

Leseprobe aus:

**Christoph Drösser**

# Der Physikverführer



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf [rowohlt.de](http://rowohlt.de).

# Inhalt

Vorwort 9

1 Zu früh gefreut 13

**oder Von wegen «heureka!»**

*Archimedes hat angeblich das nach ihm benannte Prinzip erkannt, als er in einem griechischen Bad in die Wanne stieg und das Wasser über den Rand floss. In Wahrheit ist die Sache ein bisschen komplizierter.*

2 Die letzte Abfahrt 27

**oder Wieso Dicke schneller rutschen**

*Wenn Kinder älter werden, überflügeln sie irgendwann ihre Eltern im Sport. Aber der Physiklehrer Stefan Putzer findet einen Weg, wie er seinem halbwüchsigen Sohn noch ein letztes Mal auf Skiern davonfahren kann.*

3 Die Kraft der zwei Pferde 43

**oder Zerreißprobe für blaue Hosen**

*Das Logo der Jeansmarke Levi's ist weltberühmt: Zwei Pferde schaffen es nicht, eine Hose zu zerreißen. Aber sind zwei Pferde tatsächlich stärker als eines?*

4 Die 20-Meter-Frau 53

**oder Size matters**

*In Science-Fiction-Geschichten werden Menschen zu Riesen oder Zwergen, behalten dabei aber ihre Gestalt. Was aber geschähe mit ihnen, wenn die Gesetze der Physik aus dem wirklichen Leben für sie gelten würden?*

## 5 **Wurstphysik 69**

### **oder Warum Wiener immer längs aufplatzen**

*Wolfgang ist Wurstverkäufer mit physikalischem Hintergrund. Und deshalb kann er erklären, wie man Wiener Würstchen am schmackhaftesten zubereitet – und warum sie niemals quer aufplatzen.*

## 6 **Auf dem Patentamt 81**

### **oder Energie aus dem Nichts**

*Kann es eine Maschine geben, die sich ohne Zufuhr von Energie ewig bewegt? Obwohl die Physik die Existenz eines Perpetuum mobile ausschließt, entwerfen Tüftler immer wieder solche Geräte – und bekommen manchmal sogar ein Patent dafür.*

## 7 **Die Mauer 103**

### **oder Vom Winde verweht**

*Ein deutsches Auswandererpaar auf Mallorca muss feststellen, dass manchmal auch die beste Schallschluckwand den Lärm nicht abhalten kann.*

## 8 **Der verjüngte Zwilling 117**

### **oder Paradoxe Reise durch die Zeit**

*Im Jahr 2020 werden die ersten Signale einer intelligenten Zivilisation von Alpha Centauri B empfangen. Zehn Jahre später schickt die Menschheit eine Botschafterin dorthin. Zum ersten Mal besteht die Möglichkeit, mit Außerirdischen Kontakt aufzunehmen. Und ein Zwillingspärchen erfährt das scheinbare Paradox von Einsteins Relativitätstheorie.*

- 9 **Die Party 137**  
**oder Quatsch mit langen Strohhalmen**  
*Zwei Kinder versuchen, mit einem extra langen Strohhalm Limonade und Sangria in den dritten Stock heraufzusaugen. Kann das funktionieren – oder gibt es ein «Sauglimit» für Flüssigkeiten?*
- 10 **Am Äquator 151**  
**oder Der Trick mit dem Wasserstrudel**  
*Ob Ecuador oder Kenia – in Ländern, die am Äquator liegen, demonstrieren pfiffige Trickbetrüger gerne, dass der Wasserstrudel sich auf der Nordhalbkugel andersherum dreht als auf der südlichen Hemisphäre. Eine Anleitung, wie Sie diesen Trick nachmachen können – auch ohne sich am Äquator zu befinden!*
- 11 **Im Kinderzimmer 165**  
**oder (Un)gesundes Halbwissen**  
*Wenn Eltern ihren Kindern Wissenschaft erklären, wird die Wahrheit manchmal ein wenig verbogen. Matthias Wortmann irrt sich gleich dreimal: bei der Ursache von Sommer und Winter, bei der Schwerelosigkeit im All, vor allem aber bei der Antwort auf die Frage, wieso Flugzeuge fliegen können.*
- 12 **Alles Zufall? 181**  
**oder Mit dem Schuhcomputer ins Spielcasino**  
*Mit mathematischen Methoden lässt sich das Roulette nicht schlagen – aus den in der Vergangenheit gefallen Zahlen kann man nicht auf die Zukunft schließen. Aber klappt es vielleicht mit Physik? Lässt sich der Lauf der Kugel exakt berechnen?*

## 13 Der betrunkene Weinbauer 199

### oder Wie Eis vor Frost schützen kann

*Weil der Weinbauer Luigi ein bisschen zu viel Chianti getrunken hat, vergisst er, über Nacht die Beregnungsanlage seines Weinbergs abzustellen – und entdeckt, dass Eis empfindliche Blüten vor Frost schützen kann.*

## 14 Der Quanten-Kult 207

### oder Selbstmord für die Wissenschaft

*Eine Gruppe von Physikern begeht gemeinschaftlich Selbstmord. Warum nur? Kommissar Behnke findet heraus, dass die Tat mit der Quantentheorie zusammenhängt – und sein gesunder Menschenverstand wird auf eine harte Probe gestellt.*

## Die Top Zwölf 223

### oder Die wichtigsten physikalischen Formeln

## Lösungen 229

## Quellen 234

## Index 237

# Vorwort

*Physik ist wie Sex. Manchmal kommt etwas Nützliches dabei heraus. Aber deshalb betreiben wir sie nicht.*

Richard Feynman

Als ich nach dem Erfolg des *Mathematikverführers* gefragt wurde, welcher Disziplin ich mich denn als Nächstes widmen würde, musste ich nicht lange nachdenken – es war klar, dass es um Physik gehen würde. Mathematik habe ich studiert, und sie ist für mich immer noch die Königin der Wissenschaften (und ich würde auf sie das Eingangszitat von Feynman anwenden), aber die Physik fasziniert mich nicht weniger. Schafft die Mathematik aus quasi nichts als einem durch die Evolution geformten Säugetierhirn die komplexesten Gedankenwelten, so gehen die Physiker noch einen Schritt weiter und sagen: Wir können mit mathematischen Gleichungen und Modellen die Welt beschreiben, vielleicht sogar komplett. Denn die anderen Naturwissenschaften sind ja nichts als Fortschreibungen der Physik: Die Chemie beschäftigt sich mit den Reaktionen zwischen Molekülen, die von der Physik beschrieben werden, die Biologie ist die Wissenschaft vom Leben, das sich durch chemische Reaktionen beschreiben lässt, die wiederum auf die Physik zurückgehen. Damit will ich keinesfalls einem totalen Reduktionismus das Wort reden – ab einer gewissen Stufe der Komplexität hilft die Physik nicht mehr weiter, der Laplace'sche Dämon ist ja ein Fabelwesen (siehe Seite 191). Aber die Physik liegt eben tatsächlich jedem Phänomen in dieser Welt zugrunde, selbst der Entstehung des gesamten Universums.

Aber keine Sorge, um die physikalischen Modelle, mit denen

die Urknall- oder Stringtheoretiker rechnen, geht es in diesem Buch nicht. Wie schon der *Mathematikverführer*, so befasst sich auch der *Physikverführer* vorwiegend mit jenen Grundlagen der Wissenschaft, die für Laien nachvollziehbar sind. Von den Kapiteln 8 und 14 abgesehen, in denen es um Relativitäts- und Quantentheorie geht, heißt das: Wir beschäftigen uns mit einer Welt, in der praktisch alle Phänomene auf die Kollision kleiner oder großer Massen zurückzuführen sind. Größen wie Kraft, Beschleunigung und Energie reichen aus, um diese Welt zu beschreiben, sei es im Makroskopischen – etwa wenn Autos zusammenstoßen – oder im Mikroskopischen: Temperatur ist die mittlere Bewegungsenergie von Teilchen, die wir uns wie kleine Gummibälle vorstellen, und Druck ist, wenn diese Gummibälle gegen die Wand eines Behälters knallen. Das Buch zeigt, wie weit ein solch naives physikalisches Modell reicht: Immerhin erklärt es, warum Flugzeuge fliegen und warum es unmöglich ist, ein Perpetuum mobile zu bauen. Das ließe sich noch ausdehnen auf elektrische und magnetische Phänomene, die ich in diesem Buch nur am Rande streife.

Aber Moleküle sind keine Gummibälle, sie bestehen aus Atomen, diese wiederum setzen sich aus kleineren Elementarteilchen zusammen. Und wenn Sie immer noch glauben, dass ein Atomkern ein brombeerartiger kleiner Knubbel aus Neutronen und Protonen ist, um den in einiger Entfernung Elektronen kreisen wie Mücken um eine Glühbirne – dann lassen Sie es sich gesagt sein: Auch das sind nur Hilfsvorstellungen, die unsere Phantasie anregen sollen. In der «wirklichen» Physik zerrinnen all diese Kügelchen irgendwann zu Wellenfunktionen, die durch den leeren Raum wabern und nur noch Wahrscheinlichkeiten beschreiben. Konkret vorstellen können sich das auch Physiker nicht mehr, und es gibt einen fast religiösen Streit darüber, wie man die – experimentell gut bestätigten – Resultate der Theorie interpretieren soll (siehe Kapitel 14).

Wie schon der mathematische Vorgänger, so enthält auch der *Physikverführer* Formeln. Ich glaube immer noch, dass eine gute mathematische und physikalische Formel einen Zusammenhang besser auf den Punkt bringt als ein blumiger Satz. Andererseits weiß ich, dass man Formeln nicht lesen kann wie einen unterhaltsamen Text, dass man Muße dazu braucht und manchmal sogar Papier und Bleistift zum Nachrechnen. Deshalb habe ich die Abschnitte, in denen gerechnet wird, noch deutlicher kenntlich gemacht. Sie können Sie überschlagen oder für später aufheben und trotzdem den Gedankengang des Kapitels verstehen. Absolut verzichtbar sind sie nicht – sonst hätte ich ja drauf verzichtet!

Der *Physikverführer* ist kein Lehrbuch und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Er soll dem Leser einige physikalische Begriffe anhand von amüsanten Geschichten vermitteln oder wieder ins Gedächtnis zurückrufen, und wenn Sie einen Bereich vermissen, dann liegt es wahrscheinlich daran, dass mir dazu keine amüsante Geschichte eingefallen ist oder das Buch schon voll war. Ich muss ja kein Curriculum abarbeiten, sondern freue mich, wenn ich bei dem einen oder anderen genug Spaß und Neugier auslöse, dass er die Lücken auf eigene Faust stopfen kann.

Danken möchte ich an dieser Stelle meiner Agentin Heike Wilhelmi und meinem Lektor Frank Strickstock bei Rowohlt; Bernd Schuh und Max Rauner für das Gegenlesen des Manuskripts und einige wichtige physikalische Hinweise; Rüdiger Dammann von Booklett, der die Idee zum *Mathematikverführer* hatte, ohne den es keinen *Physikverführer* gäbe. Und meinem Sohn Lukas Engelhardt für die Überarbeitung der Grafiken in diesem Buch.

Hamburg, im Oktober 2010  
Christoph Drösser



# 1 Zu früh gefreut

oder

## Von wegen «heureka!»

Archimedes geht unruhig auf und ab. Eigentlich wollte er sich an diesem Nachmittag bei einem warmen Bad ausruhen, ist daher schon früher als sonst ins Badehaus eingekehrt. Die anderen Männer, die ebenfalls hergekommen sind, um der Hektik der Straßen von Syrakus und vielleicht auch dem häuslichen Regiment ihrer Ehefrauen zu entkommen, werfen ihm schon verstohlene Blicke zu. Wie soll man entspannen, wenn dieser Mann dort offenbar den Rat Homers missachtet, das Bad als «Mittel gegen geistesentkräftende Arbeit» zu nutzen? Mit einer Hand hält er das Tuch fest, das seine Blöße bedeckt, und geht schwitzend und schnaufend hin und her. Kein sehr schöner Anblick. Aber niemand wagt es, das laut zu sagen – schließlich ist dieser Archimedes nicht nur ein von allen bewunderter Denker, sondern auch ein guter Freund von König Hieron II.

Und der Gedanke an diesen König ist es, der Archimedes nicht zur Ruhe kommen lässt. Nein, es geht nicht um die phantastischen Kriegsmaschinen, die der Erfinder für Hieron bauen soll, zur Abwehr von Römern und Karthagern – die Konstruktionszeichnungen für die Katapulte und Spiegel sind weitgehend fertig. Sie müssen nur noch von Handwerkern in die Wirklichkeit umgesetzt werden, und Archimedes hat keinen Zweifel, dass seine revolutionären Erfindungen funktionieren werden. Nein, es geht um ein scheinbar simples Problem, vor das ihn der König am Morgen gestellt hat.

Hieron II., auch «der Jüngere» genannt, ist ein hochdekorierter Krieger und wittert hinter jedem Strauch einen Feind. Archimedes ist einer der wenigen, denen der König über den Weg traut – der Goldschmied Philippos, der seinen kleinen Laden in einer schäbigen Gasse der Altstadt hat, gehört gewiss nicht zu diesem Kreis. Diesem Philippos hatte Hieron zwei Minen (nach heutigen Einheiten etwa ein Kilogramm) reines Gold überlassen, mit dem Auftrag, daraus einen Kranz zu fertigen. Den will Hieron am berühmten Heiligtum des Apollon niederlegen, natürlich mit großem Brimborium, schließlich soll jeder Bürger von Syrakus sehen, was für ein gottesfürchtiger Mann der König ist.

Philippos hat einen wunderschönen Kranz gefertigt, einen recht bescheidenen Lohn für seine Arbeit kassiert, und der Kranz wiegt auch genau zwei Minen. So weit, so gut, alle könnten zufrieden sein – aber Hieron ist immer noch misstrauisch. Was, so hat der König heute Morgen zu Archimedes gesagt, wenn der Goldschmied heimlich einen Teil des Goldes abgezweigt und den Rest mit Silber gestreckt hätte? Schon eine zehntel Mine, also zehn Drachmen, würde den armen Schlucker zu einem reichen Mann machen. Und äußerlich könnte man dem Gold eine solche Beimischung nicht ansehen. «Ich traue diesem Philippos nicht», hat Hieron zu Archimedes gesagt. «Hier, nimm den Kranz mit in deine Werkstatt, untersuche ihn, so viel du willst – aber bitte lass ihn ganz, er ist wirklich prächtig geworden! Und sag mir morgen, ob er echt ist oder ob Philippos geschummelt hat!» Und als Beweis seines Vertrauens zu dem Gelehrten hat er ihm noch einen Goldbarren mitgegeben, der genauso viel wiegt wie der Kranz.

Dürfte Archimedes den Goldschmuck einschmelzen, dann wäre die Sache natürlich kein Problem. Jeder weiß, dass Gold schwerer ist als Silber, dass also ein Barren Silber bei gleichem Gewicht größer ist als ein Goldbarren beziehungsweise bei gleicher Größe

leichter. Der Unterschied ist beträchtlich: Gold wiegt bei gleichem Volumen fast doppelt so viel wie Silber. Also müsste Archimedes nur den Kranz einschmelzen, zu einem Barren formen und das Volumen mit dem des Barrens vergleichen, den Hieron ihm mitgegeben hat. Archimedes hat schon schwierigere mathematische Probleme gelöst.

Aber er darf ja den schönen Kranz nicht zerstören, und dessen feinziselierte Form mit den angedeuteten Lorbeerblättern ist viel zu kompliziert, um dafür eine mathematische Formel zu entwickeln. Wie also kann man das Volumen des Kranzes mit dem des Goldbarrens vergleichen?

Ein Schmerzensschrei unterbricht Archimedes' Gedankengang. «Beim Zeus, Archimedes, nun pass doch mal auf!» Der greise Dichter Theokrit hält sich den Fuß – offenbar ist ihm der grübelnde Gelehrte auf den kleinen Zeh getreten. «Seit zehn Minuten läufst du hier hektisch auf und ab», sagt Theokrit vorwurfsvoll, «du störst unsere Ruhe, und jetzt hast du mir auch noch auf den Fuß getreten. Wer ins Bad geht, der sollte seine Sorgen und Probleme draußen lassen! Deshalb sind wir hier nur unter Männern, und deshalb folgen wir den alten Regeln, die wir seit Hippokrates' Zeiten beherzigen. Und dazu gehört: Im Bad herrscht Ruhe!»

Archimedes senkt schuldbewusst den Blick. Vor dem alten Dichter hat auch er Respekt. Und außerdem hat der durchaus recht mit seinem Verweis auf die alten Bräuche. Obwohl – die Sache mit der Geschlechtertrennung könnte man ja nochmal überdenken ...

«Und wie siehst du überhaupt aus!», zetert der Alte weiter, der jetzt richtig in Rage zu kommen scheint. «Total verschwitzt, das Tuch klebt dir am Leib! Vielleicht solltest du mal das tun, wofür du hergekommen bist! Dort drüben hat ein Sklave gerade ein heißes Bad eingelassen – keiner hier wird es dir Streitig machen!»

«Du hast recht, Theokritos», sagt Archimedes kleinlaut. «Und sicher wird das Bad nicht nur meinen Körper, sondern auch meine Gedanken reinigen.»

«Wollen wir hoffen», knurrt Theokrit, für den das Gespräch damit beendet ist.

Das Wasser dampft heiß in dem Marmorbecken, das bis eine Handbreit unter dem Rand gefüllt ist. Archimedes drückt einem Sklaven sein Tuch in die Hand und schwingt sich ins Becken, tunlichst darauf bedacht, dabei möglichst wenig Lärm zu machen. Dann lehnt er sich mit einem wohligen Seufzer zurück, schließt die Augen und taucht den ganzen Körper unter die Wasseroberfläche.

Platsch! Alle Köpfe drehen sich um, als das Wasser über den Rand des Zubers und auf den Boden schwappt. Offenbar hat sich Archimedes verschätzt, und die Handbreit Luft über der Wasseroberfläche hat nicht gereicht, um die Körperfülle des Gelehrten aufzunehmen. Während er noch darüber nachsinnt, ob er in den letzten Monaten vielleicht ein paar Pfunde zugelegt hat, kommt Archimedes ein anderer Gedanke: Offenbar verdrängt sein Körper Wasser! So viel Wasser, wie sein eigenes Volumen beträgt. Wäre das Becken bis zum Rand gefüllt gewesen, dann wäre genau so viel Wasser über den Rand geschwappt, wie es dem Rauminhalt von Archimedes' Körper entspricht ...

«*Heureka!* Ich hab's gefunden!», ruft Archimedes aus. Er steht im Becken auf, schwingt sich tropfnass, wie er ist, über den Rand und läuft splinternackt über den gefliesten Boden. «*Heureka!* Dass ich da nicht schon früher draufgekommen bin!» Erst als er den strafenden Blick des Theokrit bemerkt, greift Archimedes nach seinem Tuch und windet es notdürftig um seine Hüften. Sonst wäre er vielleicht noch splinternackt auf die Straße gelaufen. «Danke, Theokrit! Durch deinen Rat habe ich die Lösung des Problems gefunden! Danke! Und euch allen noch einen geruhsamen Nachmittag!» Und

schon ist Archimedes aus der Tür. Die Männer im Bad schütteln nur den Kopf, dann ist erst einmal Ruhe.

Zurück in seiner Werkstatt, macht sich Archimedes gleich an die Arbeit, um seinen Geistesblitz in die Tat umzusetzen. Man kann, das hat ihn das Erlebnis in der Badeanstalt gelehrt, das Volumen eines Körpers messen, indem man ihn in ein Gefäß eintaucht, das randvoll mit Wasser gefüllt ist, und die überlaufende Menge auffängt und abmisst. Der Kranz und der Goldbarren wiegen beide gleich viel. Wenn sie beide aus reinem Gold sind, müssten sie auch gleich viel Wasser verdrängen. Ist das Gold im Kranz verunreinigt, müsste mehr Wasser überlaufen.

Archimedes stöbert im Regal mit seinen Gerätschaften und findet einen runden Tontopf, in dem sich der Kranz ganz versenken lässt, der Barren sowieso. Den Topf stellt er in eine flache Schüssel; sie soll das überlaufende Wasser aufnehmen. Nun füllt er den Topf bis zum Rand mit Wasser.

Als Erstes lässt er vorsichtig die goldene Krone hineinsinken. Der Wasserspiegel wölbt sich dabei wie eine Haut über der Öffnung des Topfes, und schließlich läuft das Wasser in einem kleinen Rinnsal auf einer Seite über, wie bei einem Blumentopf, in den man zu viel Wasser gegossen hat. Archimedes wartet, bis das Wasser zur Ruhe gekommen ist, und schüttet dann den Inhalt der flachen Schüssel in ein Weinglas. Erstaunlich, wie wenig Wasser das ist!

Dann fischt er den goldenen Kranz aus dem großen Gefäß und füllt das Wasser wieder bis zum Rand nach. Nun lässt er den Goldbarren hinein. Er erwartet, dass sich die Oberfläche wieder wölbt, aber diesmal schwappt das Wasser gleich über – durch die Welle, die der dicke Barren erzeugt hat, und weil der Rand ja schon nass war.

Das übergelaufene Wasser schüttet Archimedes in ein zweites Weinglas. Nun kann er die beiden Gläser nebeneinanderhalten und

ihren Inhalt vergleichen. Tatsächlich, das erste Glas ist ein bisschen voller. Aber sind die beiden Versuche wirklich unter identischen Bedingungen gemacht worden?

Vor allem staunt Archimedes, wie wenig von dem Wasser überhaupt übergelaufen ist – ein verschwindender Anteil gegenüber dem Gesamtvolumen. Völlig überzeugt ist er von seinem Versuch selbst nicht. Er hat einfach zu viele Fehlerquellen, als dass man mit Gewissheit ein Urteil abgeben könnte. Und von diesem Urteil könnte immerhin das Leben des Goldschmieds Philippos abhängen.

«Von wegen *heureka!*», knurrt Archimedes. «Da hab ich mich wohl etwas zu früh gefreut. Aber es muss doch einen eleganteren Weg geben, den Unterschied zwischen echtem und falschem Gold zu bestimmen ...»

## **Der Auftrieb bringt es an den Tag**

Die oben erzählte Geschichte beruht auf dem Bericht, den uns der römische Schriftsteller Vitruv im ersten Jahrhundert hinterlassen hat. Als Architekt kannte er sich zwar mit der Wissenschaft seiner Zeit aus, aber die Beschreibung der «Heureka!-Geschichte ist doch ein bisschen mager. Insbesondere erklärt die Handlung eben nicht die Entdeckung des sogenannten «Archimedischen Prinzips».

Was Archimedes in Vitruvs Geschichte angeblich so in Begeisterung versetzt, ist die recht simple Erkenntnis, dass Körper mit mehr Volumen mehr Wasser verdrängen, wenn man sie untertaucht. Wenn man weiß, dass Silber eine geringere Dichte als Gold hat und daher ein Körper aus Silber mehr Raum einnimmt als ein

gleich schwerer Körper aus Gold, dann ist das fast schon banal. Das Archimedische Prinzip dagegen ist eine Aussage über die Auftriebskraft, die jeder Körper unter Wasser beziehungsweise in einem beliebigen Medium erfährt:

*Ein Körper erfährt in einem Medium eine Auftriebskraft, die dem Gewicht des von dem Körper verdrängten Mediums entspricht.*

Wie diese Auftriebskraft zustande kommt, erkläre ich ausführlicher in Kapitel 6. Aus diesem Satz folgt zum Beispiel: Ein Schiff sinkt genau so tief ins Wasser ein, bis es so viel Wasser verdrängt hat, wie es selbst wiegt. Es bedeutet aber auch, dass ein Klumpen Silber im Wasser mehr Auftrieb bekommt als ein gleich schwerer Klumpen Gold – eben weil er mehr Wasser verdrängt. Genau genommen gilt das bereits in der Luft, nur wiegt die verdrängte Luft so wenig, dass man das in allen Rechnungen und Wägungen vernachlässigen kann.

Und diese Erkenntnis ist nicht banal. Sie widersprach damals ganz gewiss der Intuition, und sie bedeutete einen wissenschaftlichen Durchbruch, ohne den viele Erfindungen, bis hin zum modernen Flugzeug, nicht denkbar gewesen wären.

Aber schauen wir erst einmal, wie weit Archimedes mit seinem ersten Lösungsansatz gekommen wäre: Die goldenen Ehrenkränze, die im antiken Griechenland für die Götter geflochten wurden, hatten maximal einen Durchmesser von 20 Zentimetern. Wir gehen jetzt zu modernen Maßeinheiten über und nehmen an, dass der von König Hieron bestellte Kranz diese Größe hatte und eine Masse von 1000 Gramm. Um das Volumen zu berechnen, brauchen wir die Dichte der beiden Materialien. Gold hat eine Dichte von  $19,3 \text{ g/cm}^3$ , die Dichte von Silber ist  $10,5 \text{ g/cm}^3$ .