon) oder eine Halbleiter-Diode sein.
- In diesem Medium befinden sich Atome oder Moleküle, die angeregt werden können.
2. **Die Pumpe (Energiequelle):**
- Eine externe Energiequelle (wie eine helle Blitzlampe, Strom oder eine elektrische Entladung) führt dem Lasermedium Energie zu.
- Dadurch werden die Elektronen der Atome auf ein höheres Energieniveau gehoben (*Besetzungsinversion*: Es sind mehr Atome angeregt als im Normalzustand.
3. **Der Resonator (Spiegelsystem):**
- Das Lasermedium liegt zwischen zwei parallelen Spiegeln: Ein Spiegel ist voll reflektierend, der andere ist teildurchlässig (*Auskoppelspiegel*).



---

## Schritt-für-Schritt-Ablauf

- **Anregung:** Die Pumpe lädt die Atome im Lasermedium mit Energie auf.
- **Spontane Emission:** Manche angeregten Atome fallen von selbst in ihren Grundzustand zurück und senden dabei ein erstes Lichtteilchen (ein Photon) aus.
- **Stimulierte Emission (Der Lasereffekt):** Trifft dieses Photon auf ein anderes, bereits angeregtes Atom, „stimuliert“ es dieses dazu, exakt ein zweites Photon auszusenden.

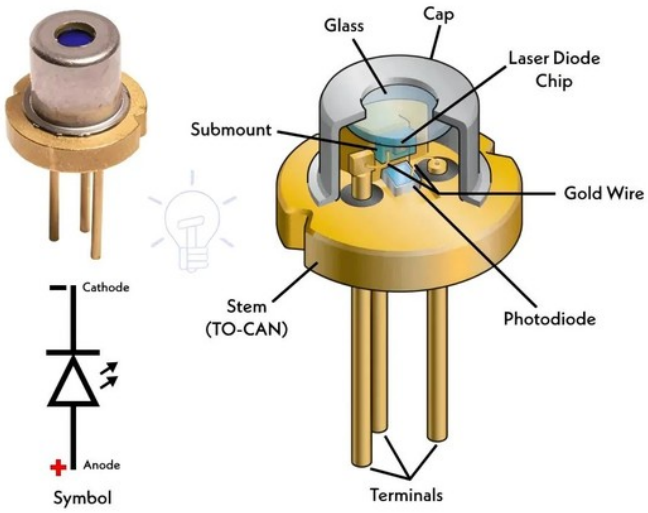
Dieses neue Photon ist eine exakte Kopie des ersten: Es hat dieselbe Energie, dieselbe Farbe (Wellenlänge), dieselbe Richtung und schwingt im gleichen Takt (Phasengleichheit).

- **Verstärkung im Resonator:** Die Photonen fliegen zwischen den beiden Spiegeln hin und her, treffen auf immer mehr angesehene Atome und lösen eine Art „Licht-Lawine“ aus.
- **Austritt:** Ein Teil dieser gebündelten Strahlung passiert den teildurchlässigen Spiegel und verlässt den Laser als präziser Laserstrahl.

https://www.fiber-mart.com/de/news/what-is-laser-diode-and-dfb-laser-diode-a-6485.html

## Laserdioden: Winzige Geräte treiben eine globale Technologierevolution an

Im Jahr 2025 gelang es Wissenschaftlern der Universitäten Rochester und Kalifornien, Santa Barbara, einen Mikrolaser zu entwickeln, der so klein ist, dass er auf eine Ein-Cent-Münze passt. Dieser Laser kann seine optische Frequenz 2 Trillionen Mal pro Sekunde ändern und weist eine extrem schmale Linienbreite von nur 167 Hertz auf – ein technologisches Meisterwerk.



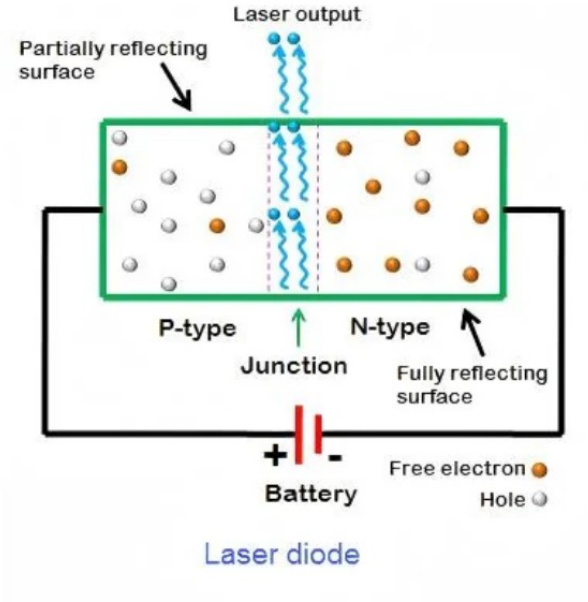

## Was sind Laserdioden?

Eine Laserdiode (LD) ist ein Bauelement, das Halbleitermaterial als Verstärkungsmedium nutzt, um durch stimulierte Emission Laserlicht zu erzeugen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Lichtquellen zeichnet sich das von einer Laserdiode emittierte Licht durch hohe Kohärenz, Richtwirkung und Monochromasie aus.

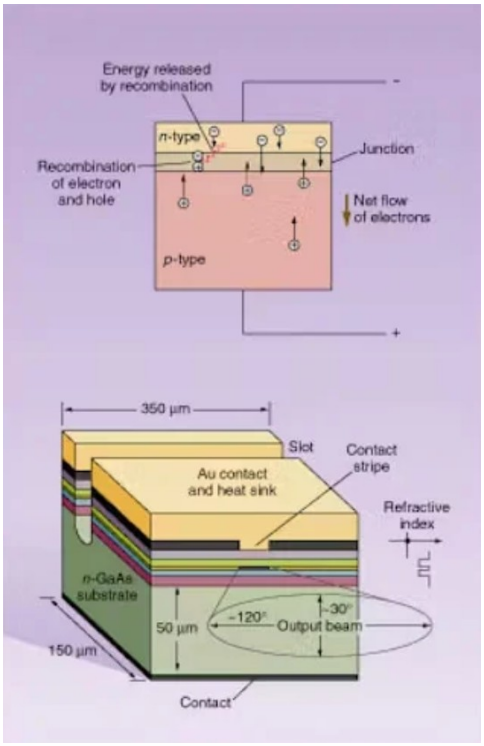
Das Funktionsprinzip basiert auf der von Einstein 1917 aufgestellten Theorie der stimulierten Emission. Wird eine Laserdiode in Durchlassrichtung betrieben, rekombinieren Elektronen und Löcher im PN-Übergang und setzen dabei Photonen frei. Diese Photonen werden zwischen den reflektierenden Oberflächen hin und her reflektiert, treffen auf weitere Atome und regen so die Emission weiterer Photonen an. Schließlich entsteht ein intensiver Laserstrahl, der durch die teilreflektierende Oberfläche austritt. Kern der Laserdiode sind die Ladungsträgerinjektion und die stimulierte Emission von Photonen. Beim Durchfließen von Strom durch das Halbleitermaterial

werden Elektronen auf ein höheres Energieniveau (Leitungsband) angeregt, während Löcher auf dem niedrigeren Energieniveau (Valenzband) verbleiben.

Bei der Rekombination von Elektronen mit Löchern wird Energie freigesetzt, die in Form von Photonen emittiert wird. Diese Photonen werden innerhalb des Resonators hin und her reflektiert und mehrfach verstärkt, wodurch schließlich das Laserlicht entsteht.




## Aufbau von Laserdioden




Laserdioden bestehen aus mehreren Schlüsselkomponenten: Halbleitermaterial liefert die Bandstruktur, die die Ladungsträgerinjektion und -rekombination ermöglicht; der PN-Übergang erleichtert die Strominjektion und erzeugt so einen Ladungsträgerkonzentrationsunterschied; der Resonator sorgt über Spiegel für die optische Rückkopplung; die Strominjektion liefert die Energie, die Elektronen benötigen, um vom Valenzband in das Leitungsband zu springen.

Optische Komponenten spielen eine entscheidende Rolle in Laserdioden: Das optische Fenster dient als Schutzbarriere am Laserausgang und muss daher sowohl eine hohe Lichtdurchlässigkeit als auch Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen. Hochleistungs-Edge-Laser (EEL) verwenden häufig Diamantfenster, die eine Wärmeleitfähigkeit von bis zu 2000 W/m·K besitzen und somit eine hervorragende Wärmeableitung gewährleisten.

Der Spiegel ist eine weitere Schlüsselkomponente. Integrierte Spiegel wie verteilte Bragg-Reflektoren (DBR), die aus Dutzenden abwechselnder

Schichten aus AlGaAs/GaAs bestehen, können Reflexionsgrade von über 99,9 % erreichen und sind zentral für VCSELs (Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers).

# Hologramm

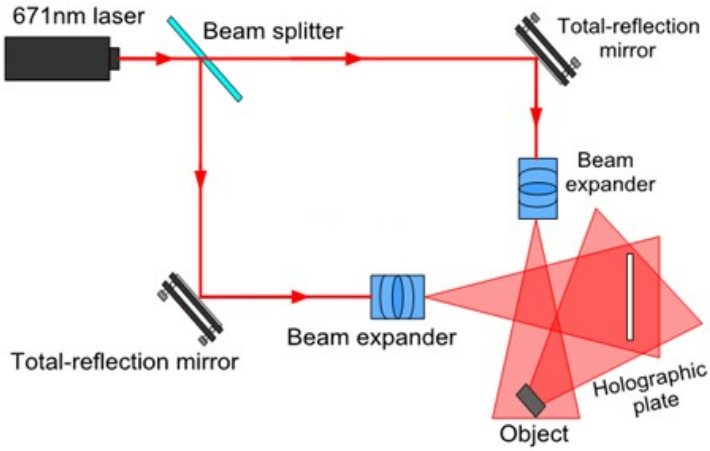
## Hologramme (Laser-Interferenzbilder)

- **Echte Laser-Hologramme:** Mithilfe von geteilten Laserstrahlen (Objekt- und Referenzstrahl) wird die Lichtwelle eines Objekts auf einer speziellen Fotoplatte gespeichert. Beleuchtet man das Bild später erneut mit Licht oder einem Laser, erscheint das Objekt als echtes, räumliches 3D-Bild, um das man sogar „herumschauen“ kann.

Ein **Hologramm** ist ein dreidimensionales Bild, das mit Hilfe von Licht (in der Regel Laserlicht) erzeugt wird und ohne eine spezielle 3D-Brille frei im Raum oder auf einer Oberfläche schweben kann.

## Was ist ein Hologramm?

- **Echte Holografie:** Nach der Methode von Dennis Gábor (1947 erfunden, Nobelpreis 1971) wird ein Laserstrahl geteilt: Ein Teil beleuchtet das Objekt, der andere Teil dient als unbeeinflusster Referenzstrahl. Durch die Überlagerung (Interferenz) der beiden Wellenfelder werden sowohl die Intensität als auch die Phase des Lichts auf einem Medium (z. B. einer Fotoplatte) gespeichert.




- **Illusionen und Pseudohologramme:** Viele alltägliche "Hologramme" (wie bei Konzerten, auf Geldscheinen oder als Pyramiden-Projektionen) basieren oft nicht auf echter Welleninterferenz, sondern auf klassischen Spiegelungen wie dem historisch bekannten ***Peppers-Ghost*-Effekt** oder rotierenden LED-Rotoren.

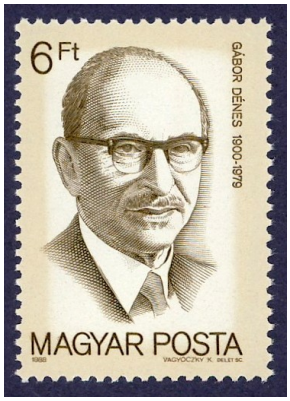


Dennis Gábor war ein ungarischer Ingenieur, der 1971 den Nobelpreis für Physik für die Erfindung der Holografie erhielt. Er lebte von 1920 bis 1933 in Deutschland, danach emigrierte er nach England, wo er später die britische Staatsbürgerschaft annahm. Dennis Gábor war Gründungsmitglied des Club of Rome.

**Dennis Gábor** (ungarisch *Gábor Dénes*; * 5. Juni 1900 in Budapest; † 8. Februar 1979 in London) war ein ungarisch-britischer Ingenieur und Physiker.

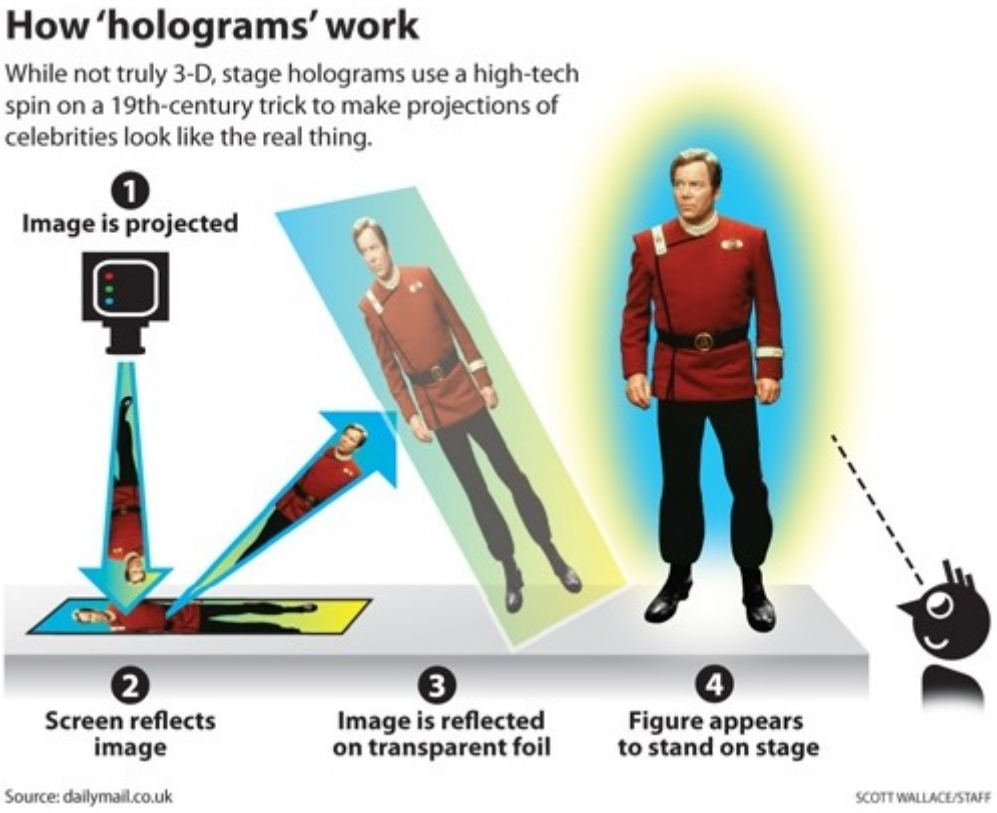
Er erfand unter anderem die *Hochdruck-Quecksilberdampflampe*, trug zur Elektronenoptik und Informationstechnik bei und hielt über 100 Patente.
Sein bekanntes Zitat lautet: *„The future cannot be predicted, but futures can be invented“* („Die Zukunft kann man nicht vorhersagen, aber man kann die Zukunft erfinden“).

## Where it all began




In 1947 Dennis Gabor had an idea to improve the electron microscope.This became the invention of holography for three-dimensional imaging but this required light sources,

(**Wo alles begann**
1947 hatte Dennis Gabor eine Idee zur Verbesserung des Elektronenmikroskops. Daraus entstand die Erfindung der Holografie für dreidimensionale Bildgebung, doch dafür wurden Lichtquellen benötigt.)




(**Wie Hologramme funktionieren**
Bühnenhologramme sind zwar nicht wirklich dreidimensional, nutzen aber eine Hightech-Variante eines Tricks aus dem 19.Jahrhunderts, um Projektion von Prominenten echt aussehen zu lassen

**1. Bild wird projiziert**
**2. Leinwand reflektiert Bild** **3. Bild wird auf transparenter Folie reflektiert** **3. Figur scheint auf der Bühne zu stehen**

)

Ein **Pseudo-Hologramm** ist keine echte dreidimensionale Lichtspeicherung (wie bei einer klassischen **Holografie**), sondern eine optische Illusion.

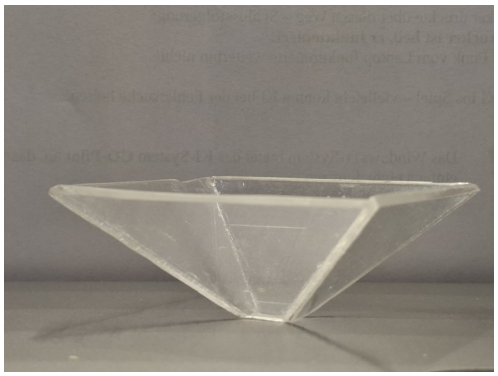
## Wie funktionieren Pseudo-Hologramme?

- **Pepper’s-Ghost-Effekt:** Die häufigste Technik nutzt eine schräg (meist im 45-Grad-Winkel) stehende transparente Glasscheibe oder Kunststofffolie.
- **Spiegelung:** Ein versteckter Bildschirm (z. B. ein Smartphone oder Monitor) zeigt ein Bild oder Video. Das Licht wird an der Scheibe reflektiert, sodass es für den Betrachter im Raum zu schweben scheint.
- **Pyramiden-Tricks:** Kleine durchsichtige Plastikpyramiden auf einem Smartphone-Display spiegeln das Bild von vier Seiten gleichzeitig ein.

## Unterschied zum echten Hologramm

- **Echtes Hologramm:** Speichert das vollständige Lichtfeld eines Objekts mittels Interferenzmustern. Man kann um das Objekt herumgehen und es aus verschiedenen Winkeln betrachten.
- **Pseudo-Hologramm (z. B. Pepper's Ghost):** Funktioniert meist nur aus einer bestimmten Blickrichtung gut, weil es sich lediglich um eine zweidimensionale flache Spiegelung handelt.

**Pyramiden-Tricks:** Kleine durchsichtige Plastikpyramiden auf einem Smartphone-Display spiegeln das Bild von vier Seiten gleichzeitig ein



**Reflexion als Ursache**

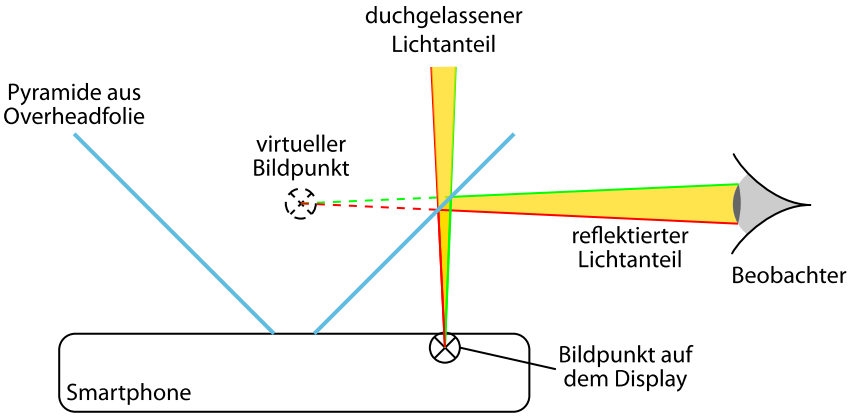
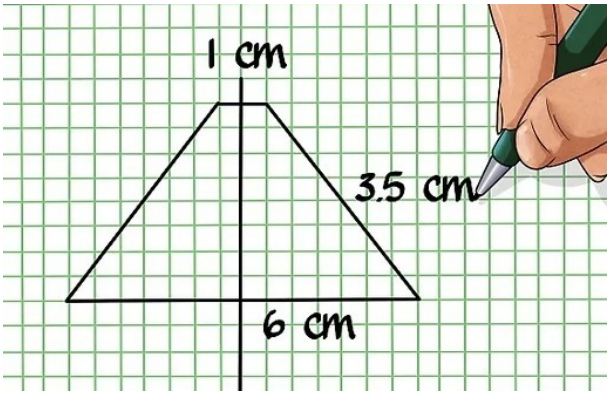
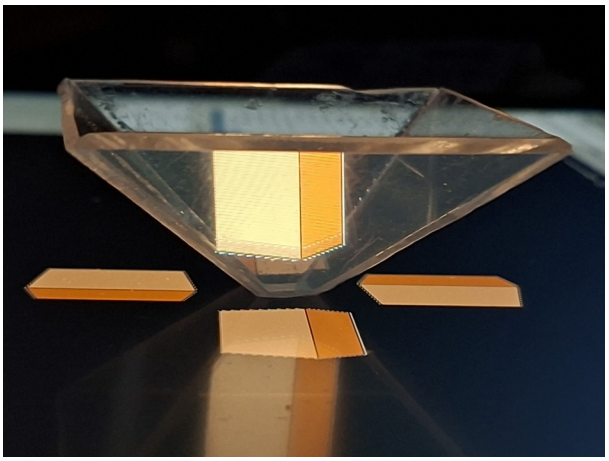


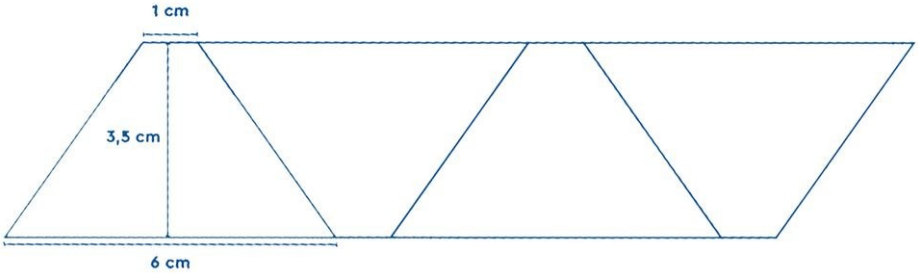

Abb. 6 Lichtweg zur Bildentstehung an einem "3D Smartphone Hologramm"

Dieser optische Trick funktioniert, weil die Overhead-Folie nicht vollständig durchsichtig ist. Die Folie reflektiert einen Teil des von unten kommenden Lichtes des Smartphone-Displays. Da für die Richtung der Reflexion das Reflexionsgesetz gilt, fällt das reflektierte Licht ins Auge des seitlich positionierten Beobachters. Wie bei der Bildentstehung am Spiegel, sieht es nun für den Betrachter so aus, als würde das Licht von hinter der reflektierenden Oberfläche ausgehen. Du nimmst daher das Bild im Raum hinter der Overheadfolie frei im Raum schwebend war.

Das grundlegende Prinzip dieses optischen Tricks wurde übrigens schon lange genutzt. Als klassischer Bühnentrick bekannt, wurden auf diese Art und Weise bspw. plötzlich Geister auf einer Bühne erscheinen und sogar schweben lassen.

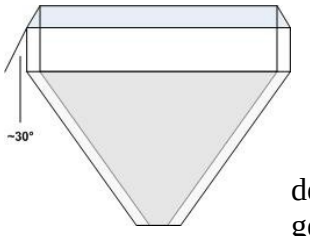





Kann man ohne Probleme so nachbauen!

https://de.wikihow.com/Ein-Hologramm-erzeugen : Hier kann man das exakt nachlesen, wie man so ein Pseudo-Hologramm, einschließlich Pyramiden-Projektor, herstellen kann.





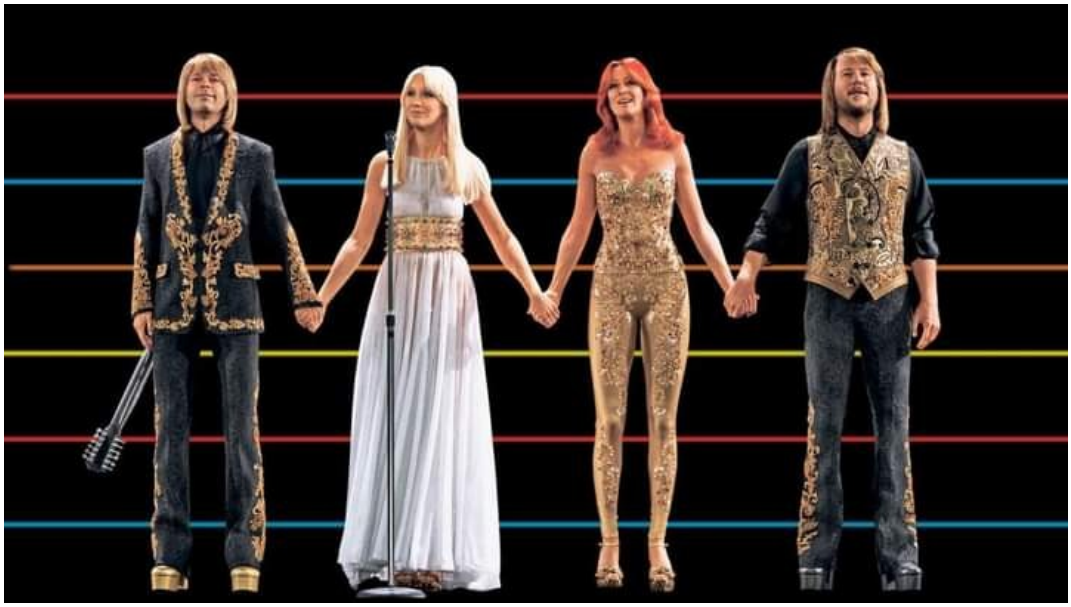

Problematisch kann es werden, wenn zum Herstellen der Pyramide etwa dickeres Material verwendet wird, dann muss man zum Zusammenkleben die schrägen Seiten auch noch etwas abschrägen, aber nicht 45°, denn durch die Schräge der Seitenflächen, werden diese schon nach außen geschoben. Bei etwa 30° wird der Grundriss dann ein Quadrat (kann man sicher auch berechnen? Und die Flächen sollten möglichst sauber bleiben.

Fibermart Weitere Informationen zu Hologrammen

Über diesen Link kommt man zu meinem selbst erzeugten bewegten Pseudo-Hologramms, einem sich drehenden **Würfel:**
**Hologramm Wuerfel**

## Abbatare

Eine besonders spektakuläre Nutzung von Hologrammen (aber nur professionell für viel Geld).



Die sogenannten **Abbatare** (digitale Avatare von ABBA) für die Show *ABBA Voyage* wurden mithilfe von **Motion-Capture-Technologie** und CGI von der Effektfirma **Industrial Light & Magic (ILM)** entwickelt.

## So funktioniert die Technik:

- **Motion-Capture-Anzüge:** Die vier Bandmitglieder trugen spezielle Anzüge, während ihre Bewegungen über Wochen von rund 160 Kameras aufgezeichnet wurden.
- **Körperdoubles:** Um die Bewegungen der jüngeren Versionen von ABBA aus den 1970er-Jahren authentisch darzustellen, kamen teilweise auch jüngere Körperdoubles zum Einsatz.
- **3D-Projektion:** Es handelt sich technisch gesehen nicht um klassische Science-Fiction-Hologramme, sondern um hochauflösende 3D-Volumenprojektionen auf transparenten Leinwänden, kombiniert mit realer Licht- und Bühnentechnik in der eigens dafür gebauten *ABBA Arena* in London.
- **Begleitung:** Während die Avatare auf der Bühne singen und tanzen, spielt eine echte Live-Band physisch vor Ort



