

Leseprobe aus:

Roma Agrawal
Die geheime Welt der Bauwerke

Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf
www.hanser-literaturverlage.de

© Carl Hanser Verlag München 2018

HANSER



ROMA AGRAWAL

Die geheime Welt der Bauwerke

AUS DEM ENGLISCHEN VON URSULA HELD
CARL HANSER VERLAG

Titel der Originalausgabe:
Built. The hidden stories behind our structures.
London, Bloomsbury 2018

1. Auflage 2018

ISBN 978-3-446-26030-6

© Roma Agrawal 2017

This translation of Built (first edition) is published by Carl Hanser Verlag
by arrangement with Bloomsbury Publishing Plc.

Alle Rechte der deutschen Ausgabe:

© 2018 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

Umschlag und Foto: Peter-Andreas Hassiepen, München,

Motiv: 432 Park Avenue, Architekt: Rafael Viñoly

Satz: Fotosatz Amann, Memmingen

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany



MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C083411

INHALT

Riesen	9
Kraft	15
Feuer	45
Ton	59
Metall	71
Stein	87
Himmel	103
Erde	133
Hohlraum	151
Wasser	165
Schmutz	181
Vorbild	199
Brücke	215
Traum	237
Dank	245
Quellen	249
Bildnachweis	253
Register	254

FÜR MAA UND FÜR DEN KLEINEN SAMUEL.

RIESEN

Mit der einen Hand umklammerte ich meine Schmuskatze, damit ich sie bloß nicht verlor. Mit der anderen Hand krallte ich mich am Rock meiner Mutter fest. Ich war entsetzt und beeindruckt zugleich von dieser unbekanntem, tosenden Welt um mich herum, deshalb hielt ich mich an das, was mir vertraut war.

Wenn ich heute an Manhattan denke, fühle ich mich immer an diesen ersten Besuch erinnert: an die ungewohnten Abgasdüfte, die Rufe der Straßenverkäufer und die gehetzten Passanten, die in Massen an uns vorbeizogen. Ich war damals ein Kleinkind und kannte keine Großstädte. Ich sah kein Stück freien Himmel, denn Türme aus Glas und Stahl verdeckten die Sonne. Was waren das nur für ungeheure Gebilde? Wie kam man da rauf? Wie mochte die Welt von da oben aussehen? Ich reckte den Kopf in alle Richtungen, während meine Mutter mich durch die vollen Straßen zog. Ich stolperte ihr nach und blickte gebannt zu den in die Wolken ragenden Riesen auf.

Zu Hause stapelte ich Bauklötze mit meinem Spielzeugkran und ahmte so das Gesehene nach. In der Schule malte ich große, bunte Rechtecke auf meine Zeichenblätter. New York wurde Teil meiner Vorstellungswelt, durch die wiederkehrenden Besuche prägte sich mir die Stadtlandschaft tief ein und ich verfolgte die immer neuen Umriss am Hochhaushimmel.

Ein paar Jahre lebten wir in den USA, da mein Vater dort als Elektroingenieur arbeitete. Wir wohnten jedoch nicht in einem der

Wolkenkratzer, die ich bei meinen Manhattan-Besuchen bestaunt hatte, sondern in einem knarrenden Holzhaus in den Hügeln nördlich der Stadt. Als ich sechs war, gab mein Vater seinen Job auf, um sich um das Familienunternehmen in Mumbai zu kümmern, und wir zogen in einen siebenstöckigen Betonblock mit Blick auf das Arabische Meer. Als meine Barbiepuppen nach der langen Seereise im Container endlich im neuen Zuhause ankamen, wollte ich es ihnen natürlich auch gemütlich machen. Mein Vater half mir, meine in lauter kleine Einzelteile zerlegten Kräne wieder zusammenzubauen; dann verschob ich mit lauten Surr- und Brummgeräuschen Plastikrohre und Pappwände, um ein Puppenhaus zu errichten. Wer weiß – vielleicht nahm meine Ingenieurlaufbahn hier ihren Anfang.

Mit meinem amerikanischen Akzent und meiner etwas eigenbrödlerischen Art hatte ich es in der Schule anfangs nicht leicht. Die anderen verspotteten mich als »Professorin«. Aber mit der Zeit fand ich Freunde und Lehrer, die mich zu nehmen wussten. Mit einer großen goldenen Nickelbrille auf der Nase vertiefte ich mich in Physik-, Mathe- und Geografiebücher. Ich mochte den Kunstunterricht und hatte meine Mühe mit Chemie, Geschichte und Sprachen. Meine Mutter, die selbst Mathematik und Naturwissenschaft studiert hatte und als Programmiererin tätig war, ermunterte mich bei meinem technischen Interesse und gab mir Extraaufgaben und zusätzliche Lektüre. Die gesamte Schulzeit hindurch blieben Mathe und Physik meine Lieblingsfächer, und ich beschloss, entweder Astronautin oder Architektin zu werden.

Damals hatte ich vom Beruf »Bauingenieur« noch nichts gehört und nie für möglich gehalten, dass ich eines Tages einen so einzigartigen Wolkenkratzer wie *The Shard* planen würde.

Da ich Freude am Lernen hatte, fanden meine Eltern, ich sollte die Schule im Ausland abschließen und damit meinen Horizont erweitern. Also zog ich mit fünfzehn Jahren nach London und belegte Mathe, Physik und Design als A-Level-Kurse. Wieder eine neue Schule, wieder ein neues Land – doch dieses Mal fand ich

schnell Gleichgesinnte: Mädchen, die sich genauso für die faradayschen Gesetze begeisterten wie ich und auch in ihrer Freizeit im Labor experimentierten; und dazu hervorragende Lehrer, die mir den Weg zum Physikstudium ebneten. Schließlich ging ich nach Oxford.

In der Schule war mir das Fach Physik leichtgefallen. An der Uni nicht, zumindest nicht gleich. Licht war also zugleich eine Welle und eine Ansammlung von Teilchen? Die Raumzeit ließ sich krümmen? Eine Zeitreise wäre mathematisch möglich? Ich war fasziniert von all diesen Dingen, aber sie waren mir auch schwer begreiflich. In den Seminaren hatte ich den Eindruck, meinen Kommilitonen hinterherzuhinken, und war am Ende immer unheimlich stolz, wenn ich die Zusammenhänge irgendwann verstanden hatte. Das Lernen in der Bibliothek glich ich mit Tanzstunden und auch mit Hausarbeit aus, denn schließlich musste ich mich nun selbst versorgen, mehr oder minder erfolgreich Gerichte zubereiten und Wäsche waschen. Physik machte mir nach wie vor Spaß. Raumfahrt und Architektur aber blieben Kinderträume: Ich hatte keine Idee, was ich mit meinem Leben anfangen sollte.

Doch dann jobbte ich den Sommer über an der Uni und fertigte Pläne zu den Brandschutzeinrichtungen in den verschiedenen Gebäuden an. Keine besonders aufregende Aufgabe. Die Menschen um mich herum aber beschäftigten sich mit ganz erstaunlichen Dingen. Da standen Ingenieure und ersannen Gerätschaften, mit denen Physiker die Teilchen untersuchen, die unsere Welt ausmachen. Ich löcherte sie mit Fragen und staunte, was ihre Tätigkeit alles beinhaltete. Zum Beispiel galt es, eine Metallfassung für eine Linse herzustellen – eine einfache Aufgabe, könnte man meinen, doch sollte das Werkzeug Temperaturen von bis zu -70 Grad Celsius aushalten. Metall zieht sich stärker zusammen als Glas, und nur eine besonders clever konstruierte Halterung würde die Linse nicht zerdrücken. Die Linse war nur ein kleines Teil in einer riesigen Apparatur und doch eine Herausforderung an den Erfindungsgeist. Ich verbrachte Stunden damit, mir eine Lösung für das Problem auszudenken.

Und auf einmal sah ich klar: Ich wollte Physik und Mathematik anwenden, um praktische Probleme zu lösen und unsere Welt ein Stück voranzubringen. Meine kindliche Bewunderung für Wolkenkratzer kam wieder hoch. Ich wollte Ingenieurin werden und Gebäude planen. Damit der Übergang von der Physik zum Bauwesen gelingen konnte, studierte ich ein Jahr am Londoner Imperial College, machte meinen Abschluss, bekam einen Job und trat als Bauingenieurin ins Berufsleben ein.

In dieser Position bin ich dafür verantwortlich, dass die von mir geplanten Bauwerke Bestand haben. In den vergangenen zehn Jahren habe ich an ganz verschiedenen Projekten mitgewirkt. Ich gehörte zum Planungsteam von *The Shard*, dem höchsten Gebäude Westeuropas, und war sechs Jahre lang damit beschäftigt, Berechnungen zu seinem innovativen Fundament und der auffälligen Turmspitze anzufertigen. Ich habe an einer hübschen Fußgängerbrücke in Newcastle mitgearbeitet und das halbkreisförmige Dach am Londoner Bahnhof Crystal Palace geplant. Ich habe Hunderte neue Wohnungen entworfen, einem georgianischen Stadthaus zu altem Glanz verholfen und dafür gesorgt, dass eine Skulptur ein stabiles Fundament bekommt. In meinem Job bedient man sich der Mathematik und Physik, um Dinge zu erschaffen. Das ist an sich schon eine unglaublich tolle Sache, aber es geht um noch mehr. Zuerst einmal ist jedes Bauprojekt eine gewaltige Teamarbeit. In der Vergangenheit traten Ingenieure wie Vitruv (der die erste Abhandlung zur Architektur schrieb) oder Brunelleschi (der die atemberaubende Kuppel für den Dom von Florenz schuf) als geniale Baumeister hervor. Sie kannten sich in allen Bereichen des Bauens aus. Heutzutage sind die Gebäude komplexer und technisch anspruchsvoller und es kann nicht mehr eine einzelne Person für alle Bereiche eines Projekts verantwortlich sein. So hat jeder sein Spezialgebiet, und die Herausforderung besteht darin, alle Beteiligten in einem komplizierten Zusammenspiel aus Material, Arbeit und Zahlen in Einklang zu bringen. Architekten und Ingenieure kümmern sich um die Planung. Anhand unserer Zeichnungen berech-

nen Kalkulatoren die Baukosten, und die Bauleitung stellt die Logistik zusammen. Die Arbeiter vor Ort erhalten Materialien und formen sie so um, dass unsere Vision Gestalt annimmt. Manchmal ist nur schwer vorstellbar, wie diese mitunter chaotische Betriebssamkeit zu einem stabilen Bauwerk führt, das Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte Bestand hat.

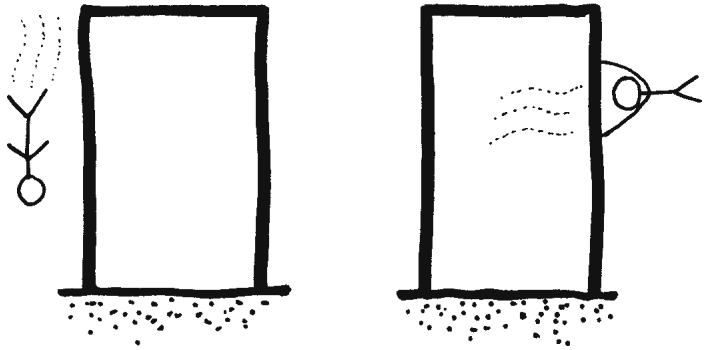
Ich eigne mir jedes neue Projekt an, es wird zu »meinem« Bauwerk, das heranwächst und einen eigenen Charakter ausbildet. Anfangs besprechen wir Rohentwürfe, aber dann erkenne ich immer deutlicher, was sich da aus den verschiedenen Anforderungen entwickelt. Je mehr Zeit ich einem Projekt widme, desto mehr Respekt, ja Zuneigung wächst in mir. Wenn das Bauwerk abgeschlossen ist, begegne ich ihm körperlich zum ersten Mal, ich kann es anfassen und abschreiten. Und auch im Anschluss bleiben wir verbunden und ich schaue aus einiger Entfernung zu, wie andere Menschen den Ort in Beschlag nehmen und eine eigene Beziehung zu dem Gebäude entwickeln, indem sie es zu ihrem Zuhause oder ihrem Arbeitsplatz machen, an dem sie abgeschirmt von der Außenwelt tätig sind.

Ich habe natürlich eine sehr persönliche Beziehung zu den Projekten, an denen ich beteiligt war, doch im Grunde stehen wir alle in enger Verbindung zu den Ingenieurwerken, die uns umgeben – zu den Straßen, die wir entlanglaufen, zu den Tunneln, durch die wir rauschen, und zu den Brücken, die wir überqueren. Wir nutzen diese Konstruktionen, weil sie uns das Leben erleichtern, und wir halten sie instand. Im Gegenzug werden sie zu einer stillen, aber wichtigen Requisite unseres Alltags. Wir geraten etwa in seriöse Arbeitsstimmung, wenn wir eine gläserne Büroetage mit Schreibtischreihen betreten. Unsere Reisegeschwindigkeit lässt sich an den Stahlbögen abzählen, die im U-Bahn-Tunnel an uns vorbeifliegen. Grobes Mauerwerk und Kopfsteinpflaster erinnern uns an die Vergangenheit und Ereignisse vor unserer Zeit. Gebäude leiten und unterstützen unseren Alltag und bilden den Hintergrund für unsere Tätigkeiten. Oftmals nehmen wir sie gar nicht genau wahr,

doch jedes Bauwerk hat seine Geschichte. Die Drahtseile, die an einer riesigen Brücke den Fluss überspannen, das Stahlskelett unter der Glashaut eines Büroturms, die Leitungen und Tunnel im Untergrund – all diese Dinge bilden unsere gebaute Welt und sagen damit einiges über uns aus: Sie erzählen von menschlichem Erfindergeist, von unseren Beziehungen untereinander und von unserer Einstellung zur Natur. Unser ingenieurtechnisches Universum ist eine Ansammlung von absolut faszinierenden Geschichten und Geheimnissen – man muss nur hinhören und hinschauen.

Ich hoffe, dass auch die Leser dieses Buches die Geschichten hinter unseren Bauwerken für sich entdecken. Vielleicht verändert ja ein neues Verständnis für unsere Umgebung unseren Blick auf die zahllosen Bauten, die wir tagtäglich überqueren, durchqueren oder unterqueren. Betrachten wir unser Zuhause, unsere Stadt oder unser Dorf mit der umgebenden Landschaft mit ganz neuem Interesse, sehen wir die Welt mit anderen Augen – mit denen eines Ingenieurs.

KRAFT



Es ist ein seltsames Gefühl, wenn man ein Bauwerk betritt, das man selbst geplant hat. Mein erstes Projekt nach dem Studienabschluss war die Fußgängerbrücke an der Northumbria University in Newcastle. Zwei Jahre lang beschäftigte ich mich mit den Entwürfen der Architekten und half mit, ihre Vision Realität werden zu lassen. Dazu fertigte ich ellenlange Berechnungen und unzählige Computermodelle an. Bis die Brücke schließlich gebaut wurde. Als die Kräne und Bagger abgezogen waren, konnte ich endlich meinen Fuß auf die von mir mitentwickelte Stahlkonstruktion setzen.

Ich blieb noch einen Moment vor der Brücke stehen und machte dann erst einen Schritt nach vorn. Ich weiß noch, was ich fühlte: eine Art stolzes Staunen, dass ich daran mitgewirkt hatte, diese schöne Brücke zu errichten, die nun tagtäglich mehrere Hundert Menschen überqueren würden. Ich sah hinauf zu dem hohen Stahlpylonen und den Stahlseilen, die von ihm ausstrahlen und den schmalen Gehwegträger halten, unter dem der Autobahnverkehr hinwegbraust. Die Brücke hielt mühelos ihr eigenes Gewicht – und meins dazu. Das geneigte und dadurch schwer zu erkletternde Gelände glänzte im Sonnenlicht. Unter mir rasten Autos und Lastwagen vorbei und hatten keine Ahnung, dass dort oben eine junge Ingenieurin auf »ihrer Brücke« stand und stolz ihren ersten Beitrag zur gebauten Welt bewunderte.

Und die Brücke unter meinen Füßen hielt. All die Zahlen und Modelle, mit denen ich die Kräfte berechnet hatte, die auf mein



links oben:
Die Fußgängerbrücke
im britischen Newcastle
upon Tyne wurde 2007
erbaut, um die beiden
Standorte der North-
umbria University zu
verbinden.



links unten:
Auf der Fußgängerbrücke
an der Northumbria Uni-
versity, meinem ersten
Projekt als Ingenieurin.

Bauwerk einwirken würden, waren ja mehrmals geprüft und gegen-geprüft worden.

Ingenieure dürfen sich keine Fehler leisten. Mir ist bewusst, dass die von mir geplanten Bauwerke täglich von Tausenden Menschen genutzt werden. Sie überqueren sie nicht nur, sie arbeiten und leben in ihnen und verschwenden meist keinen Gedanken daran, dass diese Bauten sie in Gefahr bringen könnten. Wir vertrauen der Ingenieurskunst, wir setzen buchstäblich große Stücke auf sie, und es liegt in der Verantwortung der Erbauer, für Sicherheit und Stabilität zu sorgen. Dennoch, die Geschichte lehrt uns, dass die Sache auch schiefgehen kann. So am Nachmittag des 29. August 1907, als die Einwohner von Quebec befürchteten, der Boden unter ihren Füßen würde von einem Erdbeben erschüttert. Doch es war etwas noch viel Udenkbareres, was sich da in rund 15 Kilometer Entfernung abspielte. Am Ufer des Sankt-Lorenz-Stroms zerriss das Geräusch von berstendem Metall die Luft. Die Niete, die eine im Bau befindliche Brücke zusammenhielten, platzten aus ihren Verankerungen und flogen den entsetzten Arbeitern um die Ohren. Die Stahlstützen klappten zusammen, als wären sie aus Papier, die gesamte Konstruktion versank im Fluss – und riss einen Großteil der Männer mit sich. Es war eins der schwersten Brückenunglücke der Geschichte und ein grausames Beispiel dafür, wie mangelnde Überwachung und fehlerhafte Planung in der Katastrophe enden können.

Brücken erweitern Städte, sie bringen Menschen zusammen und fördern Austausch und Handel. Die Idee, eine Brücke über den Sankt-Lorenz-Strom zu bauen, war schon seit den 1850er-Jahren im kanadischen Parlament erörtert worden. Doch handelte es sich um eine enorme technische Herausforderung: An der engsten Stelle ist der tiefe und schnelle Strom immer noch drei Kilometer breit, im Winter gefriert das Wasser, und im Flussbett häufen sich Eismassen von 15 Meter Höhe an. Trotz dieser Widrigkeiten nahm die Quebec Bridge Company das Vorhaben in Angriff. Im Jahr 1900 begannen die Arbeiten am Fundament.

Der leitende Ingenieur Edward Hoare hatte keine Erfahrung mit Brücken von mehr als 90 Meter Länge – schon in den ersten Plänen für das Bauvorhaben wurde jedoch eine mittlere Stützweite (die Entfernung von Pfeiler zu Pfeiler) von über 480 Metern verlangt. Daher traf man die verhängnisvolle Entscheidung, Theodore Cooper als Berater hinzuzuziehen. Der angesehene Ingenieur galt als einer der besten Brückenbauer Amerikas und hatte außerdem eine viel gepriesene Abhandlung zur Verwendung von Stahl bei Eisenbahnbrücken verfasst. In der Theorie erschien er als der perfekte Kandidat. Doch es gab von Beginn an Schwierigkeiten. Cooper wohnte im weit entfernten New York, und seine angeschlagene Gesundheit erlaubte es ihm nicht, die Baustelle regelmäßig zu besichtigen. Trotzdem bestand er darauf, den Stahlbau persönlich zu überwachen. Er weigerte sich, seine Planung überprüfen zu lassen, und verließ sich auf seinen relativ unerfahrenen Bauleiter Norman McLure. Dieser sollte ihn über die Fortschritte vor Ort auf dem Laufenden halten. Mit dem Bau der Stahlkonstruktion wurde 1905 begonnen, in den folgenden zwei Jahren war McLure jedoch zunehmend besorgt über den Verlauf der Arbeiten. Die aus dem Stahlwerk kommenden Bauteile waren schwerer als erwartet. Manche waren sogar verbogen, da sie unter ihrem Gewicht nachgaben. Viele bereits eingebaute Brückenteile verformten sich schon vor der Fertigstellung – ein Zeichen dafür, dass sie nicht stabil genug waren, um die auf sie einwirkenden Kräfte zu halten.

Die Verformung war eine Folge von Coopers Entscheidung, den ursprünglichen Brückenentwurf abzuändern und den freitragenden Mittelteil der Brücke auf 549 Meter zu verlängern. Womöglich vernebelte Ehrgeiz Coopers Urteilsvermögen: Vielleicht hoffte er, als Ingenieur der weltweit längsten Auslegerbrücke Berühmtheit zu erlangen – ein Rekord, den damals noch die schottische Forth Bridge hielt. Je größer die Spannweite einer Brücke, desto mehr Material ist erforderlich, desto schwerer wird das Bauwerk. Coopers neuer Entwurf war um etwa 18 Prozent schwerer, dennoch entschied er ohne einen zweiten Blick auf die Berechnungen, die Konstruktion sei im-

mer noch stabil genug für das zusätzliche Gewicht. McLure widersprach dieser Einschätzung, und die beiden Männer stritten in einem Briefwechsel über die Änderungen. Zu einer Lösung kam es nicht.

McLure war am Ende derart in Sorge, dass er die Arbeiten unterbrechen ließ und sich in den Zug nach New York setzte, um mit Cooper zu sprechen. Während seiner Abwesenheit fuhren die Arbeiter entgegen seiner Anweisung mit dem Bau der Brücke fort. Mit tragischen Folgen. In gerade einmal 15 Sekunden brach die gesamte Südhälfte der Brücke zusammen, 19 000 Tonnen Stahl stürzten in den Fluss und 75 der 86 an dem Projekt beteiligten Arbeiter ließen ihr Leben.

Nach dem Einsturz der Quebec Bridge im Jahre 1907 bot sich ein Bild der Zerstörung. Die Brücke über den Sankt-Lorenz-Strom bei Quebec kollabierte noch während der Bauarbeiten.

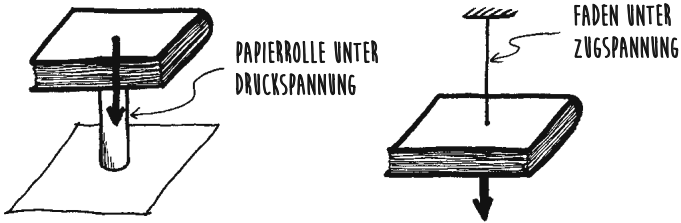


Zum Einsturz der Brücke trugen vielerlei Probleme und Fehler bei. Allem voran verdeutlichte die Katastrophe, wie gefährlich es sein kann, einen einzelnen Ingenieur mit einer so großen Aufgabe zu betrauen, ohne eine Kontrollinstanz einzusetzen. In Kanada und anderen Ländern wurde die Ingenieur Tätigkeit daraufhin genauer reguliert. Man wollte verhindern, dass sich Fehler wie bei der Quebec Bridge wiederholten. Letztendlich aber lag die Verantwortung für das Unglück vor allem bei Theodore Cooper, der das Gewicht der Brücke unterschätzte. Die Konstruktion war zu instabil, sie konnte das Bauwerk nicht tragen.

Der plötzliche Einbruch der Quebec Bridge zeigt, welche katastrophalen Auswirkungen die Schwerkraft auf ein fehlerhaftes Bauwerk haben kann. Ein Ingenieur muss herausfinden, wie unsere Konstruktionen den Kräften widerstehen können, die sie zusammendrücken, auseinanderziehen, erschüttern, verdrehen, quetschen oder verbiegen; die sie zerreißen, bersten oder zersplittern lassen. Daher geht es bei fast jedem Projekt auch darum, sich mit der Schwerkraft auseinanderzusetzen – mit der allgegenwärtigen Kraft, die unser Universum zusammenhält und alles auf unserem Planeten zum Mittelpunkt zieht. Dies lässt bei allen Dingen eine Kraft entstehen, die wir Gewicht nennen: Sie durchfließt jeden Körper. Nehmen wir etwa das Gewicht unserer verschiedenen Körperteile. Das Gewicht der Hand wirkt sich auf den Arm aus, zieht an der Schulter und drückt auf das Rückgrat. Sie fließt das Rückgrat hinab, gelangt zu den Hüften und spaltet sich ab dem Becken in zwei Ströme, die durch die Beine bis zum Boden reichen. Ganz ähnlich ist es, wenn man einen verzweigten Turm aus Röhren baut und Wasser hindurchschickt: Das Wasser nimmt die sich bietenden Wege und teilt sich, wenn mehr als eine Möglichkeit offensteht.

Wenn Ingenieure ein Bauwerk planen, muss unbedingt geklärt werden, welchen Weg welche Kraft nimmt – anschließend wird sichergestellt, dass die Konstruktion stabil genug für die durchfließenden Kräfte ist.

Die Schwerkraft, aber auch der Wind oder ein Erdbeben wirken mit *Druckspannung* und *Zugspannung* auf Gebäude. Wenn man ein dickes Papier zu einer Röhre zusammenrollt, diese senkrecht auf den Tisch stellt und dann ein Buch darauflegt, drückt das Buch die Röhre zusammen. Die Kraft, mit der das Buch nach unten drückt (diese entspricht seiner Masse multipliziert mit der Schwerkraft), fließt durch die Röhre in den Tisch – genau wie unser Körpergewicht über die Beine in den Boden übertragen wird. Die Röhre und unser Bein stehen unter *Druckspannung*.



Ein Buch wird mit Druckspannung (links) und Zugspannung (rechts) gehalten.

Wenn man nun einen Faden nimmt, ans eine Ende das Buch bindet und das andere Ende in der Hand hält, zieht das Buch – immer noch unter Einwirkung der Schwerkraft – an dem Faden. Die Kraft, mit der das Buch nach unten zieht, fließt nach oben in den Faden – dieser steht unter *Zugspannung*. Dieselbe Wirkung hat das Gewicht unserer Hand auf den Arm.

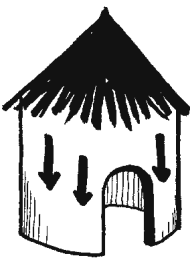
Im ersten Beispiel kracht das Buch nicht auf den Tisch, weil die Papierrolle stark genug ist, der Druckspannung standzuhalten. Im zweiten Beispiel bleibt es am Faden hängen, weil dieser stark genug ist, der Zugspannung standzuhalten.

Einen Zusammenbruch des Gleichgewichts ruft man durch ein schwereres Buch hervor. Durch sein größeres Gewicht übt es eine größere Kraft aus. Die Röhre kann dem nicht standhalten und wird zerdrückt, das Buch kracht auf den Tisch. Auch aufhängen lässt sich das schwerere Buch nicht: Die Zugspannung ist zu groß. Der Faden reißt, das Buch fällt hinab.

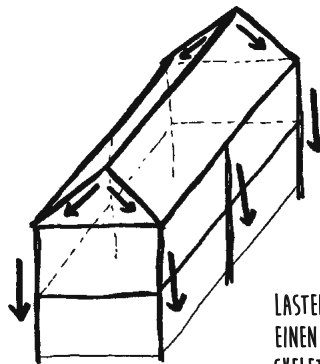
Die Kräfte in einer Brücke rühren von ihrem Eigengewicht und vom Gewicht der Passanten und Fahrzeuge her. Für die Fußgängerbrücke an der Northumbria University habe ich berechnet, an welcher Stelle welche Kräfte auf die Konstruktion einwirken. So wusste ich genau, wo wie viel Druck- oder Zugspannung im Spiel waren. Anhand eines Computermodells prüfte ich sämtliche Brückenteile auf ihre Belastbarkeit und berechnete dann, wie dick der Stahl sein musste, um nicht extrem gedehnt oder gestaucht zu werden oder gar zu bersten.

Welche Kraft wie auf ein Gebäude einwirkt, hängt von der Konstruktionsweise ab. Man kann zwei grundlegende Vorgehensweisen unterscheiden: den *Massivbau* und den *Skelettbau*.

Die Lehmhütten unserer frühen Vorfahren – die sie errichteten, indem sie Lehm zu dicken Wänden formten, die einen Kreis oder ein Rechteck bildeten – nutzten die erste Methode. Die stabilen Wände der einstöckigen Behausungen bildeten einen Massivbau, die Last des Gebäudes wurde als Druckspannung durch die Lehmwände abgeleitet. Dies entspricht dem Prinzip der Papierrolle, auf der ein Buch liegt: Alle Seiten der Röhre werden gleichmäßig gestaucht. Würden weitere Aufbauten auf der Lehmhütte lasten, würde die Druckspannung irgendwann zu groß für die tragenden Lehmwände, und sie würden nachgeben – genauso wie die Papierrolle unter der Last eines schwereren Buchs.



LASTEN WERDEN DURCH
DIE WÄNDE ABGETRAGEN:
MASSIVBAUWEISE



LASTEN WERDEN DURCH
EINEN RAHMEN ABGETRAGEN:
SKELETTBAUWEISE

Ein Gebäude lässt sich als Massivbau mit tragenden Wänden (links) oder als Skelettbau mit tragendem Gerippe (rechts) errichten.

Als unsere Vorfahren irgendwann Bäume zu Bauholz verarbeiten konnten, schwenkten sie auf die Skelettbauweise um. Sie banden Balken zu einem Gerippe zusammen, durch das die Lasten abgetragen wurden. Um das Innere der Behausung vor äußeren Einflüssen zu schützen, hängten sie Felle oder Flechtwerk in die Zwischenräume. Während die tragenden Wände der Lehmhütten sowohl die

Lasten trugen als auch Schutz boten, nutzte das Pfostenhaus zwei Systeme: tragende Pfosten und eine nicht tragende Verkleidung. Der grundlegende Unterschied zwischen der Massivbauweise und der Skelettbauweise besteht also darin, wie die Lasten abgetragen werden.

Die Materialien, mit denen man tragende Wände oder tragende Gerippe errichtete, wurden mit der Zeit immer ausgeklügelter. Für die Massivbauweise nutzte man später Ziegel, die natürlich viel stabiler waren als Lehm. Ab den 1800er-Jahren konnten infolge der industriellen Revolution Eisen und Stahl in großem Umfang verarbeitet werden, und man nutzte Metall verstärkt auch für den Hausbau und nicht mehr nur für Kessel und Waffen. Der Beton wurde wiederentdeckt (schon die Römer wussten, wie man ihn herstellt, doch dieses Wissen ging mit ihrem Reich unter). Diese Entwicklungen veränderten die Bauverfahren ganz entscheidend. Da Stahl und Beton um vieles robuster als Holzbalken sind, eignen sie sich zur Errichtung großer Gerippe, mit denen immer höhere Gebäude und immer längere Brücken entstanden. Die größten und komplexesten Bauwerke unserer Zeit – der elegante Stahlbogen der Sydney Harbour Bridge, der geometrische Hearst Tower in Manhattan oder das 2008 für die Olympiade in Peking errichtete »Vogelnest«-Stadion – sind Ergebnisse der Skelettbauweise.