

Stefan Wintermantel

Geometrie und Fußmaß an der karolingischen Pfalz zu Ingelheim

Stefan Wintermantel
Dreifürstensteinstr. 32
72116 Mössingen

alle Rechte liegen beim Verfasser

Fassung vom 27.03.2021

Inhalt

Die Pfalz zu Ingelheim – ein kurzer Überblick.....	5
Die Aachener Marienkirche und das 28,54 cm lange Fußmaß	6
Geometrie und Fußmaß an der Gesamtanlage	8
Der Halbkreisbau	14
Die Fernwasserleitung und das Bassin	18
Die <i>Aula Regia</i>	19
Der kleine Apsidenbau	21
Fazit und Diskussion.....	22
Abbildungsnachweis.....	23
Anmerkungen	24

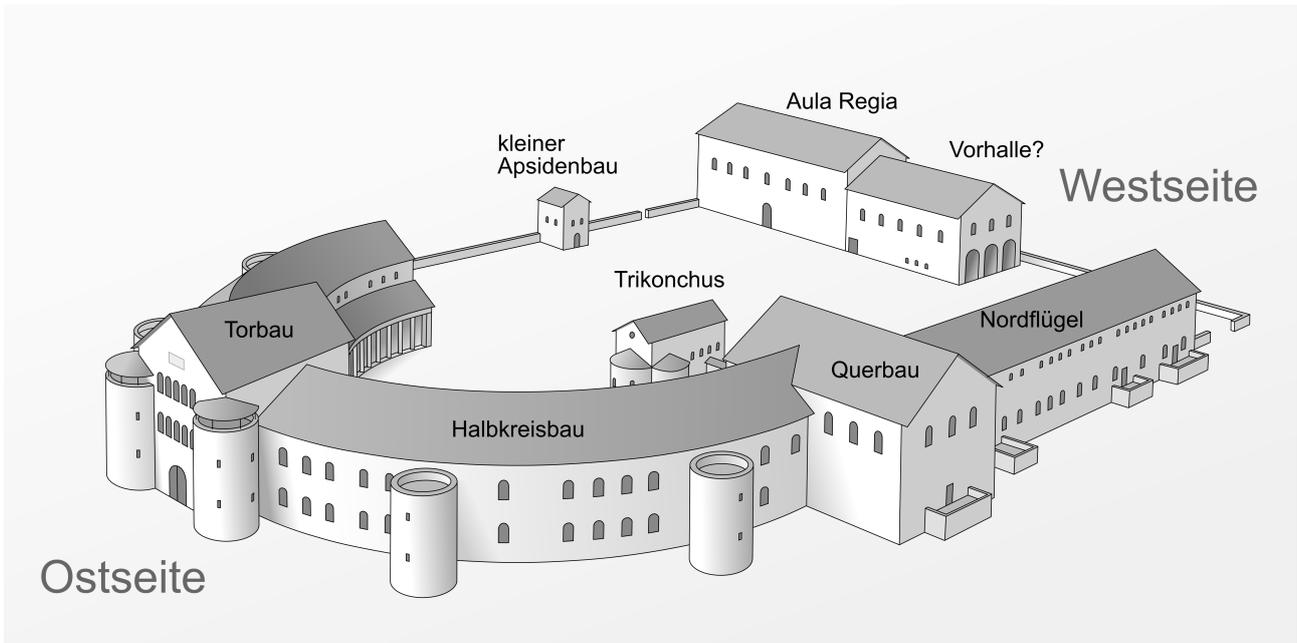


Abb. 1: Die karolingische Pfalz um 800



Abb. 2: Das Heidesheimer Tor, im Vordergrund der rekonstruierte Säulengang

Die Pfalz zu Ingelheim – ein kurzer Überblick

Einhard berichtet in seiner *Vita Karoli Magni*, Karl der Große habe „zur Zier und zum Nutzen des Reiches an verschiedenen Orten zahlreiche Bauwerke begonnen, einige auch vollendet“.¹ Vier davon stellt er namentlich heraus: die Kirche der Gottesmutter Maria in Aachen, die Rheinbrücke bei Mainz, die ein Jahr vor Karls Tod niederbrannte, sowie die beiden *palatia* in Nimwegen und bei einer *villa* namens *Ingilnheim*. Der gesamte Grundbesitz in Ober- und Niederingelheim war karolingisches Königsgut, das vielleicht noch in die Merowingerzeit zurückreichte.² Bei der von Einhard erwähnten *villa* handelt es sich demnach um den zugehörigen Königshof. Er wird in der Nähe der noch heute bestehenden Remigiuskirche vermutet.³ Das neuerrichtete *palatium* – die Pfalz – befand sich im Abstand von ca. 450 m östlich der Remigiuskirche. Der Begriff *palatium*, abgeleitet vom Haus des Augustus auf dem Palatin, dem ältesten bewohnten Hügel Roms, bezeichnete ursprünglich die Paläste der römischen Kaiser. Er wurde im engeren Sinne auf das für den reisenden König bestimmte Wohngebäude, im weiteren Sinne auf den gesamten zur Beherrschung und Versorgung des Königs und seines Gefolges bereitgehaltenen Komplex aus Wohn- und Funktionsbauten übertragen.⁴

Die *Fränkischen Reichsannalen* vermelden für das Jahr 774 einen ersten Aufenthalt Karls im *locus Ingilinhaim*, als er auf der Rückkehr von seinem ersten Italienzug von hier aus den rebellierenden Sachsen Truppen entgeschickte. Für 787/88 wird dann berichtet, dass er in der *villa Ingilinhaim* Weihnachten und Ostern gefeiert habe.⁵ Er blieb wohl nicht nur den Winter über, sondern bis zum folgenden Sommer, denn im Juni 788 fand in Ingelheim eine Heeresversammlung statt, auf der der Bayernherzog Tassilo wegen angeblichen Hochverrats zum Tode verurteilt, von Karl jedoch zu Klosterhaft begnadigt wurde.⁶ Nach der ausführlichen Schilderung in den *Annales Nazariani* aus dem Kloster Lorsch – die zunächst aber ebenfalls von der *villa* Ingelheim sprechen – bat Tassilo inständig darum, die für ihn gewiss äußerst demütigende Tonsur noch nicht im *palatium* vorzunehmen.⁷ Auch wenn hier aufgrund des Kontexts möglicherweise nicht die Baulichkeit, sondern die Hofgesellschaft gemeint ist, kann aufgrund des langen Aufenthalts Karls und der in Ingelheim stattfindenden Heeresversammlung doch vermutet werden, dass zu diesem Zeitpunkt Teile der neuen Pfalz bereits benutzbar waren.

Dies blieb der einzige Winteraufenthalt Karls in Ingelheim. In der Spätzeit seiner Herrschaft bevorzugte er immer mehr die Pfalz in Aachen. Im Jahr 807 dürfte der Ingelheimer Bau schon weit fortgeschritten gewesen sein, denn die Quellen sprechen nun eindeutig von einer „Pfalz“. Nach dem Bericht in der *Chronik von Moissac* fand im Sommer dieses Jahres *ad Ingelaeim palatium* ein Hoftag statt.⁸ Eine in dieser Zeit ausgestellte Urkunde zu einem Gütertausch des Bistums Würzburg wurde zu *Inghilinhaim palatio nostro* verhandelt.⁹ Gleichwohl zählt Einhard die Ingelheimer Pfalz ausdrücklich zu den Bauwerken, die Karl lediglich „begonnen“ habe;¹⁰ demnach muss sie unter seinem Nachfolger Ludwig dem Frommen noch weiter ausgebaut worden sein. Für Ludwig sind – im Gegensatz zu Karl – zahlreiche Aufenthalte in Ingelheim belegt, zumeist im Sommer zur Jagd; in den Jahren 819, 826 (zweimal) und 828 hielt er hier auch Reichsversammlungen ab.¹¹ Er starb am 20. Juni 840 auf einer der Ingelheim vorgelagerten Rheininseln. Nach seinem Tod trat die Ingelheimer Pfalz in den Hintergrund, erlebte jedoch zur Zeit der Ottonen und ersten Salier eine zweite Blüte. Unter Otto dem Großen, der mindestens zehnmal in Ingelheim weilte, stieg sie erneut zu einer der ersten Pfalzen des Reiches auf.¹² Der Bau der Saalkirche im südlichen Bereich der Pfalz fällt wahrscheinlich in die Zeit der ersten Salier.¹³ Sie ist nach dem als „Saal“ bezeichneten Pfalzbezirk benannt. In staufischer Zeit hatte der ehemalige Prachtbau Karls des Großen nach umfangreichen Baumaßnahmen den Charakter einer burgähnlichen Wehranlage angenommen, die nach Süden weit über den einstigen Pfalzbezirk hinausgriff.¹⁴

Unter den von Einhard erwähnten Bauten Karls des Großen hat einzig die Marienkirche – der Aachener Dom – die Zeiten überdauert. Von der Ingelheimer Pfalz sind oberirdisch nur noch Baureste erhalten, jedoch konnte der Grundriss zu großen Teilen archäologisch erschlossen werden. *Abb. 1* zeigt den Bauzustand, wie er nach derzeitiger Auffassung für die Zeit um 800 angenommen werden kann, aus der Vogelperspektive.¹⁵ Die Darstellung orientiert sich an dem in Ingelheim erstellten Pfalzmodell.¹⁶ Da die Baugestalt des Aufgehenden in vielen Punkten gesichert ist, basiert sie auf Vermutungen und Plausibili-

tätsüberlegungen; sie kann in diesen Fällen lediglich illustrieren, wie die Gebäude mit einiger Wahrscheinlichkeit ausgesehen haben könnten. Hinsichtlich der Rekonstruktion der Ostseite sind Zweifel angebracht, auf die noch zurückzukommen ist.

Die Pfalz wurde auf einem leicht nach Norden zum ca. 3 km entfernten Rhein abfallenden Gelände errichtet. Gut 100 m südlich des Pfalzbezirks führte die hier noch heute erhaltene Römerstraße zwischen Bingen und Mainz vorbei.¹⁷ Der Standort war somit im Hinblick auf die Verkehrsanbindung zu Wasser und zu Lande hervorragend geeignet. Ihr wurde streng auf der Grundlage zweier geometrischer Formen konzipiert: einem Rechteck und einem im Osten vorgesetzten, von einem halbrunden Baukörper gebildeten Halbkreis. Der wahrscheinlich zweigeschossige Halbkreisbau (Exedra) schloss nach innen mit einem Säulengang ab.¹⁸ Er war das größte und zweifelsohne auch beeindruckendste Gebäude der Pfalz, das, auf römische Vorbilder zurückgreifend, in der frühmittelalterlichen Architektur einzigartig dasteht.¹⁹ Dieser monumentale Bau verkörpert wie kein anderer die karolingische Renaissance, den Willen Karls, das Römertum wieder aufleben zu lassen und an den Glanz vergangener Zeiten anzuknüpfen. Der Scheitelpunkt wurde durch einen von zwei Rundtürmen flankierten Torbau mit einer im Grundriss trapezförmigen, gegenüber dem Säulengang um drei Stufen erhöhten Pfeilerhalle dominiert. Die Außenfront des Halbkreisbaus war nördlich und südlich des Torbaus von vier weiteren runden Vorlagentürmen umgeben. Obwohl sie keinen fortifikatorischen Zwecken dienten, suggerierten sie in der Ansicht von Osten doch das Bild einer befestigten Stadt. *Abb. 2* zeigt das Heidesheimer Tor von Westen.²⁰ Die sichtbare Bausubstanz gehört zu großen Teilen zur staufischen Wehranlage; der Säulengang und die Pfeilerhalle wurden jedoch im Zuge der vorbildlichen touristischen Erschließung der Pfalzanlage rekonstruiert.

Die Pfalzgebäude umschlossen einen weiträumigen Innenhof. Nach Südwesten wurde er, dem Halbkreisbau gegenüber, von der *Aula Regia*, der Thronhalle begrenzt, von der noch bedeutende Mauerreste erhalten sind. An der Südseite des nord-süd-orientierten, einschiffigen Saalbaus leitete ein monumentaler Triumphbogen zu einer halbrunden, um drei Stufen erhöhten Apsis über. Im Norden der *Aula Regia* befand sich eine Vorhalle, vielleicht auch ein offener Vorhof. Den nördlichen Abschluss bildete eine dreifache Bogenstellung, die 1875 vom Architekten Philipp Strigler vor dem Abbruch zeichnerisch aufgenommen wurde.²¹ Die Nordseite des Pfalzbezirks wurde durch den Nordflügel mit dem aus der nördlichen Baulinie heraustretenden Querbau eingenommen. Der Nordflügel bildete in doppeltem Sinne eine „Schauseite“ der Pfalz: zum einen aufgrund der repräsentativen Außenwirkung; zum anderen boten vorgesetzte Altane – untermauerte Balkone – Ausblicke auf das landschaftlich reizvolle Rheintal und den Fluss selbst. Westlich des Querbaus wurde der Nordflügel zum Innenhof wahrscheinlich wie der Halbkreisbau durch einen Säulengang abgeschlossen. Zum karolingischen Bestand gehört auch der kleine Apsidenbau an der Südgrenze des Pfalzbezirks, der mit seiner südseitigen Apsis die Bauform der *Aula Regia* in stark verkleinertem Maßstab wiederholte. Seine Funktion ist bislang unklar. Im Innenhof befand sich nördlich der Längsachse der Anlage ein erst 2004 entdeckter, kleiner Sakralbau, der wahrscheinlich als Trikonchus ausgebildet war.²²

Das im Grundriss des Pfalzbezirks erkennbare geometrische Konzept drängt die Frage nach seiner konkreten Realisierung unter den zeitgegebenen Bedingungen geradezu auf, insbesondere nach dem bei der Planung verwendeten Längenmaß und den angesetzten Maßzahlen. Sie ist bis heute ungelöst; lediglich für die *Aula Regia* existiert ein Rekonstruktionsvorschlag, auf den noch zurückzukommen ist. Dagegen haben sich bei der Aachener Marienkirche schon zahlreiche Untersuchungen mit dieser Frage befasst. Der Verfasser hat die verschiedenen Vorschläge ausführlich erörtert und eine Lösung entwickelt, die auf ein karolingisches Fußmaß mit einer Länge in der Größenordnung von 28,54 cm führt.²³ Die wichtigsten Ergebnisse sollen im Folgenden kurz zusammengefasst werden.

Die Aachener Marienkirche und das 28,54 cm lange Fußmaß

Der Baubeginn der Marienkirche fällt in die Zeit um 795.²⁴ Sie wurde unter Rückgriff auf byzantinische Vorbilder wie San Vitale in Ravenna als Zentralbau konzipiert: Den achteckigen Innenraum umgibt ein zweigeschossiger Umgang, der sich in jedem Geschoss aus acht viereckigen und acht dreieckigen überwölbten Raumkompartimenten zusammensetzt, so dass die Außenkontur sechzehneckig wird. *Abb. 3*

zeigt einen Querschnitt in Nord-Süd-Richtung.²⁵ Die Marienkirche war schon früh Gegenstand maßkundlicher Überlegungen: Bereits um 1843 hat Cornelius Peter Bock die Ansicht begründet, dass bei ihrem Bau das drusianische Fußmaß verwendet wurde.²⁶ Es ist durch eine Schrift des römischen Feldmessers Hyginus überliefert. Hyginus berichtet, bei dem auf dem Gebiet des heutigen Belgien ansässigen Stamm der Tungrer sei der *pes Drusianus* in Gebrauch, der $\frac{1}{8}$ größer sei als der römische Fuß, so dass die beiden Fußmaße zueinander im Verhältnis von 9 : 8 stehen.²⁷ Bei einer Länge des römischen Fußes von 29,6 cm ergibt sich damit ein 33,3 cm langes drusianisches Maß.

Obwohl verschiedentlich auch andere Werkmaße vorgeschlagen wurden,²⁸ blieb der drusianische Fuß in der Diskussion um die Maßgebung an der Aachener Marienkirche bestimmend; zuletzt hat ihn Günther Binding in einer etwas verkürzten Länge von 33,2 cm vertreten.²⁹ Zu wenig Beachtung fand in der Vergangenheit allerdings der Umstand, dass an den Pfeilern und Bögen im unteren Umgang der Marienkirche eine Vielzahl von Abmessungen zur Verfügung steht, die eine hervorragende Datenbasis zur Durchführung einer Maßanalyse bieten.³⁰ Die rechnerische Auswertung, die an dieser Stelle aus Platzgründen nicht wiederholt werden kann, führt auf ein Werkmaß mit einer Länge von 42,81 cm.³¹ Es handelt sich um einen *cubitus* (Ellenmaß) mit der $1\frac{1}{2}$ -fachen Länge eines 28,54 cm langen Fußmaßes.

Überraschenderweise stellte sich heraus, dass der Grundriss der Marienkirche nach Symbolzahlen mit Bezug auf Christus geplant wurde, die auch Thema zeitgenössischer Schriftquellen waren (Abb. 3).³² Der Außendurchmesser der sechzehneckigen Außenwand beträgt nach der Anzahl der Generationen von Adam bis Christus (Lc 3, 23–38) 77 *cubiti*, der Innendurchmesser des oktogonalen Innenraums $33\frac{1}{2}$ *cubiti*. $33\frac{1}{2}$ Jahre soll Christus auf Erden gelebt haben. Diese Zahl gehörte, wie die ganzzahligen Rundungen 33 und 34 mit gleichem Symbolgehalt, zu den wichtigsten und bekanntesten Symbolzahlen des Mittelalters.³³ Die irdische Lebenszeit Christi war auch Thema im Fragenkatalog des *Aachener Verhörs von 809*,³⁴ der wohl auf der Aachener Reichssynode im November dieses Jahres den geladenen kirchlichen Würdenträgern zur Beantwortung vorgelegt wurde.³⁵ Versinnbildlicht diese Zahl die Anwesenheit Christi unter den in der Kirche versammelten Gläubigen (Mt 18, 20), dann weist die 72 *cubiti* große innere Höhe auf die jenseitige Welt, denn die Mauer des Himmlischen Jerusalem misst nach der Johannes-Apokalypse 144 Ellen (Apc 21, 17). Das *cubitus*-Maß setzt die Maßzahl 144 im Verhältnis 1 : 2 um; genau ist sie im *dodrans* ($\frac{3}{4}$ Fuß) mit 144 *dodrantes* verwirklicht. Nach der Vision des Johannes sind Länge, Breite und Höhe der Himmelsstadt gleich (Apc 21, 16). Dementsprechend beträgt der größte Innendurchmesser des Sechzehnecks im Obergeschoss ebenfalls 72 *cubiti*.

Anstelle des Fußmaßes wurde der *cubitus* zur Bemaßung des Zentralbaus der Marienkirche offensichtlich deshalb gewählt, weil er im Rahmen der gewünschten Dimensionen des Kirchenbaus die Umsetzung dieser Symbolzahlen ermöglichte. Dagegen wurde das karolingische Atrium der Marienkirche nach dem 28,54 cm langen Fuß errichtet; er lässt sich auch an der Abteikirche von Inda (Kornelimünster) und der Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach nachweisen.³⁶ Seine Herkunft liegt im Dunkeln. Florent Ulrix, der bereits 1982 aus den Maßen im unteren Umgang der Marienkirche auf ein Fußmaß geschlossen hatte, das mit 28,43 cm in der gleichen Größenordnung liegt,³⁷ nimmt an, dass ein ca. 28,4 cm langes Fußmaß bereits unter den Merowingern in Gebrauch gewesen sei.³⁸ Der Aachener Dombaumeister Felix Kreuzsch stellte das von ihm aus gotischen Werkrissen im Chor des Aachener Doms errechnete, 28,64 cm lange Fußmaß auch an einigen Baumaßen des karolingischen Atriums fest. Kreuzsch hält es für möglich, dass es durch Bauleute aus der Lombardei nach Aachen kam.³⁹ Er verweist auf eine Mitteilung von Albrecht

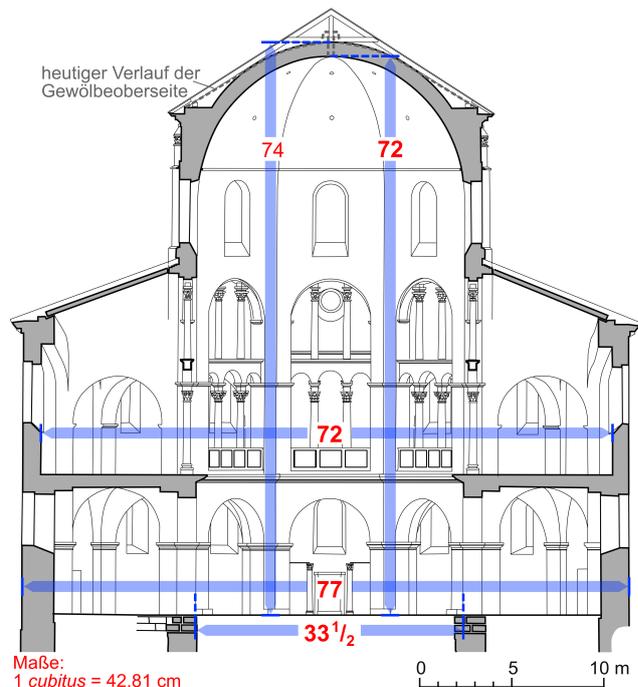


Abb. 3: Querschnitt durch den Zentralbau der Aachener Marienkirche in Nord-Süd-Richtung

Kottmann, der bei der Vermessung zahlreicher oberitalienischer Bauwerke feststellte, dass „ein Teil der Maße in den ausgewählten Kirchen durch 43 cm teilbar war, der größte Teil außerdem durch 28,5–28,7 cm“, also einen *cubitus* und den zugehörigen Fuß, der im Langobardenreich gebräuchlich gewesen sei.⁴⁰

Unabhängig von seiner Herkunft ist damit zu rechnen, dass das Fußmaß im Zuge der in den Jahren 792/93 nachweisbaren Reformaktivitäten auf dem Gebiet des Münz- und Maßwesens, die unter dem Begriff „Maßreform Karls des Großen“ subsumiert werden, standardisiert und dabei möglicherweise auch in der Länge etwas verändert wurde. Sie werden im Frankfurter Kapitular des Jahres 794 deutlich, das uns nicht nur Nachricht über einen *denarius novus* gibt, den neuen, im Gewicht auf ca. 1,7 g erhöhten Silberdenar, sondern auch über einen *modius publicus et noviter statutus*, ein neu festgesetztes öffentliches Getreidemaß vergleichbar etwa dem Scheffel.⁴¹ Nach neuen Erkenntnissen wurde der neue Denar zwischen Herbst 792 und Frühherbst 793 eingeführt.⁴²

Das 28,54 cm lange Fußmaß steht mit dem 33,3 cm langen drusianischen Fuß im Verhältnis von 6 : 7. Der drusianische Fuß wird unter der Bezeichnung „karolingischer Fuß“ häufig als Standardmaß der Karolinger in Anspruch genommen. Dass er in karolingischer Zeit in Gebrauch war, ist kaum zweifelhaft, jedoch deuten die Schriftquellen auf einen parallelen Gebrauch zweier, unterschiedlich langer Fußmaße hin. Die sogenannte *Aachener Enzyklopädie*, entstanden noch zur Regierungszeit Karls des Großen ab 809, widmet sich vornehmlich Fragen der Astronomie und Komputistik (Berechnung des Osterfesttermins), aber auch den Gewichten und Maßen. Bei der Besprechung der Längenmaße versuchen die Autoren, verschiedene Fuß- und Ellenmaße auf Abmessungen des menschlichen Körpers zurückzuführen. Der Fuß werde nach den Gepflogenheiten der Alten zweifach bezeichnet, zum einen nach dem natürlichen Fuß, zum anderen nach demjenigen, der mit den Händen gemessen werde. „Der *pes manualis* überragt nämlich den natürlichen Fuß so weit, wie der Daumen in der Länge ausgestreckt werden kann.“⁴³

Die tatsächliche Verwendung des *pes manualis* zur Karolingerzeit wird durch einen Brief Einhards bewiesen, in dem er beim Ziegelbrenner Egmunel 60 quadratische Ziegel mit einer Seitenlänge von 2 *pedes manuales* und 200 mit einer kleineren Größe bestellt.⁴⁴ Paul Guilhiermoz geht davon aus, dass der *pes manualis* im spätrömischen Reich aufkam und mit dem eigentlichen römischen Fuß im Größenverhältnis von 6 : 5 stand.⁴⁵ Bei einer Länge des römischen Fußes von 29,60 cm ergibt sich für den *pes manualis* damit eine Länge von 35,52 cm. Guilhiermoz nimmt weiter an, dass auch der 33,3 cm lange drusianische Fuß im Mittelalter als *pes manualis* angesehen wurde.⁴⁶ Es spricht somit alles dafür, dass Einhard seine Ziegel nach dem drusianischen Fußmaß bestellte. Wenn er das von ihm zur Bemessung der Ziegel gewünschte Fußmaß mit dem Zusatz *manualis* ausdrücklich kennzeichnet, dann muss zudem gleichzeitig auch noch ein zweites in Gebrauch gewesen sein.

Trotz der – verglichen mit der Marienkirche – nur bescheidenen Relikte, die im Aufgehenden noch erhalten sind, sind doch auch in Ingelheim für die Durchführung einer Maßanalyse genügend Ansatzpunkte vorhanden. Bei den verschiedenen Einzelbauten lassen sich am Fundament, teilweise auch an den Resten des Aufgehenden, immer noch zahlreiche Maße bestimmen. Zudem wird man mit einiger Wahrscheinlichkeit voraussetzen können, dass die großen Abmessungen des Halbkreisbaus wie auch des rechteckigen Bezirks vornehmlich nach Maßzahlen der Zehner- oder der ebenfalls beliebten Zwölferreihe geplant wurden, die auf der Baustelle leicht zu kommunizieren und zu merken waren. In diesem Fall stellten die entsprechenden Abmessungen auch Vielfache der Ruten mit einer Länge von 10 Fuß (*decempeda*) oder 12 Fuß dar. Bei der Abteikirche von Inda (Kornelimünster) und der Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach wurden Vielfache von 5 und 10 Fuß bevorzugt, während man sich bei der Bemessung des Atriums der Aachener Marienkirche an Vielfachen von 6 und 12 Fuß orientierte.⁴⁷

Geometrie und Fußmaß an der Gesamtanlage

Abb. 4 zeigt den Gesamtgrundriss der karolingischen Pfalz mit den zum großen Teil nur noch archäologisch fassbaren Mauerzügen, die jedoch nicht alle zum karolingischen Ursprungsbau gehören.⁴⁸ Die mittlere Symmetrieachse der Pfalz und die östliche Seite des rechteckigen Bezirks bilden ein Achsenkreuz

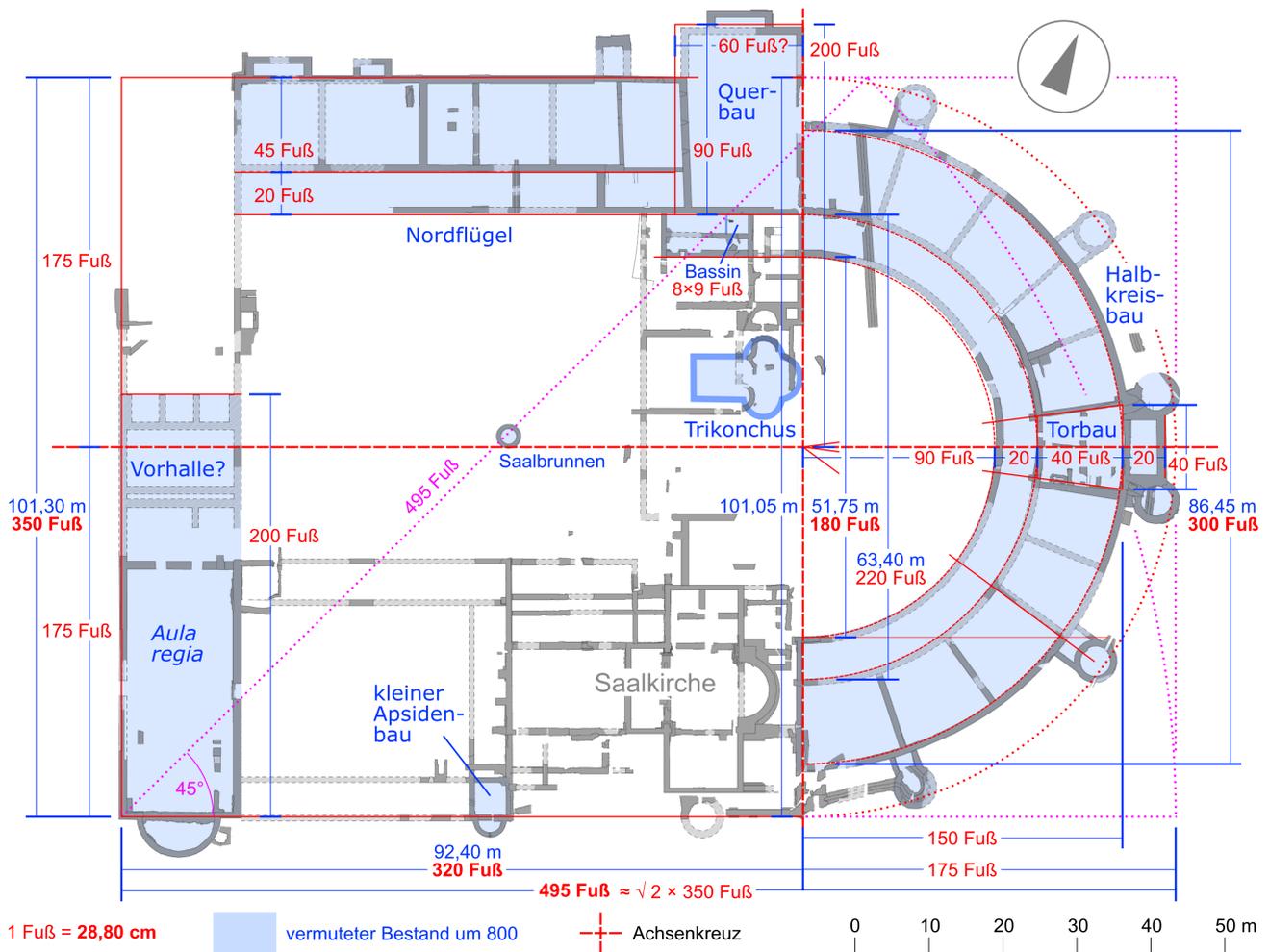


Abb. 4: Der Grundriss der Ingelheimer Pfalz. Plan: Stadt Ingelheim, Radosław Myszk, 2014/Thomas Raab, 2015

aus, dessen Kreuzungspunkt gleichzeitig Mittelpunkt des Halbkreisbaus ist. In der Tradition der römischen Agrimensoren war es – mit den beiden Hauptachsen *decumanus* in Ost-West-Richtung und *cardo* in Nord-Süd-Richtung – wahrscheinlich Ausgangspunkt der Vermessung des Pfalzbezirks.⁴⁹ Die Überprüfung der großen Maße ergibt tatsächlich eine ungefähre Übereinstimmung mit Vielfachen von 10 Fuß im 28,54 cm langen Fußmaß: So liegt die Nord-Süd-Ausdehnung des rechteckigen Bezirks mit 101,30 m an der Westseite und 101,05 m an der Ostseite nahe bei 350 Fuß (99,89 m), ebenso der Durchmesser des Halbkreisbaus, gemessen an der Innenkontur der äußeren Fundamentmauer, mit 86,45 m nahe bei 300 Fuß (85,62 m). Allerdings unterschreitet das aus dem Fußmaß errechnete Maß das tatsächliche Baumaß deutlich; dies wirft die Frage auf, ob das bei der Vermessung zur Anwendung gekommene Fußmaß etwas größer war als das in Aachen ermittelte Maß, oder ob etwa ein ganz anderes Längenmaß benutzt wurde.

Bei der Maßanalyse historischer Bauten sind Diskrepanzen zwischen den am Gebäude festgestellten Maßen (Istmaße) und den vom Erbauer beabsichtigten Maßen (Sollmaße) in gewissem Umfang allerdings zu erwarten. Dafür sind in erster Linie die bei den damaligen technischen Mitteln unvermeidbaren Bauungenauigkeiten verantwortlich zu machen. Fehler konnten sich bereits durch das wiederholte Aneinanderlegen der Messlatten ergeben, insbesondere wenn der Untergrund nicht sauber planiert war. Bei den großen Distanzen des Ingelheimer Pfalzbezirks boten sich die vorwiegend von den Feldmessern verwendeten Messleinen an. Diese ließen aber wegen Längenänderungen, beispielsweise aufgrund von Überdehnung oder Durchnässung, ebenfalls keine besonders präzisen Messungen zu.⁵⁰ Binding hat zuletzt noch einmal die Fehlerquellen unter den realen Baustellenbedingungen betont. Selbst wenn sie ursprünglich genau eingemessen waren, konnten sich hölzerne Messpflocke verschieben oder sogar verloren gehen.⁵¹ Gerade dieser Aspekt kommt an der Ingelheimer Pfalz angesichts ihrer Größe besonders zum Tragen, da die verschiedenen, den Innenhof umgebenden Gebäude sicher nicht in einem Zug hochgezogen werden konnten. Weitere Abweichungen können durch Fehler bei der Bauaufnahme entstehen. Zudem lässt sich,

falls nur noch das Fundament vorhanden ist, die genaue Lage und Breite der aufgehenden Mauer in der Regel nicht mehr ermitteln, da sie gegenüber dem Fundament häufig zurückgesetzt war. Auch wenn die aufgehenden Mauern noch erhalten sind, können sich aufgrund von Deformationen des Baukörpers und nachträglichen Baueingriffen Ungenauigkeiten ergeben.

Wenn wir das vom Erbauer beabsichtigte Planungskonzept entschlüsseln wollen, müssen wir zunächst die von ihm verwendete Maßeinheit ermitteln. Mit einiger Wahrscheinlichkeit ist das Fußmaß zu erwarten, das a priori aber nur auf einen Bereich zwischen ca. 27,5 und 35 cm eingegrenzt werden kann; jedoch sind auch andere Maßeinheiten wie der *cubitus* nicht auszuschließen. Die Lösung dieser Aufgabe wird durch die beschriebenen Bauungenauigkeiten erschwert. Norbert Stachura hat deshalb zur mathematischen Analyse von Baumaßen das sog. δ (delta)-Verfahren entwickelt.⁵² Für eine gegebene Abmessung A_0 eines Gebäudes und eine gegebene Grundeinheit E gilt die δ -Funktion:

$$\delta = \frac{A_0}{E} - \text{Int} \left(\frac{A_0}{E} + \frac{1}{2} \right) \quad \text{mit:} \quad -\frac{1}{2} \leq \delta < \frac{1}{2} \quad \text{damit auch:} \quad 0 \leq \delta^2 \leq \frac{1}{4} \quad (1)$$

Der Quotient aus der Abmessung A_0 und der Grundeinheit E ergibt die auf die Grundeinheit bezogene Maßzahl. Der in Fettdruck dargestellte *Integer*-Wert (Ganzzahl-Wert) des in Klammern gesetzten Terms entspricht hingegen der auf ganzzahlige Werte gerundeten Maßzahl. Der Wert von δ bezeichnet dann die Differenz zwischen der genauen Maßzahl und dieser ganzzahlig gerundeten Maßzahl; diese kann Werte zwischen $-1/2$ und $1/2$ annehmen, δ^2 entsprechend zwischen 0 und $1/4$.

Das Verfahren wird anschaulicher, wenn wir die δ -Funktion umformulieren und die Grundeinheit E in den Nenner setzen:

$$\delta = \frac{A_0 - E \text{Int} \left(\frac{A_0}{E} + \frac{1}{2} \right)}{E} \quad \text{mit:} \quad -\frac{1}{2} \leq \delta < \frac{1}{2} \quad \text{damit auch:} \quad 0 \leq \delta^2 \leq \frac{1}{4} \quad (2)$$

Der fettgedruckte Term in *Formel (2)*, das Produkt aus der Grundeinheit E und der auf ganzzahlige Werte gerundeten Maßzahl, entspricht nun der auf ganzzahlige Vielfache der Grundeinheit E gerundeten Abmessung A_0 . Der Zähler beschreibt damit die Differenz zwischen der Abmessung A_0 und ihrem auf ganzzahlige Vielfache der Grundeinheit E gerundeten Wert. Folglich lässt sich δ auch als Quotient aus dieser Differenz und der Grundeinheit E auffassen.

Unter der Voraussetzung, dass das Sollmaß einer Abmessung A_0 vom Erbauer des betreffenden Gebäudes als Produkt einer Grundeinheit E und einer ganzzahligen Maßzahl vorgesehen wurde, können für den Zusammenhang zwischen diesem Sollmaß und der Abmessung A_0 – dem am Bau abgenommenen Istmaß – die folgenden Fälle unterschieden werden:

1. Wenn das Istmaß gleich dem Sollmaß ist, dann geht die Grundeinheit E ganzzahlig in der Abmessung A_0 auf. Der Zähler in *Formel (2)* ist damit gleich 0, also auch δ und δ^2 .
2. Meist differiert jedoch das Istmaß gegenüber dem Sollmaß, in erster Linie aufgrund der Ungenauigkeit der Bauausführung. Ist diese Differenz noch klein, dann gibt die auf ganzzahlige Vielfache der Grundeinheit E gerundete Abmessung A_0 das Sollmaß wieder, der Zähler in *Formel (2)* entsprechend die Differenz zwischen Ist- und Sollmaß. Je größer diese Differenz wird, desto stärker weicht der Wert von δ von 0 ab und desto größer wird δ^2 . Dies gilt jedoch nur solange, wie diese Differenz innerhalb des Rundungsbereichs – der halben Länge der Grundeinheit E – bleibt. Ist das Istmaß beispielsweise um die halbe Länge der Grundeinheit größer als das Sollmaß, dann ist $\delta = 1/2$ und $\delta^2 = 1/4$.
3. Sobald die Differenz zwischen Ist- und Sollmaß den Rundungsbereich überschreitet, dann entspricht die auf ganzzahlige Vielfache der Grundeinheit E gerundete Abmessung A_0 nicht mehr dem Sollmaß, sondern einem Produkt der Grundeinheit E und der gegenüber der vom Erbauer vorgesehenen Maßzahl nächstgrößeren oder nächstkleineren Ganzzahl. Nun werden δ und δ^2 wieder kleiner, bis sie, wenn die Differenz zwischen Ist- und Sollmaß gleich groß ist wie die Grundeinheit E , wiederum gleich 0 sind.

Aus diesen Überlegungen folgt, dass die δ -Funktion für eine gegebene Grundeinheit E nur dann ein verlässliches Ergebnis liefert, wenn die Differenz zwischen Ist- und Sollmaß innerhalb des Rundungsbereichs

– der halben Länge der Grundeinheit E – liegt.⁵³ Damit werden die Grenzen des Verfahrens deutlich: Es wird umso weniger erfolgreich anwendbar sein, desto größer die Bauungenauigkeit und – da diese in absoluten Zahlen naturgemäß mit der Länge der Abmessung zunimmt – desto größer das Längenverhältnis zwischen der Abmessung A_0 und der Grundeinheit E , also desto größer die Maßzahl ist.

Stachura schlägt vor, für die denkbaren Grundeinheiten E über alle in die Untersuchung einbezogenen Abmessungen A_i den Mittelwert von δ^2 zu berechnen.⁵⁴ Das beim Bau des untersuchten Gebäudes verwendete Längenmaß, ggf. auch seine Teiler (z. B. $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ der Maßeinheit) oder Vielfache (z. B. die 10-füßige *pertica*) sind im Bereich derjenigen Werte der Grundeinheit E zu suchen, für die der Mittelwert von δ^2 kleine Werte annimmt. Um die Anschaulichkeit des Werts der δ -Funktion, das Verhältnis der Differenz Istmaß-Sollmaß und der Grundeinheit E , zu erhalten, weichen wir in der Folge von Stachuras Vorgehen ab und bilden gemäß *Formel (3)* aus der Anzahl n der Abmessungen A_i den Mittelwert nicht aus δ^2 , sondern aus dem Absolutwert von δ und nennen ihn *mittlere relative Differenz* d :

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i}{E} - \text{Int} \left(\frac{A_i}{E} + \frac{1}{2} \right) \right| \quad \text{mit: } 0 \leq d \leq \frac{1}{2} \quad \text{prozentual: } 0 \leq d \leq 50 \% \quad (3)$$

Die Berechnung der mittleren Differenz zwischen den Ist- und Sollwerten der Baumaße hat schon bei der Aachener Marienkirche geholfen, die verwendete Maßeinheit zu identifizieren und ihre Plausibilität gegenüber den anderen, von verschiedenen Autoren als Werkmaß in Anspruch genommenen Fußmaßen zu überprüfen.⁵⁵ Im Folgenden soll das Verfahren dazu dienen, die Länge des in Ingelheim verwendeten Fußes zu ermitteln. Im Gegensatz zu den in Aachen analysierten Maßen im unteren Umgang der Marienkirche müssen die großen Abmessungen an der Ingelheimer Pfalzanlage allerdings naturgemäß mit großen Ungenauigkeiten behaftet sein, so dass sie aufgrund der oben beschriebenen Grenzen der Methode zur Ermittlung des Fußmaßes ungeeignet sind. Da aber mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dass diese Abmessungen mit der 10- oder 12-füßigen Rute bemessen wurden, kann anstelle des Fußmaßes das Rutenmaß untersucht werden.

Im Diagramm von *Abb. 5* sind für die in *Abb. 4* eingezeichneten und in *Tab. 1* aufgelisteten großen Abmessungen – am Halbkreisbau unter Berücksichtigung der Innenradien der drei halbrunden Fundamentmauern – die Prozentwerte der *mittleren relativen Differenz* d als Kurve über die Rutenmaße innerhalb einer Spanne zwischen 2,5 und 5 m dargestellt.⁵⁶ Dieser Bereich deckt zwischen dem kleinsten und dem größten denkbaren Fußmaß sowohl die 10- wie auch die 12-füßige Rute ab. Da d theoretisch Werte zwischen 0 und 50 % annehmen kann, würden sich die Werte von d mit zunehmender Anzahl n der Abmessungen A_i einem mittleren Wert von 25 % annähern, sofern die Längen der Abmessungen A_i zufällig verteilt wären. In *Abb. 5* schwankt die Kurve dementsprechend um die 25 %-Linie. Nahe bei 2,88 m zeigt sie ein ganz auffälliges Minimum. Im Diagramm von *Abb. 6* wurde die gleiche Berechnung mit den Außenradien der drei halbrunden Fundamentmauern durchgeführt. Hier ist kein annähernd so markantes Minimum zu erkennen.

Tab. 1: Die großen Abmessungen an der Ingelheimer Pfalzanlage (1 Fuß = 28,80 cm)

Abmessung	Istmaß (m)	Sollmaß (Fuß)	Sollmaß (m)	Ist – Soll (cm)
rechteckiger Bezirk:				
Nord-Süd-Ausdehnung (Mittelwert 101,05 m und 101,30 m):	101,175	350	100,80	37,5
Ost-West-Ausdehnung:	92,40	320	92,16	24,0
Halbkreisbau:				
Innendurchmesser innere Fundamentmauer:	51,75	180	51,84	–9,0
Innendurchmesser mittlere Fundamentmauer:	63,40	220	63,36	4,0
Innendurchmesser äußere Fundamentmauer:	86,45	300	86,40	5,0
Außendurchmesser innere Fundamentmauer:	53,60			
Außendurchmesser mittlere Fundamentmauer:	65,15			
Außendurchmesser äußere Fundamentmauer:	88,40			

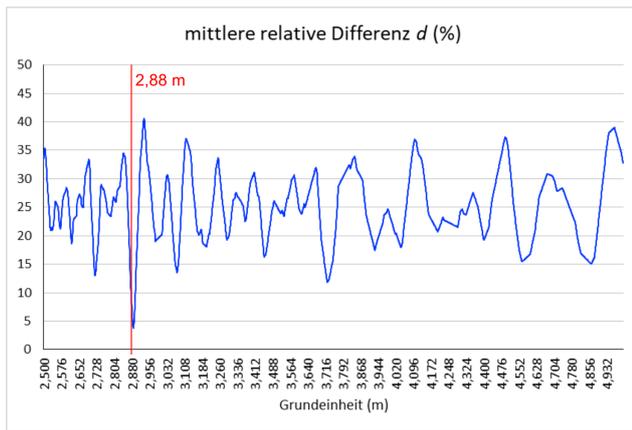


Abb. 5: Mittlere relative Differenz der Abmessungen von Tab. 1 mit den Innendurchmessern des Halbkreisbaus

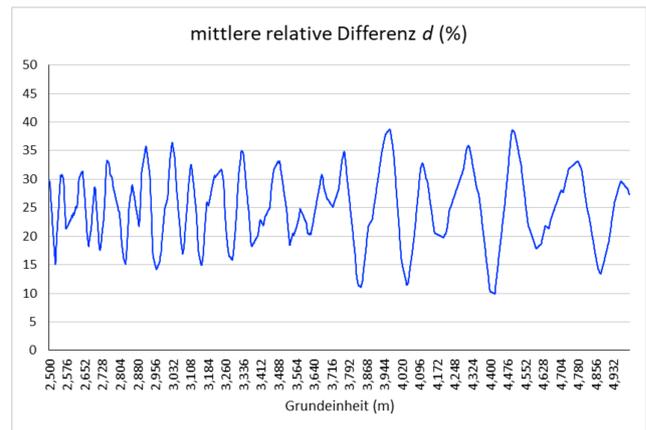


Abb. 6: Mittlere relative Differenz der Abmessungen von Tab. 1 mit den Außendurchmessern des Halbkreisbaus

Dass die halbkreisförmigen Mauern nicht nach ihrer Außenseite, sondern nach der Innenseite bemessen wurden, lässt sich auch aus baupraktischen Überlegungen begründen. Um die Mauern richtig auszurunden, musste man, während die Steine gesetzt wurden, den Abstand zum Kreismittelpunkt permanent nachmessen, und das ließ sich von der Innenseite aus an der Mauerinnenkante viel einfacher durchführen als über die Mauer hinweg an der Außenkante. Dies musste notwendigerweise bereits am Fundament geschehen. An einer geraden Mauer war es dagegen möglich, erst die aufgehende Mauer exakt zu bemessen, das Fundament jedoch, wenn der Fundamentgraben richtig angelegt war und man zur Kompensation von Ungenauigkeiten einen gewissen Fundamentüberstand vorsah, nur nach Augenmaß auszurichten.

Bei der ca. 2,88 m langen Rute handelt es sich offenbar um die 10-füßige Rute eines ca. 28,8 cm langen Fußmaßes. Eine Rute mit einer höheren Fußzahl, etwa die 12-füßige Rute, scheidet aus, da sie auf eine zu kurze Fußlänge führen würde. Unwahrscheinlich, aber theoretisch denkbar wären Längen von 9 Fuß zu ca. 32 cm oder 8 Fuß zu ca. 36 cm. Diese Fußmaße scheidet jedoch aus, da die verschiedenen Abmessungen am Halbkreisbau außerhalb des 10-Fuß-Moduls, die weiter unten näher besprochen werden, eindeutig dem ca. 28,8 cm langen Fuß folgen; außerdem liegt das ca. 36 cm lange Maß bereits oberhalb der gebräuchlichen Fußlängen.

Das Minimum der Kurve in Abb. 5 liegt etwas oberhalb von 2,88 m. Wir rechnen in der Folge trotzdem mit einer Fußlänge von 28,80 cm: Dieses genaue Maß ergibt sich, wenn wir die Summe der drei Innenradien des Halbkreisbaus durch die Summe der zugehörigen Fußzahlen (Tab. 1) teilen. Die Abmessungen des rechteckigen Bezirks wurden nicht in diese Rechnung einbezogen, da der Halbkreisbau sicherlich in einem Zug erstellt wurde und an ihm deshalb eine genauere Umsetzung des Werkmaßes zu erwarten ist als an den von verschiedenen Gebäuden definierten Grenzen des rechteckigen Bezirks. Den in Tab. 1 für die verschiedenen Abmessungen eingetragenen Rechenwerten liegt dieses Fußmaß zugrunde. Die dritte Spalte gibt die aus den Fußzahlen und dem Fußmaß errechneten Sollmaße wieder, die vierte Spalte die Differenz zwischen der tatsächlichen Abmessung (Istmaß) und diesem Sollmaß.

Im Plan von Abb. 4 sind die Baufluchten (rot) maßstabsgerecht eingezeichnet. Der rechteckige Bezirk misst in Nord-Süd-Richtung 350 Fuß; gegenüber dem tatsächlichen Maß (Mittelwert) ist das Sollmaß um 37,5 cm zu kurz. Um 24 cm unter dem Sollmaß liegt die 320 Fuß lange Ost-West-Ausdehnung. Unter Berücksichtigung der großen Dimensionen und des Umstands, dass zwischen der Vermessung des Pfalzbezirks und der Errichtung einzelner Gebäude, die hier dessen Grenzen bilden, ein zeitlicher Abstand anzunehmen ist, sind diese Diskrepanzen nicht überraschend.

Außerordentlich genau ist das Sollmaß dagegen an den drei halbkreisförmigen Fundamentmauern des Halbkreisbaus umgesetzt. Die Innendurchmesser weichen lediglich zwischen 4 und 9 cm vom Sollmaß ab. Der Innenradius an der Fundamentmauer unter den Säulen des Säulengangs wurde auf 90 Fuß festgelegt; entsprechend beträgt der Innendurchmesser des halbkreisförmigen Hofes 180 Fuß. Dieses Maß hat

anscheinend auch die Positionen des – am Halbkreisbau von Süden gezählt – zweiten und fünften Vorlagenturms bestimmt: Nach *Abb. 4* liegt der Mittelpunkt des südlichen der beiden Türme in der Verlängerung der südlichen Flucht einer im Halbkreisbau radial angelegten Trennwand. Sie trifft an der Stelle auf die innere Kontur der äußeren Fundamentmauer, wo sich diese mit einer im Abstand von 90 Fuß zur mittleren Längsachse angelegten Parallele schneidet. Die Innenradien und Innendurchmesser an den beiden nach außen anschließenden Fundamentmauern betragen 110 und 220 Fuß sowie 150 und 300 Fuß. Die Breite des Säulengangs war demnach mit 20 Fuß, die Breite des nach außen anschließenden Gebäudetrakts mit 40 Fuß vorgesehen, jeweils gemessen an den Mauerinnenseiten. Weitere Abmessungen am Halbkreisbau, auf die weiter unten näher eingegangen wird, wurden ebenfalls als Vielfache von 10 Fuß festgelegt und bestätigen damit das ermittelte Rutenmaß.

In engem baulichem Zusammenhang mit dem Halbkreisbau steht der der Nordflügel. Seine Südmauer steht in der Verlängerung der äußeren Mauer des halbrunden Säulengangs. Das Außenmaß des Querbaus beträgt in Nord-Süd-Richtung 90 Fuß, so dass seine Nordseite 200 Fuß von der mittleren Symmetrieachse entfernt zu liegen kommt. Für das Ost-West-Maß wären 60 Fuß – $\frac{2}{3}$ des Nord-Süd-Maßes – plausibel. Nach dem Plan von *Abb. 4* scheint es aber zu kurz geraten zu sein. Allerdings ist die genaue Position der Westwand des vorspringenden Gebäudeteils nicht gesichert. Die im Plan rekonstruierte Nordwestecke liegt deutlich näher am Altan als die Nordostecke; bei gleichem Abstand würde sich das 60-Fuß-Maß tatsächlich ungefähr ergeben. Für den vermuteten Säulengang westlich des Querbaus gilt ebenfalls das am Halbkreisbau festgestellte Maß von 20 Fuß, jeweils an den Mauer Südseiten gemessen; zur Außenseite der Nordmauer ergibt sich damit ein Abstand von 45 Fuß.⁵⁷

Dem Saalbrunnen im Zentrum der Pfalz wird als „Palastbrunnen“ eine Lage exakt auf der mittigen Symmetrieachse des Grundrisses zugeschrieben.⁵⁸ Nach älteren Vermessungsplänen ist das so;⁵⁹ nach der neuen Vermessung liegt er jedoch etwas nördlich der Mittelachse (*Abb. 4*). Damit wird fraglich, ob ihm im Rahmen des Grundrisskonzepts eine entscheidende Bedeutung zukommt; möglicherweise war eine nur ungefähr zentrale Lage beabsichtigt.

Im Zusammenhang mit der 320 Fuß langen Ost-West-Ausdehnung des rechteckigen Bezirks ist zu fragen, aus welchem Grund dieser nicht als Quadrat, sondern als Rechteck angelegt wurde. Es fällt auf: Erweitert man ihn im Osten in der gesamten, 350 Fuß messenden Nord-Süd-Ausdehnung um einen Halbkreis mit dem Radius 175 Fuß, dann beschreibt diese Figur nicht exakt, aber doch ungefähr die Gesamtausdehnung des Pfalzbezirks. Der Halbkreisbau wurde im Rahmen des Vermessungskonzepts sicherlich deswegen gegenüber dem rechteckigen Bezirk eingezogen, um den Platz für die Türme freizuhalten. Diese sollten idealerweise den Raum zwischen diesem äußeren Halbkreis und der Außenkontur des Halbkreisbaus einnehmen; schließlich wurden sie aber so ausgeführt, dass sie den äußeren Halbkreis etwas überragen. Es ist deshalb anzunehmen, dass das Rechteck – das im Norden und Süden ebenfalls vom Vorsprung des Querbaus und den Apsiden der *Aula Regia* und des kleinen Apsidenbaus überragt wird – und der ihm im Osten in der gesamten Ausdehnung vorgesetzte Halbkreis bei der Ausmessung des Pfalzbezirks in etwa den zu bebauenden Raum vorgeben sollten. Dessen Gesamtlänge in Ost-West-Richtung beträgt dann: 320 Fuß + 175 Fuß = 495 Fuß. Damit ist das Verhältnis zwischen dem Ost-West- und dem Nord-Süd-Maß – fast exakt – auf $\sqrt{2}$ festgelegt worden: $350 \times \sqrt{2} = 494,975$. Das 495 Fuß lange Maß bildet also praktisch die Diagonale eines Quadrats mit einer Seitenlänge von 350 Fuß (*Abb. 4*). Das Längenverhältnis der beiden Strecken – 495 : 350 – entspricht dem Verhältnis 99 : 70, einer fast perfekten Näherung für $\sqrt{2}$, mit der nach der Vermutung von Helge Svenshon auch das Grundquadrat zwischen den Pfeilern unter der Kuppel der Hagia Sophia bemessen wurde.⁶⁰

Wir haben nun an der Ingelheimer Pfalz ein Fußmaß festgestellt, das mit 28,80 cm dem 28,54 cm langen Aachener Maß zwar nahekommt, sich von ihm aber doch merklich unterscheidet. Es stellt sich die Frage nach dem Verhältnis der beiden Maße. Der Ingelheimer Pfalzbezirk wurde zeitlich vor dem Bau der Marienkirche ausgemessen. Falls der 28,54 cm lange Fuß zu diesem Zeitpunkt im Karolingerreich bereits gebräuchlich gewesen sein sollte, dann ergibt sich eine mögliche Erklärung aus dem verwendeten Messmittel: Die großen Abmessungen des rechteckigen Bezirks und die Halbkreise wurden aufgrund der großen Dimensionen wahrscheinlich mit der Messleine ausgemessen. Auf die schlechte Maßhaltigkeit solcher Messleinen wurde bereits hingewiesen.⁶¹ So könnte in Ingelheim das gewollte Werkmaß tatsächlich

dem Aachener bereits gleich gewesen sein, das verwendete Seil jedoch – vielleicht nach langem Gebrauch bereits gedehnt – unter Spannung ein deutlich größeres Maß ergeben haben. Dann müssten kleinere, mit dem Messstab bemessene Abmessungen das kürzere, 28,54 cm lange Maß zumindest in größerer Genauigkeit zeigen. Allerdings konnten sogar die an einem Gebäude verwendeten Messstäbe gewisse Längendifferenzen aufweisen, so dass zwischen den verschiedenen Bauabschnitten in der Länge des Fußmaßes Variationen festgestellt werden können.⁶² Das Problem mangelhafter Eichung der Messmittel bestand bis in jüngste Zeit: Die *Deutsche Bauzeitung* berichtete 1881 unter der Rubrik „Vermischtes“, auf einem Neubau in Berlin seien die Maßstäbe der Zimmerer und Maurer – rohe, selbst angefertigte Latten – konfisziert worden, weil sie nicht geeicht gewesen seien.⁶³

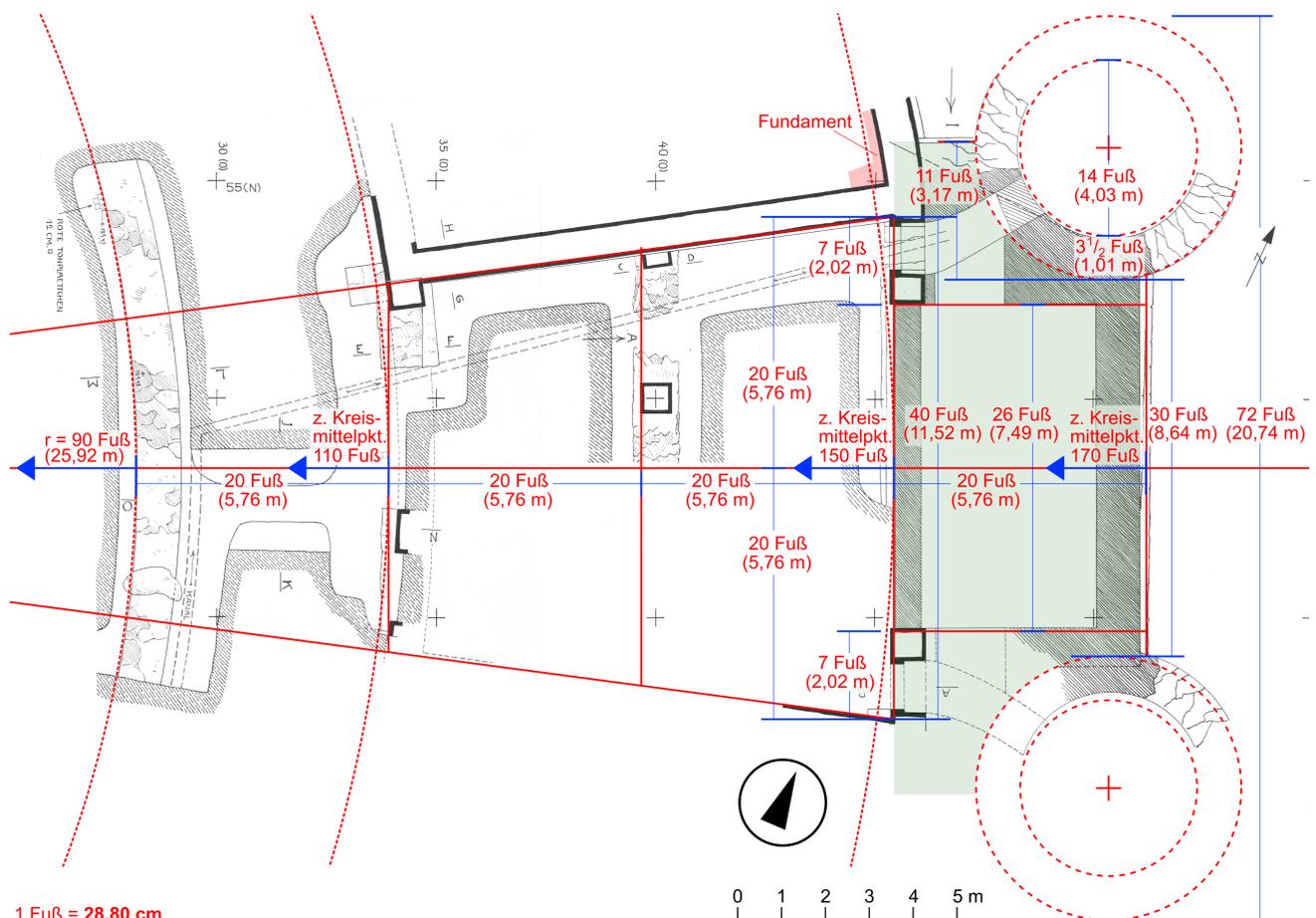
Angesichts des doch deutlichen Längenunterschieds halte ich es jedoch für wahrscheinlicher, dass wir mit der in Ingelheim festgestellten Fußlänge einen Vorgänger des in Aachen festgestellten Maßes vor uns haben, der spätestens im Zusammenhang mit den um 792/93 fassbaren Reformaktivitäten auf dem Gebiet des Maßwesens auf dessen Länge normiert wurde. In diesem Fall haben wir damit zu rechnen, dass bei Bauten, die erst im zeitlichen Abstand zur Erstvermessung des Pfalzbezirks errichtet wurden, die spätere, etwas kürzere Maß verwendet wurde.

Wie oben beschrieben, bestehen am Gebrauch des drusianischen Fußes (33,3 cm) in karolingischer Zeit wenig Zweifel. Die Nord-Süd-Ausdehnung (Mittelwert 101,175 m) würde mit einem in der Länge etwas erhöhten drusianischen Fuß (33,73 cm) rechnerisch einem runden Maß von 300 Fuß entsprechen. Als Planungsmaß des Ingelheimer Pfalzbezirks scheidet der drusianische Fuß jedoch aus, da er an den übrigen Abmessungen keine plausiblen Maßzahlen ergibt. Bei den 300 drusianischen Fuß oder 350 Fuß des kürzeren Maßes (Längenverhältnis 6 : 7) könnte es sich um eine Größe aus der karolingischen Feldmessung handeln. Ein 350 Fuß langes Maß hätte den Vorteil, dass die Diagonalenlänge eines Quadrats mit dieser Seitenlänge, wie oben gezeigt, nach der Näherung 99 : 70 mit 495 Fuß fast exakt ganzzahlig ist. Möglicherweise wurde die erstaunlich präzise Rechtwinkligkeit der Ingelheimer Anlage (*Abb. 4*) unter Zuhilfenahme dieser Formel hergestellt.

Der Halbkreisbau

Der Torbau bildet mit den nördlich und südlich anschließenden Trakten des Halbkreisbaus eine planerische Einheit. *Abb. 7* zeigt den Grabungsbefund nach den Ergebnissen der von Christian Rauch 1909–1914 durchgeführten Grabungen.⁶⁴ Die Bauchfluchten (rot) wurden ebenfalls, wie auch in den weiteren Abbildungen, maßstabsgerecht eingezeichnet, hier auf der Grundlage des 28,80 cm langen Fußmaßes. Die in Klammern gesetzten metrischen Maße bezeichnen – auch in den folgenden Abbildungen – die aus den Fußmaßen errechneten Sollmaße, von denen die tatsächlichen Baumaße (Istmaße) in der Regel etwas abweichen. Auf der Mittelachse der Pfalz zeigt sich von West nach Ost eine Staffelung wesentlicher Baufluchten in 20-Fuß-Schritten: Die Verbindungslinie zwischen den Innenseiten der beiden Vorlagen, die im Norden und Süden den Westabschluss der Pfeilerhalle markieren, ist von der Innenkante der Fundamentmauer unter den Säulen 20 Fuß entfernt. Nach der modernen Rekonstruktion, wie sie auch vor Ort verwirklicht ist (*Abb. 2*), bildet hier die Vorderseite der drei zur Pfeilerhalle aufsteigenden Stufen tatsächlich entsprechend der in *Abb. 7* eingezeichneten Linie eine gerade Flucht aus. Die Innenseiten der mittleren Pfeiler, das östliche Ende der trapezförmigen Grundfläche auf Höhe der äußeren Wand des Halbkreisbaus sowie die Front der Außenmauer zwischen den beiden östlichen Flankierungstürmen folgen in 20-Fuß-Schritten.

Die nach dem 28,80 cm langen Fußmaß eingezeichnete Bauflucht liegt allerdings etwas östlich der Außenfront im Bereich des Fundamentvorsprungs. Mit dem 28,54 cm langen Fuß würde sich hier eine fast exakte Übereinstimmung mit der Wand ergeben. Dies würde dafür sprechen, dass zwar die großen Abmessungen und die Radien mit einer – vielleicht alten und überdehnten – Messleine festgelegt wurden, die ein etwas verlängertes Fußmaß vorgab, die in kürzerem Abstand angelegten Fluchten des Torbaus dagegen mit einem maßhaltigen Messstab nach dem 28,54 cm langen Fuß. Der Befund reicht jedoch nicht aus, diese Vermutung zu beweisen; er könnte gleichermaßen auch durch eine etwas ungenaue Bauausführung zustande gekommen sein.



1 Fuß = 28,80 cm

Abb. 7: Der Ausgrabungsbefund an der Pfeilerhalle nach Christian Rauch

Die Ostseite der trapezförmigen Grundfläche liegt 150 Fuß östlich des Mittelpunkts des Halbkreisbaus. Sie ist zwischen den Ecken genau 40 Fuß lang. Dieses Maß kann kein Zufall sein! Es ermöglicht uns, den Vermessungsvorgang zu rekonstruieren, mit dem der Grundriss der Pfeilerhalle festgelegt wurde. Von der Innenkontur der Fundamentmauer unter den Säulen, die – wie oben beschrieben – im Radius von 90 Fuß um den Kreuzungspunkt der Hauptachsen gezogen worden war, wurden auf der Mittelachse nach Osten im Abstand von jeweils 20 Fuß Orthogonalen angelegt, die die Nord-Süd-Fluchten des Torbaus bestimmten. Auf der vom Kreuzungspunkt 150 Fuß entfernten Orthogonalen steckte man im Abstand von jeweils 20 Fuß nach Norden und Süden die östlichen Ecken der trapezförmigen Grundfläche ab. Schnüre, die von diesen Ecken zum Kreuzungspunkt gespannt wurden, legten den Verlauf der Seitenwände der Pfeilerhalle fest.

Nach dem Plan von Abb. 7 schließen die aufgehenden Mauern des Halbkreisbaus mit ihren Innenseiten an die Fluchten der Pfeilerhalle an. Diese Geometrie hat zur Folge, dass ihre Innenradien größer werden als die an den Fundamentmauern mit 110 Fuß und 150 Fuß festgestellten Radien, nämlich ca. 111,0 Fuß und ca. 151,3 Fuß.⁶⁵ Dieses Problem wurde anscheinend dadurch gelöst, dass man hier die Mauern oberhalb des Fundaments entsprechend nach außen rückte. In Abb. 7 ist an der äußeren Mauer nördlich der Pfeilerhalle nach dem modernen Ausgrabungsplan⁶⁶ das Fundament eingezeichnet, das gegenüber der Mauer nach Westen deutlich vorspringt.

Abb. 8 zeigt den Ausgrabungsbefund am südlichen Ende des Säulengangs.⁶⁷ Die Westseite ist im Plan unten. Die in der oberen linken Ecke eingezeichnete Säulenbasis ist eine der entscheidenden archäologischen Entdeckungen in Ingelheim: Sie wurde am 8. April 1914 von Christian Rauch *in situ* gefunden und lieferte den sicheren Nachweis für die Existenz des Säulengangs.⁶⁸ Die quadratischen Plinthen der Säulen saßen auf einem bandförmigen, $0,70 \text{ m} \cong 2\frac{1}{2} \text{ Fuß}$ (0,720 m) breiten Sockel auf. Er war deutlich schmaler als das Fundament. Die Breite des Säulengangs, gemessen an den Fundamentinnenseiten, überscheit

hier das 20-Fuß-Maß etwas (ca. 7 cm). Dieses Übermaß entspricht der Beobachtung, dass der Durchmesser der Fundamentmauer unter den Säulen um 9 cm unter dem Sollmaß, der Durchmesser der mittleren Mauer des Halbkreisbaus jedoch um 4 cm darüber liegt (Tab. 1). Der Abstand zwischen der Innenseite des bandförmigen Sockels und dem äußeren Fundament wurde dann jedoch fast exakt mit 20 Fuß hergestellt.

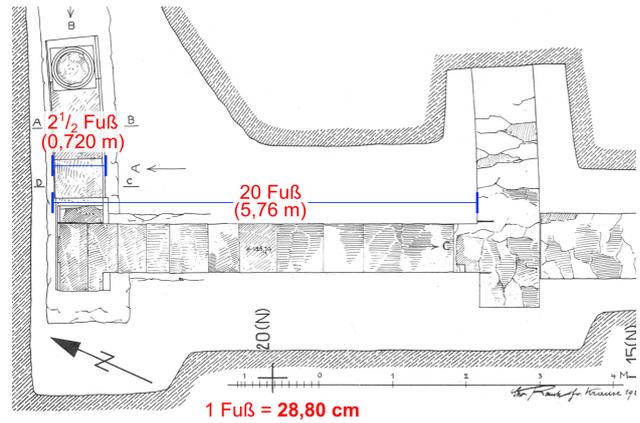


Abb. 8: Das südliche Ende des Säulengangs

Betrachten wir nun die östlichen Teile des Torbaus (Abb. 7): Östlich der trapezförmigen Grundfläche beträgt die lichte Raumbreite 26 Fuß. Die Wände an der Westseite der im Norden und Süden anschließenden Mauerkörper sind bis zu den Ecken der trapezförmigen Grundfläche jeweils 7 Fuß lang. In ihnen befinden sich zwei Seitenportale, von denen Gänge zu den Innenräumen der beiden Türme führten. Abb. 9 zeigt das nördliche Portal.⁶⁹ Unter dem 2 Fuß tiefen Sturz (Abb. 9 rechts) wird das Gewände auf der westlichen Portalseite durch jeweils 1 Fuß tiefe steinerne Türpfosten gebildet. Hinter ihnen ist das Portal 4 Fuß breit; der Abstand zur südlichen Wandseite beträgt 2 1/2 Fuß. Zwischen den Pfosten reduziert sich die Breite auf 3 1/2 Fuß; dem entspricht fast exakt das angegebene Maß von 1,00 m.⁷⁰ Aus diesem Breitenmaß ergeben sich die 3/4 und 2 3/4 Fuß großen Abstände zu den Wanddecken. Das Portal ist oberhalb der heutigen, restaurierten Schwelle 7 Fuß hoch.

Die Außenfront liegt 170 Fuß vom Mittelpunkt des Halbkreisbaus entfernt (Abb. 7). Die beiden den Torbau flankierenden Türme wurden mit einer Mauerstärke von 3 1/2 Fuß und einem Innendurchmesser von 14 Fuß geplant, entsprechend einem Außendurchmesser von 21 Fuß. Sie wurden so platziert, dass ihre Außenkonturen zueinander im Abstand von 30 Fuß zu liegen kamen. Die Außenseite der Türme sind 72 Fuß voneinander entfernt.

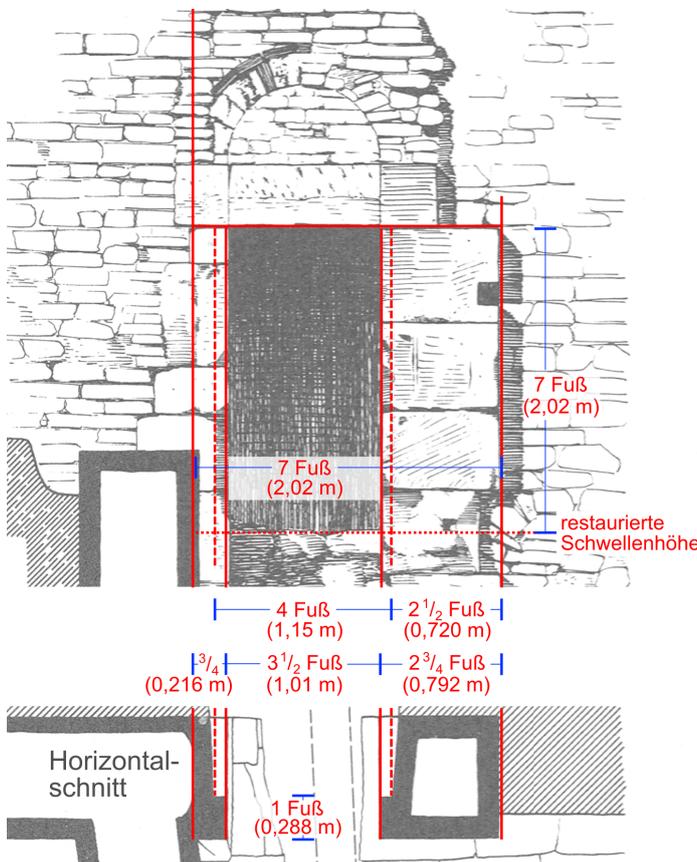
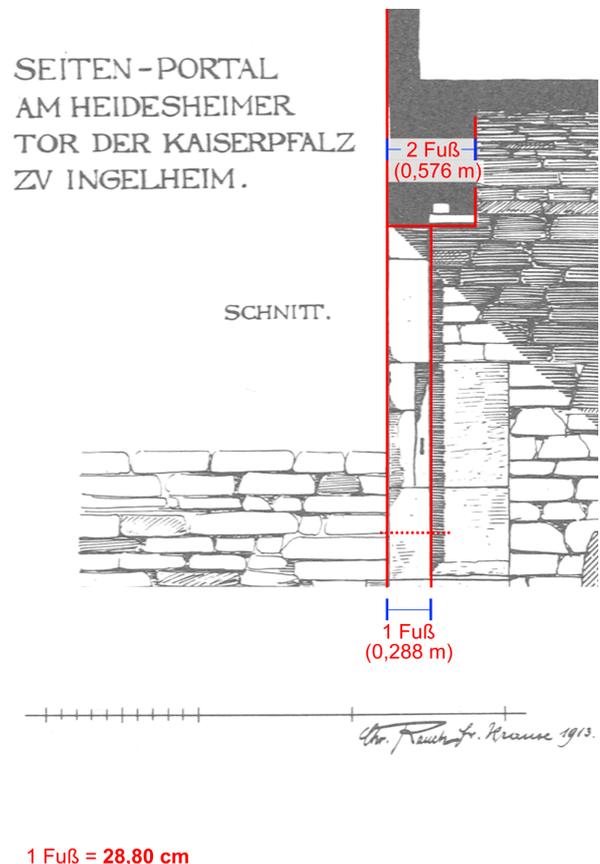


Abb. 9: Das nördliche Seitenportal der Pfeilerhalle



1 Fuß = 28,80 cm

Die Türme am Torbau sind im Durchmesser etwas größer als die restlichen Vorlagetürme ausgeführt. An den beiden in den unteren Mauerlagen noch erhaltenen Türmen der Südseite misst die Mauerstärke nur 3 Fuß, wodurch das Außenmaß auf glatte 20 Fuß reduziert ist. In *Abb. 10* ist der Ausgrabungsbefund des nördlichen der beiden Türme wiedergegeben.⁷¹ Der Außendurchmesser ist hier in bemerkenswerter Genauigkeit umgesetzt. Der Abstand des Turmmittelpunkts zur Innenkontur der Außenmauer des Halbkreisbaus beträgt ungefähr 20 Fuß. Wie schon im Zusammenhang mit *Abb. 4* besprochen, liegt er genau in der Verlängerung der südlichen Flucht einer im Halbkreisbau radial angelegten Trennwand. Der 20 Fuß große Durchmesser war vielleicht zunächst auch für die Türme am Torbau vorgesehen gewesen. Der Abstand ihrer Außenseiten hätte dann glatte 70 Fuß betragen. Die Verbindungswand zwischen Halbkreisbau und Nordturm, jetzt von der an dessen Südseite angelegten Tangente 11 Fuß entfernt (*Abb. 7*), wäre dann wohl analog zur Turmnordseite um 1 Fuß weiter südlich, also mit 10 Fuß Abstand zur betreffenden Tangente angelegt worden, genau auf Höhe des Turmmittelpunkts. Mögliche Gründe für die Erhöhung der Mauerstärke an den beiden Flankierungstürmen werden weiter unten besprochen.

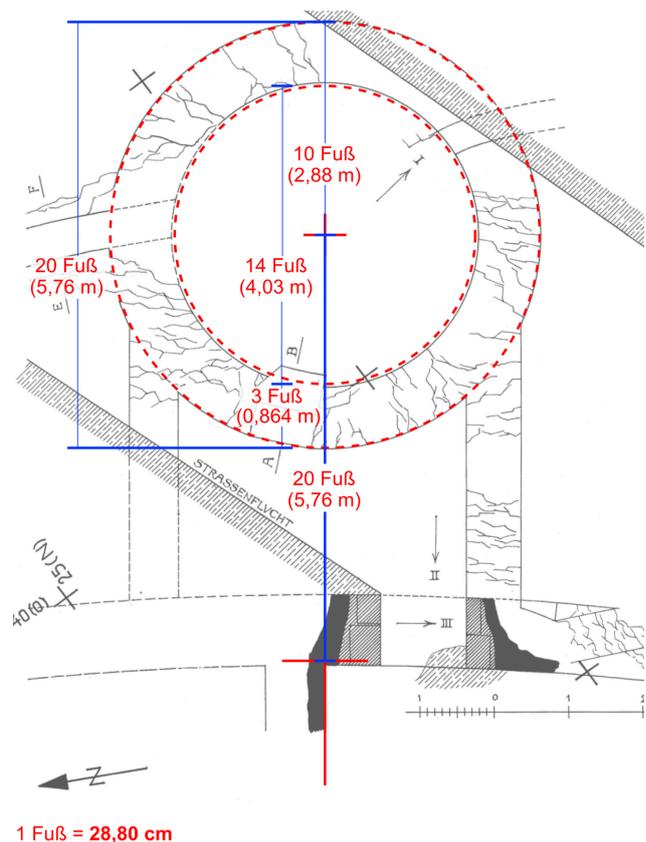


Abb. 10: Der nördliche Außenturm auf der Südseite

Am Torbau und an den Türmen erweisen sich die meisten großen Abmessungen wiederum als Vielfache von 10 Fuß. Sie bestätigen damit das am Grundriss der Gesamtanlage erarbeitete Ergebnis. +Dass das 10-füßige Rutenmaß nicht in 9 Fuß zu ca. 32 cm oder 8 Fuß zu ca. 36 cm unterteilt war, zeigt sich an den übrigen Abmessungen: Auch sie lassen sich mit dem 28,80 cm langen Fuß sehr gut wiedergeben. Sie in der gezeigten Weise mit den beiden anderen Fußmaßen darstellen zu wollen, würde in vielen Fällen auf keine plausiblen Maßzahlen führen.

Die Ermittlung des Werkmaßes und der Maßzahlen ist kein Selbstzweck. Neben der metrologischen Relevanz erlauben die gefundenen Maßzahlen auch Rückschlüsse auf die Planung und – wie an der Pfeilerhalle gezeigt – den Vermessungsvorgang. Das am Torbau festgestellte Planungskonzept hilft uns bei der Beurteilung des Verhältnisses der verschiedenen Teile: Zentrales Element ist die Pfeilerhalle, die in Ost-West-Richtung und – am größten Breitenmaß auf der Ostseite – in Nord-Süd-Richtung das gleiche Maß von 40 Fuß erhalten hat. Ihr sind, in Ost-West-Richtung jeweils mit 20 Fuß bemessen, im Westen der Säulengang und im Osten der rechteckige, in *Abb. 7* grün unterlegte Baukörper vorgelagert. Wie der Säulengang stellt er gegenüber der Pfeilerhalle ein eigenständiges Planungselement dar. Die massiven Mauerkörper, die im Norden und Süden den Raum zwischen der Pfeilerhalle, den angrenzenden Trakten des Halbkreisbaus und den Türmen ausfüllen, lassen sich nur erklären, wenn man sie als Widerlager einer Überwölbung des in Nord-Süd-Richtung 26 Fuß breiten lichten Raums auffasst. Andernfalls hätte man den Anschluss der Türme durch jeweils zwei einfache Mauern herstellen können, die einen nördlich und südlich des 26 Fuß breiten Raums, die anderen zwischen den Türmen und der halbkreisförmigen Außenwand, ähnlich wie das auch bei den anderen Vorlagetürmen (*Abb. 10*) gemacht wurde. Die beiden Mauerkörper wurden in ihrer statischen Funktion durch die Türme unterstützt. In welcher Höhe das Gewölbe angelegt wurde, ist nicht mehr zu ermitteln.

Das Ingelheimer Pfalzmodell fasst diesen Baukörper mit der Pfeilerhalle zu einem einheitlichen Bau zusammen, dessen Front die Türme übergreift (siehe *Abb. 1*). Diese Lösung hätte eine statisch nicht unprob-

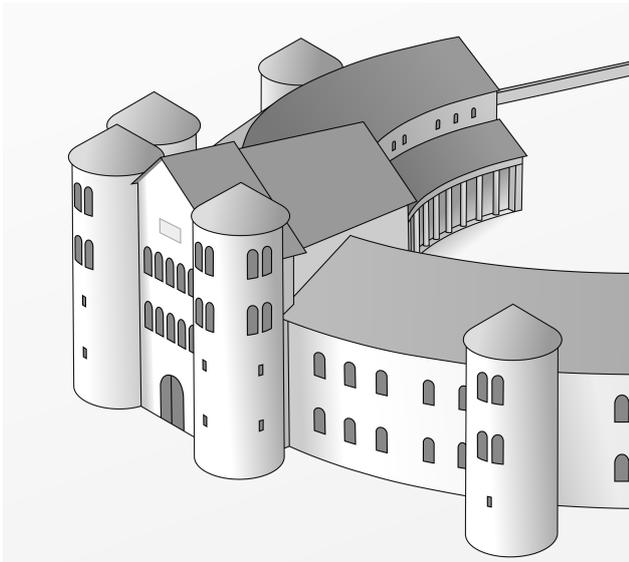


Abb. 11: Heidesheimer Tor: Variante mit hohem Giebel

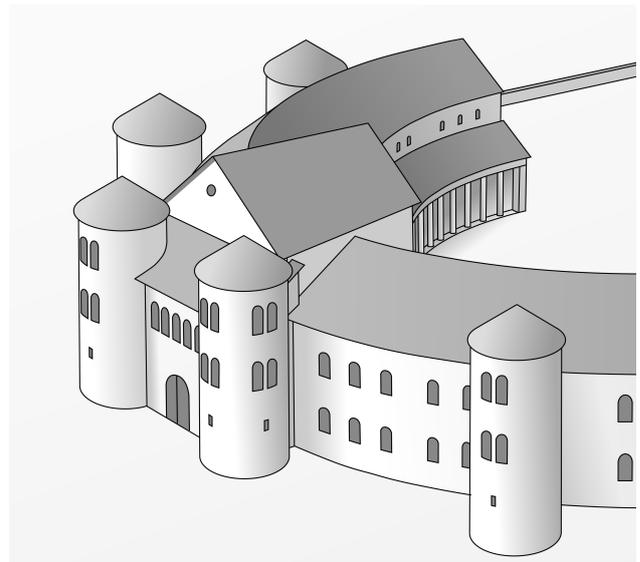


Abb. 12: Heidesheimer Tor: Variante mit Pultdach

lematische Gewölbeunterstützung der aufliegenden Mauern im Inneren der Türme erfordert und ist deshalb in konstruktiver Hinsicht ein Unding. In statischer Hinsicht problemlos machbar wäre dagegen ein Rekonstruktionsversuch von Holger Grewe gewesen, nach dem die östlichen Gebäudeecken so abge-schrägt waren, dass die Abschrägungen über die Turmmauern geführt werden konnten.⁷² Da der den Halb-kreis nach Osten überragende Teil des Torbaus im Grundriss einen eigenständigen Bezirk ausbildet und er durch das Gewölbe auch im inneren Aufbau von der Pfeilerhalle verschieden ist, halte ich es für plau-sibler, dass er gegenüber dieser auch in der äußeren Architektur abgesetzt war. Wie dies genau aussah, lässt sich nicht mehr feststellen. In *Abb. 11* und *Abb. 12* sind zwei Möglichkeiten illustriert. Bei der Vari-ante von *Abb. 11* ist der Pfeilerhalle ein imposanter Giebelbau vorgesetzt, dessen Dach zu beiden Seiten von hohen Türmen überragt wird. Sie waren dann wahrscheinlich höher als die übrigen Vorlagetürme. Die Erhöhung der Mauerstärke an den Flankierungstürmen auf $3\frac{1}{2}$ Fuß kann aus diesem Grund erfolgt sein. Denkbar ist aber auch, dass sie deswegen erhöht wurde, weil die Türme im Zusammenwirken mit den beiden massiven Mauerkörpern dem Schub des zentralen Gewölbes entgegenwirkten. Die tatsächliche Dachhöhe des Torbaus ist allerdings ungewiss. Er kann auch deutlich niedriger gewesen sein als in *Abb. 11* gezeichnet, so dass sich sein Dach mit den Dächern der halbkreisförmigen Trakte schneidet. In diesem Fall konnten auch der vorgesetzte Giebelbau und die Türme entsprechend niedriger ausgeführt werden.

Die Variante von *Abb. 12* sieht an dem nach Osten vorspringenden Teils des Torbaus ein Pultdach und niedrigere Türme vor. Sie können in diesem Fall ebenfalls höher als die restlichen Türme oder, wie in der Zeichnung, gleich hoch gewesen sein. Bei dieser Dachkonstruktion saß die Giebelmauer der Pfeilerhalle auf der westlichen Seite des zentralen Gewölbes auf.

Die Fernwasserleitung und das Bassin

Die Pfalzanlage wurde mit fließendem Wasser versorgt, das von Osten durch eine ca. 7 km lange Fern-wasserleitung herangeführt wurde, wahrscheinlich aus den Karlsquellen bei Heidesheim.⁷³ Wie der Halb-kreisbau ist sie ohne zeitgenössische Parallele und folgt wie dieser dem römischen Vorbild; sie wurde deshalb lange Zeit für römisch gehalten.⁷⁴ Da durch die Türme ein Wasserkanal verlief (siehe *Abb. 10*), der mit dem karolingischen Mauerwerk im Verband hergestellt wurde,⁷⁵ fällt die Wasserversorgung in die gleiche Bauperiode wie der Halbkreisbau. *Abb. 13* zeigt eine Schnittzeichnung der Wasserleitung:⁷⁶ Sie besteht aus einem unterirdisch geführten, mit Kalkbruchsteinen gemauerten Kanal, dessen Rinne mit einem hydraulischen Mörtel (*opus signinum*) abgedichtet wurde. Nach oben wurde er mit einem Gewölbe geschlossen und anschließend mit Erde überdeckt.

Der Bau des Kanals war mit einem ungeheuren Aufwand verbunden: Das Volumen der Maurerarbeiten wird mit ca. 11 000 bis 14 000 m³ ungefähr gleich geschätzt wie bei den gesamten Gebäuden der Pfalz.⁷⁷ Dementsprechend muss auch die Zahl der zu den Bauarbeiten herangezogenen Arbeiter hoch gewesen sein. Um eine einheitliche Herstellung sicherzustellen, benötigten sie eine möglichst klare Ansage zu Bemessung der verschiedenen Abmessungen des Kanals. Sie lassen sich durch das 28,80 cm lange Fußmaß sehr gut darstellen.

Vor dem Hintergrund, dass bei diesem Bauwerk keine besonders hohen Ansprüche an die Maßhaltigkeit gestellt werden mussten, stimmt die in *Abb. 13* auf der Grundlage der Planungsmaße – angegeben im Fußmaß und dem umgerechneten metrischen Maß – gezeichnete Idealkontur gut mit den tatsächlichen Verhältnissen überein. Die Breite des Kanals war mit 1 1/2 Fuß = 1 cubitus (0,432 m) vorgesehen, die Höhe bis zum Gewölbeansatz mit dem doppelten Maß: 3 Fuß (0,864 m). Zusammen mit dem 1 Fuß hohen Gewölbe ergibt sich damit eine innere Gesamthöhe von 4 Fuß (1,15 m). Peter Haupt gibt die innere Breite und Höhe mit 0,43–0,45 m und ca. 1,10 m an.⁷⁸ Bei einer Höhe des Gewölbes von 1 Fuß ergibt sich bei einer ideal halbrunden Ausführung ein Gewölbedurchmesser von 2 Fuß, so dass die unterhalb des Gewölbes anschließenden Mauern zu beiden Seiten eine Stufe ausbilden. Ihr Zweck bestand offenbar darin, als Auflager für Querhölzer zu dienen, die ein einfaches Lehrgerüst zur Ausformung des Gewölbes trugen. Dieser Holzunterbau war sicherlich so konstruiert, dass er nach Herstellung eines Gewölbeabschnitts entfernt und wiederverwendet werden konnte. Die seitlichen Wangen des Kanals wurden direkt gegen die Wände der Baugrube gemauert, deren Breite vermutlich grob mit 4 Fuß (1,15 m) vorgegeben war. Tatsächlich bewegt sich das Außenmaß in einem Rahmen von 1,00–1,35 m.⁷⁹

Zur Wasserversorgung der Pfalz gehörte auch das früher als „Karlsbad“ bezeichnete Bassin südlich des Nordflügel-Querbaus, das vermutlich die Funktion eines Absetzbeckens hatte (*Abb. 14*). Das Bassin, dessen Boden und Sockel aus fein gearbeiteten roten, gelben und grauen Sandsteinplatten gebildet wird, ist 2,28 × 2,57 m groß,⁸⁰ das sind 8 × 9 Fuß. Mit einer Fußlänge von 28,80 cm wären das 2,30 × 2,59 m; das Sollmaß wäre also leicht im Untermaß umgesetzt. Mit dem 28,54 cm langen Fuß würde es dagegen den tatsächlichen Abmessungen zentimetergenau entsprechen.

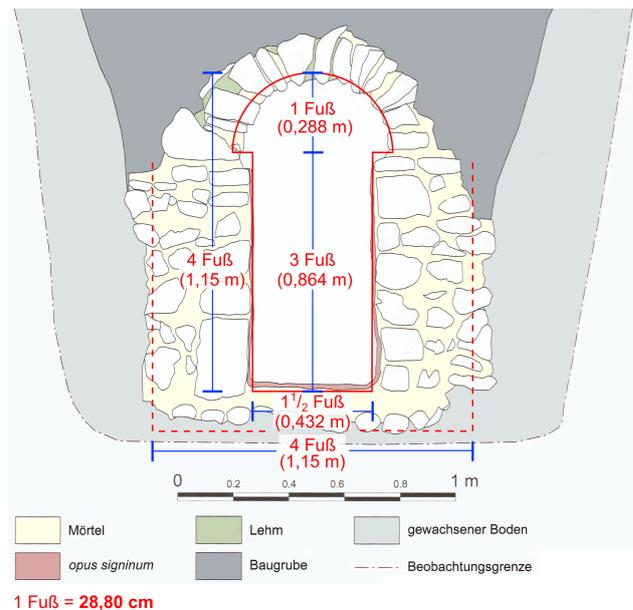


Abb. 13: Die Fernwasserleitung. Schnittzeichnung: Stadt Ingelheim, Radoslaw Myszka u. Juan Diego González Hernández 2016



Abb. 14: Das 8 × 9 Fuß große Bassin

Die Aula Regia

Die bisherige Untersuchung hat sich mit Abmessungen beschäftigt, die der ersten Bauperiode zuzuordnen sind: Der Halbkreisbau wurde sicher im Zusammenhang mit der Erstvermessung des gesamten Pfalzbezirks ausgemessen; auch die Wasserleitung muss angesichts des durch die Türme verlaufenden Kanals in diese Bauphase fallen. Dass das 28,54 cm lange Fußmaß gegenüber der etwas größeren Fußlänge am

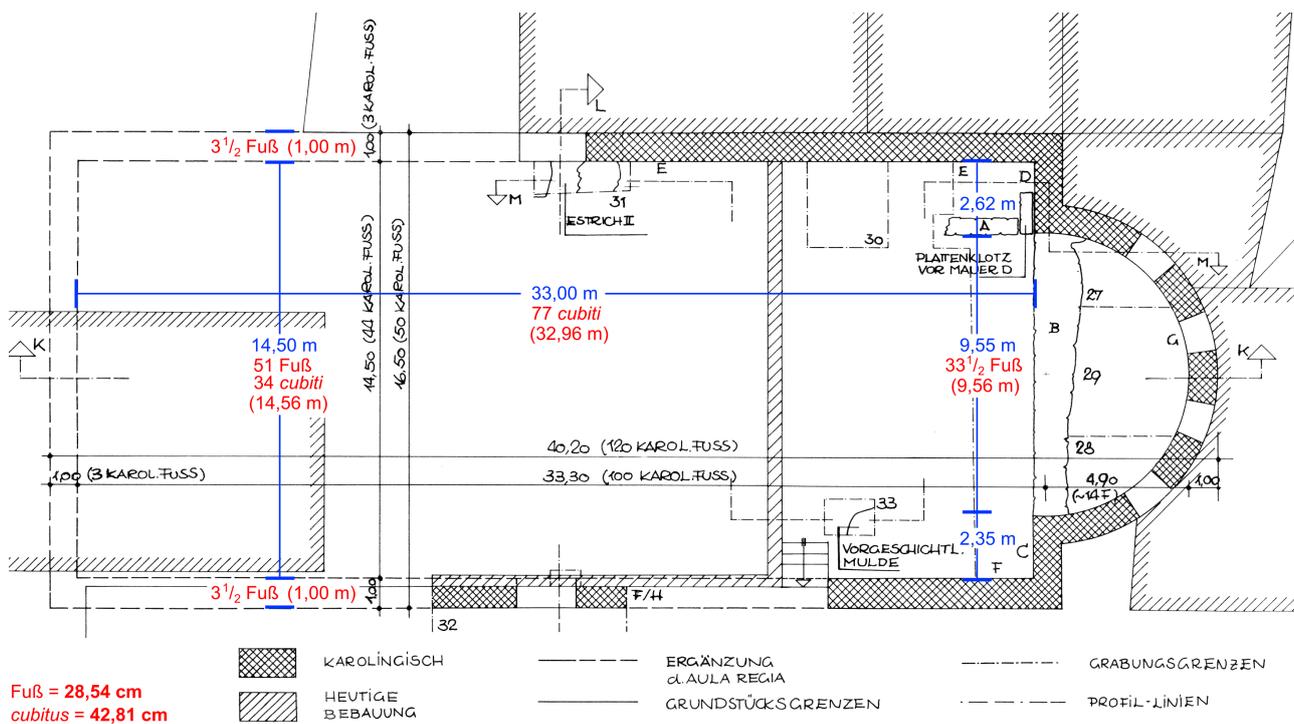


Abb. 15: Die Aula Regia nach dem „karolingischen Fuß“

Bassin eine noch exaktere Übereinstimmung mit dem Istmaß ergibt, könnte allerdings mit einer erst nachträglichen Herstellung zusammenhängen. Im Folgenden sollen zwei Bauten betrachtet werden, deren Errichtung nicht mehr notwendigerweise im zeitlichen Zusammenhang mit der Erstvermessung erfolgte.

Betrachten wir zunächst die *Aula Regia*: Der oben erwähnte Rekonstruktionsvorschlag geht von der Verwendung des „karolingischen Fußes“ aus, also des drusianischen Fußes zu 33,3 cm.⁸¹ Er basiert auf den Ergebnissen der 1960 bis 1970 unter der Oberleitung von Walter Sage durchgeführten Ausgrabungen. *Abb. 15* zeigt den rekonstruierten Grundriss mit den eingetragenen Maßen und den im „karolingischen Fuß“ sich ergebenden Maßzahlen.⁸² Die im „karolingischen Fuß“ rekonstruierten Planungsmaße sind in verschiedener Hinsicht problematisch. Bereits das mit 100 „karolingischen Fuß“ (33,30 m) angegebene „ideale“ innere Längenmaß des Saals ragt, da mit einer Länge von ca. 32,90 m gezeichnet ist, im Plan um ca. 40 cm in die Apsis hinein. Das mit 14,50 m und 16,50 m angegebene innere und äußere Breitenmaß ist gegenüber den Maßen im „karolingischen Fuß“ deutlich zu kurz: 44 Fuß wären 14,65 m, 50 Fuß 16,65 m. Die Wandabschnitte zu beiden Seiten der Apsis werden – im Plan von *Abb. 15* nicht eingezeichnet – mit 2,35 m oder 7 „karolingischen Fuß“ angenommen. Dieses Maß stimmt nur auf der Westseite mit der Realität überein. In *Abb. 15* sind die vor Ort abgenommenen Breitenmaße der Apsis und der beiden seitlichen Wandabschnitte blau eingetragen:⁸³ Diese sind unterschiedlich lang; die östliche Wand misst 2,62 m.

Das 28,80 cm lange Fußmaß lässt keine deutlichen Beziehungen zum Grundriss der *Aula Regia* erkennen. Dagegen ergeben sich mit der kürzeren, 28,54 cm langen Variante und deren 42,81 cm langem *cubitus* auffällige Übereinstimmgen. Die entsprechenden Maße sind in *Abb. 15* rot eingetragen. An der Apsis zeigt sich eine völlig überraschende Maßzahl: Die Breite von 9,55 m entspricht fast genau 33 $\frac{1}{2}$ Fuß zu 28,54 cm (9,56 m)! Das ist die Zahl der irdischen Lebensjahre Christi, die auch den Innendurchmesser des Oktogons der Aachener Marienkirche bestimmt (*Abb. 3*). An einem Profanbau irritiert diese Zahl. Da die um drei Stufen erhöhte Apsis der Platz des Königsthrons war, kann sie aber durchaus aus dem sakralen Charakter der Königsherrschaft Karls, nach den Worten Wolframs von den Steinen aus dem „Faktum, daß Karl der Große in den authentischen Zeugnissen, den eigenen wie denen seines Kreises, durchweg als Sachwalter einer höheren Instanz, als zeitlicher Vertreter des regierenden Königs Christus und als Vollzieher des von diesem Geforderten verstanden wird“, erklärt werden.⁸⁴ So ist durchaus möglich, dass bei der Bemaßung der Apsis tatsächlich der 28,54 cm lange Fuß verwendet wurde, verbunden mit der durch die Maßzahl vermittelten Symbolik. Die größte innere Breite zwischen den seitlichen Apsiden des Ingelheimer Trikonchus könnte ebenfalls mit 33 $\frac{1}{2}$ Fuß, vielleicht auch 33 Fuß geplant worden sein.⁸⁵

Allerdings sind hier wegen der nur spärlichen Fundamentreste Aussagen zum Planungsmaß mit erheblichen Unsicherheiten belastet.

Die beiden seitlichen Wandabschnitte führen mit $2,62 \text{ m} \cong 9 \frac{1}{4} \text{ Fuß}$ (2,64 m) und $2,35 \text{ m} \cong 8 \frac{1}{4} \text{ Fuß}$ (2,35 m) auf eine ganzzahlige Innenbreite von 51 Fuß (14,56 m). Denkbar wäre, dass man die innere Breite mit glatten 50 Fuß und die Mauerstärke mit 4 Fuß geplant hatte, diese dann aber auf $3 \frac{1}{2} \text{ Fuß}$ reduzierte, so dass sich das Innenmaß auf 51 Fuß erhöhte. Die unterschiedlichen Längen der Wandabschnitte zu beiden Seiten der Apsis können Folge der Schwierigkeit sein, die $33 \frac{1}{2} \text{ Fuß}$ breite Apsis rechnerisch korrekt in das 51 Fuß große Innenmaß einzumitten. Diese Überlegung bleibt jedoch unsicher. Da die Ostmauer der *Aula Regia* mit der westlichen Mauer des Nordflügels zumindest annähernd in einer Linie steht (*Abb. 4*), kann das Breitenmaß auch dadurch bestimmt worden sein, dass man bestrebt war, sie ungefähr in deren Verlängerung zu setzen. Fragen wirft auch die Breite der von Strigler beschriebenen Bogenstellung auf: Sie sollte eigentlich mit der *Aula Regia* fluchten, war jedoch mit 17,00 m deutlich breiter.⁸⁶ Angesichts dieser Unwägbarkeiten bleibt das ursprünglich vom Erbauer geplante Breitenmaß der *Aula Regia* unklar.

Ebenso unsicher ist das Planungsmaß für die Länge. Eine mögliche, allerdings unsichere Erklärung ergibt sich aus dem *cubitus*-Maß: Falls die 51 Fuß große Innenbreite tatsächlich in dieser Länge von Anfang an geplant war, könnte damit die Maßzahl des zugehörigen *cubitus*-Maßes – 34 *cubiti* (*Abb. 15*) – beabsichtigt gewesen sein. Die Zahl 34 wurde – wie die Zahlen $33 \frac{1}{2}$ und 33 – ebenfalls auf die Lebensjahre Christi bezogen. Man fragt sich natürlich, aus welchem Grund der Saal im Gegensatz zur Apsis nicht nach dem Fußmaß, sondern nach dem *cubitus* bemessen worden sein soll; trotzdem ist eine bewusst gewählte Symbolik auch hier nicht auszuschließen. Die Innenlänge des Saals, die im Plan von *Abb. 15* mit ca. 32,90 cm gezeichnet ist, betrug nach dem modernen Befundplan ca. 33,00 m.⁸⁷ Das entspricht recht genau dem zweiten Maß an der Aachener Marienkirche mit Bezug auf Christus, dem nach der Anzahl der Generationen von Adam bis Christus (Lc 3, 23–38) auf 77 *cubiti* (32,96 m) festgelegten Außendurchmesser (*Abb. 3*). Mittig an der Ost- und Westwand befanden sich zwei Portale, deren Breite mit 2,1 m angegeben wird.⁸⁸ Dem könnte ein Planungsmaß von 5 *cubiti* (2,14 m) zugrunde liegen, so dass für die Wandabschnitte nördlich und südlich des Portals jeweils 36 *cubiti* vorgesehen gewesen wären.

Falls die aus dem Fußmaß und dem *cubitus* sich ergebenden Maßzahlen mit Christusbezug kein Werk des Zufalls sind, sondern so geplant waren, dann wäre dies angesichts der Parallele zur Aachener Marienkirche vielleicht ein Hinweis auf eine Bautradition, die nicht nur auf die beiden Gebäude beschränkt war. Trotz der auffälligen Bezüge zum 28,54 cm langen Fuß oder seinem *cubitus* bleiben die vom Erbauer an der *Aula Regia* beabsichtigten Sollmaße aber letztlich zweifelhaft. Außer der Anordnung der Außenmauern in der südwestlichen Ecke des Pfalzbezirks lässt sich auch kein deutlicher Zusammenhang mit dem Maßsystem der Erstvermessung erkennen. Dagegen folgt die Nordseite der 1875 von Strigler zeichnerisch aufgenommenen Dreibogenstellung⁸⁹ einer vielleicht bereits im Zusammenhang mit der Vermessung des Pfalzbezirks im Abstand von 200 Fuß (zu 28,80 cm) zu dessen südlicher Begrenzung angelegten Flucht (*Abb. 4*).

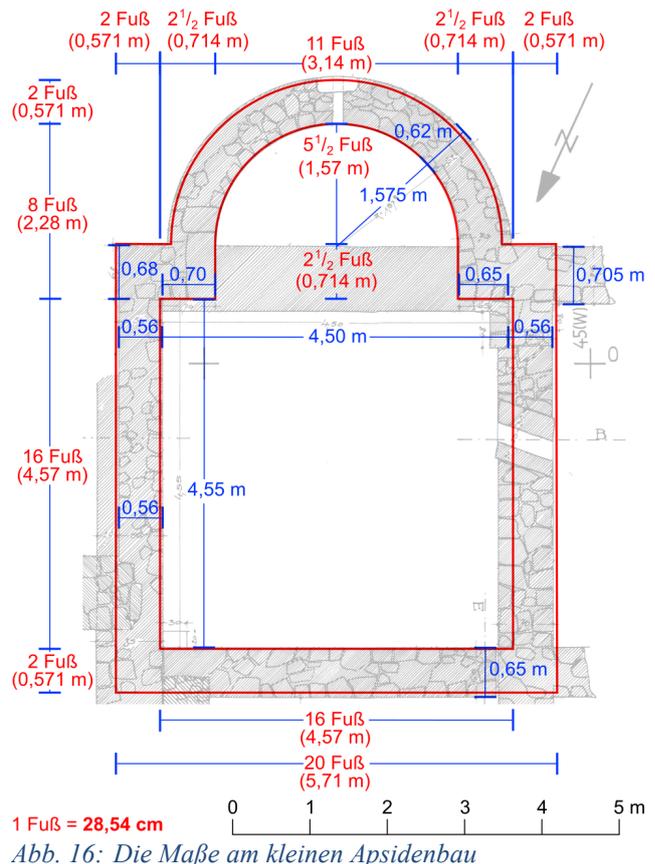
Der kleine Apsidenbau

Am kleinen Apsidenbau zeigt sich das 28,54 cm lange Fußmaß dagegen mit aller Deutlichkeit. *Abb. 16* zeigt den Grabungsbefund nach dem Ergebnis der Rauchschen Grabungen.⁹⁰ Die blau eingetragenen Maße geben die Vermaßung des Grabungsbefunds wieder. Die rot eingezeichnete Kontur beschreibt maßstabsgerecht den idealen Mauerverlauf nach den am Rand eingetragenen Planungsmaßen im 28,54 cm langen Fußmaß. Die Idealkontur stimmt ziemlich genau mit dem Grabungsbefund überein.

Es ist offensichtlich, dass der Innenraum als Quadrat mit einer Seitenlänge von 16 Fuß (4,57 m) geplant wurde. Dieses Maß ist in Nord-Süd-Richtung mit 4,55 m fast exakt, in Ost-West-Richtung mit 4,50 m jedoch deutlich zu kurz umgesetzt. An diesem Maß scheidet die 28,80 cm lange Variante wohl aus: Bei einem Sollmaß von nun 4,61 m würde der Fehler bereits 11 cm betragen. Er entsteht auf der Westseite (in *Abb. 16* rechts). Hier ist der mit $2 \frac{1}{2} \text{ Fuß}$ (0,714 m) vorgesehene Wandabschnitt neben der Apsis nur

0,65 m lang. Die Westmauer, deren Breite im Aufgehenden nahe der Apsis mit 0,56 m \cong 2 Fuß (0,571 m) noch ablesbar ist, war auf die Außenkante des breiteren Fundaments aufgesetzt. Offenbar kam das Fundament deutlich zu weit östlich zu liegen, so dass der Fehler auch durch die Positionierung der aufgehenden Mauer an der westlichen Fundamentkante nicht mehr ganz kompensiert werden konnte. Mit den seitlichen Wandstärken von 2 Fuß ergibt sich für die Gesamtbreite das glatte Maß von 20 Fuß, das uns schon mehrfach begegnet ist.

Die Apsis ist 11 Fuß breit. Da sie um die Breite der Südmauer – 2 1/2 Fuß – gestelzt ist, misst ihre innere Länge zusammen mit dem sehr genau ausgeführten Radius von 5 1/2 Fuß insgesamt 8 Fuß. Die Innenlänge der Apsis sollte also genau halb so groß werden wie der Durchmesser des quadratischen Raums. Die innere Gesamtlänge beträgt damit 24 Fuß. So kann auch ein kleiner und unscheinbarer Bau wie dieser, kennt man das bei seinem Bau verwendete Werkmaß, ein klar erkennbares und stringentes Planungskonzept offenbaren!



Fazit und Diskussion

Das am Ingelheimer Pfalzbezirk und dem Halbkreisbau festgestellte Vermessungssystem bestätigt das an der Aachener Marienkirche (als *cubitus*) ermittelte und bisher an ihrem Atrium, der Abteikirche von Inda (Kornelimünster) und der Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach nachgewiesene Fußmaß in seiner ungefähren Größenordnung erneut. Die Übereinstimmung zwischen dem Baubefund und den zumeist als Vielfache von 10 Fuß angesetzten Planungsmaßen ist in Ingelheim in ungewöhnlicher Deutlichkeit zu erkennen, so dass an der Verwendung eines in der Länge deutlich unter 29 cm angesiedelten und damit gegenüber dem römischen Fuß erheblich kürzeren Fußmaßes in der Karolingerzeit keine Zweifel mehr bestehen können. Angesichts der gerade an den Ingelheimer Bauten so deutlich erkennbaren Imitierung des römischen Vorbilds fragt man sich, aus welchem Grund man sie nicht nach dem römischen Fuß bemessen hat. Kannte man zur Bauzeit seine Länge nicht mehr? Hielt man vielleicht – vor dem Hintergrund der möglichen Herkunft aus dem Langobardenreich – das kürzere Maß für den „richtigen“ römischen Fuß? Wir wissen es nicht.

Neben der in Aachen mit 28,54 cm festgestellten Fußlänge ist nun eine zweite, etwas größere getreten, deren Länge am Ingelheimer Pfalzbezirk mit 28,80 cm festgestellt werden konnte. Angesichts des Längenunterschieds von nur 2,6 mm sind sie als zwei Varianten desselben Fußmaßes aufzufassen. Es stellt sich die Frage nach deren Verhältnis. Ich halte einen Zusammenhang mit der um 792/93 angenommenen Maßreform Karls des Großen für wahrscheinlich. Da die Vermessung des Ingelheimer Pfalzbezirks in eine erheblich frühere Zeit fällt, kann es sich bei der längeren Variante um ein Vorgängermaß handeln, das um 792/93, vielleicht auch schon früher, auf die in Aachen ermittelte Länge normiert wurde. Dann würde der Bau des kleinen Apsidenbaus, vielleicht auch der *Aula Regia* und des Bassins der Wasserversorgung erst in der Zeit nach der Maßumstellung stattgefunden haben.

Die Befunde lassen diesen Schluss jedoch nicht mit Sicherheit zu. Es ist nicht auszuschließen, dass die kürzere Variante bereits zur Zeit der Ingelheimer Vermessung in Gebrauch war, dass jedoch zum Abmessen der großen Strecken eine Messleine verwendet wurde, die einem etwas längeren Fußmaß entsprach.

Dies würde erklären, dass sich an der Außenfront des Torbaus eine etwas bessere Übereinstimmung mit der 28,54 cm lange Fußlänge andeutet. Die großen Strecken könnten mit einer alten, überdehnten Messleine ausgemessen worden sein. Denkbar ist auch, dass man zur Vermessung des Pfalzbezirks einen auswärtigen Spezialisten herbeizog, der seine eigenen, etwas längeren Messleinen mitbrachte. Daneben ist auch die Annahme Elisabeth Pfeiffers in Betracht zu ziehen, dass neben den gewöhnlichen Längenmaßen parallel sogenannte abgeleitete Maße mit geringfügig anderer Länge verwendet wurden, die eine Messung der Quadratdiagonalen mit Hilfe von einfachen, aber ungenauen Näherungen für $\sqrt{2}$ erlaubten, beispielsweise $14 : 10$.⁹¹ Diese Näherung würde bei einer Bemessung der Quadratseiten mit dem 28,54 cm langen Fuß auf ein abgeleitetes Maß von 28,83 cm führen.⁹²

Neben der allgemeinen, metrologischen Bedeutung hilft das Ergebnis jedoch auch bei der bauhistorischen Beurteilung der Ingelheimer Bauten. Die Maßentsprechungen an der Pfeilerhalle erlauben es, den Vermessungsvorgang zur Festlegung der trapezförmigen Grundfläche nachzuvollziehen. Auch bei der Rekonstruktion verlorengegangener Gebäudeteile kann das nun ermittelte Werkmaß in die Überlegungen miteinbezogen werden. Eine wichtige Erkenntnis ist in diesem Zusammenhang, dass man in Ingelheim bei den großen Abmessungen des Grundrisses Maßzahlen der Zehnerreihe bevorzugte. An der zu bedeutenden Teilen noch erhaltenen Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach bestimmten Vielfache von 5 und 10 Fuß nicht nur den Grundriss; es lässt sich außerdem auch eine Planung der Höhenmaße als Vielfache von 10 Fuß zeigen.⁹³ So könnte auch an den Ingelheimer Bauten das eine oder andere Maß an Vielfachen von 5 oder 10 Fuß ausgerichtet worden sein.

Abbildungsnachweis

Abb. 3: Zeichnung des Verfassers nach der Rekonstruktion von FELIX KREUSCH: *Kirche, Atrium und Portikus der Aachener Pfalz* (Dom zu Aachen. Beiträge zur Baugeschichte, Bd. 5), in: *Karl der Große. Lebenswerk und Nachleben*, Bd. 3: *Karolingische Kunst*, hrsg. v. WOLFGANG BRAUNFELS u. HERMANN SCHNITZLER, Düsseldorf, 1965, S. 463–533, hier Fig. 4 auf Faltblatt nach S. 474.

Abb. 4: Grundlage der Grafik ist der *Befundplan der Mauerwerke mit Rekonstruktion und Eintragung der Grabungsflächen*, Stadt Ingelheim, RADOSŁAW MYSZKA, 2014/THOMAS RAAB, 2015.

Abb. 7, Abb. 8, Abb. 9, Abb. 10 u. Abb. 16: Grundlage der Grafiken sind die Ausgrabungspläne bei CHRISTIAN RAUCH: *Die Ausgrabungen in der Königspfalz Ingelheim 1909–1914* (Studien zur Königspfalz Ingelheim, Bd. 1), bearb. u. hrsg. v. HANS JÖRG JACOBI, Mainz, 1976, Tafeln 25, 30, 28, 31 u. 16.

Abb. 13: Grundlage der Grafik ist die Schnittzeichnung eines Teilstücks bei Wackernheim, „in der Bachwiese“, bei KATHARINA PEISKER: *Ingelheim, Pfalz*, in: *Karolingerzeitliche Mauertechnik in Deutschland und in der Schweiz*, hrsg. v. KATARINA PAPAJANNI u. JUDITH LEY, Regensburg, 2016, S. 116 Abb. 8 (Stadt Ingelheim, RADOSŁAW MYSZKA u. JUAN DIEGO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ 2016).

Abb. 15: UTA WENGENROTH-WEIMANN: *Die Grabungen an der Königspfalz zu Nieder-Ingelheim in den Jahren 1960–1970* (Beiträge zur Ingelheimer Geschichte, Heft 23), Ingelheim, 1973, Plan 3.

Die übrigen Grafiken und Fotos stammen vom Verfasser.

Anmerkungen

- ¹ EINHARD: *Vita Karoli Magni*, bearb. v. OSWALD HOLDER-EGGER, in: *Monumenta Germaniae Historica, Scriptores rerum Germanicarum in usum scholarum separatim editi* 25, 6. Aufl., Hannover, 1911, S. 20 (Kap. 17): *opera tamen plurima ad regni decorem et commoditatem pertinentia diversis in locis inchoavit, quaedam etiam consummavit.*
- ² PETER CLASSEN: *Die Geschichte der Königspfalz Ingelheim bis zur Verpfändung an Kurpfalz 1375*, in: *Ingelheim am Rhein. Forschungen und Studien zur Geschichte Ingelheims*, hrsg. v. JOHANNE AUTENRIETH, Stuttgart, 1964, S. 87–146, hier S. 89 ff.
- ³ WALTER SAGE: *Die Ausgrabungen in der Pfalz zu Ingelheim am Rhein 1960–1970*, in: *Francia. Forschungen zur westeuropäischen Geschichte* 4, 1976, S. 141–160, hier S. 142.
- ⁴ PETER CLASSEN (wie Anm. 2), S. 87 f.
- ⁵ *Annales regni Francorum inde ab a. 741 usque ad a. 829, qui dicuntur Annales Laurissenses maiores et Einhardi*, bearb. v. FRIEDRICH KURZE, in: *Monumenta Germaniae Historica, Scriptores rerum Germanicarum in usum scholarum separatim editi* 6, Hannover, 1895, S. 40, S. 78 ff.
- ⁶ Vgl. PETER CLASSEN (wie Anm. 2), S. 92.
- ⁷ *Annales Nazariani*, bearb. v. WALTER LENDI, in: *Untersuchungen zur frühalemannischen Annalistik. Die Murbacher Annalen mit Edition* (Scriinium Friburgense, Bd. 1), Freiburg (Schweiz), 1971, S. 147–167, hier S. 163, S. 165.
- ⁸ *Chronicon Moissiacense*, bearb. v. DAVID CLASZEN, in: *Chronicon Moissiacense Maius. A Carolingian World Chronicle. From Creation until the First Years of Louis the Pious*, Bd. 1: *Introduction* u. Bd. 2: *Text Edition*, Leiden, 2012, Bd. 2 S. 143. – WALTER KETTEMANN (*Subsidia Anianensia. Überlieferungs- und textgeschichtliche Untersuchungen zur Geschichte Witiza-Benedikts, seines Klosters Aniane und zur sogenannten „anianischen Reform“*, Dissertation Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, 2000, S. 40, S. 485–489, Zitat S. 485, Schema S. 528 u. Beilage 2 S. IV) zeigt für das *Chronicon Moissiacense* eine von ihm *Annales Benedicti Anianensis* genannte, verlorene Vorlage auf, deren Erstellung im südfranzösischen Kloster Aniane durch eine Person veranlasst worden sei, die „in das Kommunikationsnetz der führenden Persönlichkeiten auf Reichsebene vor 818 eingebunden gewesen sein muß“, möglicherweise der berühmte Reformabt Benedikt von Aniane selbst. Die in den übrigen karolingischen Annalen fehlende Nachricht zu Ingelheim, die auch in dieser Vorlage enthalten war (KETTEMANN, Beilage 2 S. 111), gewinnt dadurch besondere Glaubwürdigkeit. – CLASZEN (Bd. 1 S. 54 Fig. 3, S. 71 u. Anm. 227) geht ebenfalls von einem „Aniane prototype“ aus dem 9. Jahrhundert aus.
- ⁹ *Die Urkunden der Karolinger*, Bd 1: *Die Urkunden Pippins, Karlmanns und Karls des Großen*, bearb. v. ENGELBERT MÜHLBACHER, unter Mitw. v. ALFONS DOPSCH, JOHANN LECHNER u. MICHAEL TANGL (*Monumenta Germaniae Historica, Diplomata Karol.* 1), Hannover, 1906, S. 275 f. Nr. 206.
- ¹⁰ EINHARD (wie Anm. 1), S. 20 (Kap. 17): *inchoavit.*
- ¹¹ PETER CLASSEN (wie Anm. 2), S. 96–99.
- ¹² PETER CLASSEN (wie Anm. 2), S. 105–116.
- ¹³ MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI: *Ingelheim im Früh- und Hochmittelalter: Die Entwicklung der Pfalz Karls des Großen bis in die Stauferzeit*, in: *Ingelheim am Rhein. Geschichte der Stadt von den Anfängen bis in die Gegenwart*, hrsg. v. HANS BERKESSEL, JOACHIM GERHARD, NADINE GERHARD, MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA, WERNER MARZI (†) u. GABRIELE MENDELSSOHN, Oppenheim, 2019, S. 56–79, hier S. 71. – Vgl. auch WALTER SAGE (wie Anm. 3), S. 148 ff.
- ¹⁴ MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 71–74.
- ¹⁵ Vgl. MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 57 Abb. 2.
- ¹⁶ Fotos des Pfalzmodells z. B. bei MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 56 Abb. 1, bei KATHARINA PEISKER: *Ingelheim, Pfalz*, in: *Karolingerzeitliche Mauertechnik in Deutschland und in der Schweiz*, hrsg. v. KATARINA PAPAJANNI u. JUDITH LEY, Regensburg, 2016, S. 109–121, hier S. 110 Abb. 1, auf den Seiten des der *Forschungsstelle Kaiserpfalz* (URL http://www.kaiserpfalz-ingelheim.de/archaeologie_rekonstruktion_01.php) und auf den Seiten des *Historischen Vereins Ingelheim* (URL <http://www.ingelheimer-geschichte.de/index.php?id=76>). Das dort abgebildete Foto zeigt die Pfalz aus der für die Grafik gewählten Perspektive.
- ¹⁷ JOSEF HEINZELMANN: *Die Straßen, die nach und zu MOGONTIACUM führten*, in: *Jahrbuch für westdeutsche Landesgeschichte* 31, 2005, S. 7–48, hier S. 25 ff.
- ¹⁸ Auch im Folgenden nach MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 57–63, S. 67.
- ¹⁹ WALTER SAGE (wie Anm. 3), S. 155.
- ²⁰ Seiten des *Historischen Vereins Ingelheim*, URL <http://www.ingelheimer-geschichte.de/index.php?id=78> .

- ²¹ PHILIPP STRIGLER: *Mittheilung des Architekten Ph. Strigler in Frankfurt a. M. über die im Jahre 1875 zum Abbruch gelangten Baureste in dem Saale zu Nieder-Ingelheim*, in: *Correspondenzblatt des Gesamtvereins der deutschen Geschichts- und Alterthumsvereine* 31, 1883, S. 73–78, hier Beilage Blatt 2.
- ²² HOLGER GREWE: *Kontinuität – Diskontinuität. Neue Beobachtungen zur Sakraltopographie der Pfalz Ingelheim im Früh- und Hochmittelalter*, in: *Kontinuität und Diskontinuität im archäologischen Befund* (Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit, Bd. 17), hrsg. v. MATTHIAS UNTERMANN, Paderborn, 2006, S. 37–42, hier S. 37 ff.
- ²³ STEFAN WINTERMANTEL: *Geometrie, Maß und Zahl an der Aachener Marienkirche Karls des Großen, an der karolingischen Abteikirche in Kornelimünster und an der Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach*, in: *Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins* 119/120, 2017/18, S. 51–194.
- ²⁴ ULRIKE HECKNER: *Der Tempel Salomos in Aachen – Datierung und geometrischer Entwurf der karolingischen Pfalzkapelle*, in: *Die karolingische Pfalzkapelle in Aachen. Material – Bautechnik – Restaurierung* (Arbeitsheft der Rheinischen Denkmalpflege, Bd. 78), hrsg. v. ANDREA PUFKE, Worms, 2012, S. 25–62, hier S. 41. HECKNER stützt die Datierung des Baubeginns „um 795“ auf die Auswertung von Schriftquellen und den archäologischen – in erster Linie dendrochronologischen – Befund. Dieser ist ausführlich dargestellt bei: BURGHARDT SCHMIDT, ULRIKE HECKNER, HELMUT MAINTZ, MECHTHILD NEYSES-EIDEN, THOMAS FRANK u. ANDREAS SCHAUB: *Die Hölzer aus dem karolingischen Oktogon der Aachener Pfalzkapelle – einer dendrochronologischen Datierung*, in: *Jahrbuch der Rheinischen Denkmalpflege* 40/41, 2009, S. 220–235. U. a. aufgrund der Dendrodaten aus einem hölzernen Ringanker unterhalb des Oktogongewölbes und einem Eichenpfahl kommen die Autoren zum Ergebnis, dass der Baubeginn wahrscheinlich zwischen 793 und 795 erfolgte und eine Fertigstellung um 805 durchaus im Rahmen des Möglichen liegt (S. 233).
- ²⁵ Zeichnung des Verfassers nach der Rekonstruktion von FELIX KREUSCH: *Kirche, Atrium und Portikus der Aachener Pfalz* (Dom zu Aachen. Beiträge zur Baugeschichte, Bd. 5), in: *Karl der Große. Lebenswerk und Nachleben*, Bd. 3: *Karolingische Kunst*, hrsg. v. WOLFGANG BRAUNFELS u. HERMANN SCHNITZLER, Düsseldorf, 1965, S. 463–533, hier Fig. 4 auf Faltblatt nach S. 474.
- ²⁶ CORNELIUS PETER BOCK: *Bericht über die baulichen Alterthümer des Aachener Domes, abgestattet Sr. Hochwürden Herrn Dr. Claessen, Probst des Kollegiat Stiftes*, um 1843, maschinenschriftliche Abschrift, Domarchiv Aachen, S. 40–46, zitiert n. ULRIKE HECKNER: *Zwischen Intuition und Messgenauigkeit. Auf der Suche nach dem rechten Maß der Aachener Pfalzkapelle*, in: *Aufmaß und Diskurs. Festschrift für Norbert Nußbaum zum 60. Geburtstag*, hrsg. v. JULIAN JACHMANN u. ASTRID LANG, Berlin, 2013, S. 11–25, hier S. 12 f.
- ²⁷ *Die Schriften der römischen Feldmesser*, Bd. 1: *Texte und Zeichnungen*, bearb. v. FRIEDRICH BLUME, KARL LACHMANN u. ADOLF RUDORFF, Berlin, 1848, S. 123. – FRIEDRICH HULTSCH (*Griechische und römische Metrologie*, 2. Bearbeitung, Berlin, 1882, S. 694) führt die Bezeichnung auf Claudius Drusus zurück, den Stiefsohn des Augustus, „der als Statthalter das deutsche Maß im Verhältnis zum römischen normiert haben mag“. – Eine andere Auffassung vertritt ELISABETH PFEIFFER: *Die alten Längen- und Flächenmaße. Ihr Ursprung, geometrische Darstellungen und arithmetische Werte* (Sachüberlieferung und Geschichte. Siegener Abhandlungen zur Entwicklung der materiellen Kultur, 2 Bände), St. Katharinen, 1986, Bd. 1 S. 72, Bd. 2 S. 527. Sie übersetzt die von HYGINUS mitgeteilte Bezeichnung mit „Fuß der Druiden“.
- ²⁸ Einiges Aufsehen erregte in letzter Zeit der Vorschlag von ULRIKE HECKNER (wie Anm. 24) S. 44 u. HECKNER (wie Anm. 26), S. 24. HECKNER nimmt ein 32,24 cm langes Fußmaß an. – Ausführliche Diskussion der bis zur Schriftlegung vorgestellten Theorien zur Maßgebung und Geometrie an der Aachener Marienkirche, insbesondere auch der These HECKNERS bei: STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 61–89. – Ein römisches Fußmaß von 29,57 cm Länge präferieren neuerdings JAN PIEPER u. BRUNO SCHINDLER: *Thron und Altar, Oktogon und Sechzehneck. Die Herrschaftsikonographie der karolingischen Pfalzkapelle zu Aachen* (Scriptorium Carolinum, Bd. 5), Aachen u. Berlin, 2017, S. 52.
- ²⁹ GÜNTHER BINDING: *Bauvermessung und Proportion im frühen und hohen Mittelalter* (Monographien zur Geschichte des Mittelalters, Bd. 61), Stuttgart, 2015, S. 173 f.
- ³⁰ Diese Abmessungen können aufgrund der Marmorverkleidung der Pfeiler und Wände heute nicht mehr direkt abgenommen werden. Sie sind jedoch durch ein Maßblatt von JOSEPH BUCHKREMER aus dem Jahr 1900 überliefert, abgedruckt bei WALTER BOECKELMANN: *Von den Ursprüngen der Aachener Pfalzkapelle*, in: *Wallraf-Richartz-Jahrbuch* 19, 1957, S. 9–38, hier Abb. 4.
- ³¹ STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 106–112.
- ³² STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 129–134.
- ³³ HANSJÜRGEN BLINN: *Die altdeutsche Exodus. Strukturuntersuchungen zur Zahlenkomposition und Zahlensymbolik* (Amsterdamer Publikationen zur Sprache und Literatur, Bd. 13), Amsterdam, 1974, S. 99 f.
- ³⁴ *Das Aachener Verhör von 809*, bearb. v. ARNO BORST, in: *Schriften zur Komputistik im Frankenreich von 721 bis 818*, Teil 3 (Monumenta Germaniae Historica, Quellen zur Geistesgeschichte des Mittelalters 21/3), Hannover, 2006, S. 1034–1053, hier S. 1042.
- ³⁵ KERSTIN SPRINGSFELD: *Alkuins Einfluß auf die Komputistik zur Zeit Karls des Großen* (Sudhoffs Archiv. Beihefte, Bd. 48), Stuttgart, 2002, S. 105.
- ³⁶ STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 166–193.

- ³⁷ FLORENT ULRIX: *Étude comparative des plans de la collégiale Saint-Jean de Liège et du „Dom“ d'Aix-la-Chapelle*, in: *Millénaire de la collégiale Saint-Jean de Liège. Exposition d'art et d'histoire*, Lüttich, 1982, S. 63–67.
- ³⁸ FLORENT ULRIX: *Propos sur la Métrologie au Moyen Âge en Architecture*, in: *Annales du Congrès de Liège 1968. 40e session*, Bd. 2, Lüttich, 1971, S. 683–696, hier S. 694. In einer weiteren Veröffentlichung (FLORENT ULRIX: *Nouvelles précisions à propos du „pied carolingien“*, in: *XLVe Congrès de la Fédération des Cercles d'archéologie et d'histoire de Belgique. Congrès de Comines de 1980. Actes*, Bd. 2, Comines, 1980, S. 301–304) erweitert ULRIX seine These dahingehend, dass das 28,4 cm lange Fußmaß bereits im spätrömischen Reich verwendet wurde, nachdem es dort durch germanische Auxiliärtruppen eingeführt worden sei.
- ³⁹ FELIX KREUSCH: *Werkrisse und Werkmaß der Chorhalle des Aachener Domes*, in: *Beiträge zur rheinischen Kunstgeschichte und Denkmalpflege*, Bd. 2 (Die Kunstdenkmäler des Rheinlandes, Beiheft 20), Düsseldorf, 1974, S. 115–136, hier S. 131, S. 134 f.
- ⁴⁰ ALBRECHT KOTTMANN: *Langobardische Baumeister in Lorsch und in Hirsau* (Führer Nr. 826), München u. Zürich, 1965, S. 7.
- ⁴¹ *Capitulare Francofurtense*, bearb. v. ALBERT WERMINGHOFF, in: *Monumenta Germaniae Historica, Concilia 2/1*, Hannover u. Leipzig, 1906, S. 165–171, hier S. 166.
- ⁴² ILDAR GARIPZANOV: *Regensburg, Wandalgarius and the novi denarii: Charlemagne's monetary reform revisited*, in: *Early Medieval Europe* 24, 2016, S. 58–73, insbes. S. 58, S. 67 u. S. 72. Vgl. auch LUDOLF KUCHENBUCH: *Versilberte Verhältnisse. Der Denar in seiner ersten Epoche 700–1000*, Göttingen, 2016, S. 28.
- ⁴³ *Die Aachener Enzyklopädie von 809*, bearb. v. ARNO BORST, in: *Schriften zur Komputistik im Frankenreich von 721 bis 818* (Monumenta Germaniae Historica, Quellen zur Geistesgeschichte des Mittelalters 21/3), Hannover, 2006, S. 1054–1334, hier S. 1325: *Tantum enim procellit pes manualis pedem naturalem, quantum pollex in longitudinem protendi potest.*
- ⁴⁴ EINHARD: *Brief Nr. 59*, bearb. v. KARL HAMPE, in: *Monumenta Germaniae Historica, Epistolae 5*, Berlin, 1899, S. 139.
- ⁴⁵ PAUL GUILHIERMOZ: *De l'équivalence des anciennes mesures. A propos d'une publication récente*, in: *Bibliothèque de l' école des chartes* 74, 1913, S. 267–328, hier S. 279 ff.
- ⁴⁶ PAUL GUILHIERMOZ (wie Anm. 45), S. 289. GUILHIERMOZ bezeichnet den ca. 33,3 cm langen Fuß als „pied de 18 doigts“. Der römische Fuß war in 16 *digiti* unterteilt; auf den drusianischen Fuß kommen nach dem Verhältnis der beiden Fußmaße von 9 : 8 folglich 18 *digiti*. – In Felizzano und Acqui bei Alessandria im Piemont war er unter der Bezeichnung *piede manuale* in ähnlicher Länge – 33,419 cm und 33,5 cm – noch bei der Einführung des metrischen Systems im Jahr 1861 in Gebrauch, vgl. *Tavole di ragguaglio dei pesi e delle misure già in uso nelle varie provincie del regno col peso metrico decimale*, Rom, 1877, S. 1, S. 5.
- ⁴⁷ STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 166–193.
- ⁴⁸ Grundlage der Grafik ist der *Befundplan der Mauerwerke mit Rekonstruktion und Eintragung der Grabungsflächen* (Stand 2018), Stadt Ingelheim, RADOSŁAW MYŚZKA, 2014/THOMAS RAAB, 2015. Ich danke Frau MATYLDA GIERZIEWSKA-NOSZCZYŃSKA für die Übermittlung des Plans! KATHARINA PEISKER (wie Anm. 16, S. 111) nennt für den rechteckigen Bezirk eine Nord-Süd-Ausdehnung von 101,50 m und eine Ost-West-Ausdehnung von 92,50 m. Offensichtlich fehlerhaft ist die Angabe von HANS JÖRG JACOBI in: CHRISTIAN RAUCH: *Die Ausgrabungen in der Königspfalz Ingelheim 1909–1914* (Studien zur Königspfalz Ingelheim, Bd. 1), bearb. u. hrsg. v. HANS JÖRG JACOBI, Mainz, 1976, S. 15. Nach JACOBI misst der rechteckige Bezirk 99,50 × 91,50 m.
- ⁴⁹ Zur Aufmessung mittels Achsenkreuz: GÜNTHER BINDING (wie Anm. 29), S. 179–182.
- ⁵⁰ KONRAD HECHT: *Maß und Zahl in der gotischen Baukunst*, in: *Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft*, 1. Teil: Bd. 21, Braunschweig, 1969, S. 215–326, 2. Teil: Bd. 22, Braunschweig, 1970, S. 105–264, Schluss: Bd. 23, Göttingen, 1971/72, S. 25–236 (Buchausgabe: Hildesheim u. New York, 1979), hier 2. Teil S. 231 Anm. 356.
- ⁵¹ GÜNTHER BINDING (wie Anm. 29), S. 107.
- ⁵² NORBERT STACHURA: *Möglichkeiten und Grenzen von Maßanalysen*, Bochum, 2004, δ -Funktion S. 13–17. Das Kürzel *E* steht bei STACHURA für „Maßeinheit“. Ich verwende im Folgenden die Bezeichnung „Grundeinheit“, da Bauabmessungen auch mit Teilern – z. B. $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ der Maßeinheit – oder Vielfachen der gesuchten Maßeinheit – z. B. der 10-füßigen *pertica* – bemessen sein können. Im Anschluss an die Beschreibung der δ -Funktion stellt STACHURA Überlegungen zur Optimierung des Rechenverfahrens an (S. 21–42), auf die hier jedoch nicht eingegangen werden kann. – Siehe auch NORBERT STACHURA: *Der Plan von St. Gallen. Maßeinheit, Maßstab und Maßangaben oder das Dilemma im Schlaflsaal*, Bochum, 2004.
- ⁵³ Vgl. NORBERT STACHURA (wie Anm. 52, *Möglichkeiten und Grenzen von Maßanalysen*), S. 18.
- ⁵⁴ NORBERT STACHURA (wie Anm. 52, *Möglichkeiten und Grenzen von Maßanalysen*), S. 15 f.
- ⁵⁵ STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 108–111.
- ⁵⁶ Die Kurve wurde mit *Excel* und *Visual Basic for Applications* erstellt.
- ⁵⁷ Nach Tafel 21 bei CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48) beträgt die Breite des vermuteten Säulengangs 0,80 m (Sockelmauer) + 4,87 m (lichtes Maß) = 5,67 m \triangleq 20 Fuß zu 28,80 cm (5,76 m). Die Breite des nördlich anschließenden Gebädetrakts misst 0,85 m (Innenmauer) + 11,16 m (lichter Raum) + 1,05 m (Außenmauer) =

- 13,06 m \pm 45 Fuß zu 28,80 cm (12,96 m). Das Untermaß am Säulengang wird durch das Übermaß am Gebäudetrakt kompensiert, so dass das Gesamtmaß von 5,67 m + 13,06 m = 18,73 m fast genau 65 Fuß (18,72 m) entspricht.
- ⁵⁸ HANS JÖRG JACOBI in: CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48), S. 15.
- ⁵⁹ CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48), Tafeln 1, 34, 35 u. 36.
- ⁶⁰ HELGE SVENSHON: *Das Bauwerk als „Aistheton Soma“*. Eine Neuinterpretation der Hagia Sophia im Spiegel antiker Vermessungslehre und angewandter Mathematik, in: *Byzanz – das Römerreich im Mittelalter*, Teil 2/1: *Schauplätze*, hrsg. v. FALKO DAIM u. JÖRG DRAUSCHKE, Mainz, 2010, S. 59–95, hier S. 80 f.
- ⁶¹ Vgl. Anm. 50.
- ⁶² GÜNTHER BINDING, WALTER JANSSEN u. FRIEDRICH K. JUNGKLAASS: *Burg und Stift Elten am Niederrhein. Archäologische Untersuchungen der Jahre 1964/65* (Rheinische Ausgrabungen, Bd. 8), Düsseldorf, 1970, S. 34.
- ⁶³ *Deutsche Bauzeitung*, Berlin, 18. Juni 1881, S. 288.
- ⁶⁴ Grundlage der Grafik ist der Ausgrabungsplan bei CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48), Tafel 25. RAUCH arbeitete mit einem Fotografen, einem Vermesser und mehreren Architekten zusammen, vgl. MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA, PIOTR NOSZCZYŃSKI u. KATHARINA PEISKER: *Die Kaiserpfalz und andere Fundstellen – Archäologische Ausgrabungen in Ingelheim*, in: *Ingelheim am Rhein. Geschichte der Stadt von den Anfängen bis in die Gegenwart*, hrsg. v. HANS BERKESSEL, JOACHIM GERHARD, NADINE GERHARD, MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA, WERNER MARZI (†) u. GABRIELE MENDELSSOHN, Oppenheim, 2019, S. 301–313, hier S. 303. Die in den verschiedenen Abb. verwendeten Pläne der Grabungen RAUCHS wurden vom Architekten FRANZ KRAUSE gezeichnet.
- ⁶⁵ Winkel der Seitenwand der trapezförmigen Grundfläche zur Mittelachse α : $\tan(\alpha) = 20/150$, $\alpha = 7,595^\circ$, Radius innen: 110 Fuß/ $\cos(\alpha) = 110,974$ Fuß, Radius außen: 150 Fuß/ $\cos(\alpha) = 151,328$ Fuß.
- ⁶⁶ Siehe Anm. 48.
- ⁶⁷ Grundlage der Grafik ist der Ausgrabungsplan bei CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48), Tafel 30.
- ⁶⁸ MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. a. (wie Anm. 64), S. 304.
- ⁶⁹ Grundlage der Grafik ist der Ausgrabungsplan bei CHRISTIAN RAUCH (Anm. 48), Tafel 28.
- ⁷⁰ CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48), Tafel 28, Zeichnung unten links.
- ⁷¹ Grundlage der Grafik ist der Ausgrabungsplan bei CHRISTIAN RAUCH (w Anm. 48), Tafel 31.
- ⁷² HOLGER GREWE, 2007, auf den Seiten des *Historischen Vereins Ingelheim*, URL <http://www.ingelheimer-geschichte.de/index.php?id=76>.
- ⁷³ Auch im Folgenden nach PETER HAUPT: *Die karolingische Wasserleitung bei Ingelheim, Kr. Mainz-Bingen*, in: *Wasser auf Burgen im Mittelalter* (Geschichte der Wasserversorgung, Bd. 7), hrsg. v. MICHAELA AUFLEGER, 2007, S. 183–189. – Vgl. auch PETER HAUPT: *Die karolingische Wasserleitung der Ingelheimer Königspfalz*, in: *Karl der Große in Ingelheim. Bauherr der Pfalz und europäischer Staatsmann. Katalog zur Ausstellung im Alten Rathaus Nieder-Ingelheim, 29. August bis 27. September 1998* (Beiträge zur Ingelheimer Geschichte, Heft 43), hrsg. v. KARL-HEINZ HENN u. ERNST KÄHLER, 1998, S. 48–55.
- ⁷⁴ KURT BÖHNER: *Ausgrabungen in Ingelheim*, in: CHRISTIAN RAUCH (wie Anm. 48), S. XI–XVII, hier S. XVI. RAUCH (S. 8) sprach 1910 noch von einer „großartigen, aus spätrömischem entwickelten und ständig korrigierten und verbesserten Wasserleitung“.
- ⁷⁵ MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 64.
- ⁷⁶ Grundlage der Grafik ist die Schnittzeichnung eines Teilstücks bei Wackernheim, „in der Bachwiese“, bei KATHARINA PEISKER (wie Anm. 16), S. 116 Abb. 8 (Stadt Ingelheim, RADOSLAW MYSZKA u. JUAN DIEGO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ 2016).
- ⁷⁷ HARTMUT GEIBLER: *Die unterirdische karolingische Wasserleitung*, Seiten des *Historischen Vereins Ingelheim*, URL <http://www.ingelheimer-geschichte.de/index.php?id=79>.
- ⁷⁸ PETER HAUPT (wie Anm. 73, 2007), S. 187.
- ⁷⁹ PETER HAUPT (wie Anm. 73, 2007), S. 187.
- ⁸⁰ MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 64.
- ⁸¹ UTA WENGENROTH-WEIMANN: *Die Grabungen an der Königspfalz zu Nieder-Ingelheim in den Jahren 1960–1970* (Beiträge zur Ingelheimer Geschichte, Heft 23), Ingelheim, 1973, Pläne 3, 4 u. 5. Die Pläne sind auch abgedruckt bei: MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. a. (wie Anm. 64), S. 304 Abb. 3.
- ⁸² UTA WENGENROTH-WEIMANN (wie Anm. 81), Plan 3.
- ⁸³ Eigene Maßabnahme am 31.08.2020.
- ⁸⁴ WOLFRAM VON DEN STEINEN: *Der Neubeginn*, in: *Karl der Große. Lebenswerk und Nachleben*, Bd. 2: *Das geistige Leben*, hrsg. v. WOLFGANG BRAUNFELS u. BERNHARD BISCHOFF, Düsseldorf, 1965, S. 9–27, hier S. 17.
- ⁸⁵ Dies lässt sich an der Grundrissrekonstruktion bei HOLGER GREWE (wie Anm. 22, S. 39 Abb. 3) abmessen.
- ⁸⁶ PHILIPP STRIGLER (wie Anm. 21), Beilage Blatt 2.
- ⁸⁷ *Befundplan der Mauerwerke* (wie Anm. 48).
- ⁸⁸ MATYLDA GIERSZEWSKA-NOSZCZYŃSKA u. PIOTR NOSZCZYŃSKI (wie Anm. 13), S. 59.
- ⁸⁹ PHILIPP STRIGLER (wie Anm. 21), Beilage Blatt 2.
- ⁹⁰ Grundlage der Grafik ist der Ausgrabungsplan bei CHRISTIAN RAUCH (Anm. 48), Tafel 16.

⁹¹ ELISABETH PFEIFFER (wie Anm. 27), Bd.1 S. 92 f.

⁹² $28,54 \text{ cm} \times \sqrt{2} : (14 : 10) = 28,83 \text{ cm}$.

⁹³ STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 23), S. 173–183, zu den Höhenmaßen 183 u. S. 177 Abb. 33.