Bauen mit Bambus

Building with Bamboo

Christoph Tönges

1

2

Einer der ältesten Baustoffe erlebt derzeit eine Renaissance in der westlichen Welt. Obwohl oder vielleicht weil er in Europa nicht heimisch ist und hierzulande traditionell keine Verwendung fand, wird Bambus immer beliebter. Designer lieben seine natürliche und ursprüngliche Optik, und Ingenieure schätzen seine mechanischen Eigenschaften. Während in Asien Bambus als Bau- und Werkstoff eine viel größere Bedeutung als Holz hat, sind hierzulande seine Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten fast unbekannt. Da trotz fehlender Kenntnisse das Interesse am Einsatz von Bambus steigt, wird im Folgenden Basiswissen zu seinen Eigenschaften und der Verwendbarkeit als Baustoff dargestellt.

Vorkommen

Bambus wächst rund um den Globus hauptsächlich in der Zone zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis und kommt mit Ausnahme von Europa auf allen Kontinenten als endemische (heimische) Pflanze vor. In Europa ist Bambus während der letzten großen Eiszeit vor etwa 11 500 Jahren ausgestorben. Die größte Ausbreitung und Vielfalt erreicht Bambus in Asien und Südamerika. Bambus gehört zur Familie der Süßgräser, also zur umfangreichen und wichtigen Familie der Poaceae (früher Gramineen genannt), der beispielsweise auch Reis, Mais, Weizen und Zuckerrohr angehören. Bambus bildet innerhalb dieser Familie eine eigene Unterfamilie, die Bambusoideae. Über die große Anzahl der Bambus-Arten gehen die Meinungen weit auseinander.

Wachstum

Bambus wächst als Gras aus einem verzweigten Wurzelstock, der aus Segmenten bzw. unterirdischen Sprossen, so genannten Rhizomen besteht. Unterschiedlich zu den Gräsern sind die vieljährigen Halme, die Verzweigung und die Verholzung. Bambuspflanzen bilden jährlich neue, zusätzliche Sprosse. Die jungen Triebe werden über das Wurzelsystem und durch die älteren Halme mit Nährstoffen versorgt. Eine eigene Versorgung ist zunächst nicht möglich, da Zweige und Blätter zur Photosynthese erst später ausgebildet werden. Nach zwei bis drei Jahren verholzt der Halm und nach acht bis zehn Jahren stirbt der einzelne Halm ab. Die Verholzung von Bambus ist für seine Nutzbarkeit als Baustoff von primärer Bedeutung; erst dann besitzen die Halme ein dichtes und festes Material. Das Wurzelnetz stellt einen wichtigen Erosionsschutz dar, wirkt feuchtigkeitsspeichernd und klärfilternd. Seine hohe Wachstumsgeschwindigkeit macht den Bambus zu der am schnellsten wachsenden Pflanze. Je nach Art wird innerhalb von Wochen bis Monaten die endgültige Höhe erreicht. Diese reicht von 15 cm bis hin zu 40 m. Dabei werden Durchmesser von wenigen Millimetern bis zu 30 cm erreicht. Durchschnittliche Halmlängen sind 8 bis 15 m bei 5 bis 12 cm Durchmesser und 10 mm Wandstärke. Auch die größten Halme können ihr Wachstum nach einigen Monaten abschließen. Der Längenzuwachs liegt üblicherweise bei 10 bis 40 cm pro Tag – in Kyoto wurde 1956 der Rekord von 121 cm dokumentiert. Die enorme Wachstumsgeschwindigkeit beruht auf der Speicherung und Freisetzung großer Mengen Stärke durch die älteren Halme. So bildet ein wachsender Guadua-Halm (Kolumbien) täglich etwa 500 cm^3 Wandsubstanz.

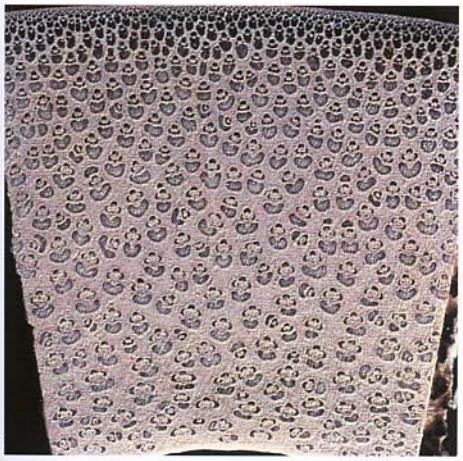
Obwohl Bambus verholzt, bildet er kein Holz im gewöhnlichen Sinne, da es kein Dickenwachstum gibt. Er wächst aus seinen beiden Wachstumszonen im Bereich des Rhizoms und im Bereich der Spitze teleskopartig und nur vertikal. Doch Bambus wird häufig als »Holz« bezeichnet, da seine technischen Eigenschaften und sein lignifizierender (verholzender) Zellenaufbau dem eigentlichen Holzgewebe sehr ähnlich sind.

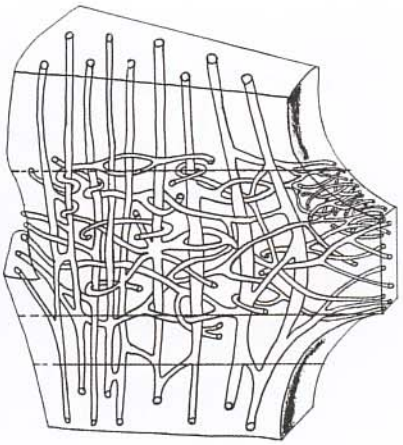
Ernte

Der Zeitpunkt der Ernte ist für die Qualität des Materials von entscheidender Bedeutung, denn nur verholzte Halme ab etwa drei Jahren besitzen ausreichend Festigkeit. Jedoch lässt sich das Alter nicht einfach erkennen. Es benötigt viel Erfahrung oder eine regelmäßige Kennzeichnung einzelner Halme. Werden Bambushalme zu früh geerntet, so ist nicht nur das Material von geringer Qualität, sondern auch der Fortbestand der Pflanze gefährdet, da die geernteten Halme dann noch die zur Regeneration der Pflanze notwendigen Energiereserven in Form von Stärke enthalten. Bambus kann also bei richtiger Behandlung fortwährend nachwachsen, ohne neu angepflanzt werden zu müssen. Der günstigste Zeitpunkt für die Ernte ist daher nach der Bildung neuer Sprossen. Dann ist die gespeicherte Energie genutzt worden, und die geernteten Halme sind wesentlich weniger anfällig gegenüber Schädlingen, da diese ebenfalls Stärke als Nährstoff benötigen.

Aufbau

Das pure Bambusrohr lässt sich fast gebrauchsfertig ernten und stellt in seiner Anatomie ein Musterbeispiel für effizienten Materialeinsatz dar: Ein hohles Rohr besitzt im Vergleich zu einem massiven Stab bei gleicher Querschnittsfläche ein etwa doppelt so hohes Widerstandsmoment. Das Widerstandsmoment ist neben der Materialfestigkeit die maßgebliche Größe zur Ermittlung der Festigkeit eines druck- und/oder biegebelasteten Bauteils. Zumeist hohl, besteht Bambus aus Nodien (Knoten), Internodien sowie Diaphragmen (Scheidewände). Als pflanzlicher Stab ist Bambus schlank und kegelförmig. Doch nicht nur sein Durchmesser ist dort am größten, wo die höchsten Biegekräfte aufgenommen werden müssen. Im unteren Bereich ist einerseits die Wandung am dicksten, andererseits liegen die aussteifend wirkenden Diaphragmen eng beieinander (Abb. 2). Die Internodien des Bambus bestehen aus streng axialparallel angeordneten Fasern, welche sich nur im Bereich der Nodien in alle Richtungen kreuzen. Betrachtet man die Wandung des Internodiums, so fällt eine dunkle äußere Zone von etwa 30 % mit dicht gedrängten Fasern auf (Abb. 3). Dieses Gewebe besitzt eine etwa doppelt so hohe Zugfestigkeit wie das innere. Die Anordnung der dichten und leistungsfähigen Fasern im Außenbereich ist ein weiterer Beleg für den statisch





1 Reinigung von Bambushalmen, Vietnam
2 Halmansatz, Längsschnitt
3 Bambushalm, Teilquerschnitt
4 Fasernverzweigung im Knotenbereich
5 Brückenbau auf Bali, 2007,
Konstruktion: Jörg Stamm, Popayan/Kolumbien
Entwurf: Aldo Landwehr, Badung/Bali

1 Cleaning bamboo stems, Vietnam
2 Base of stem: longitudinal section
3 Bamboo cane: part cross-section
4 Branching fibres in node area
5 Bridge on Bali, 2007;
construction: Jörg Stamm, Popayan, Colombia;
design: Aldo Landwehr, Badung, Bali

sinnvollen Aufbau eines Bambusrohrs. Die äußeren Fasern werden durch eine extrem dichte und harte Oberfläche bzw. Haut abgeschlossen. Diese äußere Haut ist meist sehr glatt und lackartig und stellt einen wirksamen Schutz der Bambuspflanze vor chemischer und mechanischer Beschädigung, z. B. durch Insekten, dar. Eine Rinde im eigentlichen Sinne besitzt Bambus nicht. Der junge Spross wird lediglich während des Wachstums von Halmblättern schützend umhüllt, welche an den Nodien eingefügt sind, nach wenigen Monaten verwelken und oft abfallen. Die Oberfläche des Halms ist anfangs grün, später gelblich, teils braun bis schwarz, einfarbig oder durch unregelmäßige Pilzflecken punktiert und gefleckt; sie ist matt oder glänzend. Einige Arten sind durch andersfarbige, unterschiedlich breite Längslinien gestreift.

Materialeigenschaften

Im Gegensatz zu massiven und homogenen Werkstoffen besitzen Bambusrohre aufgrund ihres hohlzylindrischen Aufbaus sehr spezielle Eigenschaften. Bislang fehlen jedoch differenzierte Kennwerte einzelner Bambusarten; weiterhin besitzen einzelne Halme unterschiedliche Werte, abhängig von der Lage des untersuchten Materials (außen – innen, unten – oben). Vereinfacht betrachtet lässt sich sagen, dass die materiellen Eigenschaften ähnlich denen von Nadel- und Laubholz sind bzw. dazwischen eingeordnet werden können. Ein entscheidender Unterschied liegt in den streng axialparallel angeordneten Fasern. Dadurch ist Bambus unbegrenzt längs spaltbar und ein hervorragendes Material zur Herstellung von Körben bzw. Flechtwerken. Die Längsfasern begünstigen weiterhin die für Bambus typischen Längsrisse, welche durch innere Spannungen beim Schwinden entstehen können. Der Quell- und Schwindvorgang ähnelt dem bei gewöhnlichen Bauhölzern. Wie bei massiven Holzquerschnitten sind zu schnelle Trocknung und trocken-warmes Raumklima Gründe für vermehrte Rissbildung. Die mechanisch-technischen Eigenschaften werden oft als extrem gut beschrieben und zum Teil sogar mit denen von Baustahl verglichen. Jedoch besitzt tatsächlich nur das Material der dichten Außenzone eines Bambushalms extrem hohe Werte. Die Dichte gebräuchlicher Arten liegt bei etwa 600 bis 800 kg/m³ im trockenen Zustand. Der chemische Aufbau von erntereifem (lignifiziertem) Bambus ist dem Fichtenholz sehr ähnlich. Die Elastizität von Bambus ist jedoch wesentlich höher, sodass er bei entsprechender Tragwerksgestaltung ein guter Baustoff in erdbebengefährdeten Gebieten ist. Bambus ist brennbar, aber schwer entflammbar. Für den relativ trägen Verlauf der Entflammung ist die dichte und stark kieselsäurehaltige Außenzone der Bambusrohre verantwortlich.

Bambusarten im Handel

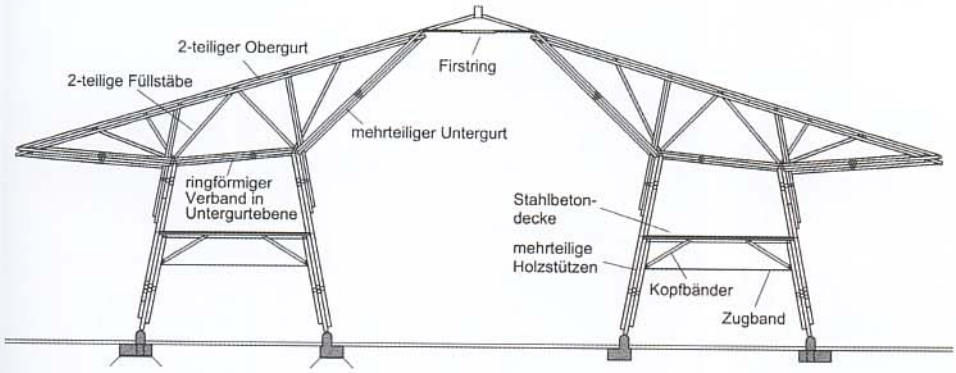
Bambusrohre werden aus verschiedenen Herkunftsländern in verschiedenen Dimensionen und Farben, fertig zugeschnitten, behandelt und getrocknet importiert. Die Trocknung ist wichtig, um einen verrottungsfreien Transport zu gewährleisten, da sich der Rohstoff bis zu sechs Wochen in unbelüfteten Containern befindet. Bambushalme sind als junge Pflanze grünlich und als ältere gelblich-braun. Die Farbvielfalt reicht von gelb und braun bis hin zu schwarzen Bambushalmen mit vielerlei Spielarten. Somit sind im Handel von Natur aus gelbe, braune und schwarze Rohre, aber auch künstlich gefärbte in diversen Farben erhältlich (Abb. 21–23). Handelsüblich sind vor allem chinesische Phyllostachys-Bambusarten mit Durchmessern von 10 bis 180 mm und Längen von bis zu sechs Metern. Bambusrohre werden stets nach ihrem Durchmesser am unteren dicken Ende sortiert. Chinesischer Bambus wird gemeinhin unter dem Begriff Moso zusammengefasst, obwohl sich verschiedene ähnliche Arten dahinter verbergen. Moso zeichnet sich äußerlich durch seine uni-gelbe bis gelb-braune Farbe und seine glatte, lackartige Oberfläche aus. Die Halme besitzen wulstartig ausgebildete Nodien. Der Abstand dieser

6 Verkaufsgebäude John Hardy, Bali, 2008
7 Dachuntersicht Schulgebäude, Kolumbien,1999, Architekt: Simón Vélez, Bogota
8–11 ZERI-Pavillon, Expo 2000 Hannover, Architekt: Simón Vélez, Bogota
9 Fußpunkt aus Holz am Prototyp in Kolumbien

6 John Hardy sales building, Bali, 2008
7 Underside of roof over a school, Colombia, 1999; architect: Simón Vélez, Bogota
8–11 ZERI pavilion, Expo 2000, Hanover; architect: Simón Vélez, Bogota
9 Timber foot of prototype in Colombia in timber

Nodien untereinander nimmt schnell mit zunehmender Höhe über Grund zu. Sowohl Durchmesser als auch Wandstärke des Halms nehmen dagegen ab. Diese konische Form ist je nach Bambusart unterschiedlich stark ausgeprägt.
In dieser Hinsicht nimmt der bis zu 30 Meter hoch gewachsene lateinamerikanische Guadua-Bambus eine Sonderstellung ein, denn seine Wuchsform ist nur schwach konisch. Zudem besitzt er bei Durchmessern von 100 bis 150 mm relativ große Querschnittsflächen und wächst von Natur aus gerade – Gründe, die ihn als Baustoff für tragende Konstruktionen gebräuchlich und beliebt gemacht haben. Guadua erscheint lebhaft gelb-bräunlich und besitzt zum Teil schwarze Flecken. Seine Oberfläche ist glatt, jedoch matt; Anstriche haften relativ gut. Guadua ist zudem als erster Bambus mit Zertifizierung für verantwortungsvolle Waldwirtschaft erhältlich.
Einige im Handel eher seltene und bemerkenswerte Bambusarten sind der schwarze Nigra-Bambus, der braun-schwarz gefleckte Boryana (beide aus Ostasien, bis ca. 40 mm Durchmesser), Dendrocalamus-Arten bis 250 mm Durchmesser, deren Pflanzen 30 bis 35 Meter hoch wachsen und schwarzer Wulung (Gigantochloa atroviolacea) mit Durchmessern von 50 bis 150 mm und relativ großen Nodienabständen von 40 bis 70 cm (beide aus Süd- bzw. Südostasien).

Haltbarkeit/Behandlung
Die Haltbarkeit von Bambushalmen wird von vielerlei Faktoren beeinflusst. Bambus besitzt von Natur aus keinen eigenen chemischen Holzschutz wie beispielsweise Lärche oder Eiche. Hauptsächlich sollte auf gutes Rohmaterial, eine ausreichende Behandlung und eine für die Dauerhaftigkeit vorteilhafte Konstruktionen geachtet werden. Die dichte und harte Oberfläche gewährleistet kurz- bis mittelfristig eine gute Haltbarkeit. Für eine längerfristige Haltbarkeit sind ähnlich wie bei Holz gewisse Spielregeln zu beachten, da auch Bambus sowohl oberflächlich verwittert als auch eine gewisse Nahrhaftigkeit für Schädlinge besitzt. Fäulnis, die durch den Befall von Pilzen entsteht, schwächt das Material. Der Befall durch Insekten kann vernachlässigt werden, da diese in Mitteleuropa bisher nicht vorkommen und durch das vorgeschriebene Begasen der Container nicht importiert werden. Bambusarten wie beispielsweise der weit verbreitete Bambusa vulgaris besitzen einen hohen Stärkegehalt, sodass dieser gerne von Schädlingen befallen wird. Umso wichtiger ist der richtige Zeitpunkt der Ernte, der wie oben beschrieben einen großen Einfluss auf den Stärkegehalt hat. Nach dem Fällen werden die Zweige und Blätter zunächst nicht entfernt, damit diese weiterhin Photosynthese betreiben und in den Halmen verbliebene Stärke verbrauchen. Weitere Vorteile dieser sogenannten »clump-curing-method« sind verbesserte Trocknung und die damit verbundene geringere Neigung zur Rissbildung. Nachdem das Material aus dem Wald geschafft wurde, gibt es eine Vielzahl regional unterschiedlicher Behandlungsmethoden. Durch Wässern, Dämpfen oder Kochen werden die Nährstoffe entzogen und/oder das Material wird durch Räuchern, Borsalz oder diverse chemische Holzschutzmittel für Schädlinge ungenießbar gemacht. Das Wässern ist ein hilfreiches Verfahren, führt jedoch bei großen Materialmengen zur Überdüngung der Gewässer. Beim Kochen in einer Wasserstoffperoxid-Lösung werden nicht nur Nährstoffe umgewandelt, sondern der Bambus wird auch gebleicht und erhält eine hellgelbe Farbe. Das Dämpfen im Autoklav ist ein neuartiges Verfahren, welches auch zur Herstellung von so genanntem Thermoholz verwendet wird. Das Resultat ist ein bräunliches »karamellfarbenes« Material, dem ein leichter Brandgeruch anhaftet. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist die anschließend verminderte Fähigkeit zur Wasseraufnahme. Pilze finden weder ausreichend Nährstoffe noch die für ihr Wachstum benötigte Holzfeuchte. Eine relative Feuchte von weniger als 18 % garantiert einwandfreies Material. Deshalb ist es wichtig, Bambus zumindest so einzubauen, dass er regelmäßig trocknen kann. Dauerhafter Wasserkontakt sollte vermieden werden. Hydrophobierende (wasserabweisende) Anstriche sind hilfreich, auch um die Optik zu bewahren. Besser noch ist es, Feuchtigkeitsaufnahme durch konstruktiven Holzschutz, also entsprechend geschützten Einbau, zu vermeiden. Bambusrohre werden zum Teil in ihren Herkunftsländern begradigt. Dies geschieht durch Erhitzen im Bereich der gekrümmten Stellen und anschließendes Biegen. Für das Biegen ist ein gewisser Feuchtigkeitsgehalt hilfreich und es ist nur in bestimmten Grenzen möglich. Bambus lässt sich bei weitem nicht so stark biegen wie zum Beispiel Rattanrohr. Getrocknete Rohre lassen sich kaum biegen – Bambusstreifen jedoch unter Wasserdampf. Bei hohen und lang anhal-



10

11

Der Autor, Dipl.-Ing. Christoph Tönges, hat sich bereits während seines Studiums an der RWTH Aachen intensiv dem Thema Bambus als Baustoff gewidmet und ist Gründer der Firma Conbam Advanced Bamboo Applications (www.conbam.de).
Diverse Projekte, u.a. in Zusammenarbeit mit dem Goethe-Institut, haben ihn in viele Ursprungsländer des Bambus geführt.

tenden Temperaturen geht damit eine Versprödung und somit Schwächung des Materials einher.

Bearbeitung/Werkzeuge
Bambus lässt sich ähnlich wie Bauholz bearbeiten – also sägen, schleifen, hobeln etc. Die durch den hohen Kieselsäuregehalt harte Außenhaut bedingt den Einsatz von scharfen Werkzeugen und besonderer Vorsicht, um ein Ausfransen zu vermeiden. Die Standzeit der Werkzeuge ist in der Regel geringer als bei der Verarbeitung von üblichem Holz, sodass es sinnvoll sein kann, Metallverarbeitungswerkzeuge zu verwenden.

Einsatz
Bambus besitzt mannigfaltige Einsatzmöglichkeiten. Neben seinen bautechnischen Anwendungen wird er heutzutage u.a. zur Herstellung von Lebensmitteln, Holzkohle und Textilien verwendet. Es gibt oder gab vor allen Dingen im asiatischen Raum Anwendungen in allen Lebensbereichen, sodass es dort hieß: »Ohne Fleisch kannst Du leben, ohne Bambus musst Du sterben«. Im Baubereich erfreuen sich Bambusrohre zurzeit wachsender Beliebtheit. Auch der Markt für Bambusplattenwerkstoffe wächst stetig, verglichen mit dem übrigen Holzmarkt sind sie jedoch nach wie vor ein Nischenprodukt. Bambusprodukte werden wegen ihres besonderen Aussehens sowie der hohen Strapazierfähigkeit geschätzt. Als Verkaufsargument wird oft angeführt, dass kein Baum sterben musste und dass es sich um einen schnell nachwachsenden Rohstoff handelt. Ersteres mag richtig sein, jedoch sind mittlerweile auch Bambuswälder gefährdet, wenn aufgrund der starken Nachfrage nicht nur erntereife Halme geerntet werden. Plattenwerkstoffe werden als Fußbodenbelag und Tischlerplatten angeboten. Die aufwendige Herstellung sowie die hohen Transportkosten relativieren jedoch die günstigen Rohstoffkosten unterm Strich. Bambusrohre sind zunehmend für flächige Anwendungen wie z.B. Fassadenverkleidungen, Raumteiler, Sichtschutz oder als Zaun gefragt. Ein beeindruckendes Beispiel für derartige Anwendungen ist das von Kengo Kuma in China realisierte Wohnhaus bei Badaling (s. Abb. S. 651 bzw. Detail 5/2003). Die Vielzahl verfügbarer Sorten ermöglicht abwechslungsreiche Gestaltungen. Ihre lebhafte und natürliche Optik macht Bambusrohre auch für dekorative Zwecke und zur Herstellung von Skulpturen begehrt. Experimentierfreudige Garten- und Landschaftsbauer, Architekten, Designer und Künstler übernehmen derzeit offenbar die Vorreiterrolle für die Renaissance des Bambus. Eine dem Material eventuell anhaftende neo-koloniale Optik kann dabei durch zeitgemäße Gestaltung vermieden werden. Einzelne Bambusstäbe sowie deren Gefüge lassen sich aufgrund ihrer optimalen Struktur hervorragend zur Herstellung von Stabwerken verwenden. Jedoch ist die tatsächliche Anwendung in unseren Breiten sehr eingeschränkt, da es bei Planern und Handwerkern an Wissen mangelt, die Ausführung zumeist lohnkostenintensiv ist und es gewisse bürokratische Hürden gibt. Dennoch sind auch in Europa mittlerweile beachtliche Bauwerke mit Bambus realisiert worden, wie weiter unten gezeigt wird.

Verbindungstechniken/Fügung
Da es sich bei Bambus um ein hohles Rohr handelt, ist seine Fügung sehr speziell. Verbindungen werden weiterhin dadurch erschwert, dass die Bambusrohre stets unterschiedliche Innen- und Außendurchmesser haben sowie nie kreisrund sind. Die Neigung zur Bildung von Längsrissen aufgrund streng axialparalleler Fasern muss ebenso berücksichtigt werden. Traditionell werden Bambusrohre mittels Steckverbindungen oder Bändern und Seilen verbunden. Das Wort Verbindung beinhaltet schließlich das Binden als Urform der Fügung. Bei ostasiatischen Gerüstbauern werden die Verbindungen immer noch traditionell mit Bändern hergestellt, auch wenn diese heute aus Kunststoff bestehen (Abb. 27). In Kolumbien werden seit etwa 20 Jahren moderne Konstruktionen aus heimischem Guadua-Bambus realisiert. Zwischenzeitlich haben diese Techniken aufgrund ihrer Einfachheit ihren Weg rund um den Globus bis nach Indien

12

13

und Indonesien gefunden. Dabei werden die Rohre mittels Gewindestangen aneinander montiert. Zur Verstärkung werden zum Teil die Hohlräume der Bambusrohre mit Mörtel gefüllt und/oder von außen Stahllaschen aufgeschraubt. Es entstehen räumliche Fachwerkstrukturen mit einer eigenwilligen Gestalt. Bedingt durch die geringe Leistungsfähigkeit der eigentlichen Verbindungen müssen die Strukturen mit entsprechend mehr Material ausgeführt werden, obwohl die einzelnen Tragwerksglieder eine größere Leistungsfähigkeit als ihre Anschlüsse besitzen. An dieser Problematik wurde in den Jahren 2000 bis 2004 intensiv im Rahmen des Seminars »Bauen mit Bambus« am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen der Fakultät für Architektur der RWTH Aachen gearbeitet. Am Anfang stand die Idee, Bambusrohre für filigrane Stabwerkskonstruktionen, wie sie bislang dem Stahlbau vorbehalten waren, nutzen zu können. Bambus ist aufgrund seiner Geometrie und materiellen Eigenschaften hervorragend für solche leichten Stabwerksstrukturen geeignet. Im Detail fehlte jedoch eine Verbindungstechnik, die die Vorteile des Bambus hätte ausnutzen können. Durch diese spannende Herausforderung angeregt, absolvierte der Autor als Student ein Praktikum in Kolumbien beim Bambusspezialisten Jörg Stamm und begann, einen leistungsfähigen Stabanschluss für Bambusrohre zu entwickeln. Die Arbeit wurde an der RWTH Aachen im Team um Evelin Rottke praktisch fortgeführt. In Zusammenarbeit mit Hans-Willi Heyden hat die Gruppe das Thema gestalterisch und konstruktiv behandelt, Prototypen hergestellt, Laborversuche durchgeführt sowie Experimentalkonstruktionen realisiert. Im benachbarten Baustofflabor des Instituts für Bauforschung der Fakultät für Bauingenieurwesen konnten Lastversuche durchgeführt werden. Ziel war, sowohl den materiellen als auch geometrischen Besonderheiten gerecht zu werden, die Tragfähigkeit des natürlich gewachsenen Rohrs auszunutzen und ein gestalterisch ansprechendes Produkt zu schaffen. In einem weiteren Schritt wurde die Anwendungsmöglichkeit für den Entwurf von bambustypischen Konstruktionen unter Anwendung der Verbindungstechnik untersucht, um über eine bloße Substitution anderer Materialien durch Bambus hinauszugehen.

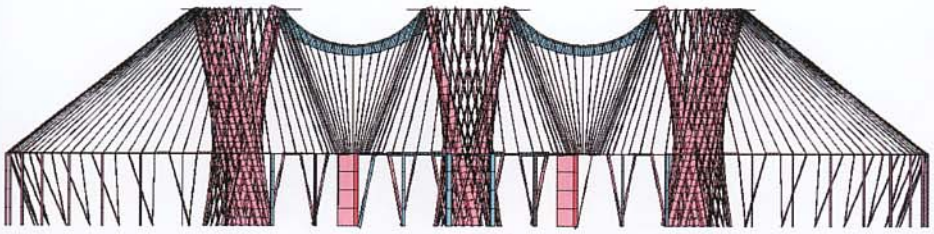
Konstruktionen

Mit der Einführung moderner Werkstoffe wie Stahl und Zement hat Bambus in seinen Ursprungsländern den Ruf des Baustoffs der Armen erhalten. Seit einiger Zeit beweisen diverse Projekte, dass Bambus für mehr als für ärmliche Siedlungen oder sozialen Wohnungsbau geeignet ist. Namhafte Architekten wie Renzo Piano und Shigeru Ban haben mit Bambus experimentiert. Anlässlich der Realisierung des ZERI-Pavillons zur Expo 2000 (Abb. 8–11) hat das Vitra Design Museum dem »Wundergras« ein ganzes Buch gewidmet. Gunther Pauli mit seiner Zero Emission Research Initiative (ZERI) beauftragte damals Simón Vélez mit dem Bau eines Bambus-Pavillons. Der kolumbianische Architekt, der für wohlhabende Kunden ausgefallene Bambuskonstruktionen baut, plante den Pavillon. Dieser erregte viel Aufmerksamkeit, obwohl er nach der Expo zugunsten der Gewinnung von Parkfläche abgerissen wurde. Die deutschen Behörden betrachteten dieses Bauvorhaben im Vorfeld der Weltausstellung äußerst kritisch, da es kaum gesicherte Erkenntnisse zu diesem gebietsfremden Baustoff gab. Da nicht nur das Material, sondern auch der Entwurf von Vélez angezweifelt wurde, musste die Standsicherheit unter erheblichem Aufwand nachgewiesen werden. Der Pavillon wurde als Prototyp in Manizales, Kolumbien, erbaut und vor Ort durch den damaligen Leiter des Instituts für experimentelle Statik der Hochschule Bremen, Klaus Steffens, diversen Belastungstests unterzogen. Steffens zeigte sich beeindruckt, da die ermittelten Verformungen unter Last zum Teil wesentlich geringer waren, als zuvor rechnerisch ermittelt. Parallel zur experimentellen Tragwerksanalyse untersuchte Simon Aicher am Otto-Graf-Institut Stuttgart sowohl das Baumaterial Bambus Guadua angustifolia als auch die verwendeten Verbindungstechniken im Rahmen von Lastversuchen. Letztendlich wurde lediglich ein Verbesserungsvorschlag zur Genehmigung der Ausführung gemacht. Weitere Belastungsversuche am fertigen Bauwerk in Hannover stellten die tatsächliche Gebrauchstauglichkeit fest.

Der deutsch-kolumbianische Tischler Jörg Stamm war damals für die Erstellung von vorlagefähigen Bauzeichnungen verantwortlich, denn Vélez fertigt stets nur Handskizzen für seine kühnen Bauten an.

Bereits im Jahr 1996 baute Jörg Stamm die erste moderne Bambusbrücke der Neuzeit in Kolumbien. Auch er hatte damals mit den zulassenden Behörden zu kämpfen, denn er fand zunächst vor Ort keinen Statiker zur Berechnung und ohne Statik wurde keine Baugenehmigung erteilt. Wilfried Führer und sein Team vom Lehrstuhl für Tragkonstruktionen der RWTH Aachen ließen sich von Stamms Idee begeistern und sorgten für die entsprechenden Berechnungen. Mittlerweile hat sich Jörg Stamm weltweit einen Namen als Bambus-Brückenbaumeister gemacht. Kürzlich demonstrierte er mit zwei Bauwerken auf Bali in beeindruckender Weise die Möglichkeiten des Baumaterials. Eine Brücke (Abb. 5) und eine Halle wurden im Auftrag eines Schmuckproduzenten realisiert. Die Tragkonstruktion der zeltförmigen Halle besteht aus drei schlanken, hyperboloiden Zylindern, die zugbelastete Sparren tragen (Abb. 13–15). Wieder erhielt Stamm Unterstützung von deutschen Ingenieuren. Ulrich Neuhof und seine Studenten vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Erfurt untersuchten und berechneten die Tragkonstruktion während einer Exkursion nach Bali.

Im Jahr 2003 wurde in Norditalien die erste permanente Baukonstruktion aus Bambus in Europa fertig gestellt, der Vergiate-Pavillon für die Gemeinde Vergiate (Abb 19, 20). Die Initiatoren dieses Projekts, Valeria Chioetto und der Architekt Neri Braulin, ließen sich durch die Arbeiten von Simón Vélez anregen. Das Gebäude wurde während eines internationalen Workshops realisiert. Die angewendeten Verbindungstechniken ähneln denen des ZERI-Pavillons.



14

15

12, 16 Haus für eine Hebamme, Bali, 2007
Konstruktion: Jörg Stamm, Popayan/Kolumbien
13–15 Three Mountains-Halle, Bali, 2007,
Konstruktion: Jörg Stamm, Popayan/Kolumbien
(Stahlteile nach Bauphase entfernt)

12, 16 House for a midwife, Bali, 2007;
construction: Jörg Stamm, Popayan, Colombia
13–15 Three Mountains Hall, Bali, 2007;
construction: Jörg Stamm, Popayan, Colombia;
(steel members removed after construction)

2004 wurde in Luxemburg die bisher vermutlich größte Bambuskuppel realisiert. Die Konstruktion entwarf der Autor im Rahmen seiner Diplomarbeit (Abb. 26). Der so genannte BambooDome wurde durch die Entwicklung eines leistungsfähigen Stabanschlusses und nicht zuletzt durch die tatkräftige Unterstützung zahlreicher Studenten und Pfadfinder bei der Errichtung möglich. Mit den Ausmaßen von 11 m Höhe und 13 m Durchmesser bei bis zu 8 m langen Bambusstäben ist der BambooDome ein beeindruckender Beweis für die Leistungsfähigkeit und Konstruktionsmöglichkeiten von Bambus. Mit der gleichen Verbindungstechnik entstand 2005 in Darmstadt die erste permanente Bambustragkonstruktion Deutschlands. Das Planungsbüro Shakti-haus hat in Darmstadt ein Bürogebäude gebaut, dessen Dachkonstruktion von 33 Bambusstützen getragen wird (Abb. 29). Neben dem Bambus sind weitere ökologische Lösungen und Materialien zum Einsatz gekommen, wie z.B. lehmverputzte Strohballenwände. Das Bambushaus steht auf einem Platz vor einem als Studentenwohnheim genutzten Hochhaus. Es ist umgeben von großen Brunnen und bunten Mosaiken. Die organischen Formen des Bürogebäudes bilden in diesem Ensemble den harmonischen Schwerpunkt. Von außen fallen die geschwungenen Formen und die markante Lichtkuppel ins Auge. Die 33 Bambusstützen stehen sichtbar im Innenraum. Die Nutzung des Gebäudes überrascht – es wird als Büro für eine Autowerkstatt genutzt. Das Ministerium für Wirtschaft und Technik in Wiesbaden erteilte die Zustimmung im Einzelfall auf Basis der Aachener Erkenntnisse, ohne eine weitere Prüfung zu verlangen. Zwischenzeitlich wurde die Verbindungstechnik von der Firma Conbam weiterentwickelt, erfolgreich angewendet und mit mehreren Preisen ausgezeichnet (Abb. 25). Ebenfalls 2005 stellten die Architekten Anna Heringer und Eike Roswag in Bangladesch ein Schulgebäude aus Lehm und Bambus fertig (s. Detail 4/2007), für das sie u.a. den Aga-Khan-Architekturpreis erhielten.

16

Normung

Zu Bambus sind bislang erst drei Regelwerke erschienen: ISO 22156 Bambus – Bemessung und Konstruktion, ISO 22157-1 Bambus – Bestimmung physikalischer und mechanischer Eigenschaften – Teil 1: Anforderungen sowie ISO/TR 22157-2 Bambus – Bestimmung von physikalischen und mechanischen Eigenschaften – Teil 2: Handbuch für die Prüfanstalt. Beachtet man, dass es mehr als 300 Regelwerke zu Holz gibt, wird der enorme Nachholbedarf offensichtlich. Auf breiter Front, von der Forstwirtschaft bis hin zur Anwendung, gibt es nach wie vor zur Etablierung von Bambus viel zu tun. Es fehlt beispielsweise an gesicherten Erkenntnissen über die Eigenschaften einzelner Arten hinsichtlich ihrer Festigkeiten und ihres Brandverhaltens; Sortierklassen sind ebenso wenig vorhanden.

Ausblick

Die Beispiele aus den vergangenen zehn Jahren zeigen das enorme Potenzial des Baustoffs Bambus. Die Gesetzgebung weist ihn jedoch insbesondere aufgrund fehlender Regelwerke in Schranken. Um Bambus einem breiteren Publikum zugänglich zu machen, sind daher weitere Bemühungen auf den Gebieten der Grundlagenforschung, der Lehre, der Produktentwicklung, des Vertriebs und des Marketings notwendig.

17

18

17, 18 »Skyplace«, temporäre Rauminstallation, Bali, 2002, Entwurf: Markus Heinsdorff, München
19, 20 Pavillon in Vergiate, 2003, Architekt: Neri Braulin, Mailand

17, 18 "Skyplace": temporary three-dimensional installation, Bali, 2002; design: Markus Heinsdorff, Munich
19, 20 Pavilion in Vergiate, 2003; architect: Neri Braulin, Milan

Bamboo, one of the oldest building materials in the world, is experiencing something of a renaissance in the Western world. Designers like its natural, authentic visual qualities, and engineers have come to appreciate its mechanical properties. In parts of Asia, bamboo has a much greater importance than wood, but in Europe its properties and scope for application were virtually unknown in the past.
Bamboo grows around the world, particularly in the tropics, and is endemic to all continents except Europe, where it died out during the last major ice age roughly 11,500 years ago. Belonging to the sweetgrass family (i.e. to the large and important family of Poaceae), which includes rice, maize, wheat and sugar cane, it is most widespread in Asia and South America. Bamboo grows as a grass from a branching rhizome or rootstock. After two to three years, the individual stems become lignified and ultimately die off after eight to ten years. This process of lignification is of prime importance for the application of bamboo as a building material; only at that stage are the canes dense and strong enough for use. Furthermore, the network of roots is an important means of protection against erosion. The roots also store moisture and filter out impurities. Bamboo is the fastest-growing plant of all, reaching its maximum height (between 15 cm and 40 m) in a matter of weeks or months. Diameters of between a few millimetres and 30 cm are possible. On average, stalk lengths range between 8 and 15 m, with a 5–12 cm diameter and a wall thickness of 10 mm. The enormous growth rate is based on the older stems storing and liberating large amounts of starch.
Although bamboo undergoes a process of lignification, it does not form wood in the normal sense of the word. Nevertheless, it is described as a "wood" because its technical properties and lignifying cell structure are quite similar to those of wood tissue.
The date of harvesting is of decisive importance for the quality of the material. Only lignified stems that are at least three years old have adequate strength. Either the canes have to be regularly marked, or great experience is necessary to recognize the age and degree of maturity. If the canes are harvested too early, the material will be of poorer quality, and the further life of the plant itself will be jeopardized. With the correct treatment, however, bamboo will continue to grow and does not have to be replanted. The best time for harvesting is after new shoots have emerged. At that point, the energy stored in the plant will have been used up, and the cut canes will be much less vulnerable to parasites, which also consume the starch as nourishment.
After being cut, a proper bamboo cane is virtually ready for use and is thus a model for the efficient application of materials. A hollow tube has roughly twice the moment of resistance of a solid member of the same cross-section. In most cases, bamboo is hollow and made up of a series of nodes, internodes and diaphragms. As a plant stalk, bamboo is slender and conical in form. Not only is its diameter largest where it has to resist the greatest bending forces, namely at its base; its wall is thickest there, too. In addition, the diaphragms, which have a bracing effect, are closest together at this point (ill. 2). The internodes consist of parallel fibres in a strictly axial alignment. Only at the node points do they intersect in all directions. If one studies the wall of an internode, one sees a dark outer zone of approximately 30 per cent with a dense arrangement of fibres (ill. 3). This structure possesses a tensile strength almost twice as great as that internally.
The arrangement of the dense, strong fibres in the outer areas is further evidence of the structurally logical make-up of a bamboo cane. The outer fibres are enclosed in an extremely dense, hard skin. The surface is usually very smooth and offers good resistance to chemical or mechanical damage (through insects, for example). Bamboo does not have an outer bark in the conventional sense of the word, however. During its growth, the young stalk is merely protected by leaves that grow from the nodes and that wither and often fall off after a few months.
Because of their hollow, cylindrical structure, bamboo canes have special properties that differ from solid, homogeneous materials. Expressed in simple terms, one might say that they have similar characteristics to softwoods and hardwoods, occupying a place somewhere between the two.
One difference, though, lies in the strictly parallel, axial arrangement of bamboo fibres, which means that canes split readily along their length. As a result, they are ideally suited to making baskets or similar woven objects.
The behaviour of bamboo in terms of swelling and shrinking resembles that of conventional buiding timbers; and as with solid wood members, too rapid drying and a humid indoor climate are likely to lead to splitting. The mechanical, technical properties of bamboo are regarded as extremely good; sometimes they are even compared to those of steel.

19

20

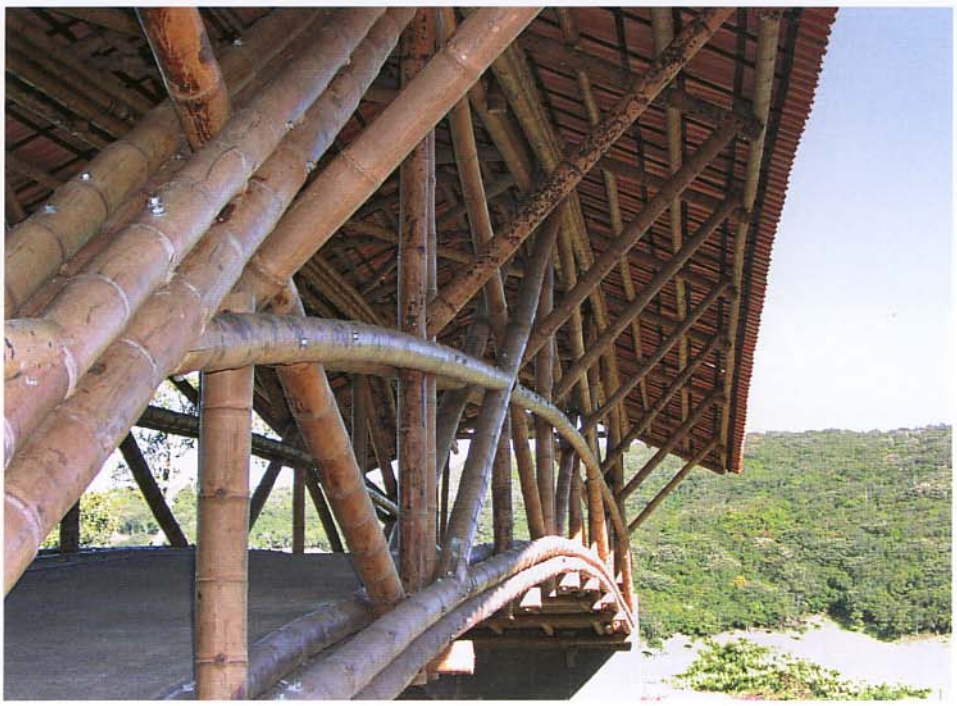
21

22

23

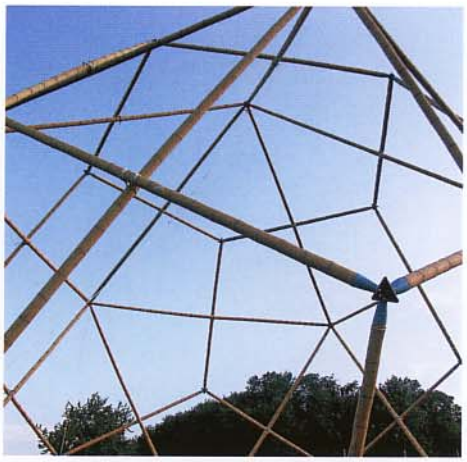
Only the dense outer zone of the cane has such high values, however. The density of common varieties ranges from about 600 to 800 kg/m³ in a dry state. The chemical structure of lignified bamboo ready for harvesting is very similar to that of the wood from fir trees. The elasticity of bamboo is considerably greater, though. With the appropriate design of a load-bearing structure, therefore, it is a good material for areas subject to earthquakes. It is combustible, but flame resistant. Bamboo cane comes from various countries and has many different dimensions and colours. The drying process is important to ensure rot-free transport, since the material may be enclosed for up to six weeks in airtight containers. Young bamboo stalks are greenish in colour and turn yellowish-brown and even black when they are older. Artificially coloured canes are also available (ills. 21–23). Chinese phyllostachys varieties with diameters of between 10 and 180 mm and lengths of up to six metres are commonly obtainable on the market. Chinese bamboo is known under the general name of "Moso"; it has a uniform yellow or yellowish-brown coloration and a smooth glossy surface with projecting nodes. The distance between the nodes increases quickly with greater height, whereas the wall thickness and diameter of a cane decrease upwards. This conical form varies from one type to another. The Latin American Guadua bamboo is something of an exception in this respect. It can reach a height of up to 30 m and has a diameter of 100–150 mm, but is only slightly conical in growth. As a result, it is popularly used in load-bearing situations. Guadua has a lively yellowish-brown appearance, sometimes with black patches. It has a smooth, but matt, surface so that paint adheres relatively well. Less common types on the market include the black Nigra bamboo, the brown-black mottled Boryana (both from East Asia and up to 40 mm in diameter), Dendrocalamus varieties (30–35 m high and up to Ø 250 mm) and the black Wulung (Ø 50–150 mm, with relatively large node spacings of 40–70 cm). Both the latter varieties come from South and South-East Asia. The durability of bamboo stems is influenced by a number of factors. The cane does not contain a natural protective agent as larch and oak do. It is important, therefore, to ensure the selection of good-quality material, proper treatment and a sound form of construction. The dense, hard surface of bamboo guarantees good durability in the short to medium term; but for longer life, various precautions have to be taken against surface weathering, parasites, rot and the growth of fungi. As described above, the time of harvesting is extremely important in this respect. After cutting, the branches and leaves should not be removed immediately, since they continue the process of photosynthesis and use up any residual starch in the cane. Other advantages of this "clump-curing" method, as it is known, are an improved drying process and a reduced risk of splitting. Nutrients are removed by means of soaking, steaming or boiling. The material can also be smoked or treated with boracic salt or other protective substances. A moisture content of less than 18 per cent guarantees sound material. When building with bamboo, therefore, it is important to ensure a form of construction that allows the material to dry out regularly. Constant contact with moisture should be avoided. Water-repellent coatings or paint are also useful, and they help to maintain the visual quality of the material. But it is wiser to avoid the absorption of moisture as far as possible by means of sound constructional measures.

Bamboo is sometimes straightened in its country of origin through a heat process. It cannot be bent to the extent that rattan can. For bending, a certain moisture content is needed. Exposed to high temperatures over a long period, the material may be weakened, however. Bamboo can be worked in a similar way to timber – in other words, it can be sawn, ground, planed, etc. The high silicic acid content of the outer skin requires the use of particularly sharp tools and special care to avoid fraying. The material has a wide range of applications. In addition to its use in building, bamboo is also utilized in the production of foodstuffs, charcoal and textiles. There are



24

25

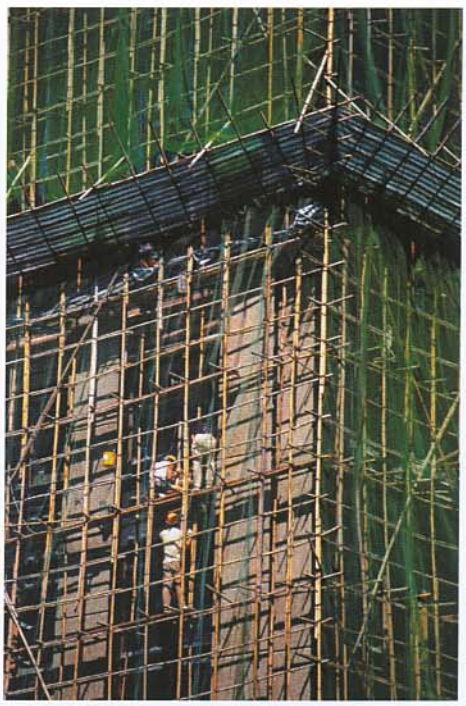


26

21 Phylostachys Pubensis Boryana
22 Phylostachys Pubensis »Moso«
23 Phylostachys Pubensis Nigra
24 Brücke in Kolumbien, 2000, Konstruktion: Jörg Stamm, Popayan/Kolumbien
25 Verbindungstechnik für Bambusrohre, Fa. Conbam, www.conbam.de
26 Bambuskuppel, Luxemburg, 2004, Entwurf: Christoph Tönges
27 Hochhaus-Baugerüst, Hongkong, 2000

21 Phylostachys pubensis Boryana
22 Phylostachys pubensis "Moso"
23 Phylostachys pubensis Nigra
24 Bridge in Colombia, 2000; construction: Jörg Stamm, Popayan, Colombia
25 Connecting system for bamboo canes; Conbam company, www.conbam.de
26 Bamboo dome, Luxembourg, 2004; design: Christoph Tönges
27 Scaffolding to high-rise building, Hong Kong, 2000

(or were) many more applications for this material in Asian countries, where the saying exists: "You can live without meat, but you die without bamboo."
In the building sector, bamboo is enjoying increasing popularity today. The market for sheeting products made from this material is growing all the time, too, although it still leads a marginal existence compared with wood. Ecological criteria for its use include the fact that bamboo is a quickly regenerable material, and helps to avoid the felling of trees. In the meantime, however, bamboo forests are endangered through the great demand for this material and through the harvesting of canes that have not matured. Bamboo sheets are used as flooring and in laminated boarding, while the canes are increasingly applied to make facade cladding, partitions, screens and fences. A striking example of this may be seen in a house near Badaling in China by Kengo Kuma (see ill. page 651 and Detail 5/2003). The many different types of bamboo, with their lively, natural appearance, make the material popular for decorative purposes and sculptural elements, too. Any lingering sense of a neo-colonial look can be avoided by employing modern design forms. Despite all the advantages it offers, though, bamboo is used to only a limited extent in the West. That is largely because designers and craftsmen lack the know-how for its application. The labour input is often expensive, and certain bureaucratic barriers have to be overcome as well. Nevertheless, even in Europe, some notable structures have been built with this material.
Bamboo consists of hollow tubular canes with different internal and external diameters that are never perfectly circular, so that jointing them poses special problems. Care has to be taken to avoid longitudinal cracks, too. Traditionally, the canes are jointed by means of inserted connections, or straps and cables. In East Asia, connections are made by tying the members together, with plastic often used for this purpose today (ill. 27). In Colombia, a modern form of construction has been developed over the past 20 years using native Guadua bamboo. In the meantime, these techniques have spread around the world, with screw-threaded members used to connect the canes. For additional strength, the hollow sections may be filled with mortar and/or reinforced with steel straps screwed on the outside. In this way, space-frame structures are created of quite individual form. Because of the low performance of the connections, structures have to be executed with additional material. In the context of the seminar "Building with Bamboo" held by the department for load-bearing structures in the faculty for architecture of the Rhenish-Westphalian University of Technology (RWTH) in Aachen, intensive work was carried out from 2000 to 2004 to address this problem. Initially, the idea was to use bamboo stems to build filigree framed structures similar to those constructed in steel. The jointing technique proved inadequate for the implementation of this concept, however. Confronted with this challenge as a student, the author undertook a period of practical training in Colombia with the bamboo specialist Jörg Stamm and began to develop an efficient connection for bamboo canes. This work was continued at the RWTH in a team headed by Dr.-Ing. Evelin Rottke; and in collaboration with Dr.-Ing. Hans-Willi Heyden, the group followed a design and constructional approach. Laboratory tests were carried out and experimental structures built. Load-bearing trials were undertaken in the neighbouring materials laboratory of the faculty for building engineering. The aim was to come to terms with the material and its geometric pecularities, to exploit the load-bearing capacity of naturally grown stems and to create a product that would have a design quality of its own.
With the appearance of modern materials such as steel and cement, bamboo gained the reputation in its countries of origin of being a material for the poor. In the meantime, however, various projects have demonstrated that it is suited to more than simple settlements and publicly assisted low-income housing. Prominent architects like Renzo Piano and Shigeru Ban have experimented with bamboo; and to mark the opening of the ZERI pavilion for the Expo 2000 (ills. 8–11), the Vitra Design Museum devoted a whole book to this "fantastic grass". The Colombian architect Simón Vélez, who designs striking bamboo structures for wealthy clients, was responsible for this pavilion. It attracted great attention, but was pulled down after the exposition to make place for a parking area. Gunther Pauli had commissioned Simón Vélez with the construction of a bamboo pavilion for his Zero Emission Research Initiative (ZERI), but in the run-up to the World Exposition, the German authorities regarded the scheme extremely critically, since there was no safe body of knowledge relating to this non-native material. Vélez's design was also questioned, and considerable work had to be done to prove the structural stability of the building. A prototype of the pavilion was built in Colombia and subjected to various loading tests by Prof. Dr Klaus Steffens, who at that time was head of the Institute for Experimental Structures at the University of Bremen. Steffens was impressed, since the deformation under loading was in part considerably less than calculated. Parallel to the experimental structural



27

28 Parkhaus, Leipzig, 2004, Architekten: HPP, Düsseldorf
29 Bürogebäude Darmstadt, 2005, Entwurf: Shaktihaus, Mossautal
30 Wohnanlage Carabanchel, Madrid, Architekten: FOA, London

28 Multi-storey parking block in Leipzig, 2004; architects: HPP, Düsseldorf
29 Office building in Darmstadt, 2005; design: Shaktihaus, Mossautal
30 Carabanchel housing development in Madrid; architects: FOA, London

During his studies at the RWTH in Aachen, the author, Dipl.-Ing. Christoph Tönges, investigated bamboo as a building material. Tönges is also the founder of the company Conbam Advanced Bamboo Applications (www.conbam.de). Various projects, including some carried out in collaboration with the Goethe Institute, have taken him to many of the countries where bamboo is grown.

analysis, Dr Simon Aicher at the Otto Graf Institute in Stuttgart investigated both the material, bambus Guadua angustifolia, and the jointing techniques. Ultimately, a proposal was simply made for improving the process of granting permission for the building. Further loading tests carried out on a complete structure in Hanover demonstrated the actual functional efficiency. The German-Colombian joiner Jörg Stamm was responsible for the constructional drawings for the submission, since Vélez makes only hand-drawn sketches for his audacious schemes.

As early as 1996, Jörg Stamm built the first modern bamboo bridge in Colombia. He, too, had to struggle with the local authorities on that occasion, because he could find no structural engineer in the area to do the calculations for him, and without the appropriate structural analysis, building consent could not be granted. Prof. Dr Wilfried Führer and his team in the department for load-bearing structures at the RWTH, Aachen, was most enthusiastic about Stamm's idea and provided the relevant calculations.

In the meantime, Jörg Stamm has made a name for himself worldwide as a master builder specializing in bamboo bridges. With two structures on Bali, he recently gave an impressive demonstration of the potential of this material. A jewellery producer commissioned a bridge (ill. 5) and a hall, both of which were implemented. The load-bearing structure of the tent-like hall consists of three slender, hyperbolic cylinders with tension rafters (ills. 13–15). Here again, Stamm enjoyed the support of German engineers.

Prof. Dr Ulrich Neuhof and students in the department of building engineering of the University of Applied Science in Erfurt investigated and calculated the load-bearing structure during an excursion to Bali. The first permanent building in Europe to be executed in bamboo – the Vergiate Pavilion in northern Italy – was erected in 2003 to meet local public needs (ills. 19, 20). The initiators of this project, Valeria Chioetto and the architect Neri Braulin, drew inspiration from the work of Simón Vélez. The building was erected during an international workshop and uses similar connecting techniques to those found in the ZERI pavilion.

In Luxembourg in 2004, a bamboo dome was built that is probably the largest of its kind in the world. It was designed by the author as part of his diploma studies (ill. 26). The construction of this dome was aided by the development of an efficient cane connection and not least by the active support of numerous students and Scouts during the erection phase. With a diameter of 13 m and a height of 11 m, and using up to eight-metre-long canes, the bamboo dome is an impressive demonstration of the effectiveness and structural potential of this material.

Using the same connection technique, the first permanent load-bearing bamboo structure in Germany was erected in Darmstadt. The Shaktihaus planning team created an office building in that city with a roof structure borne by 33 bamboo columns (ill. 29). In addition to using bamboo, other ecological solutions and materials were applied, such as clay-rendered bales of straw for the walls. This bamboo structure stands in a public open space in front of a high-rise student hostel and is surrounded by large fountains and coloured mosaics. With its organic lines, the office building forms the balanced, harmonious centrepiece of this ensemble. Externally, the curved lines and bold dome light are the outstanding features. The offices are used by a car repair shop. The 33 bamboo columns stand visibly in the internal space. Without demanding any further examination, the Ministry for Economics and Technology in Wiesbaden granted its approval for the individual elements of the construction on the basis of the conclusions reached in Aachen.

In the meantime, the jointing system has been developed further by the Conbam company. It has also been successfully applied and has won a number of prizes (ill. 25). In 2005, the architects Anna Heringer and Eike Roswag built a school with earth and bamboo in Bangladesh (see Detail 4/2007), for which they received, among other things, the Aga Khan Prize for Architecture.

The international standards and regulations relating to bamboo that have been issued to date are concerned with its dimensions and relevant forms of construction (ISO 22156), as well as with its physical and mechanical properties (ISO/22157 – parts 1 and 2).

If one considers that there are more than 300 standards relating to wood, the enormous backlog in terms of bamboo becomes apparent. A lot remains to be done on all fronts – from forestry to the application of the material – to establish bamboo as a useful product. For example, there is a lack of reliable information on the properties of the different types, such as their strength and behaviour when exposed to fire; and no classification system exists either.

Examples from the past ten years demonstrate the enormous potential of bamboo as a building product. But because of the lack of standards and regulations relating to this material, legislation limits its application. To make bamboo accessible to a broader public, further efforts need to be made in the fields of basic research, teaching, product development and marketing.