



Grundlagen der modularen Planung

Den wenigsten Architekten und Bauingenieuren dürfte bewusst sein, dass ihre Entwurfsarbeit zutiefst in der Vergangenheit verwurzelt ist. Die gemessenen Werkmaße eines geplanten Bauwerks oder dessen Bauteile lassen sich seit dem Altertum auf ein verkehrsbliches Maß zurückführen (historische Maße: Fußlänge/Fingerbreite usw., heute in der Regel: Meter und Zentimeter).

In Deutschland ist für den planenden Architekten und für die Bauindustrie die *Maßordnung im Hochbau* (DIN 4172) buchstäblich ‚maßgebend‘. Grundlage für das in der DIN-Vorschrift festgelegte sogenannte Baurichtmaß ist ein aus dem Mauerwerksverband abgeleitetes Planungs- und Baumaß von 12,5 cm. Als primäre Grundeinheit der Maßordnung lässt es sich, ganz im Sinne der von Vitruv überlieferten antiken Entwurfsregeln, auch als Modul (Modulus, Embater) ansehen. Vervielfacht bildet die Grundeinheit im Maßgefüge eines Baues von jeher die maßlich definierte modulare Einheit in einem orthogonalen Koordinatensystem, bestehend aus Abszisse und Ordinate. Bei den Römern waren es die primären Bezugsachsen *decumanus maximus* und *cardo maximus*, in der Mathematik ist es das kartesische x-y-Koordinatensystem.

Das Baurichtmaß von 12,5 Zentimetern entspricht in der Länge $\frac{1}{8}$ und in der Höhe bei einem Ziegelstein im DF-Format $\frac{1}{16}$ eines Meters. Das aus dem Baurichtmaß abgeleitete Baunennmaß bezieht sich bereits konkret auf Bauteile. So entsprechen die Dimensionen eines genormten Ziegelsteins von $24 \times 11,5 \times 5,25$ cm dem Baunennmaß, ebenso jedoch Wandstärken, Öffnungs- und Raummaße. Wird einem Bauteil, zum Beispiel einem Ziegel von 24 Zentimetern Länge, seitlich eine Mörtelfuge von einem Zentimeter hinzugegeben ($24 \text{ cm} + 1 \text{ cm}$), ergibt die Kombination aus Stein und Fuge wieder das Rastermaß ($\rightarrow$ Modulmaß $\rightarrow$ Baurichtmaß) von $2 \times 12,5$ cm. Das Modulsystem erlaubt in großen Stückzahlen die industrielle Herstellung, den Transport, den Handel und die Lagerung von Bauteilen aller Art und ihre maßkonforme Verarbeitung bei konventionellen und vorgefertigten Bauten.

Das rationale Maß- und Modulsystem beruht im Ursprung auf der Anwendung handwerklich-technischer Fertigkeiten, wie sie seit Anbeginn in den Hochkulturen des Zweistromlandes bei der Planung und auf der Baustelle betrieben wurden, und wie sie sich durch alle nachfolgenden Kulturepochen hindurch bis in die Gegenwart erhalten haben. Das der DIN-Vorschrift zugrunde liegende Ziegelmaß steht mit dem seit 1799 in Frankreich verbindlich festgelegten Metermaß und mit dem vom römischen Staatthalter Drusus für die nördlichen Provinzen des Imperium Romanum eingeführten Fußmaßes in direktem Zusammenhang: vier Ziegellängen (1 ZL = Steinlänge + Stoßfuge) entsprechen im Baurichtmaß dem Dreifachen eines Fußmaßes ($4 \text{ ZL} \rightarrow 25 \text{ cm} \leftarrow \text{Baurichtmaß} \rightarrow 3 \text{ Fuß} \rightarrow 33,33 \text{ cm}$), wobei die historischen Fußmaße bis ins 19. Jahrhundert hinein erheblich schwanken konnten (mesopotamischer Nippurfuß 0,276559 m, römischer Fuß 0,293 m, kretisch-äginetischer bzw. drusianischer Fuß 0,33319 m), eine Entwicklung, die im Zusammenhang mit den sich allmählich vergrößernden Körpermaßen des Menschen zu sehen ist.

Das Grundmaß ist demnach die ganzzahlige Einheit, aus der sich durch Vervielfachung oder Teilung die modulare Proportion eines geplanten Baues zusammensetzt. Sie ist die für die Planidee, den Vorentwurf, die Bauzeichnung, Massenberechnung und Kalkulation zugrundegelegte Größe und oszillierte im vorindustriellen handwerklichen Bauen zumeist in der Realität geringfügig um die verwendeten Werkmaße (Werkfuß, Werkelle usw.), da die Messinstrumente (Latten, Stangen, Seile) selbst von Baustelle zu Baustelle, aber auch am Bau selbst (Bauabschnitte, Wechsel in der Bauleitung) voneinander abweichen konnten.

Das entsprechend dem Baumaterial (standardisierte Lehmziegel, Backsteine, Steinquader, Formsteine, Fertigteile usw.) in der Regel orthogonale Raster des Vorentwurfs lässt sich im Grund- und Aufriss darstellen. Die gefundene Maschenweite eines Primär-Rasters in einer maßstäblichen Bestandzeichnung erlaubt die *zeichnerische* Darstellung des zugrundegelegten Einheitsmaßes/Moduls im Vorentwurf und bei genauen Aufmaßen auch die Feststellung der proportionalen Systematik der Bauteile (s. Band III, Abb. 190–210). Einen modularen Entwurf rein *rechnerisch* in seinen Baumaßen proportional zu erfassen ist schwierig, weil dem zunächst unbekannten Grundmaß eine letztlich unsichere rechnerische Maßinterpretation und Fehlerberechnung vorgeschaltet werden muss.

Modulare Maßverhältnisse besitzen jedoch generell eine hierarchische Struktur und lassen sich als Proportionssystem nicht allein durch einen Vergleich von Einzelmessungen ermitteln. Grundlage für die Feststellung proportionaler Analogien ist die möglichst genaue *zeichnerische* Bauaufnahme und die daran *anschließende* Maßanalyse, wobei sich im Idealfall Grund- und Aufrisse mit den gemessenen Maßen modular verknüpfen lassen.





Ohne auf die Entwicklung der Baukunst auf der Grundlage orthogonaler Netzstrukturen und die damit im Zusammenhang stehende vitruvianische Proportionslehre einzugehen, veröffentlichte Wolfgang Wiemer vor gut einem Menschenalter einen Aufsatz über eine computergestützte Proportionsanalyse (MILES/DBM = Datenanalyse der Baugeometrie des Mittelalters) mittelalterlicher Kirchen, bei der ‚baugeometrische Messdaten‘ mit einer vorhandenen Referenzdatei von Zahlen- und Streckenverhältnissen (Proportionsquotienten) verglichen werden, um so das dem Bauwerk innewohnende Proportionsgefüge rein rechnerisch-maschinell herauszufinden. Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass die am Projekt beteiligten Forscher weder im Grundriss der Zisterzienserkirche im Skizzenbuch des Villard de Honnecourt (s. Band III, Abb. 321 A: Planfläche 8×12 Module) noch im Grundriss der näher untersuchten Michaelskapelle des Zisterzienserklosters Ebrach in Oberfranken (Planfläche 3×6 Module) das modulare Proportionssystem erkannten. Villards Grundriss beruhe vielmehr auf ‚extrem schematisierten körperlosen Strichen‘, so dass letztlich unklar bleibt, „ob dieses Strukturskelett tatsächlich die vorgesehene Beziehung zwischen Außenkontur und Achsmaßen wiedergibt, oder nur als Grundschemata von Leitproportionen [→ Module!] gemeint ist, deren Umsetzung auf Mauerebene noch offen stand.“ Wiemer, Wolfgang: *Die computergestützte Proportionsanalyse am Beispiel von Planaufnahmen und Entwürfen von Kirchengrundrissen*. In: *Architectura: Zeitschrift für Geschichte der Baukunst* 28 (1998), S. 107–155, S. 144. Inzwischen zeigen „jedoch jüngste Computeranalysen der Maßverhältnisse [...] nicht nur Zahlenverhältnisse, die schon in der Antike als bedeutsam galten, sondern auch – äußerlich nicht zu erkennen – die Polygonfiguren der antiken Geometrie, die Formengrundlage der Hochgotik.“ Wiemer, Wolfgang: *Ehemalige Zisterzienserkirche Ebrach, Regensburg* 2013, S. 6.

Die Untersuchung der Maßverhältnisse an regelmäßig erscheinenden Bauten führt hingegen immer auf ein Grund- oder Einheitsmaß (Primärmodul), aus dem sich weitere Teilproportionen (Sekundärmodule) ableiten lassen. Auch wenn angegebene Einzelmaße oder der Maßstab der Zeichnung von der Realität abweichen, ist die korrekte zeichnerische Wiedergabe des Bauwerks selbst immer noch ausreichend, um zumindest die geometrische Struktur und die relative Größe eines Primärmoduls zu ermitteln. Um danach endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen, sind jedoch Kontrollmessungen der zeichnerisch gewonnenen Struktur notwendig. Mit diesem Verfahren lassen sich die Maße der Bauteile in einen proportionalen Zusammenhang bringen, aber auch Abweichungen oder Änderungen des proportionalen Gefüges. Von einer systematischen Proportionierung ist auszugehen, wenn sich die gemessenen Werte in den Kanon der Modulmaße *rechnerisch* ganzzahlig oder als Bruchwerte einfügen lassen.

Proportion und Modul

Unter den Proportionsforschern vertritt Coulton die Auffassung, dass die vitruvianische Modullehre nur eine ganz bestimmte Art der Ausführung, die nicht unbedingt von allen antiken griechischen Architekten verwendet wurde, schildert und keineswegs einen wirklichen Oberbegriff in der griechischen Architektur darstellt (Coulton, J. J.: *Modules and Measurements in Ancient Design and Modern Scholarship*. In: *Munus non ingratum. Proceedings of the International Symposium on Vitruvius „De Architectura“ and the Hellenistic and Republican Architecture*. Leiden, 20–23 January 1987, S. 85–89, Leiden 1989, S. 89). Dieser oberflächlichen Betrachtungsweise kann jedoch nicht gefolgt werden. Vitruv vermittelte in seinem Traktat nach eigenem Bekunden das gesamte Wissen der Alten und verband deren Lehre unmittelbar mit der griechischen Architektur, schloss jedoch auch die Ägypter aus seinen Betrachtungen nicht aus.

Nachvollziehbar und mit Vitruvs Theorie in völliger Übereinstimmung ist jedenfalls die von Wesenberg vertretene Auffassung: „Für Vitruv hat der Modulus die Bedeutung einer Grundeinheit, aus welcher durch Multiplikation und Division die Bemessungen sämtlicher Teile eines Bauwerks abgeleitet werden.“ Wesenberg, Burkhardt: *Die Bedeutung des Modulus in der Vitruvianischen Tempelarchitektur*. In: *Collection de l'École Française de Rome* 192. *Project de Vitruve Object, Destinataires et Réception du De Architectura Actes du colloque international organisé par l'École française de Rome, l'Institut de recherche sur l'architecture antique du CNRS et la Scuola normale superiore de Pise*. Rome, 26–27 mars 1993, École Française de Rome, Palais Farnese, Rome 1994, S. 91–104, hier: S. 91.

Das Modul ist eine das gesamte Bauwerk bestimmende relative Größe

Hinzuzufügen ist, dass ein Modul immer im Zusammenhang mit der bestehenden anthropometrischen Maßordnung steht, als Vervielfachung des verkehrsüblichen Maßes für das Bauwerk aber





noch keine Proportion bildet. Erst die Maßreihung schafft ein proportionales Netzwerk, in dem die Idee des Planers im Vorentwurf Gestalt annimmt. In Übereinstimmung mit J. J. Coulton ist der Autor der Auffassung, dass zwar mit Fußmaßen bzw. anthropometrischen Maßeinheiten ohne proportionale Module geplant und gebaut werden kann, die bewusste Anwendung von Modulen in orthogonalen Netzen jedoch erst ein das Kunstwollen einschließendes proportionales Bauen zulässt. „Es ist ein geometrisches Schema, dessen Netzwerk nirgendwo unmittelbar in Erscheinung tritt.“ *Reichensperger, August: Vermischte Schriften über christliche Kunst, Leipzig 1856, S. 63.*

Erst eine – heute in der Baukunst kaum mehr feststellbare – ästhetischen Anforderungen (Mimesis; anthropometrische Maße; Musiktheorie: Timaios-Tonleiter Platons $\rightarrow 1 : 2 : 3 : 4 : 8 : 9 : 27$) und symbolischen Anforderungen (Geometrie, Arithmetik, Zahlenmystik, Kult) Anforderungen entsprechende Proportionierung erlaubte in einem zweiten Planungsschritt die harmonische und schöpferisch-künstlerische Gestaltung der baulichen Details. Im relativen Zusammenhang zieht jede Größenveränderung des Moduls eine proportionale Größenveränderung in der Bemessung aller übrigen Bauteile und damit in der Gesamtgröße des Bauwerks nach sich. „Oder anders ausgedrückt: der [modulare] Entwurf ist ohne Bindung an eine absolute Größe [...]“ *Wesenberg 1994: s. oben, S. 94.*

Der Einfluss der Musik auf die Baukunst

Einige Aphorismen verglichen im 19. Jahrhundert die Baukunst mit der Musik. Für den französischen Dichter Paul Valéry war die „Architektur zu Stein gewordene Musik“. Johann Wolfgang von Goethe bezeichnete in seinen 1833 posthum erschienenen *Maximen und Reflexionen* die Baukunst als „verstummte Tonkunst“ und der deutsche Philosoph Friedrich Wilhelm von Schelling postuliert in seiner Vorlesung über die *Philosophie der Kunst* im Jahr 1803: „Wenn die Architektur überhaupt die erstarrte Musik ist, ein Gedanke, der selbst den Dichtungen der Griechen nicht fremd war, [...] wenn also überhaupt die Architektur eine konkrete Musik ist, und auch die Alten sie so betrachteten, so ist es ganz insbesondere die am meisten rhythmische, die dorische oder altgriechische Architektur. [...] Die Architektur schließt sich [...] ganz an die Musik an, so dass ein schönes Gebäude in der Tat nichts anderes als eine mit dem Auge empfundene Musik, ein nicht in der Zeit, sondern in der Raumfolge aufgefasstes (simultanes) Konzert von Harmonien und harmonischen Verbindungen ist.“ Schelling wies im Zusammenhang mit den Harmonien auf Vitruv hin: „Über die Harmonie in der Architektur ist vorzüglich Vitruvius zu lesen“. *Nach: Philosophie der Kunst. In: sämtliche Werke. Abt. I, Band 5, Stuttgart 1859, hier: S. 593–595.*

Die Pythagoreer fanden ihre Zahlenlehre in den harmonischen Frequenzverhältnissen/Konsonanzen der Musik bestätigt. Die konstanten, ganzzahligen Intervalle der Oktave, Quinte, Quarte und des Ganztons ließen sich als harmonisch empfundene Proportionen in Grundriss, Aufriss und in der Raum- und Detailstruktur der gehobenen Baukunst als schön empfundene, naturgesetzlich (Arithmetik, Geometrie und Kosmologie) und wechselseitig (Synthese) gegebene schöne Verhältnisse anwenden. Platon lieferte später in seinem Dialog *Symposion* eine weitere Legitimation. Demnach könnten nur jene Künste, die auf Zahlen, Maße und Proportionen beruhen, Schönheit erzeugen. Die Musik fördere den Sinn für das Sinnlich-Schöne und damit auch zur Architektur, deren Schönheitsempfinden auf der gleichen arithmetischen Grundlage wie die Musik beruhe.

Für Platon und Aristoteles Grund genug, der Architektur den Status einer Kunst einzuräumen. Zwar forderte auch Vitruv, dass ein Architekt im Rahmen seiner Ausbildung Kenntnisse über die Musik erwerben müsse, die Baukunst selbst ordnete er jedoch in den Bereich der Handwerkskünste ein; demnach gehörte sie nicht zu den von Augustinus von Hippo im Mittelalter postulierten sieben freien Künsten „*septem artes liberales*“.

Erst in der Renaissance entdeckte man nicht nur die vitruvianische Architekturtheorie wieder, auch die antike Musiktheorie wurde neu bewertet und in die Architektur einbezogen. Wie zu Zeiten des Pythagoras verbanden die Gelehrten die Zahlen- und Proportionsästhetik der Musik wieder mit den Anforderungen an die Baukunst. Der Architekt Leon Battista Alberti ging in seiner zwischen 1452 und 1453 verfassten Abhandlung *De re aedificatoria* auf die Beziehungen der pythagoreischen Konsonanzen innerhalb der Musik und der Baukunst ein. Für den Bauentwurf entwickelte er – wie Pythagoras – aus den antiken Intervallfrequenzen Oktave, Quarte, Quinte usw. ein System idealer Proportionen. Andrea Palladio beschrieb in Anlehnung an Alberti in seinen *Quattro libri dell'architettura* (s. Band III, Kap. 3.3.2) ein Proportionssystem, dessen Anwendung, ausgehend von ganzzahligen Proportionen, auf dem vitruvianischen Modulsystem beruhte.





Geometrie und Arithmetik verbinden sich in idealer Weise im modularen System

Geometrie und Arithmetik sind seit jeher die (archi)tektonischen Grundvoraussetzungen für eine konstruktiv logische und formal klar formulierte Baukunst. Seit Anbeginn bewegt sich daher die Architektur in diesem Spannungsfeld ihrer konstruktiven und formalen Möglichkeiten. Verbinden lassen sich beide Bereiche in einfachster Weise in modularen netzartigen Strukturen, bei denen die Maschenweiten durch Teilung oder Zusammenfassung in idealer Weise ökonomisch vernünftige, sichere und formal befriedigende Lösungen erlauben.

Die vom Autor angewandte Untersuchungsmethode beruht demnach nicht auf idealen Grundrissen, um so mit Zirkel und Geodreieck geometrische Grundfiguren aufzuspüren. Bestimmende Faktoren sind zunächst die primären Grundmaße in einem orthogonalen Grundriss- oder Aufrissgefüge eines bestehenden Bauwerks. Sie bilden ‚Netzwerke‘, deren Dimensionierung sich aus dem jeweils gültigen metrologischen System ableiten lässt und die es dem Entwerfenden erlauben, die orthogonale Netzstruktur auch mit komplexen geometrischen Figuren – z. B. Polygone – in vollkommener Weise zu verknüpfen.

Die durch ästhetische und vergleichende Stilanalysen beeinflusste Baugeschichtsforschung hat jedenfalls diese Grundregeln des rationalen Bauens noch nicht in ihrer absoluten Tragweite untersucht. Die in dieser Frage schwankende, unsichere und zurückweisende Haltung spiegelt sich in nahezu sämtlichen Veröffentlichungen.

Das Grundproblem der geometrischen Proportionierung besteht nach Hecht darin, dass ungenaue Zeichnungen eines ungenau ausgeführten Bauwerkes mit Hilfe ungenauer Proportionsfiguren die exakte Entwurfsidee des Bauwerks klären sollen, wobei die Proportionsfiguren noch nicht einmal in der Lage sind, ersteres zu erklären (Hecht, Konrad: *Maß und Zahl in der gotischen Baukunst*, Hildesheim–New York 1979, S. 104). Diese erstaunliche Bemerkung steht jedenfalls im Widerspruch zu Hechts eigenen Erkenntnissen in Bezug auf das Modulsystem der Basilika Ulpia Traiana in Rom (s. Band II, Abb. 193) und der Sylvesterkapelle in Goldbach (s. Band III, Abb. 108). Zur Planstruktur der Sylvesterkapelle bemerkt er: „Hier in Goldbach hat demnach ein Plan vorgelegen, der genauso beschaffen war wie der berühmte St. Galler Klosterplan.“ Hecht, Konrad: *Die Sylvesterkapelle zu Goldbach, ein Schlüsselbau für Maß und Zahl in der Baukunst des frühen Mittelalters*. In: *Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft*, Band 28, S. 137–186, Göttingen 1974, S. 147. Diese völlig richtige Schlussfolgerung nimmt er jedoch in seiner Analyse des Klosterplans stillschweigend wieder zurück und unterscheidet in Außerachtlassung der modularen Zusammenhänge der Klosterkirche nun zwischen „Maßbasilika“ und „Planbasilika“ (Hecht, Konrad: *Der St. Galler Klosterplan*, Sigmaringen 1983, S. 336).

Proportionen und einfache geometrische Figuren

Die Herausbildung analoger anthropometrischer Maßsysteme und die Beschäftigung mit den einfachsten geometrischen Figuren – wie Kreis, Quadrat und dem gleichseitigen Dreieck – bildeten in den allmählich sich entwickelnden Hochkulturen in Mesopotamien und Ägypten die Grundlage für eine immer komplexer werdende Harmonielehre. Als Bedeutungsträger standen Harmonien symbolisch mit Naturphänomenen, dem religiösen Kult und mit den Wissenschaften, z. B. Astrologie und Mathematik, aber auch mit der Kunst (Plastik, Malerei, Baukunst) in Beziehung. Bestimmte einfache Zahlenverhältnisse und deren geometrisches Abbild in der Natur, in der Musiktheorie (die drei ersten Proportionen der Timaios-Tonleiter → Tonintervalle: Oktave 2 : 1, Quinte 3 : 2, Quarte 4 : 3), aber auch in der Baukunst, wurden und werden immer noch als harmonisch empfunden. Es sind dies ganzzahlige, als Bruchwert darstellbare Proportionen, die sich in den untersuchten Bauwerken immer wieder im Zusammenhang der Bauteile vorfinden, wobei besonders das Quadrat – mit seinem Innen- und Außenkreis – und seine Verdoppelung zum ‚Harmonischen Rechteck‘ (Seitenverhältnis 1 : 2 → Oktave) in sämtlichen Kulturepochen zu den häufigsten Proportionen gehören.

Als generelles Entwurfsprinzip wird das aus dem Quadrat abgeleitete Planen mit orthogonalen Netzen im Spätmittelalter und in der Renaissance von der Forschung als ‚quadratischer Schematismus‘ – oder kurz als ‚Quadratur‘ – bezeichnet. „Wir stehen vor einer Baukunst ohne Metermaß, wo die Größen noch in ursprünglichster Weise aus den einmal gewählten Grundmaßen und den Verhältnissen von baumeisterlichen Grundfiguren (wie es das Quadrat ist) erwachsen [...]“ Eine „Baukunst, die offenbar bestimmte Grundregeln befolgte, die wirklich *ad quadratum* oder auch *ad triangulum*, zuweilen auch nach dem Pentagon orientiert ist.“ Ueberwasser, W.: *Nach rechtem Maß. Aussagen über den Begriff des Maßes in der Kunst des XIII.-XVI. Jahrhunderts*. In: *Jahrbuch der Preussischen Kunstsammlungen*, Band 6, Berlin 1935, S. 264.

