BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE
ABHANDLUNGEN · NEUE FOLGE, HEFT 120

MAX KNEISSL UND MAC KNEISSL

Geodätische Feinmessungen zur Untersuchung der Standfestigkeit historischer Bauten

Mit 4 Tafeln und 37 Anlagen

Vorgetragen von Herrn Max Kneißl am 5. Juni 1964

MÜNCHEN 1965
VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION BEI DER C. H. BECK'SCHEN VERLAGSBUCHHANDLUNG

Druck der C. H. Beck'schen Buchdruckerei Nördlingen
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

I. Bauwerksuntersuchungen an der Landshuter St. Martinskirche

1. Baugeschichte und Standsicherheit 5

2. Die Gründung des Bauwerkes 6

3. Geodätische Feinmessungen zur Untersuchung von Lage- und Höhenänderungen an der Stiftspfarrkirche St. Martin in Landshut (Bayern) 7

3.1 Allgemeines 7

3.2 Lagemessungen 8

3.2.1 Auswahl und Vermarkung von Festpunkten zur Untersuchung der Turmachse 8

3.2.2 Beobachtungs- und Berechnungsergebnisse 9

3.3 Höhenmessungen 11

II. Geodätische Feinmessungen zur Bauwerksüberwachung in der Residenz in Würzburg

1. Baugeschichte und Baubeschreibung 15

2. Geodätische Feinmessungen 17

2.1 Vorarbeiten 17

2.2 Beobachtungs- und Auswerteergebnisse 18

Anhang

Anhang zu I: Tafeln I und II. Anlagen 1–18

Anhang zu II: Tafeln III und IV. Anlagen 19–37

nach Seite 22

I

BAUWERKSUNTERSUCHUNGEN AN DER LANDSHUTER ST. MARTINSKIRCHE

1. BAUGESCHICHTE UND STANDSICHERHEIT

Die Landshuter St. Martinskirche ist ein Werk der Spätgotik.[1] Eine Urkunde von 1389 nennt erstmals den Baumeister „Maister Hans itzt paumeister zu sand Martein". In dieser Zeit war also der Bau schon begonnen. Der Familienname von Meister Hans, der aus Burghausen stammt, ist Stethaimer. 1432 starb Stethaimer in Landshut, vor Vollendung des Baues. 1407 begann der Bau des Langhauses. 1422 wurden der Dachstuhl und die Chorgewölbe vollendet. Die Wölbung im Langhaus wurde 1460 fertiggestellt. Am längsten dauerte – wie üblich – der Bau des Turmes. Nach seiner Vollendung zu Beginn des XVI. Jahrhunderts übertrifft er alle Türme Deutschlands an Höhe. Der Bau wird drei Baumeistern zugeschrieben. Der erste Nachfolger von Meister Stethaimer ist wohl sein Sohn Hans gewesen. Der dritte Meister ist vermutlich Meister Thoman von Landshut; ihm fällt der obere Turmbau zu.

St. Martin ist einer der größten Backsteinbauten Altbayerns *(Tafel I)*, ein dreischiffiger Hallenbau mit einschiffigem Chor. Wie bei der Münchner Frauenkirche sind die Strebepfeiler eingezogen, wobei die inneren Kapellennischen entstehen *(Anlage 1)*. Das Langhaus hat neun Joche. Die ungemein schlanken Innenpfeiler (Schlankheit 1:20) sind in Ziegel gemauert und haben einen achteckigen Querschnitt. Der Turm, das Wahrzeichen Landshuts, ist 130 m hoch und zeigt eine vielseitige Außengliederung in neun Geschossen. Auf quadratische Untergeschosse mit den Höhen 12 m, 13 m, 9 m und 9,5 m folgt der Übergang zum Achteck. Das erste Oktogongeschoß hat noch 12 m, im folgenden nehmen die Geschoßhöhen ab, wobei die Zwischendecken des Oktogons nicht immer mit dem äußeren Aufbau übereinstimmen. Im Glockengeschoß finden wir Schallöffnungen nur an den Hauptseiten. Der Helm ist aus Ziegeln aufgemauert.

St. Martin in Landshut ist eines der kühnsten Bauwerke Deutschlands.[2] Trotz großer Höhen und Spannweiten ist hier mit beängstigend geringen Abmessungen gearbeitet. Die gotischen Baumeister bauten sicher ohne genauere statische Berechnungen; sie hatten aber eine große Erfahrung und ein sehr gutes „statisches Gefühl". Die Entwicklung von den massiven Tonnengewölben der Romanik bis zu den leichtschaligen, rippenverstärkten Spitzbogengewölben der Gotik zeigt die sinnvolle Anwendung der empirischen Daten. Die spätgotischen Kirchen Hans Stethaimers bedeuten eine letzte Steigerung kühnster Bau-

---

[1] Mader F.: Die Kunstdenkmäler von Niederbayern, XVI. Bd., Stadt Landshut mit Einschluß der Trausnitz. München, Verlag v. R. Oldenbourg 1927, S. 17–101.

[2] Zorn E.: Statische Untersuchung der St. Martinskirche in Landshut. Dissertation, T. H. München, 1930.

weise. Seit 500 Jahren haben diese Konstruktionen ihre Standfestigkeit bewiesen. Heute sind sie statisch zu berechnen, wobei die Ergebnisse mit unseren heutigen Vorschriften selten zu vereinbaren sind. Eigentlich sollte uns dies zum Nachdenken anregen, ob wir bei der Bemessung der Konstruktionsglieder nicht oft allzu grob und ohne Betrachtung des Gesamtgefüges vorgehen. Andererseits ist aber doch eingehend zu prüfen, ob nicht doch Gefahren für die Standsicherheit solcher historischer Bauwerke bestehen. Durch veränderte Verhältnisse, wie z. B. Grundwasseränderungen, Erschütterungen durch Maschinen auf dem Boden und in der Luft, Schwerlastverkehr oder durch Materialabnützungen, können oft plötzlich akute Gefahren für solche Bauwerke entstehen, die dann meist nur durch sehr weitgehende und kostspielige Sicherungsmaßnahmen beseitigt werden können.

Für die Standsicherheit eines Bauwerkes sind vor allem der Untergrund, die Fundierung und die einzelnen Konstruktionsglieder im Rahmen des Gesamtgefüges maßgebend.

2. DIE GRÜNDUNG DES BAUWERKES

Aus den oben genannten Gründen, ohne daß eine akute Gefahr gegeben war, wurde im Jahre 1948 mit den Vorbereitungen zur Restaurierung der St. Martinskirche in Landshut begonnen. Dabei wurde im Januar 1948 von Herrn Dr. Brannekämper, dem Dombaumeister von Bayern, eine Schürfgrube bis auf das anstehende Grundwasser abgeteuft.[1] Teile der Gründung der Nordwand des Turmes wurden freigelegt. Bei Grundwassertiefständen wurden unter der Mauerwerkssohle hölzerne Pfahlköpfe sichtbar. Die Pfähle, deren Einbindtiefe sehr gering ist, konnten von Hand gezogen werden. Die kurzen Längen von etwa 1,20 m (Durchmesser 25 cm) und die unversehrten Spitzen der Pfähle, sowie der geringe Zugwiderstand lassen vermuten, daß die anstehende Gründungsart weder eine schwebende noch eine stehende Pfahlgründung im Sinne von schwerbelasteten Einzelpfählen oder Pfahlgruppen ist, sondern offenbar eine Hilfskonstruktion darstellt. Zur Beurteilung des geologischen Untergrundes wurden weitere Schürfgrubenergebnisse der Stadt Landshut ausgewertet. Nach den Untersuchungen von Herrn Dr. Brannekämper ergeben sich für die Gründung des Turmes von St. Martin die in der *Anlage 2 oben* dargestellten Verhältnisse. Das Turmmauerwerk unter dem Erdgeschoßfußboden besteht hauptsächlich aus Nagelfluhblöcken, die in Kalkmörtel versetzt sind. Das Mauerwerk ist sehr gut; Zerstörungen an Steinen und Mörtel können nicht festgestellt werden. Der Fundamentkörper ist etwa 5 m stark, seine Unterkante liegt auf Kote 388,50 ü. N. N. Unter dem Fundamentmauerwerk steht der oben erwähnte, kurze hölzerne Pfahlrost an. Offenbar versuchte Stethaimer, den unter Wasser anstehenden guten Baugrund durch den Pfahlrost zu erreichen. Bei hohem Grundwasserstand (Sommer) sind die Pfähle aus einwandfreiem Nadelholz vollständig unter Wasser, bei niedrigem Grundwasserstand (Winter) werden sie etwa 20 bis 30 cm frei.

Nach den Untersuchungen von Herrn Dr. Brannekämper kann angenommen werden, daß der Pfahlrost unter der gesamten Gründungsplatte ansteht, und zwar „Mann an Mann". Nach Bekanntwerden des Pfahlrostes werden Senkungserscheinungen am Bauwerk, insbesondere am Turm befürchtet, und es entsteht die Frage, wie und ob solche Veränderungen durch geodätische Messungen nachgewiesen werden können.

Herr Dr. Brannekämper nimmt die gesamte Turmlast bis zum Kirchenfußboden mit rund 16500 t an; der Nagelfluhkörper ergibt eine zusätzliche Last von ca. 3000 t. Das er-

---

[1] Brannekämper Th.: Untersuchungen über die Gründung des Turmes der St. Martinskirche in Landshut. München 1948 (Manuskript).

gibt für eine durchgehende Gründungsplatte eine durchschnittliche Bodenpressung von 6 kg/cm.^{2} Diese Spannungen sind für Flinz und für unmittelbar überlagerte Schotterdekkung noch vertretbar, wenn auch hierbei schon plastische Verformungen des Untergrundes auftreten können. Die dadurch entstehenden Bewegungen sind unschädlich, wenn sie zeitlich und der Lage nach gleichmäßig verlaufen.

Bei schlechten Gründungsverhältnissen und starken Belastungsunterschieden, wie sie bei Türmen in Verbindung mit niedrigen Bauteilen gegeben sind, können ungleichmäßige Setzungen auftreten. Diese zeigen sich durch mehr oder weniger starke Rissebildungen an den Gliedern des Bauwerkes. Beim St. Martinsdom wären solche Risse bei schlechtem Baugrund vor allem in den an den Turm anschließenden Säulenreihen des Mittelschiffes aufgetreten. Zerstörungen wären also vor allem an den in der Nähe des Turmes gelegenen Jochen und Gewölben zu erwarten. Obwohl das Bauwerk seit Jahren durch den immer stärker werdenden Lastwagenverkehr schweren Erschütterungen und zusätzlichen Belastungen ausgesetzt ist, sind die oben erwähnten Rissebildungen nicht erkennbar.

Andererseits könnte natürlich der hölzerne Pfahlrost bei weiterer Grundwasserabsenkung allmählich Schäden zeigen. Die Verhältnisse liegen also so, daß im Augenblick wohl noch keine unmittelbare Gefahr zu erkennen ist, andererseits sollte das Bauwerk aber ständig überwacht werden.

3. GEODÄTISCHE FEINMESSUNGEN ZUR UNTERSUCHUNG VON LAGE- UND HÖHENÄNDERUNGEN AN DER STIFTSPFARRKIRCHE ST. MARTIN IN LANDSHUT (BAYERN)

3.1 Allgemeines

Zur Untersuchung etwaiger Lage- und Höhenänderungen der Stiftspfarrkirche St. Martin sollten durch geodätische Feinmessungen

1. die Turmachse über die Punkte Kreuzspitze, Kreuz (Querbalken), Helmstange in einer Reihe von Gesimsen ausgemittelt und festgelegt,
2. etwaige Lageveränderungen der Turmachse in Abständen von einigen Monaten über mehrere Jahre verfolgt,
3. die Höhe der bei 1. und 2. benutzten Zielpunkte bestimmt,
4. etwaige Krümmungen der Achsen der Langhauspfeiler quer zur Längsachse des Mittelschiffes festgestellt und
5. die Höhenlage der Langhauspfeiler und der Strebepfeiler in Abständen von ebenfalls einigen Monaten durch Präzisionsnivellements laufend überprüft werden.

Bei der Untersuchung von etwaigen Höhenänderungen muß nun zwischen örtlichen Änderungen, die sich nur am Bauwerk selbst ergeben, und regionalen Änderungen, die das ganze oder größere Teile des Gebietes der Stadt Landshut betreffen, unterschieden werden. Für die Standfestigkeit des Bauwerkes interessieren dabei vor allem etwaige relative Änderungen am und im Bauwerk, über die im folgenden berichtet werden soll.

Für die Untersuchungen von großräumigen Höhenänderungen werden in Landshut und in seiner Umgebung die Präzisionsnivellements der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung bei der Bayer. Akademie der Wissenschaften, Präzisionsnivellements des Bayerischen Landesvermessungsamts, Stadtnivellements, Nivellements der Deutschen Bundesbahn auf den durch Landshut führenden Eisenbahnlinien sowie Präzi-

sionsnivellements des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts benützt. Über die Ergebnisse wird in einer Dissertation gesondert berichtet.

3.2 Lagemessungen

3.2.1 *Auswahl und Vermarkung von Festpunkten zur Untersuchung der Turmachse*

Vermarkungen am Turm

Zur Untersuchung der Turmachse wurden an den nach Nord, Ost, Süd und West weisenden Fronten jeweils unter den Gesimskanten emaillierte Zielmarken *(Anlage 2 unten)* etwa in der Mitte zwischen den symmetrischen Mauerkanten angebracht und an der Westseite mit z_1 bis z_9, Nordseite mit z_{11} bis z_{16}, Ostseite mit z_{21} bis z_{25}, Südseite mit z_{31} bis z_{39} von oben nach unten bezeichnet *(Anlage 3)*.[1]

Jeder Zielmarke z_i sind nicht markierte Zielpunkte in zu den Zielmarken symmetrisch liegenden Mauerkanten zugeordnet und in den folgenden Tabellen mit l_i bzw. r_i bezeichnet. Diese Nebenzielpunkte liegen in gleicher Höhe wie die zugehörigen Zielmarken, aber nicht in gleichen Vertikalebenen. Dabei haben die Nebenzielmarken die Aufgabe, die tatsächliche Lage der Achse in den verschiedenen Geschossen mit einer Genauigkeit von einigen Zentimetern zu vermitteln. Die Zielmarken dagegen, die mit einer Genauigkeit von etwa $\pm$ 2 mm eingemessen wurden, dienen für regelmäßige Nachmessungen, um etwaige Veränderungen der Turmachse sicher erfassen zu können.

Etwaige Lageänderungen des Turmes müßten sich besonders auf die Lage der Kreuzspitze und der Helmstange auswirken. Es wurden daher auch die Kreuzspitze und die Schnittpunkte des senkrechten und waagrechten Kreuzbalkens und die Helmstange besonders sorgfältig eingemessen und ihre derzeitige Lage durch Ausgleichung mit einer Genauigkeit von $\pm$ 3 mm festgelegt.

Dabei besteht natürlich immer die Gefahr, daß sich der Turmhelm allein oder auch das Kreuz allein, etwa durch Winddruck, ändert. Mit Rücksicht hierauf wurden auf der Maßwerkgalerie ein Pfeiler aus Ziegelmauerwerk errichtet und auf seiner Oberfläche ein Messingbolzen und Fußplatten für die genaue Zentrierung von Theodolit und Zieltafel eingebracht. Damit wurde ein Versicherungspunkt geschaffen, der mit großer Genauigkeit von außen, aber auch durch Beobachtung auf dem Turmpfeiler selbst von innen trigonometrisch bestimmt und wiederholt beobachtet werden kann.

Vermarkungen rund um die St. Martinskirche

Zur Einmessung der Zielmarken am Turm wurden vier Standlinien angelegt und diese durch einen Präzisionspolygonzug verbunden. Alle Punkte wurden in einem lokalen System koordiniert und dieses so angeordnet, daß die +y-Achse in die Mittelachse des Hauptkirchenschiffes fällt. Die Lage des Polygonzugs und der Standlinien 111–112, 114–116, 101–102 und 106a–107 sind der *Tafel II* zu entnehmen. Für die Vermarkung der Polygonpunkte wurden kleine Gruben mit etwa 40 auf 40 cm Länge und Breite und 40 bis 50 cm Tiefe ausgehoben, mit schnell abbindendem Beton ausgefüllt und in diesen Stahlrohre eingebracht. Nach Abbinden des Betons wurden schließlich noch die Stahlrohre mit Beton ausgefüllt und Messingversicherungsmarken mit Einstellringen für die optische Lotung in die Rohre einbetoniert.

---

[1] Es ist zu beachten, daß auf der Nord- und Ostseite nur die oberen 6 bzw. 5 Geschosse von den Vermessungsstandpunkten eingesehen werden konnten.

3.2.2 *Beobachtungs- und Berechnungsergebnisse*

Die Messung und Berechnung der Polygonzüge

Alle Polygonseiten wurden mit der 2 m-Invarbasislatte und einem WILD T 2-Theodolit gemessen, wobei jede Seite entweder mit Lattenaufstellung in der Mitte oder mit Hilfsbasen in der Mitte oder am Ende grundsätzlich doppelt gemessen wurde. Die parallaktischen Winkel wurden jeweils in 8 Sätzen, meist sogar doppelt von zwei Beobachtern unabhängig gemessen. Soweit möglich, wurde selbstverständlich mit Zwangszentrierung beobachtet.

Die Anordnung der Streckenmessung zeigt die *Anlage 4*. Die Polygonwinkel wurden in jeweils 2 bis 3 Sätzen gemessen. Der Polygonzug (Hauptzug) umfaßt die Punkte 101 bis 118. An die Seiten 117–118 wurde ein Nebenzug mit den Punkten 126, 124 und 122 angeschlossen, wobei die Punkte 124 und 122 in der Achse des Mittelschiffes des Martinsdomes liegen. Die beiden Polygonzüge wurden zunächst in einem örtlichen allgemeinen System durchgerechnet, wobei sich für den Hauptzug die Anschlußfehler $f_\beta = -43^{cc}$ und die Koordinatenanschlußfehler — 2,0 und — 1,5 mm auf eine Gesamtzugslänge von 1 330 m, für den Nebenzug die Werte $f_\beta = -13^{cc}$, $f_y = +2{,}7$ mm, $f_x = 0{,}0$ mm ergaben. Schließlich wurde der Punkt 124 zum Koordinatenursprung gemacht und die +y-Achse in die Richtung der Seite 124–122 gelegt und sämtliche Punkte in dieses System transformiert. Im Anschluß an die Seite 124–122 wurde in der Kirche das rechtwinklige Polygon 119, 120, 121, 123, 124 und 125 angelegt. Sämtliche Polygonpunkte in der Kirche wurden durch bodengleiche Messingschrauben mit Bohrung vermarkt. Die Seiten 119–121 und 123–125 liegen parallel zur x-Achse, die Seiten 123–119, 125–121 laufen parallel zur y-Achse.

Koordinierung der Langhauspfeiler

Von den Punkten P.P. 119 bis P.P. 125 aus konnten die Langhauspfeiler vorwärts eingeschnitten und in dem vorliegenden allgemeinen System koordiniert werden. Die Zielpunkte waren die Dienste in der Mitte der Pfeiler senkrecht zur Mittelachse des Langhauses. Die Pfeiler wurden mit 2 N bis 8 N und 2 S bis 8 S bezeichnet. Ihre Lage und Einmessung auf das vorgegebene Koordinatensystem ist der *Anlage 5* zu entnehmen. Die Pfeiler wurden dabei in Höhenabständen von jeweils 2 m, also in den Höhen 2, 4, 6 bis etwa 20 m an der Nord- und Südseite angezielt und auf diese Weise alle Punkte vorwärts abgeschnitten und koordiniert, so daß hieraus die Krümmung der Pfeiler in der Nord-Süd-Richtung und die Lage der Mittelachse berechnet werden konnte. Für die Pfeiler 4 N und 4 S, 6 N und 6 S wurde noch eine zusätzliche Messung und Berechnung von Meter zu Meter durchgeführt. Die Pfeiler zeigten Durchbiegungen bis zu einem Dezimeter. Die statischen Berechnungen für die Verformungen sind noch nicht abgeschlossen.

Bestimmung der Nebenzielpunkte l_i und r_i und Berechnung der Turmachse

Unter der Voraussetzung, daß der Turm symmetrisch unter scharfer Einhaltung der vom Baumeister geforderten Maße errichtet wurde, kann die Lage der Turmachse durch einfache Mittelbildung aus den Koordinaten der symmetrischen Punkte in jedem eingemessenen Gesims berechnet werden. Die Ergebnisse, die überraschend genau übereinstimmen, sind in *Anlage 9* enthalten. Dabei wurden alle Zielpunkte l_i und r_i bei der ersten Messung im September 1963 trigonometrisch von den Standlinien 111–112 (Westseite), 114–116 (Nordseite), 101–102 (Ostseite) und 106a–107 (Südseite) aus durch Vorwärtseinschneiden

bestimmt. Die *Anlage 9* zeigt, daß die Turmachse wenigstens zwischen den Gesimsen in 434 m bis 486,5 m Höhe lotrecht steht. Lediglich der Turmhelm mit Kreuz weist auf rund 36 m Höhe eine leichte Neigung von etwa 1 dm auf.

Die Koordinierung der Zielmarken z_i am Martinsturm

Bis jetzt wurden hierfür drei vollständige Beobachtungsreihen im September 1963, Dezember 1963 und April 1964 durchgeführt. Dabei wurden in jeder Reihe sämtliche Zielmarken z_i in jeweils drei vollständigen Richtungssätzen beobachtet und die zugehörigen Vorwärtsschnitte mit der Rechenanlage ZUSE Z 11 berechnet. Aus den Koordinaten der Zielmarken wurden stockwerksweise die Schnittpunkte der Verbindungsgeraden der Zielmarken West und Ost berechnet. Die Schnittpunkte stellen sehr genau bestimmte Vergleichspunkte dar, bezeichnen aber nur näherungsweise die Lage der Turmachse, weil die Zielmarken nicht scharf symmetrisch eingebracht werden konnten. Die wiederholte Einmessung der Zielmarken und Berechnung der Schnittpunkte dienten aber dazu, etwaige in der Zwischenzeit erfolgte Änderungen der Turmachse nachzuweisen. Weiter muß darauf hingewiesen werden, daß lediglich für die ersten fünf Stockwerke von oben gerechnet jeweils vier Zielmarken (Nord, Ost, Süd und West) beobachtet werden konnten. Für das 6. Stockwerk konnten nur drei Zielmarken (Nord, Süd und West) beobachtet werden. Als Vergleichspunkte wurden für das 6. Stockwerk jeweils die Koordinaten der westlichen Zielmarken auf die Verbindungsgerade Zielmarke Nord – Zielmarke Süd transformiert und der Fußpunkt als Liniennetzpunkt eingerechnet. Für die Stockwerke 7, 8 und 9, also für die unteren drei Stockwerke, konnten nur die Zielmarken Süd und West berechnet werden. Um aus diesen Koordinaten der Zielmarken passende Vergleichspunkte zu finden, wurden auf die Verbindungsgerade jeweils durch Absetzen von Winkeln von je 50^g Vorwärtsschnitte in Richtung der Turmachse gerechnet. Während sich nun in den ersten fünf Stockwerken durch die Schnittpunktsberechnung die Unsicherheiten in den Koordinaten im wesentlichen ausmitteln, gehen im 6. Stockwerk die Lagefehler der westlichen Zielmarke unvermittelt ein. Ebenso werden in den Vorwärtsschnitten mit angenommenen Winkeln im 7., 8. und 9. Stockwerk die Koordinatenfehler der beiden Zielmarken voll wirksam.

Die Hochpunkte Martinsturm, Kreuzspitze; Kreuzschnittpunkt; Helmstange und der Beobachtungspfeiler auf der Maßwerkgalerie wurden auf der ZUSE Z23 unter Beachtung aller Innen- und Außenstrahlen nach und von den Punkten des Grundpolygons ausgeglichen.

In *Anlage 10* sind die Koordinaten der Zielmarken aus den drei Messungen einander gegenübergestellt. Da diese verhältnismäßig günstig zueinander passen, wurden sie gemittelt und für die Einzelmessung die Abweichungen im Sinne Mittel minus Einzelmessung berechnet. Die Gegenüberstellung zeigt, daß die Koordinaten zum Teil hervorragend übereinstimmen, zumindest immer in einer der Koordinatenrichtungen, während in der anderen Richtung sich systematische Abweichungen ergeben, die durch einseitige Zielauffassung oder durch Orientierungsfehler in der Basis erklärt werden können. Für alle drei Messungen wurden die Schnittpunkte der Zielmarken berechnet und die Ergebnisse in *Anlage 11* zusammengestellt und auch dort die Unterschiede zwischen den einzelnen Messungen ausgewiesen. Da diese nur wenige Millimeter erreichen und lediglich bei den mangelhaften Bestimmungen im 6. bis 9. Stockwerk Abweichungen bis zu einem Zentimeter zeigen, wurden auch hier die Schnittpunkte der Zielmarken in gleichen Stockwerken gemittelt und wiederum die Abweichungen Mittel minus Einzelmessung gebildet *(Anlage 12)*. Hier zeigt sich nun für die oberen Stockwerke das erstaunliche Ergebnis, daß die Abweichungen aus den

drei Messungen nur in einem einzigen Fall 2 mm erreichen und im übrigen 0 mm bis 1 mm betragen. Für die unteren vier Stockwerke zeigen die Schnittpunkte M 6 bis M 9 aus den drei Messungen etwas größere Streuungen bis zu 7 mm. Erfreulich ist, daß auch hier die 3. Messung im Durchschnitt nur um 1 bis 2 mm vom Mittelwert aus allen drei Messungen abweicht.

Die *Anlage 12* zeigt, daß in der Zeit vom September 1963 bis April 1964 die Turmachse keinerlei meßbare Änderungen erfahren hat. Die für die unteren drei Zielmarken ausgewiesenen etwas größeren Änderungen, die im Mittel etwa 5 mm betragen, sind kaum reell, sie sind sicher auf Messungsunsicherheiten und auf die Art der Mittelbildung zurückzuführen.

Bei allen drei Messungen wurden die Kreuzspitze, der Kreuzschnitt, die Helmstange unter dem Knauf sowie der Beobachtungspfeiler auf der Balustrade trigonometrisch bestimmt und ihre Koordinaten durch Ausgleichung festgelegt. Die Ergebnisse sind in *Anlage 13* ausgewiesen. Hierbei ergibt sich, daß zwischen der 3. und 2. Messung im Mittel Abweichungen von + 2 mm auftreten. Im Maximum erreichen sie 4 mm. Etwas größer (bis zu 1 cm) sind die Abweichungen zwischen der 3. und der 1. Messung und auch zwischen der 2. und 1. Messung. Die Koordinatendifferenzen entsprechen der Unsicherheit der Zielpunkte und den bei kurzen und sehr steilen Sichten zu erwartenden Beobachtungsfehlern. Auch dieses Ergebnis zeigt, daß der Turm während der drei Messungen keine nachweisbaren Änderungen in der Lage erfahren hat.

3.3 Höhenmessungen

Vermarkung und Numerierung der Bolzen an und in der Martinskirche in Landshut

An der nördlichen und südlichen Außenwand der Kirche wurden jeweils unter den Strebepfeilern Mauerbolzen angebracht. Die Bolzen befinden sich ca. 70 cm unter dem Gesimsband des Mauersockels. Die Mauerbolzen wurden örtlich eingemessen *(Anlage 6)* und durchnumeriert mit H.P. 0–H.P. 9 (Nordseite) und H.P. 70–H.P. 79 (Südseite). Die Nummern steigen von Westen nach Osten in Richtung Portal-Hochaltar.

In der Kirche wurden an den Langhauspfeilern (mit Ausnahme der Kanzelsäule) an beiden Seiten, 10 cm über dem Sockelgesims in einer Höhe von etwa 1,2 m über dem Kirchenpflaster, kleinere Mauerbolzen eingebracht. Weiter wurden die Strebepfeiler an der Innenseite durch diese kleinen Mauerbolzen versichert. Diese Nivellementsbolzen tragen die Nummern 10 bis 19, 21–28, 31–38, 41–48, 51–58 und 61–69. Die Numerierung ist so durchgeführt, daß alle Bolzen derselben Reihe dieselbe Zehnerstelle haben, und daß Bolzen mit denselben Endnummern symmetrisch zur Mittelachse liegen.

Die vom Stadtbauamt Landshut im Innern des Hauptportals angebrachten Bolzen wurden mit H.P. 80 und H.P. 90, der städt. Bolzen an der SW-Seite des Turmes mit H.P. SW bezeichnet. Dazu kommen die beiden Nivellementsbolzen des Landeshöhennetzes TB. 33 und MB. 34. Eine Übersicht über die Lage und Numerierung der Höhenbolzen enthält *Anlage 7*.

Feinnivellement in und um die St. Martinskirche

Das Feinnivellement an der St. Martinskirche in Landshut wurde inzwischen ebenfalls dreimal (September 1963, Dezember 1963 und April 1964) durchgeführt. Zur Beobachtung

wurden die Feinnivelliere WILD N 3 Nr. 1307 mit 3 m- und 1,5 m-Invarlatte mit Zentimeterteilung und das ZEISS Ni 2 Nr. 1187 mit 3 m-Invarlatte (½ cm-Teilung) verwendet. Sämtliche Schleifen wurden doppelt gemessen. Das Präzisionsnivellement wurde zur Kontrolle in siebzehn Schleifen unterteilt. Die Schleifen sind in *Anlage 8* ausgewiesen. Das Präzisionsnivellement wurde streng nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Die Ergebnisse sind in *Anlage 14* ausgewiesen, wobei alle Höhen auf die Höhenmarke M.B. 34 im Sockel des Turmes bezogen wurden. Auch hier ergibt sich die erfreuliche und erstaunliche Tatsache, daß die 3. Messung mit der 1. Messung ausgezeichnet übereinstimmt, und daß sich nur an den Punkten 63 bis 67 Abweichungen ergeben, die einen halben Millimeter erreichen. Diese Abweichungen sind aber sicher nicht auf Höhenänderungen zurückzuführen. Sie sind dadurch zu erklären, daß in diesen Punkten nur Behelfslatten von 1,5 m Länge aufgestellt werden konnten, während im übrigen mit 3 m-Invarbandlatten gemessen wurde. Bemerkenswert ist, daß die im Dezember bei sehr tiefen Temperaturen für die 2. Messung gefundenen systematischen Absenkungen des Kirchenschiffes gegenüber dem Turm wieder voll zurückgegangen sind. Um die Absenkungen vor der 2. Messung endgültig klären zu können, sind weitere Wiederholungsmessungen im bisherigen Zeitintervall von etwa drei Monaten, insbesondere auch Wiederholungsmessungen im nächsten Winter notwendig.

Anschlußnivellement zur Überprüfung des Ausgangshöhenbolzens M.B. 34 im Sockel des Turmes

Zur Überprüfung des Ausgangspunktes MB 34 am St. Martinsturm wurde die Strecke des Bayerischen Hauptnivellements von MB 34 nach MB 94 benutzt und mehrfach gemessen. Die Ergebnisse sind in den *Anlagen 15ᵃ und 15ᵇ* zusammengestellt. Sämtliche Höhenunterschiede beziehen sich dabei auf MB 34/7438, dessen Höhe mit Null angenommen wurde. An allen Höhen ist die normale orthometrische Korrektion angebracht. Die in Spalte 8 aufgeführten Werte wurden im Rahmen einer Diplomarbeit mit einem ZEISS Ni 2 nivelliert, der mittlere km-Fehler der Doppelmessung beträgt für dieses Nivellement ± 0,7 mm. Das Anschlußnivellement weist erhebliche Unsicherheiten auf und auch auf Höhenänderungen in der Stadt Landshut hin. Diese Änderungen müssen noch durch weitere und weiter ausgreifende Nivellements genauer untersucht werden. Mit Rücksicht hierauf war es möglich, die Höhe der MB 34/7438 am Sockel des St. Martinsturms zunächst als konstant zu betrachten und nur die relativen Höhenunterschiede zwischen diesem Punkt und allen übrigen Höhenbolzen in und an der St. Martinskirche zu untersuchen. Es können daher die Messungsergebnisse aus den Jahren 1963 und 1964 gemittelt und die Abweichungen gegenüber der Einzelmessung berechnet werden *(Anlage 15ᵇ)*. Diese entsprechen etwa den Messungsunsicherheiten.

Untersuchung der horizontalen Lage der äußeren Sockelbänder (Gesimshöhen)

Bei der ersten Messung im September 1963 wurden im Anschluß an die Höhenbolzen an den Außenseiten der St. Martinskirche auch die Höhen der Sockelgesimse bestimmt und dabei die Werte der *Anlage 16* erhalten. Diesen Höhen kommt mit Rücksicht auf die Ausbildung dieser Gesimse nur eine Sicherheit von etwa ± 2 cm zu. In diesem Bereich läßt sich eine systematische einseitige Absenkung nicht erkennen. Allerdings liegt das südliche Gesims etwa einen Dezimeter tiefer als das nördliche Gesims.

Trigonometrische Höhenbestimmung

Bei der ersten Messung wurden die Meereshöhen der Zielmarken trigonometrisch bestimmt, wobei eine Genauigkeit von einigen Millimetern erzielt wurde *(Anlage 17)*. Für die Hochpunkte und für die Höhe des St. Martinsturms ergaben sich die Werte in *Anlage 18*.

Zusammenfassung:

1. Die bisherigen Messungen zeigen keinerlei Lage- oder Höhenänderungen am Bauwerk.
2. Für die Standsicherheit der St. Martinskirche in Landshut ist zur Zeit aus den geodätischen Feinmessungen keine akute Gefahr zu erkennen.
3. Die Fundierung ist in Ordnung, bei weiterem Zurückgehen des Grundwassers könnten allerdings Schäden am Pfahlrost auftreten.

Es ist angebracht, die geodätischen Beobachtungen zur Bauwerksüberwachung fortzusetzen

II

GEODÄTISCHE FEINMESSUNGEN ZUR BAUWERKSÜBERWACHUNG IN DER RESIDENZ IN WÜRZBURG

1. BAUGESCHICHTE UND BAUBESCHREIBUNG

Der Würzburger Residenzbau ist eines der bekanntesten Werke von Balthasar Neumann. Der Grundriß der Residenz bildet ein Rechteck, das sich in der Mitte der Westseite mit einem 55 m tiefen Ehrenhof öffnet. Die Länge des Rechtecks beträgt 167 m, seine Tiefe 92 m. Zu beiden Seiten des Ehrenhofes liegen zwei Gebäudeblöcke, die sich um je zwei Innenhöfe gruppieren. Der Mittelbau, zu dem vom Ehrenhof aus eine dreiteilige Hauptportalanlage führt, umfaßt eine große Einfahrtshalle (Vestibül), an die sich nach Norden das Stiegenhaus anschließt. Die Einfahrtshalle bildet einen großen rechteckigen Raum mit zwei schmalen Seitenschiffen. Das Treppenhaus ist ein rechteckiger Raum von der Höhe des ganzen Gebäudes, mit einer Länge von 30 m und einer Breite von 18 m, überdeckt durch ein kunstvoll konstruiertes Spiegelgewölbe mit dem bekannten Deckengemälde von Tiépolo. Die Seitenschiffe haben je 5 Joche mit Kuppeln, 4 Pfeiler mit Doppelatlanten besetzt, und ebenso viele gekuppelte toskanische Säulen trennen die Schiffe. An die Halle schließt sich der Gartensaal an. Über der Halle liegt der Weiße Saal und nach Norden der Kaisersaal. Die *Tafel III* zeigt die Fassade für das Hauptportal, die *Tafel IV* gibt einen Blick vom Stiegenhaus zur Einfahrtshalle. Die *Anlagen 19a und 19b* zeigen den Grundriß des Erdgeschosses und den Grundriß des darüberliegenden Hauptgeschosses. Die *Anlage 20* zeigt einen kombinierten Schnitt durch das Stiegenhaus, den Weißen Saal und den Kaisersaal.[1] Bemerkenswert ist, daß die Trennwand zwischen dem Weißen Saal und dem Stiegenhaus auf einem Mauerbalken ruht, der auf zwei Auflagern und zwei Zwischenpfeilern aufliegt und in der Mitte von zwei Doppelsäulen unterstützt wird. Dasselbe gilt für die Südwand des Weißen Saales. Die nachfolgend beschriebenen geodätischen Untersuchungen betreffen diese Säulen, die Gründungsverhältnisse und die Konstruktionselemente der Einfahrtshalle, des Stiegenhauses und des Weißen Saales. Die im Vestibül eingebauten vier Doppelsäulen haben erhebliche Lasten zu tragen. Sie sind durch Druckspannungen und Biegebeanspruchung so überlastet, daß sie erhebliche Schäden zeigen und bereits im Jahre 1920 ausgewechselt werden mußten.

Über die Planung und den Rohbau (1720 bis 1747) des Vestibüls und des Treppenhauses gibt Herr Dr.-Ing. Theo Brannekämper in einem Gutachten vom 12. 7. 1963 folgenden konstruktionsgeschichtlichen Überblick:

---

[1] Die vorstehende Beschreibung und die Anlagen 1 bis 3 sind entnommen aus: „Die Kunstdenkmäler von Unterfranken und Aschaffenburg, Band XII, Stadt Würzburg", bearbeitet von Felix Mader, erschienen 1915 im Verlag R. Oldenbourg, München.

„Der Entwurf des Vestibüls und des Treppenhauses war während der Planung und während des Rohbaues ein steter Anlaß zu Meinungsverschiedenheiten zwischen der Pariser, der Wiener, der Mainzer und der Würzburger Planung. Im Laufe der Entwicklung war im sogenannten Würzburger Reaktionsgrundriß die Deckenkonstruktion des Vestibüls durch einen „wirren Säulenwald" getragen. Erst allmählich wurde die Konstruktion aufgelockert, wobei zunächst das Vestibül durch ein äußerst kühnes Muldengewölbe frei überspannt und weiter die Wand zwischen Vestibül und Treppenhaus in zunehmendem Maße durchbrochen wurde. Bei einem Besuch des französischen Architekten Boffrand in Würzburg und Pommersfelden 1724 brachte der Franzose sein Urteil über die Konstruktion in die „orakelhafte Formel": „Es seien ihm zu Pommersfelden und Würzburg Dinge gezeigt worden, die man sich in Frankreich nicht zu machen getraue".

Auf der Wiener Bausitzung 1730 wurde sodann die bisher stark geschlossene Wand des Vestibüls so weitgehend in Stützen aufgelöst, daß „sein Raum und der des Treppenhauses zu einer Einheit verschmolzen".

Nach der Wiener Sitzung im April 1731 hatte Hildebrand eigenhändig signierte Pläne nach Würzburg gesandt. „Neumann weist mit Befriedigung auf einige, die Gewölbe betreffenden Mängel in den Hildebrand'schen Plänen hin, erklärt aber doch, daß er nach diesem in allem sich richten werde". Im „Vestibulum ist ein Stützenpaar mehr eingestellt, was der Ausführung entsprach".

Um 1737 soll, wie die Anekdote berichtet, zwischen Hildebrand und Neumann eine Diskussion über die Gewölbekonstruktion des Treppenhauses stattgefunden haben. Neumann versucht die Standfestigkeit seiner Gewölbe dadurch zu beweisen, daß er Hildebrand anbot, eigenhändig einige Geschütze in diesem Raum abzufeuern. Hildebrand jedoch erwiderte, daß er sich auf eigene Kosten unter dem Gewölbe hängen lassen wollte, wenn es sich bewährte. Ob die Anekdote auf Wahrheit beruht oder nicht, sie soll nur eine Bestätigung dafür sein, daß die schwierigen konstruktiven Lösungen im Vestibül und Treppenhaus eine stete Sorge um die Standsicherheit des Bauwerks in sich geschlossen haben."

Weitere Untersuchungen haben ergeben, daß die gefährdeten Doppelsäulen im oberen Säulenquerschnitt einer Belastung von etwa 80 kg/cm² ausgesetzt sind, die weit das zulässige Maß überschreitet. Durch die auftretenden Schäden mußten das Vestibül, das Treppenhaus und der Weiße Saal gesperrt und das gesamte Vestibül abgestützt werden. Vestibül und Treppenhaus sind nicht unterkellert. Die Gründung muß daher noch besonders untersucht werden. Herr Dr. Brannekämper kommt in seinem Gutachten zu folgender Zusammenfassung:

„Aus dem geschichtlichen Rückblick, den Akteneinsichten und den weiteren Untersuchungen ergibt sich, daß die vier Doppelsäulen des Vestibüls bedeutend überbeansprucht sind, so daß ihre Standsicherheit gefährdet ist.

Die Erkenntnis dieses Zustandes darf nach den anerkannten Regeln des Bauens nicht nur eine Auswechslung der Säulen zur Folge haben. Eine solche Maßnahme würde die Ursache der Schäden nicht beseitigen.

Diese Ursache liegt zum Teil in einer Überbeanspruchung der Doppelsäulen durch Druckspannungen, in der Hauptsache jedoch darin, daß die Säulen außer den Druckkräften auch Biegebeanspruchungen erhalten, zu deren Aufnahme sie in keiner Weise geeignet sind. Diese Biegebeanspruchungen werden hervorgerufen durch die starke Verschiedenheit der in Höhe der Stützenköpfe wirkenden Gewölbeschübe des Vestibülgewölbes einerseits und der Treppenkonstruktion andererseits. Das Überwiegen des Vestibülgewölbeschubes bewirkt zwar in Höhe der Stützenköpfe eine Zentrierung des lotrechten Kraftangriffes, die verbleibende waagrechte Kraftkomponente ist aber durch Gegenkräfte vom

Treppenhaus nicht aufgenommen und ergibt damit in den Säulen Biegebeanspruchungen, welche die beschriebenen Zerstörungen hervorrufen. Da kaum anzunehmen ist, daß Neumann oder Hildebrand diese Wirkung des Schubes auf die Säulen nicht erkannt haben, wäre es nicht ausgeschlossen, daß die gegenüberliegenden Säulenpaare seinerzeit durch Zugbänder verbunden waren und daß diese Zugbänder später in Unkenntnis ihrer statischen Bedeutung entfernt wurden.

Bei den jetzt erforderlichen Baumaßnahmen ist die Erhaltung des wunderbaren zusammengeschlossenen Raumeindruckes von Vestibül und Treppenhaus ein dringendes Erfordernis der Denkmalpflege.

Andererseits bedürfen die Doppelsäulen, die Kopfplatten und die Kelche einer vollkommenen Erneuerung mit neuzeitlichen Baustoffen, damit die entsprechenden Beanspruchungen auf die Dauer ohne schädliche Wirkungen aufgenommen werden können. Es wird daher empfohlen, die Sandstein-Säulenpaare durch Profil-Stahlsäulen mit Kopfplatten zu ersetzen. Um die Aufnahme der außerordentlich großen Horizontalschübe zu gewährleisten, wird im Vestibül der Einbau von Zugbändern zwischen den nördlichen und südlichen Säulenpaaren vorgesehen. Die Stahlkonstruktion kann sodann mit einem Mantel aus Beton oder Rabitz umgeben werden, der den vorhandenen Formen voll entspricht. Die Kelche der Doppelsäulen sind, soferne bei der Freilegung nicht besonders gute konstruktive Elemente gefunden werden, in Stahl oder Stahlbetonkonstruktion auszuwechseln. Weiterhin ist eine Gründungsplatte aus Stahlbeton einzubauen, um eine ausreichende Verteilung der Säulenlasten auf die vorhandenen Fundamentkörper und damit auf den Baugrund zu gewährleisten.

Als Vorarbeiten für diese Lösung ist eine vorläufige statische Berechnung nach den bisherigen Erkenntnissen über die konstruktiven Gegebenheiten und die verwendeten Baustoffe zu erstellen.

Die Sicherungsarbeiten erstrecken sich sodann auf den Einbau der notwendigen Lehrgerüste im Vestibül und in die Gewölbekonstruktion des Treppenhauses sowie auf die Anbringung von Strebepfeilerbolzen an den aufgehenden Mauern. Die nun folgenden Freilegungen, Schürfungen und Bohrungen werden sodann die endgültigen statischen Berechnungen und die konstruktive Projektierung ermöglichen.

Der Ablauf der außerordentlich schwierigen Auswechslungsarbeiten muß in einem Baubetriebsplan nach statischen, konstruktiven und praktischen Erwägungen ermittelt werden."

Für eine laufende Untersuchung des Bauwerkes während der Umbauarbeiten wurde nun eine Reihe von geodätischen Feinmessungen angeregt, über die nachfolgend berichtet werden soll.

2. GEODÄTISCHE FEINMESSUNGEN

2.1 Vorarbeiten

Für die Überprüfung etwaiger Lage- und Höhenänderungen im Obergeschoß des Mitteltraktes der Residenz in Würzburg (Treppenhaus und Weißer Saal) wurde ein örtliches Vermessungssystem angelegt. Dieses Vermessungssystem umfaßt folgende Teile:

1. Polygonnetz

Zur Bestimmung der Lage der Stützpfeiler in der Eingangshalle und der Seitenwände des Weißen Saales wurde ein Polygonzug in der Eingangshalle über die Mitteltreppe in das

1. Stockwerk geführt. Der Polygonzug wurde nach der Mittelachse der Eingangshalle orientiert. Der Polygonzug wurde mit einem WILD T 2-Theodolit, einer 2 m-Invarbasislatte und mit Zwangszentrierung ausgemessen. Die Detailaufnahme der Pfeiler in der Eingangshalle und der einzelnen Wandprofile im Weißen Saal erfolgte durch eine Orthogonalaufnahme. Das Ergebnis dieser Aufnahme wurde in Handrissen im Maßstab 1:75 ausgewiesen.

2. Präzisionsnivellement

Für die Überprüfung etwaiger Höhenänderungen im Bereich des Treppenhauses und des Weißen Saales wurden insgesamt 30 Höhenfestpunkte im Obergeschoß der Residenz angebracht. Davon entfallen 13 Höhenfestpunkte auf das Treppenhaus, 16 Höhenfestpunkte auf den Weißen Saal; ein weiterer Höhenfestpunkt befindet sich in dem an den Weißen Saal anschließenden Nebenraum an der Ehrenhofseite *(Anlagen 21 und 22)*. Die Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Höhenfestpunkten wurden bei jeder Einzelaufnahme durch Präzisionsnivellements mit einem WILD N 3-Feinnivellierinstrument unter Benutzung von Invarbandlatten bestimmt. Sämtliche Höhenunterschiede wurden grundsätzlich auf den Höhenfestpunkt 1 im Treppenhaus mit der örtlichen Bezugshöhe von 10,0000 m bezogen. Die Genauigkeit der Höhenunterschiede von Punkt zu Punkt betrug etwa ± 0,1 mm. Sämtliche Feineinwägungen wurden in einem Doppelnivellement ausgeführt.

In einer besonderen Meßreihe wurde schließlich noch der Höhenunterschied zwischen der Fußbodenhöhe in der Eingangshalle und der Fußbodenhöhe im Treppenhaus unmittelbar vor dem Weißen Saal ermittelt. Dieser Höhenunterschied ergab sich zu 9,255 m.

3. Beobachtungsnetz für Präzisionsmessungen mit der Schlauchkanalwaage

Für Höhenmessungen mit einer Präzisions-Schlauchkanalwaage wurde schließlich noch ein aus 11 Festpunkten bestehendes Präzisionshöhennetz vermarkt und mehrmals mit einer Präzisions-Schlauchkanalwaage ausgemessen. Für bestimmte Höhenunterschiede wurde auf die Dauer von einigen Wochen täglich ein Eichnivellement mit einer Präzisions-Schlauchkanalwaage durchgeführt.

4. Präzisionsmessungen für Lageänderungen

Zur Überprüfung etwaiger Lageänderungen der Seitenwände des Weißen Saales wurden drei Invardrähte mit Differentialmeßanlagen montiert und besondere Aufhängevorrichtungen einbetoniert. Die Differentialmeßanlagen gestatten eine laufende Kontrolle der gegenseitigen Lage der Aufhängevorrichtungen mit einer Registriergenauigkeit von etwa ± 0,1 mm. Dazu kommen tägliche unmittelbare Ablesungen an den Meßuhren mit Hilfe einer Mikrometermeßschraube, die eine Lagegenauigkeit von etwa ± 0,02 mm ergeben. Zwei dieser Differentialmeßanlagen wurden im Weißen Saal und eine im Obergeschoß des Treppenhauses eingebracht.

2. 2. Beobachtungs- und Auswerteergebnisse

1. Die unter 1. 1. angeführten Vermessungen wurden am 28. und 29. 11. 1963 ausgeführt. Ihre Ergebnisse sind hier nicht von Bedeutung.

2. Im Berichtszeitraum wurden an folgenden Tagen Präzisionsnivellements durchgeführt:

1. Messung in der Zeit vom 19. bis 20. 12. 1963
2. Messung am 21. 2. 1964
3. Messung am 17. 3. 1964
4. Messung in der Zeit vom 14. bis 17. 5. 1964
5. Messung in der Zeit vom 19. bis 20. 6. 1964.

Die Einzelergebnisse, jeweils bezogen auf H.F.P. 1, sind in den *Anlagen 23a, 23b und 23c* angegeben. Die Anlagen zeigen auch die Änderungen der Kontrollmessungen gegenüber der 1. und der unmittelbar vorhergehenden Messung. Die Höhenänderungen der Kontrollmessungen gegenüber der 1. Messung sind auch in den *Anlagen 21 und 22* ausgewiesen. Wenn alle Höhenänderungen von ± 0,2 mm der Unsicherheit der Beobachtung zugeschrieben werden, so bleiben doch gegenüber dem Ausgangspunkt H.F.P. 1 im Bereich des Treppenhauses deutliche systematische Absenkungen bei den H.F.P. 2, 3, 4, 5 und H.F.P. 6, während die Höhen der H.F.P. 7, 8, 9 und 10 praktisch unverändert geblieben sind. Die H.F.P. 11 und 12 zeigen deutliche Hebungen, der H.F.P. 13 eine ungewöhnlich große Senkung. Im Weißen Saal weisen die Höhen für die H.F.P. 16 bis 24 von der 1. bis zur 3. Kontrollmessung auf eine fortschreitende Senkung hin. Die Höhenänderungen der H.F.P. 14, 15 und 25 liegen im Bereich der Unsicherheit der Messung, während die H.F.P. 27, 28 und 29 eine zunehmende Aufwölbung erkennen lassen. H.F.P. 30 zeigt eine gleichmäßige Absenkung. Nachdem die erzielte Beobachtungsgenauigkeit bei allen Meßreihen im Bereich von ± 0,1 bis ± 0,2 mm liegt, sind offensichtlich im Bereich des Treppenhauses und des Weißen Saales gegenüber dem H.F.P. 1 nachweisbare relative Höhenänderungen in der Zeit vom Dezember 1963 bis Mai 1964 eingetreten.

3. Um die Sicherheit der Höhenkontrolle noch durch genauere Messungen steigern zu können, wurden im Saal des Treppenhauses und im Weißen Saal insgesamt 11 Meßstellen für die Höhenmessung mit einer Präzisions-Schlauchkanalwaage[1] eingerichtet. Dazu mußten 11 Spezialhöhenbolzen und 22 Spezialschraubbolzen für die Befestigung und Justierung der Schlauchkanalwaage eingebracht werden.

Die 1. Messung mit der Präzisions-Schlauchkanalwaage erfolgte am 15. 5. 1964 und 17. 5. 1964 über die vorbereiteten Meßstellen. Die Beobachtungen wurden in unabhängigen Hin- und Rückmessungen durchgeführt, wobei die Beobachtungen in 5 Dreiecken bzw. Polygonen angeordnet wurden. Die Numerierung der Meßstellen und der Höhenschleifen sind in *Anlage 24* ausgewiesen. Die *Anlage 24* enthält die Schleifenwidersprüche (Höhenwidersprüche), die Beobachtungsergebnisse für die einzelnen Strecken sowie ihre Verbesserungen zur Tilgung der Schleifenwidersprüche. Der Schleifenschlußfehler bei der 1. Messung betrug ± 25 μ. Die *Anlage 25* enthält die Berechnung der Schleifenwidersprüche für die 1. Messung mit der Schlauchkanalwaage. Die *Anlage 26* zeigt die Abgleichung der Höhen und die Berechnung des mittleren Fehlers einer vollständigen Schlauchkanalwaagenmessung $m = \pm 11\ \mu$.

Eine Zweitmessung mit der Präzisions-Schlauchkanalwaage fand am 22. 5. 1964 statt. Dabei wurden die Höhenschleifen noch durch die Messung der Höhenunterschiede II–VI und IV–V sowie der Diagonalen VII-IX verdichtet. Die Höhenbolzen X und XI konnten erst nach der 2. Messung eingebracht und erst bei der 3. Messung berücksichtigt wer-

[1] Benützt wurde eine Präzisions-Schlauchwaage nach Prof. Dr. O. Meißer der Firma Freiberger Präzisionsmechanik.

den. In *Anlage 27* sind entsprechend der *Anlage 24* die Schleifenwidersprüche, die beobachteten Höhenunterschiede und ihre Verbesserungen sowie die Lage der Festlegungen eingezeichnet. Die Berechnung und Ausgleichung der Schleifenwidersprüche für die 2. Messung enthält die *Anlage 28*. Für die 2. Messung konnten die Verbesserungen durch eine strenge Höhennetzausgleichung ermittelt werden. Diese ergab einen mittleren Schleifenwiderspruch von $\pm$ 19 μ und für die vollständige Messung eines Höhenunterschiedes den mittleren Fehler von $\pm$ 10,5 μ.

In *Anlage 29* sind schließlich für die 2. Schlauchkanalwaagenmessung die endgültigen Höhen, bezogen auf die Meßstelle I in der Nordwand des Treppenhaussaales, ausgewiesen. Hiernach weisen alle Bolzen gegenüber dem Ausgangsbolzen I Absenkungen von 0,03 bis 0,14 mm auf. Hierbei muß darauf hingewiesen werden, daß das keine Absolutbeträge, sondern nur relative Änderungen gegenüber dem Bolzen I sind. Die Absenkung für den Bolzen IX kann durch eine Anhäufung von Messungsfehlern verfälscht sein. Für genauere Untersuchungen ist es zweckmäßig, die Änderungen der tatsächlich beobachteten Höhenunterschiede von Punkt zu Punkt, wie sie in den Anlagen 24–27 ausgewiesen sind, zu beachten.

Bei der 3. Meßreihe am 19. 6. 1964 konnten zwischen den 11 Meßstellen insgesamt 25 Höhenunterschiede beobachtet werden. In *Anlage 30* sind in schematischer Darstellung die Lage der Meßstellen, die beobachteten Höhenunterschiede sowie die Schleifenwidersprüche ausgewiesen. Alle Meßwerte wurden nach bedingten und zur Kontrolle auch nach vermittelnden Beobachtungen ausgeglichen. Dabei ergab sich ein mittlerer Fehler für einen ausgeglichenen Höhenunterschied von $\pm$ 16 μ.

Die beobachteten Höhenunterschiede sowie die aus der Ausgleichung sich ergebenden Verbesserungen und die ausgeglichenen Höhenunterschiede sind schleifenweise zusammengestellt und in den *Anlagen 31a und 31b* ausgewiesen. Für den Vergleich der bisherigen Meßergebnisse mit der Präzisions-Schlauchkanalwaage sind in *Anlage 32* die unmittelbar gemessenen Höhenunterschiede einander gegenübergestellt und in *Anlage 33* die entsprechenden ausgeglichenen Höhen der Kontrollpunkte ausgewiesen.

Eine eindeutige Überprüfung von Höhenänderungen mit Hilfe der Präzisions-Schlauchkanalwaage ist nur möglich, wenn jeder Höhenunterschied grundsätzlich in beiden Richtungen gemessen wird und wenn beim Umsetzen der Schlauchkanalwaage der Schlauch gut durchgeschüttelt wird, und wenn dann vor der Ablesung etwa 10 bis 15 Minuten gewartet wird, bis sich im Schlauch eine gleichmäßige Temperaturverteilung eingestellt hat.

Die ersten drei vorliegenden Meßreihen vom 14. 5., 22. 5. und 19. 6. 1964 haben gezeigt, daß mit dieser Meßeinrichtung bei Hin- und Rückmessung Höhenunterschiede mit einer Genauigkeit von nahezu $\pm$ 0,01 mm bestimmt werden können.

Eine Übersicht über die Höhenänderungen im Bereich des Treppenhauses und des Weißen Saales, die sich einerseits aus den Präzisionsnivellements und andererseits aus den Meßreihen mit der Präzisions-Schlauchkanalwaage ergeben, zeigt für die Zeit vom 15. 5. bis 15. 6. 1964 die *Anlage 34*. Die Ergebnisse der Präzisionsnivellierungen und der Präzisions-Schlauchkanalwaagenmessungen stimmen ausgezeichnet überein. Die Darstellung zeigt, daß der gesamte Baukörper im Bereich des Treppenhauses und des Weißen Saales gegenüber den Festpunkten 1 und I eine Absenkung erfahren hat. Lediglich die Trennwand zwischen dem Weißen Saal und dem Treppenhaus wurde durch das Unterbolzen im Eingangsraum der Residenz aufgewölbt.

Der Höhenunterschied zwischen den Höhenbolzen V und VIII mit der Präzisions-Schlauchkanalwaage wurde seit 15. 5. 1964 täglich durch Hin- und Rückmessung bestimmt. Die Ergebnisse sind in *Anlage 35* dargestellt. Die Anlage 35 zeigt, daß die Auf-

wölbung, der eine Abnahme des Höhenunterschiedes entspricht, etwa in der Zeit vom 24. 5. bis 7. 6. 1964 eingetreten ist.

Die bisherigen Messungen mit der Präzisions-Schlauchkanalwaage sind so genau, daß tägliche Höhenänderungen des Baukörpers, die durch Sonneneinstrahlung bedingt sind, nachgewiesen werden können. Hierzu wurde der Höhenunterschied zwischen den Bolzen X und XI im Treppenhaus am 19. und 20. 6. 1964 zu verschiedenen Tageszeiten ermittelt. Die Mauerseite zum Vorhof, die den Bolzen X trägt, wurde dabei etwa ab 14 Uhr von der Sonne beschienen. Eine erste Messung des Höhenunterschiedes von XI nach X ergab um 14.30 Uhr einen Höhenunterschied von + 6,334 mm. Um 16.15 Uhr, nachdem die Sonne auf die Außenmauer im Bereich des Kontrollpunktes X etwa 2½ Stunden einwirken konnte, wurde der Höhenunterschied von XI nach X mit 6,390 mm gemessen. Eine Überprüfung des gleichen Höhenunterschiedes am 20. 6. 1964 um 8 Uhr morgens ergab dagegen einen Höhenunterschied von + 6,245 mm. Zwischen der Erwärmung der Außenmauer am 19. 6. um 16.15 Uhr und der Abkühlung dieser Mauer am Morgen des 20. 6. änderte sich der Höhenunterschied um etwa 0,15 mm. Die Beobachtungsgenauigkeit ist dabei etwa ± 0,015 mm. Um diese Veränderungen endgültig deuten zu können, sind noch spezielle und länger dauernde Untersuchungen notwendig.

4. Die eingebauten und bisher selbsttätig registrierenden Längenmeßgeräte wurden für die Zeit vom 31. 12. 1963 bis 9. 5. 1964 einer einheitlichen Auswertung und Überprüfung unterzogen. Es wurden dabei zwei Stoppani-Längenmeßgeräte verwendet, die von CERN, Genf, zur Verfügung gestellt wurden. Ein weiteres Längenmeßgerät, das in der Folge mit „Plahl-Gerät" bezeichnet ist, wurde nach meinen Angaben im Geodätischen Institut der Techn. Hochschule München von Herrn Werkmeister Plahl konstruiert und gebaut.[1] In dieser Zeit ist die Temperatur ziemlich systematisch von + 2° C bis + 13° C gestiegen. Es mußte daher bei der Auswertung die Temperaturverbesserung für die Meßdrähte und für die Aufhängevorrichtungen der Meßgeräte aus Stahl berücksichtigt werden. Dabei ist zu beachten, daß die Stoppani-Geräte und das von uns konstruierte Gerät hinsichtlich der Ablesung und hinsichtlich der Auswertung sich im Vorzeichen unterscheiden, so daß bei beiden Geräten sich auch die Vorzeichen für die Temperaturverbesserungen, aber auch die Angaben für die Lageänderungen im Vorzeichen entsprechend unterscheiden. So muß bei einer Temperaturzunahme beim Stoppani-Gerät die Temperaturverbesserung von der Ablesung subtrahiert werden, beim Plahl-Gerät muß bei einer Temperaturzunahme die Temperaturverbesserung zur Ablesung addiert werden. Die Ausdehnungskoeffizienten der Invardrähte sind sehr verschieden. Sie können sich auch mit der Zeit ändern. Die graphischen Aufzeichnungen der Meßgeräte zeigen, daß mehrfach an die Drähte gestoßen wurde, daß aber im übrigen die Drähte ihre Länge ziemlich unverändert beibehalten haben. So werden daher in den Tabellen Perioden von jeweils 5 Tagen zusammengefaßt und ausgewertet, wobei dem Invar ein mittlerer Ausdehnungskoeffizient von 0,5 μ/° m zugeschrieben wird. Es ist anzunehmen, daß dieser Ausdehnungskoeffizient auf etwa ± 0,2 μ sicher ist. Dagegen ist der Ausdehnungskoeffizient für Stahl mit 11,5 μ/°m bekannt. Auffällig ist, daß alle drei Drähte ziemlich genau mit wechselnder Temperatur zu einer Vergrößerung der Strecke führen. Da nun 2 Drähte im Weißen Saal, der andere Draht im Treppenhaus aufgespannt sind, müßte sich das ganze Gebäude mit steigender Temperatur ausgedehnt haben. Wie weit diese Ergebnisse reell sind, muß noch durch weitergehende und langdauernde Spezialuntersuchungen festgestellt werden. Die in den *Anlagen 36a, 36b und 36c* dargestellten Kurven weisen auf nicht erfaßte Temperatureinflüsse hin. Im Absolutbetrag haben sich die Ab-

[1] Hierüber wird an anderer Stelle eingehend berichtet.

lesungen für das Plahl-Gerät im Weißen Saal nur in einem Bereich von 0,01 bis 0,02 mm geändert. Das Stoppani-Gerät weist dem Absolutbetrag nach nur eine Änderung von 0,01 mm innerhalb der vier Monate auf. Ebenso zeigen die Ablesungen des Stoppani-Gerätes im Treppenhaus nur Differenzen bis zu 0,04 mm. Die Differenzen wachsen natürlich wesentlich an, wenn die Temperaturkorrektionen berücksichtigt werden. Gegenüber der 1. Messung am 31. 12. 1963 zeigt unser Meßgerät eine mit der Temperatur gleichmäßige Änderung des Längenabstandes von 0,17 mm an. Das entsprechende Stoppani-Gerät gibt nur eine Längenänderung von 0,09 mm. Im Treppenhaus bei ziemlich genau doppelter Länge zeigt das Stoppani-Gerät eine Maximaländerung von 0,25 mm an. Dabei ist zu beachten, daß die Maximaländerungen erst Mitte April 1964 aufgetreten sind, wo ein stärkerer Temperaturanstieg von 6° C bis schließlich 13° C zu verzeichnen ist. Die Ergebnisse der selbstregistrierenden Längenmeßgeräte für die Zeit vom 9. 5. bis 19. 6. 1964 sind in den *Anlagen 37a, 37b und 37c* ausgewiesen. Zu den Anlagen 36 und 37 ist noch zu bemerken, daß die angegebenen Ablesungen unmittelbar an der Trommel der Mikrometerschraube bzw. an den Meßuhren durchgeführt werden. Die graphischen Registrierungen wurden nur benützt, um Sprünge durch äußere Einwirkungen festzustellen und um Neueinstellungen bei der Auswertung berücksichtigen zu können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich die Geräte über Erwarten gut bewährt und, abgesehen von einigen Unsicherheiten bei der Erfassung der Temperaturkorrektionen, für die durchgeführten horizontalen Distanzmessungen eine Genauigkeit von ± 0,01 mm bis ± 0,02 mm ergeben haben.

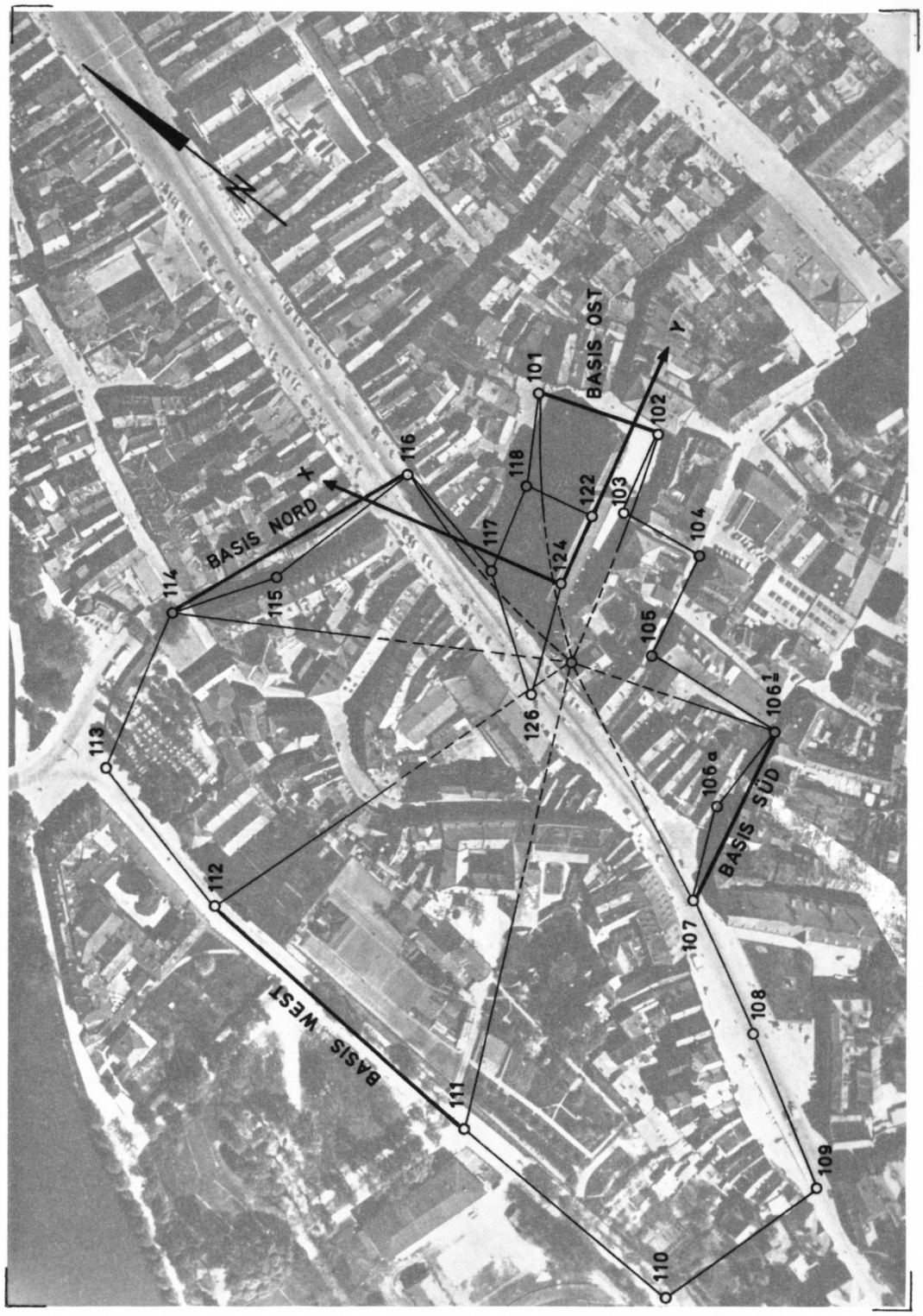
Die oben angegebenen horizontalen Längenänderungen von 0,1 bis 0,25 mm liegen innerhalb der temperaturbedingten Änderungen des Bauwerkes. Für eine endgültige Aussage müssen die Beobachtungen weitergeführt werden.

ANHANG

zu I

Anblick von Süden. Photogrammetrische Aufnahme 1964. D. G. F. I., München

Anblick von Westen. Photogrammetrische Aufnahme 1964. D. G. F. I., München



Polygonnetz und Beobachtungsplan

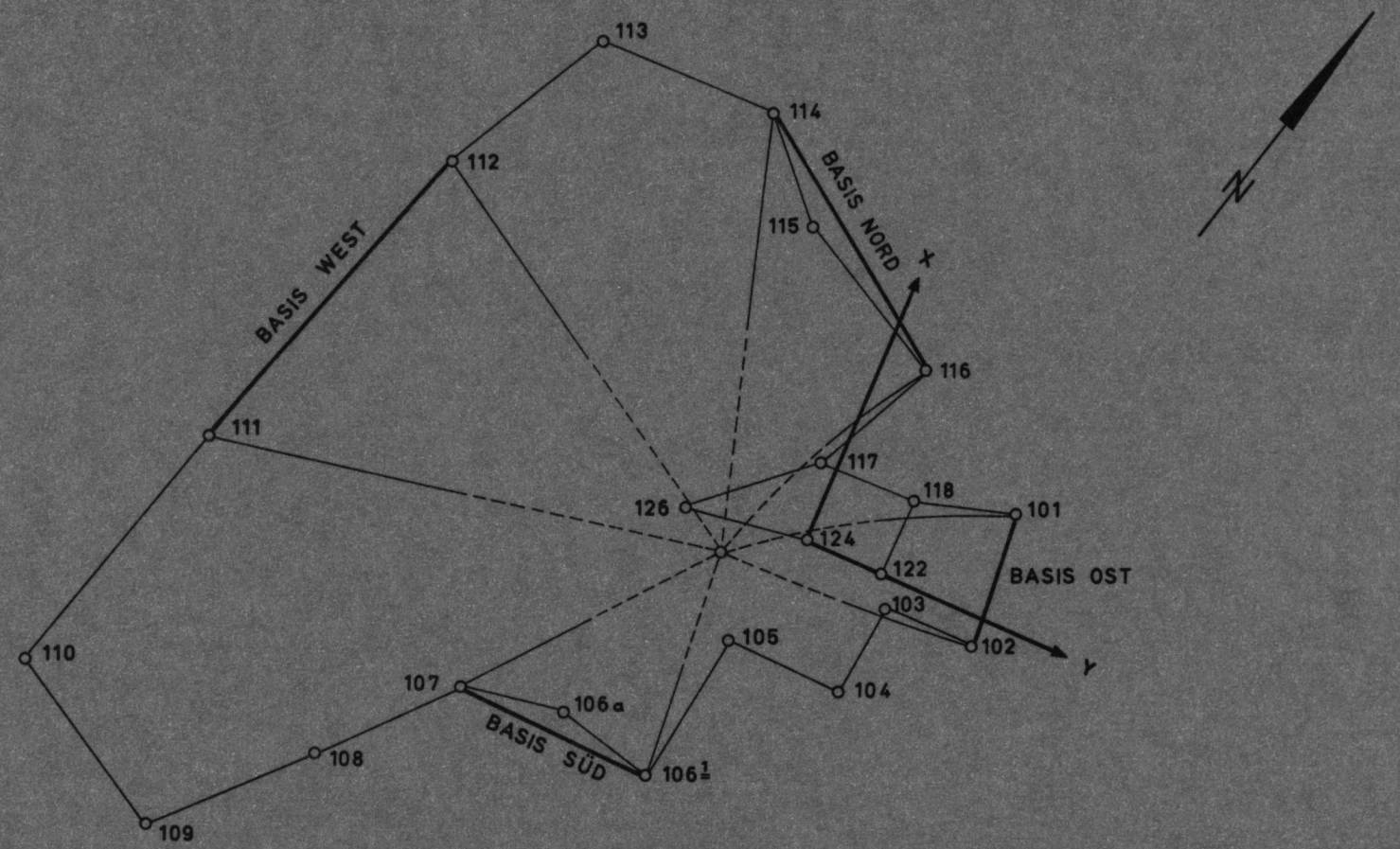
Anblick von Süden. Photogrammetrische Aufnahme 1964. D. G. F. I., München

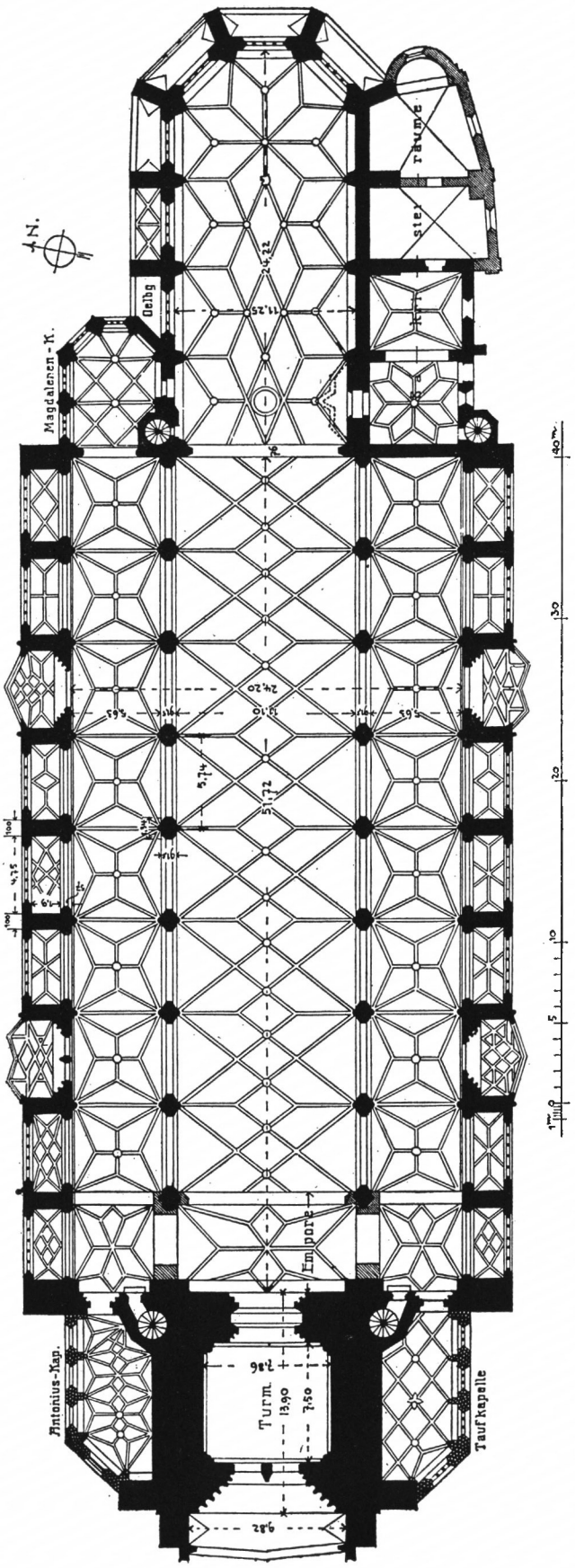
Anblick von Westen. Photogrammetrische Aufnahme 1964. D. G. F. I., München

TAFEL II

Polygonnetz und Beobachtungsplan

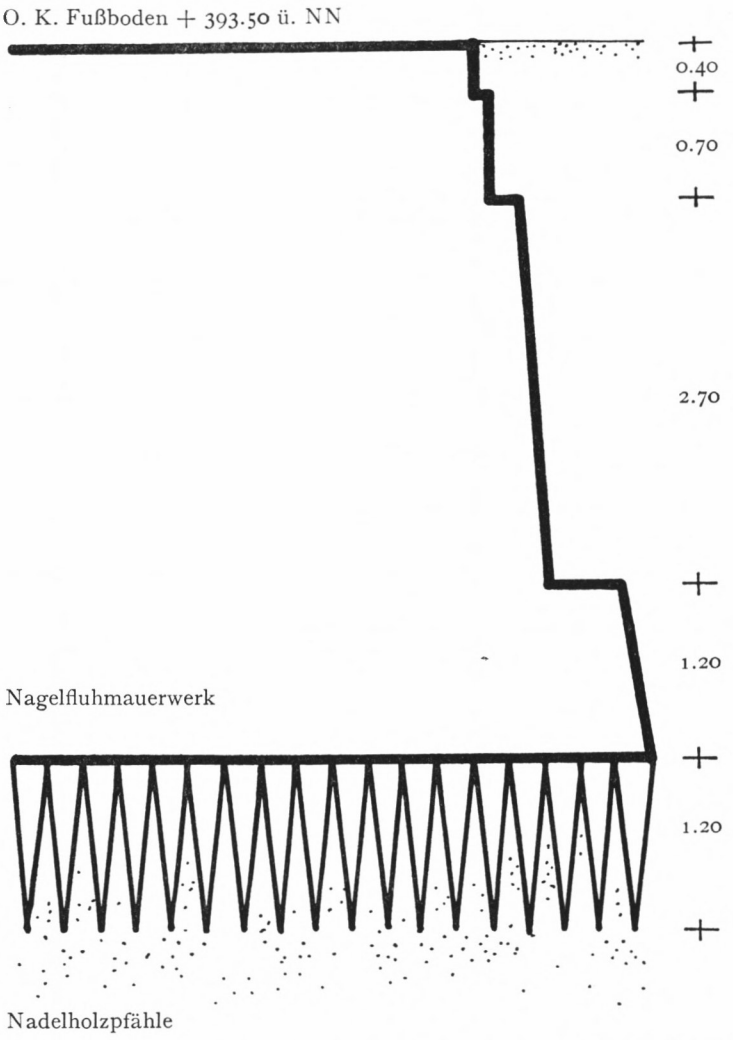
N
BASIS NORD
X
BASIS WEST
BASIS OST
Y
BASIS SÜD
101
102
103
104
105
106a
106b
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
121
122
124
126


113
114
112
BASIS NORD
BASIS WEST
115
X
116
111
117
118
101
126
124
122
BASIS OST
103
105
102
Y
110
107
104
106a
BASIS SÜD
108
106½
109
N

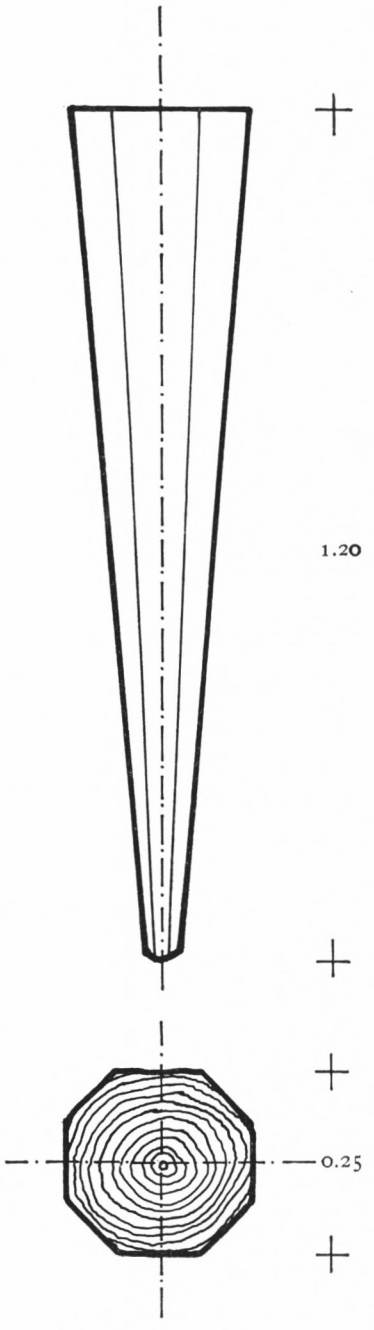


Grundriß der St. Martinskirche, entnommen aus Mader, F. (Fußn. 1 S. 5)

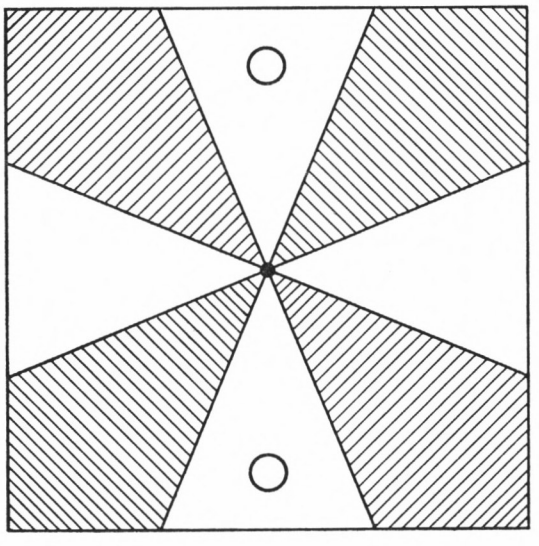
ANLAGE 2



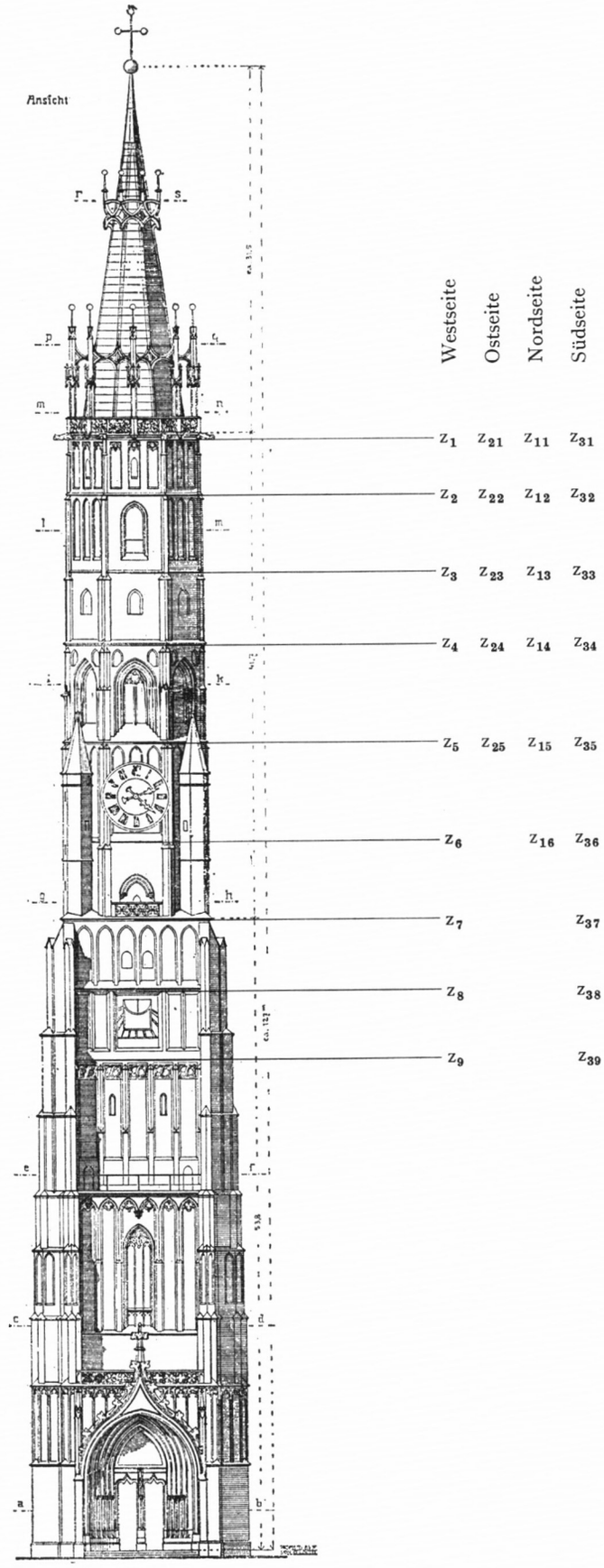
Fundierung des St. Martinsturmes. (Entnommen aus dem Gutachten Dr. Brannekämper, München)



HOLZPFAHL

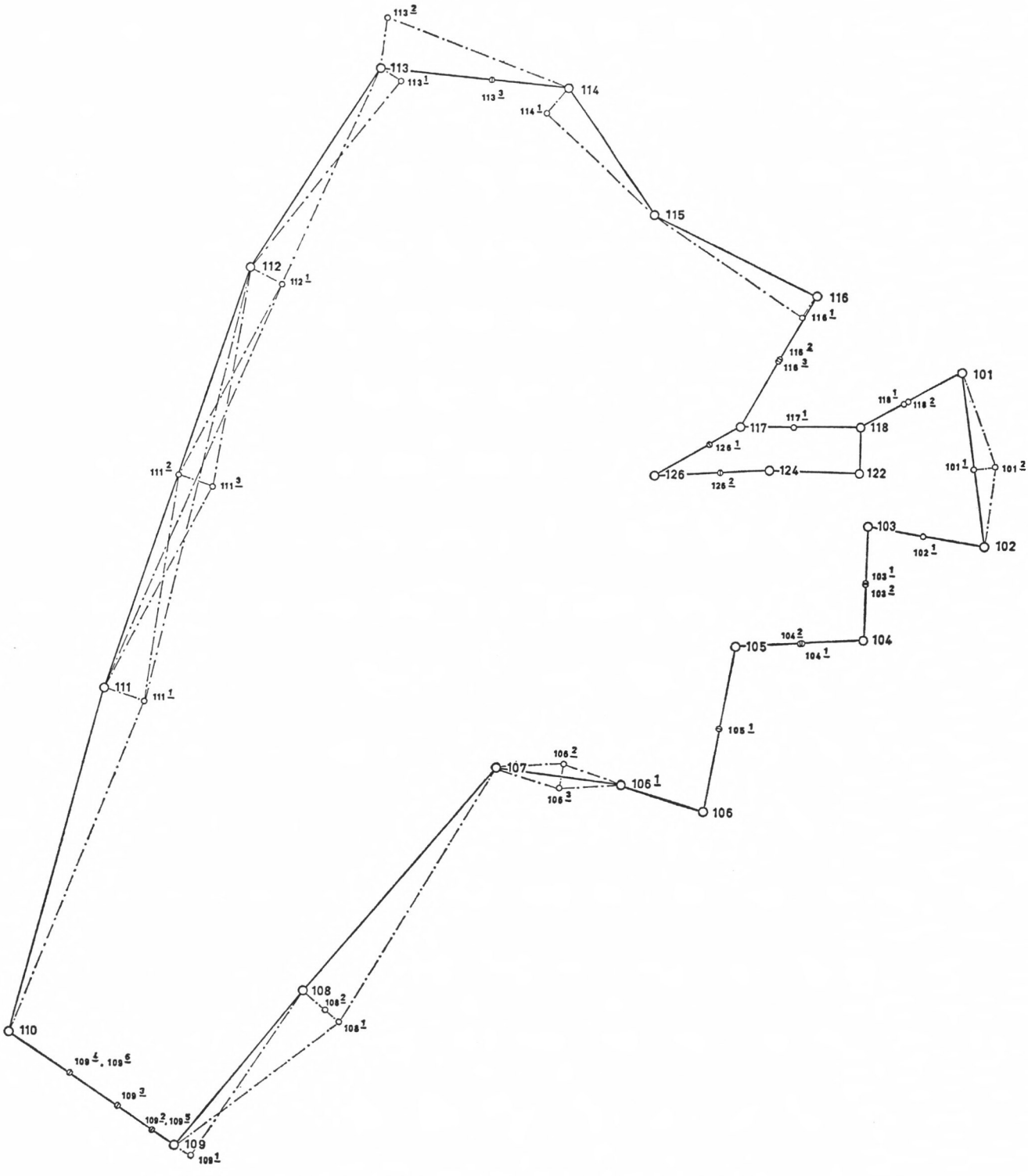


St. Martinskirche Landshut. Zielmarke nat. Größe

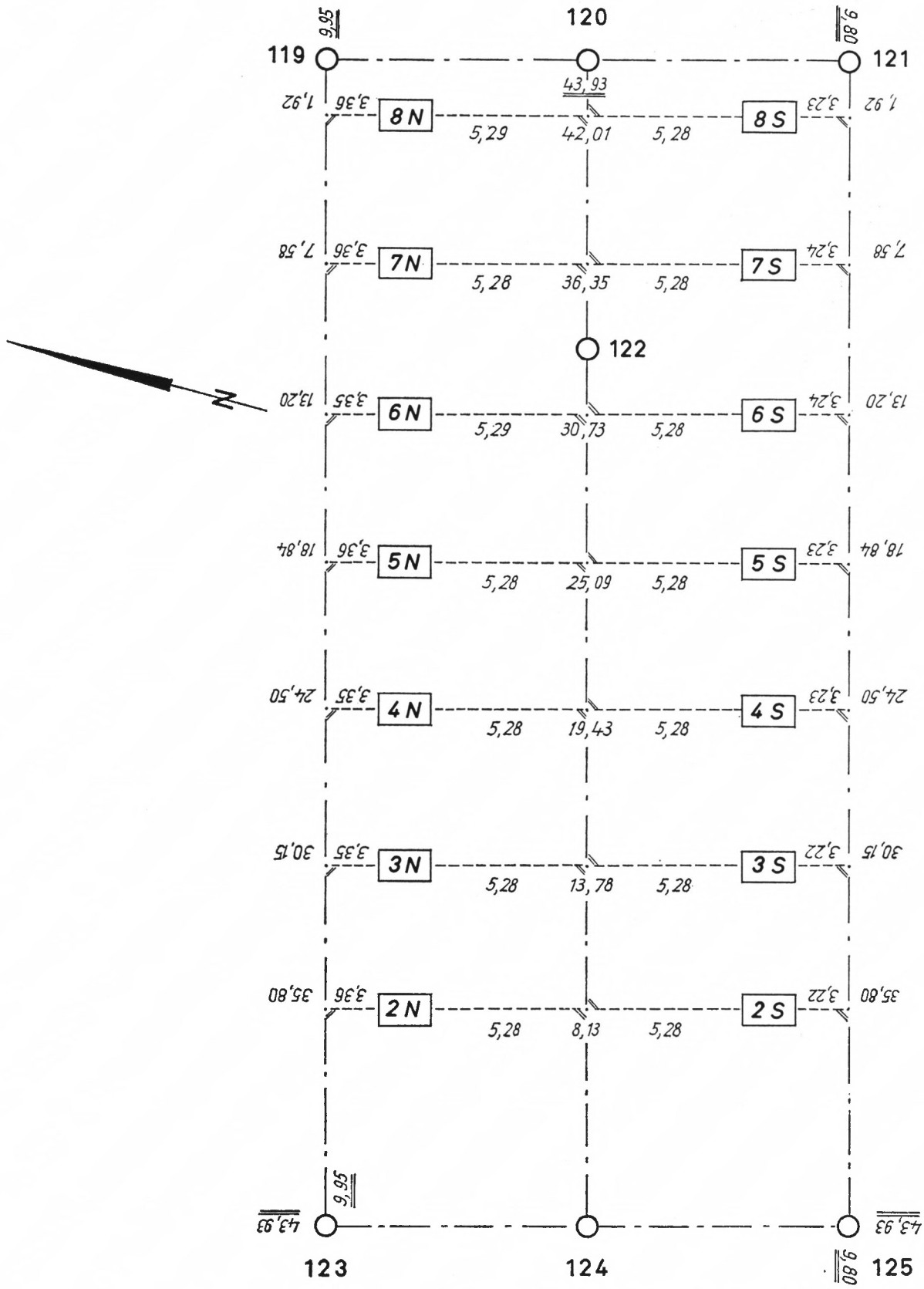


Die Abbildung ist entnommen aus Mader, F. (Fußn. 1 S. 5)

ANLAGE 4

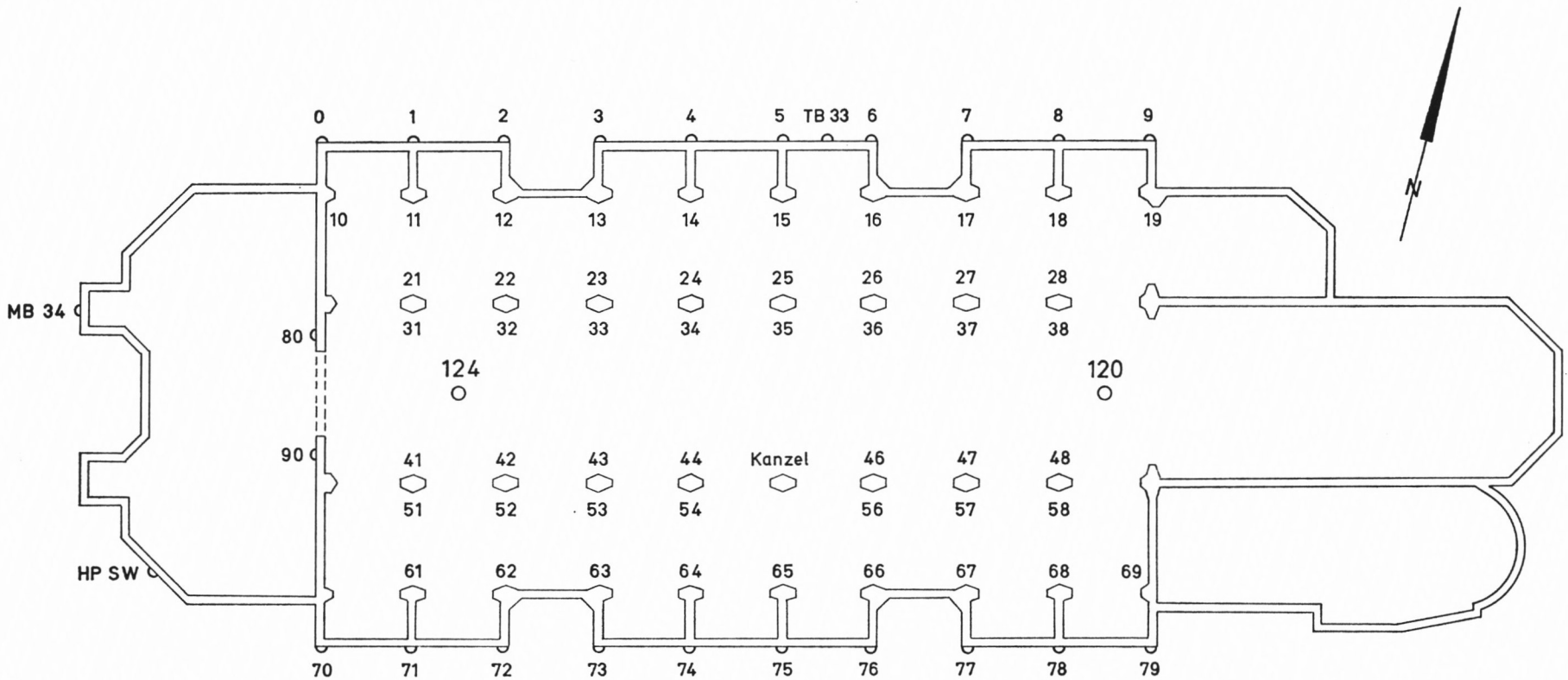


Geodätische Feinmessungen um die St. Martinskirche Landshut
– Grundpolygonzüge –



Anmessungsskizze für die Lage der Langhauspfeiler der Martins-Kirche in Landshut

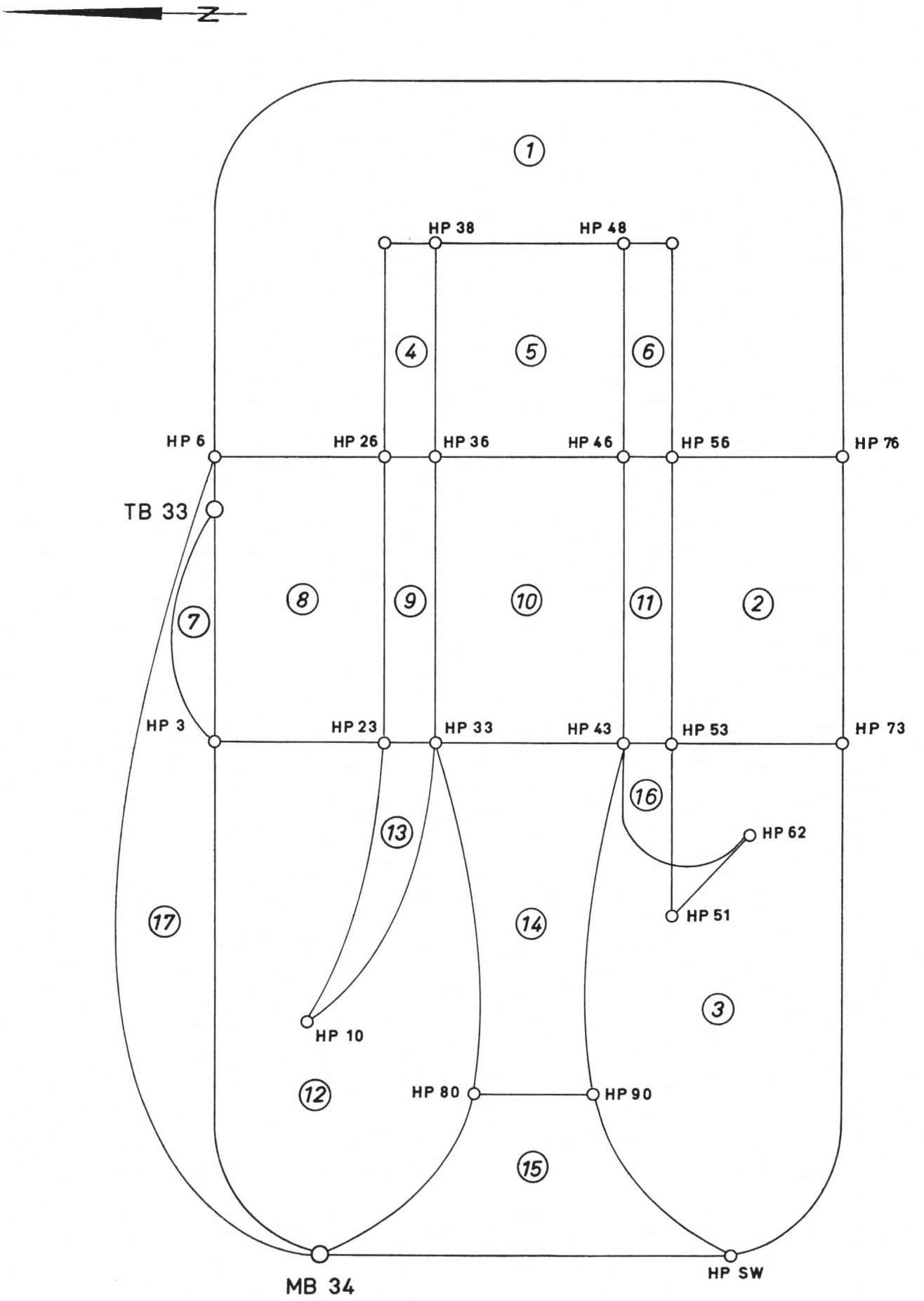
Aufmessung der Nivellementsbolzen an der Martins-Kirche in Landshut



Skizze zur Lage der Nivellementsbolzen an der Martins-Kirche in Landshut

ANLAGE 7

ANLAGE 8



Nivellementsschleifen in der Martins-Kirche in Landshut

Lage der Turmachse

Geschoß		x	y	Bestimmung aus
Zielmarken	H über N. N. (m)	(m)	(m)	
$z_1 - z_{11} - z_{21} - z_{31}$	486,50	—0,33	—10,07	8 Punkten
$z_2 - z_{12} - z_{22} - z_{32}$	481,48	—0,33	—10,06	8 Punkten
$z_3 - z_{13} - z_{23} - z_{33}$	474,93	—0,32	—10,05	8 Punkten
$z_4 - z_{14} - z_{24} - z_{34}$	468,64	—0,32	—10,05	8 Punkten
$z_5 - z_{15} - z_{25} - z_{35}$	460,60	—0,32	—10,05	8 Punkten
$z_6 - z_{16} - z_{36}$	452,19	—0,32	—10,04	6 Punkten
$z_7 - z_{37}$	445,68	—0,30	—10,05	4 Punkten
$z_8 - z_{38}$	440,16	—0,30	—10,05	4 Punkten
$z_9 - z_{39}$	433,98	—0,32	—10,07	2 Punkten

St. Martinsdom in Landshut: Koordinierung und Vergleich der Zielmarken

Punkt Nr.	1. Messung September 1963		2. Messung Dezember 1963		3. Messung April 1964		Mittel aus drei Messungen		Mittel aus					
									1. Messung		2. Messung		3. Messung	
	y	x	y	x	y	x	y	x	Δ y	Δ x	Δ y	Δ x	Δ y	Δ x
	m	m	m	m	m	m	m	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Westseite														
Z 1	— 15,530	— 0,130	— 15,544	— 0,128	— 15,535	— 0,127	— 15,537	— 0,128	— 7	+ 2	+ 7	0	— 1	— 1
Z 2	— 15,562	— 0,088	— 15,576	— 0,087	— 15,571	— 0,086	— 15,570	— 0,087	— 8	+ 1	+ 6	0	+ 1	— 1
Z 3	— 15,535	— 0,102	— 15,548	— 0,099	— 15,543	— 0,099	— 15,542	— 0,100	— 7	+ 2	+ 6	— 1	+ 1	— 1
Z 4	— 15,843	— 0,143	— 15,852	— 0,142	— 15,845	— 0,141	— 15,847	— 0,142	— 4	+ 1	+ 5	0	— 2	— 1
Z 5	— 16,040	— 0,053	— 16,055	— 0,052	— 16,048	— 0,051	— 16,048	— 0,052	— 8	+ 1	+ 7	0	0	— 1
Z 6	— 16,044	— 0,021	— 16,062	— 0,019	— 16,054	— 0,017	— 16,053	— 0,019	— 9	+ 2	+ 9	0	+ 1	— 2
Z 7	— 16,136	— 0,080	— 16,151	— 0,077	— 16,145	— 0,076	— 16,144	— 0,078	— 8	+ 2	+ 7	— 1	+ 1	— 2
Z 8	— 16,123	— 0,054	— 16,140	— 0,050	— 16,128	— 0,051	— 16,130	— 0,052	— 7	+ 2	+ 10	— 2	— 2	— 1
Z 9	— 16,129	— 0,051	— 16,141	— 0,048	— 16,134	— 0,047	— 16,135	— 0,049	— 6	+ 2	+ 6	— 1	— 1	— 2
Nordseite														
Z 11	— 9,842	+ 5,094	— 9,845	+ 5,080	— 9,843	+ 5,082	— 9,843	+ 5,085	— 1	+ 9	+ 2	— 5	0	— 3
Z 12	— 9,877	+ 5,136	— 9,879	+ 5,124	— 9,877	+ 5,125	— 9,878	+ 5,128	— 1	+ 8	+ 1	— 4	— 1	— 3
Z 13	— 9,862	+ 5,167	— 9,864	+ 5,154	— 9,863	+ 5,155	— 9,863	+ 5,159	— 1	+ 8	+ 1	— 5	0	— 4
Z 14	— 9,841	+ 5,431	— 9,844	+ 5,421	— 9,841	+ 5,423	— 9,842	+ 5,425	— 1	+ 6	+ 2	— 4	— 1	— 2
Z 15	— 9,787	+ 5,681	— 9,791	+ 5,672	— 9,789	+ 5,674	— 9,789	+ 5,676	— 2	+ 5	+ 2	— 4	0	— 2
Z 16	— 9,815	+ 5,703	— 9,819	+ 5,695	— 9,816	+ 5,699	— 9,817	+ 5,699	— 2	+ 4	+ 2	— 4	— 1	0
Ostseite														
Z 21	— 4,569	— 0,560	— 4,564	— 0,561	— 4,555	— 0,560	— 4,563	— 0,560	+ 6	0	+ 1	+ 1	— 8	0
Z 22	— 4,557	— 0,501	— 4,552	— 0,502	— 4,545	— 0,500	— 4,551	— 0,501	+ 6	0	+ 1	+ 1	— 6	— 1
Z 23	— 4,540	— 0,551	— 4,532	— 0,551	— 4,526	— 0,551	— 4,533	— 0,551	+ 7	0	— 1	0	— 7	0
Z 24	— 4,271	— 0,564	— 4,266	— 0,565	— 4,259	— 0,564	— 4,265	— 0,564	+ 6	0	+ 1	+ 1	— 6	0
Z 25	— 4,056	— 0,545	— 4,050	— 0,546	— 4,040	— 0,545	— 4,049	— 0,545	+ 7	0	+ 1	+ 1	— 9	0
Südseite														
Z 31	— 10,319	— 5,854	— 10,323	— 5,862	— 10,320	— 5,852	— 10,321	— 5,856	— 2	— 2	+ 2	+ 6	— 1	— 4
Z 32	— 10,312	— 5,868	— 10,311	— 5,870	— 10,313	— 5,864	— 10,312	— 5,867	0	+ 1	— 1	+ 3	+ 1	— 3
Z 33	— 10,334	— 5,858	— 10,332	— 5,856	— 10,333	— 5,850	— 10,333	— 5,855	+ 1	+ 3	— 1	+ 1	0	— 5
Z 34	— 10,328	— 6,113	— 10,326	— 6,114	— 10,328	— 6,110	— 10,327	— 6,112	+ 1	+ 1	— 1	+ 2	+ 1	— 2
Z 35	— 10,285	— 6,318	— 10,286	— 6,321	— 10,286	— 6,315	— 10,286	— 6,318	— 1	0	0	+ 3	0	— 3
Z 36	— 10,198	— 6,300	— 10,195	— 6,297	— 10,196	— 6,294	— 10,196	— 6,297	+ 2	+ 3	— 1	0	0	— 3
Z 37	— 10,417	— 6,314	— 10,414	— 6,312	— 10,416	— 6,306	— 10,416	— 6,311	+ 1	+ 3	— 2	+ 1	0	— 5
Z 38	— 10,372	— 6,340	— 10,369	— 6,336	— 10,371	— 6,333	— 10,371	— 6,336	+ 1	+ 4	— 2	0	0	— 3
Z 39	— 10,295	— 6,339	— 10,294	— 6,338	— 10,294	— 6,334	— 10,294	— 6,337	+ 1	+ 2	0	+ 1	0	— 3

St. Martinsdom in Landshut: Schnittpunkte der Zielmarken in gleichen Stockwerken

Punkt Nr.	1. Messung September 1963		2. Messung Dezember 1963		3. Messung April 1964		2.-1. Messung		3.-1. Messung		3.-2. Messung	
	y	x	y	x	y	x	y_2-y_1	x_2-x_1	y_3-y_1	x_3-x_1	y_3-y_2	x_3-x_2
	m	m	m	m	m	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm
			Vier Zielmarken in jedem Stockwerk									
1 M	— 10,079	— 0,344	— 10,082	— 0,343	— 10,080	— 0,342	— 3	+ 1	— 1	+ 2	+ 2	+ 1
2 M	— 10,091	— 0,293	— 10,092	— 0,293	— 10,092	— 0,292	— 1	0	— 1	+ 1	0	+ 1
3 M	— 10,097	— 0,324	— 10,097	— 0,323	— 10,097	— 0,322	0	+ 1	0	+ 2	0	+ 1
4 M	— 10,085	— 0,353	— 10,085	— 0,353	— 10,085	— 0,351	0	0	0	+ 2	0	+ 2
5 M	— 10,035	— 0,300	— 10,037	— 0,300	— 10,037	— 0,298	— 2	0	— 2	+ 2	0	+ 2
			Drei Zielmarken im Stockwerk									
6 M	— 10,009	— 0,383	— 10,010	— 0,393	— 10,008	— 0,386	— 1	— 10	+ 1	— 3	+ 2	+ 7
			Zwei Zielmarken in jedem Stockwerk									
7 M	— 10,159	— 0,337	— 10,165	— 0,326	— 10,165	— 0,326	— 6	+ 11	— 6	+ 11	0	0
8 M	— 10,105	— 0,321	— 10,112	— 0,308	— 10,108	— 0,313	— 7	+ 13	— 3	+ 8	+ 4	— 5
9 M	— 10,069	— 0,278	— 10,072	— 0,270	— 10,071	— 0,271	— 3	+ 8	— 2	+ 7	+ 1	— 1

ANLAGE 12

St. Martinsdom Landshut: Schnittpunkte der Zielmarken in gleichen Stockwerken

Punkt Nr.	Mittel aller Messungen		Mittel minus 1. Messung		Mittel minus 2. Messung		Mittel minus 3. Messung	
	y_m	x_m	y_m-y_1	x_m-x_1	y_m-y_2	x_m-x_2	y_m-y_3	x_m-x_3
	m	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm
		Vier Zielmarken in jedem Stockwerk						
M 1	— 10,080	— 0,343	— 1	+ 1	+ 2	0	0	— 1
M 2	— 10,092	— 0,293	— 1	0	0	0	0	— 1
M 3	— 10,097	— 0,323	0	+ 1	0	0	0	— 1
M 4	— 10,085	— 0,352	0	+ 1	0	+ 1	0	— 1
M 5	— 10,036	— 0,299	— 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	— 1
		Drei Zielmarken im Stockwerk						
M 6	— 10,009	— 0,387	0	— 4	+ 1	+ 6	— 1	— 1
		Zwei Zielmarken in jedem Stockwerk						
M 7	— 10,163	— 0,330	— 4	+ 7	+ 2	— 4	+ 2	— 4
M 8	— 10,108	— 0,314	— 3	+ 7	+ 4	— 6	0	— 1
M 9	— 10,071	— 0,273	— 2	+ 5	+ 1	— 3	0	— 2

ANLAGE 13

St. Martinsdom in Landshut: Bestimmung der Koordinaten der Hochpunkte

	Kreuzspitze Helmturm	Kreuzschnitt (Horizontal- u. Vertikalbalken)	Helmstange unter dem Knopf	Beobachtungspfeiler auf der Balustrade
1. Messung Sept. 1963	x — 0,410 m y — 10,174 m	— 0,420 m — 10,171 m	— 0,395 m — 10,148 m	+ 1,896 m — 15,001 m
Mehrpunkt-ausgleichung Z 23	$m_x = \pm 2{,}9$ mm $m_y = \pm 2{,}7$ mm	m $= \pm 30^{cc}$ $m_x = \pm 2{,}9$ mm $m_y = \pm 3{,}0$ mm	$m_x = \pm 2{,}8$ mm $m_y = \pm 2{,}6$ mm	$m_x = \pm 5{,}5$ mm $m_y = \pm 4{,}0$ mm
2. Messung Dez. 1963	x — 0,417 m y — 10,166 m	— 0,425 m — 10,162 m	— 0,396 m — 10,138 m	+ 1,886 m — 15,001 m
	$m_x = \pm 2{,}2$ mm $m_y = \pm 2{,}1$ mm	m $= \pm 19^{cc}$ $m_x = \pm 2{,}3$ mm $m_y = \pm 2{,}3$ mm	$m_x = \pm 2{,}2$ mm $m_y = \pm 2{,}1$ mm	$m_x = \pm 5{,}3$ mm $m_y = \pm 3{,}2$ mm
3. Messung April 1964	x — 0,421 m y — 10,168 m	— 0,427 m — 10,166 m	— 0,399 m — 10,140 m	+ 1,887 m — 15,000 m
	$m_x = \pm 2{,}8$ mm $m_y = \pm 2{,}6$ mm	m $= \pm 45^{cc}$ $m_x = \pm 2{,}8$ mm $m_y = \pm 2{,}9$ mm	$m_x = \pm 2{,}8$ mm $m_y = \pm 2{,}6$ mm	$m_x = \pm 6{,}6$ mm $m_y = \pm 4{,}0$ mm
Differenzen (2 — 1)				
x	— 7 mm	— 5 mm	— 1 mm	— 10 mm
y	+ 8 mm	+ 9 mm	+ 10 mm	0 mm
(3 — 1)	— 11 mm	— 7 mm	— 4 mm	— 9 mm
	+ 6 mm	+ 5 mm	+ 8 mm	+ 1 mm
(3 — 2)	— 4 mm	— 2 mm	— 3 mm	+ 1 mm
	— 2 mm	— 4 mm	— 2 mm	+ 1 mm

St. Martinsdom in Landshut: Zusammenstellung und Vergleich der Höhen der Höhenfestpunkte
Höhenanschluß: MB 34 : 393,08778 m über NN

Punkt Nr.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Differenzen 2.–1.	Differenzen 3.–1.
	m über NN	m über NN	m über NN	dmm	dmm
HP 0	393,4066	393,4062	393,4066	— 4	0
1	393,3390	393,3386	393,3390	— 4	0
2	393,3420	393,3414	393,3419	— 6	— 1
3	393,3522	393,3515	393,3522	— 7	0
4	393,3127	393,3120	393,3126	— 7	— 1
5	393,3212	393,3206	393,3211	— 6	— 1
6	393,3219	393,3214	393,3220	— 5	+ 1
7	393,3627	393,3622	393,3629	— 5	+ 2
8	393,3404	393,3399	393,3406	— 5	+ 2
9	393,2947	393,2943	393,2950	— 4	+ 3
10	394,5336	—	394,5335		— 1
11	394,5088	394,5077	394,5086	— 11	— 2
12	394,4440	394,4433	394,4438	— 7	— 2
13	394,4356	394,4349	394,4356	— 7	0
14	394,4299	394,4288	394,4300	— 11	+ 1
15	394,4458	394,4449	394,4460	— 9	+ 2
16	394,4619	394,4614	394,4613	— 5	— 1
17	394,4557	394,4551	394,4557	— 6	0
18	394,4580	394,4572	394,4582	— 8	+ 2
19	394,5226	394,5212	394,5228	— 14	+ 2
21	394,4996	394,4989	394,4998	— 7	+ 2
22	394,4836	394,4828	394,4836	— 8	0
23	394,4663	394,4657	394,4664	— 6	+ 1
24	394,5136	394,5127	394,5136	— 9	0
25	394,5030	394,5022	394,5030	— 8	0
26	394,5048	394,5043	394,5048	— 5	0
27	394,5189	394,5182	394,5187	— 7	— 2
28	394,5194	394,5190	394,5194	— 4	0
31	394,5799		394,5198		
32	394,4746	394,4740	394,4746	— 6	0
33	394,4755	394,4748	394,4754	— 7	— 1
34	394,5256	394,5247	394,5256	— 9	0
35	394,4989	394,4980	394,4989	— 9	0
36	394,5047	394,5040	394,5046	— 7	— 1
37	394,5180	394,5174	394,5180	— 6	0
38	394,5312	394,5305	394,5311	— 7	— 1
41	394,5825	—	394,5826		+ 1
42	394,5416	394,5411	394,5415	— 5	— 1
43	394,5325	394,5318	394,5324	— 7	— 1
44	394,5358	394,5352	394,5358	— 6	0
46	394,5390	349,5383	394,5388	— 7	— 2
47	394,5534	394,5529	394,5534	— 5	0
48	394,5503	394,5497	394,5504	— 6	+ 1
51	394,5606	394,5600	394,5606	— 6	0
52	394,5290	394,5283	394,5289	— 7	— 1

ANLAGE 14 (Fortsetzung)

Punkt Nr.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Differenzen 2.–1.	Differenzen 3.–1.
	m über NN	m über NN	m über NN	dmm	dmm
HP 53	394,5241	394,5234	394,5240	— 7	— 1
54	394,5381	394,5372	394,5379	— 9	— 2
56	394,5292	394,5285	394,5292	— 7	0
57	394,5558	394,5550	394,5558	— 8	0
58	394,5621	394,5615	394,5620	— 6	— 1
61	394,5146	394,5140	394,5147	— 6	— 1
62	394,5142	394,5136	394,5141	— 6	— 1
63	394,4875	394,4864	394,4871	— 11	— 4
64	394,4888	394,4874	394,4883	— 14	— 5
65	394,5077	394,5065	394,5071	— 12	— 6
66	394,4868	394,4859	394,4862	— 9	— 6
67	394,4932	394,4923	394,4925	— 9	— 7
68	394,5043	394,5034	394,5042	— 9	— 1
69	394,5454	394,5448	394,5454	— 6	0
70	393,1904	393,1907	393,1903	+ 3	— 1
71	—	393,2143	393,2147		
72	393,2483	393,2480	393,2486	— 3	+ 3
73	393,2197	393,2193	393,2198	— 4	+ 1
74	393,2283	393,2277	393,2282	— 6	— 1
75	393,2114	393,2107	393,2114	— 7	0
76	393,2353	393,2346	393,2352	— 7	— 1
77	393,2490	393,2483	393,2489	— 7	+ 1
78	393,2639	393,2634	393,2640	— 5	+ 1
79	393,2548	393,2545	393,2552	— 3	+ 4
80	393,6321	393,6312	393,6317	— 9	— 4
90	393,5608	393,5602	393,5605	— 6	— 3
SW	393,1587	393,1585	393,1586	— 2	— 1
MB 33	393,2983	393,2977	393,2982	— 6	— 1

St. Martinsdom in Landshut: Anschlußnivellements

Punktbezeichnung	1	2	3	4	5	6	7	8
	LVA I. O. 1953	LVA I. O. 1956	LVA II. O. 1961	Geod. Inst. 1. Messung 1963	D.G.F.I. 1963	Geod. Inst. 2. Messung 1963	Geod. Inst. III/1964	Diplomarb. III/1964 Ni 2
	m	m	m	m	m	m	m	m
TB 34/7438 St. Martinskirche	0	0	0	0	0	0	0	0
MB 91/7438 Landgericht	— 0,41779	— 0,41719	— 0,4173	— 0,41774	— 0,41800	—	— 0,41852	— 0,41796
MB 92/7438 Gefängnis	+ 4,95503	+ 4,95537	+ 4,9550	+ 4,95396	+ 4,95383	—	+ 4,95336	+ 4,95383
MB 93/7438 Innere Münchner Str. 10	+ 4,73228	+ 4,73134	+ 4,7292	—	—	—	+ 4,72604	+ 4,72690
MB 94/7438 Innere Münchner Str. 58	— 0,71789	+ 0,71804	+ 0,7175	—	+ 0,71641	—	+ 0,71558	+ 0,71654
MB 95/7438 Eisenträgerbrücke	+ 0,58403	—	—	—	+ 0,58343	—	+ 0,58548	—
MB 129/7438 Neue Bergstr. 235	—	+ 7,29494	+ 7,2944	—	—	—	+ 7,29392	—
TB 33/7438 St. Martin, Nordseite	+ 0,21026	—	+ 0,2103	—	—	+ 0,2099	+ 0,21026	—

ANLAGE 15 a

ANLAGE 15b

St. Martinsdom in Landshut: Mittel für das Anschlußnivellement

Punktbezeichnung	Mittel aus Spalte 4, 5, 6, 7 und 8 der Anlage 15a	Mittel minus Sp. 4	Mittel minus Sp. 5	Mittel minus Sp. 6	Mittel minus Sp. 7	Mittel minus Sp. 8
	m	mm	mm	mm	mm	mm
TB 34/7438 St. Martinskirche	0	0	0	0	0	0
MB 91/7438 Landgericht	— 0,41806	— 0,32	— 0,06	—	+ 0,46	— 0,10
MB 92/7438 Gefängnis	+ 4,95374	— 0,21	— 0,09	—	+ 0,38	— 0,08
MB 93/7438 Innere Münchner Str. 10	+ 4,72647	—	—	—	+ 0,43	— 0,43
MB 94/7438 Innere Münchner Str. 58	+ 0,71618	—	— 0,24	—	+ 0,60	— 0,36
MB 95/7438 Eisenträgerbrücke	+ 0,58445	—	+ 1,02	—	— 1,03	—
MB 129/7438 Neue Bergstr. 235	+ 7,29392	—	—	—	0	—
TB 33/7438 St. Martin, Nordseite	+ 0,21008	—	—	+ 0,18	— 0,18	—

ANLAGE 16

Gesimshöhen über den äußeren Höhenbolzen

Punkt-bezeichnung	Gesimshöhen H über NN (m)	Punkt-bezeichnung	Gesimshöhen H über NN (m)
Nordseite		Südseite	
HP 0	394,05	HP 70	393,87
HP 1	394,02	HP 71	
HP 2	394,03	HP 72	393,93
HP 3	394,02	HP 73	393,91
HP 4	394,00	HP 74	393,91
HP 5	394,00	HP 75	393,91
HP 6	394,00	HP 76	393,93
HP 7	394,02	HP 77	393,94
HP 8	394,03	HP 78	393,94
HP 9	394,04	HP 79	393,95
		HP SW	393,81

Meereshöhen der Zielmarken

Zielmarke Nr.	H'_1 von St. Pkt. PP 111	K_1	H'_2 von St. Pkt. PP 112	K_2	$H_1 = H'_1 + K_1$	$H_2 = H'_2 + K_2$	$\Delta = H_1 - H_2$	$\frac{1}{2}(H_1 + H_2)$	Mittl. Fehler
	m über NN	mm	m über NN	mm	m	m	mm	m	mm
Z 1	486,492	5	486,494	3	486,497	486,497	0	486,497	
Z 2	481,475	5	481,476	3	481,480	481,479	+ 1	481,479	
Z 3	474,923	5	474,925	3	474,928	474,928	0	474,928	
Z 4	468,640	5	468,642	3	468,645	468,645	0	468,645	
Z 5	460,599	4	460,600	3	460,604	460,603	+ 1	460,603	± 0,6
Z 6	452,187	4	452,192	2	452,191	452,194	— 3	452,193	
Z 7	445,674	5	445,675	3	445,679	445,678	+ 1	445,678	
Z 8	440,157	4	440,157	3	440,161	440,160	+ 1	440,161	
Z 9	433,981	4	433,983	2	433,985	433,985	0	433,985	
	von PP 114		von PP 116						
Z 11	486,455	2	486,446	1	486,457	486,447	+ 10	486,452	
Z 12	481,512	2	481,507	0	481,514	481,507	+ 7	481,511	
Z 13	475,015	2	475,010	1	475,017	475,011	+ 6	475,014	
Z 14	468,594	1	468,603	1	468,595	468,604	— 9	468,600	± 3,8
Z 15	460,546	2	460,543	0	460,548	460,543	+ 5	460,545	
Z 16	452,230	2	452,226	0	452,232	452,226	+ 6	452,228	
	von PP 101		von PP 102						
Z 21	486,439	1	486,440	1	486,440	486,441	— 1	486,440	
Z 22	481,548	1	481,545	1	481,549	481,546	+ 3	481,547	
Z 23	475,090	1	475,089	1	475,091	475,090	+ 1	475,090	± 1,0
Z 24	468,783	1	468,784	0	468,784	468,784	0	468,784	
Z 25	460,628	1	460,626	1	460,629	460,627	+ 2	460,628	
	von PP 106a		von PP 107						
Z 31	486,465	0	486,467	1	486,465	486,466	— 1	486,465	
Z 32	481,495	1	481,497	2	481,496	481,499	— 3	481,497	
Z 33	474,950	1	474,948	1	474,951	474,949	+ 2	474,950	
Z 34	468,678	1	468,675	1	468,679	468,676	+ 3	468,678	
Z 35	460,592	1	460,594	1	460,593	460,595	— 2	460,594	± 1,5
Z 36	452,175	1	452,178	1	452,176	452,179	— 3	452,177	
Z 37	445,588	0	445,590	2	445,588	445,592	— 4	445,590	
Z 38	440,119	1	440,123	2	440,120	440,125	— 5	440,123	

Die Korrektion K für Strahlenbrechung und Erdkrümmung wurde nach $K_{(cm)} = \frac{1-k}{2\,r} \cdot \frac{s^2}{\sin^2\xi} = 6{,}83 \cdot s^2_{(km)}\,(1 + \mathrm{ctg}^2\xi)$ berechnet, wobei

k = Refraktionskoeffizient 0,13 — s = Horizontalentfernung Standpunkt — Zielpunkt

r = Erdradius = 6378 km — ξ = Zenitdistanz

ANLAGE 18

Landshut, St. Martinsturm
Auswertung der trigonometrischen Höhenmessung

Allgemeine Angaben

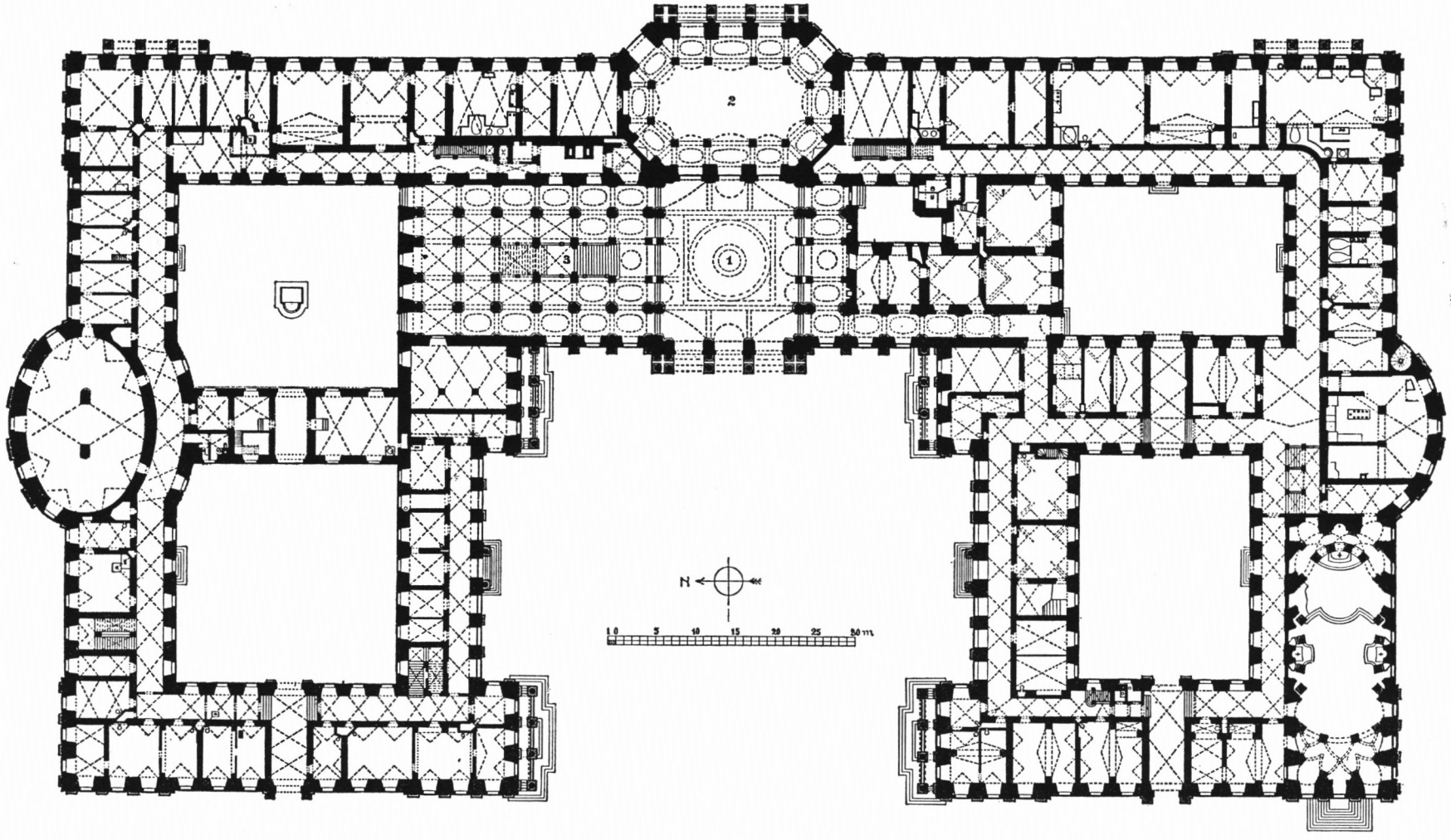
Kreuzspitze	523,36 m ± 1 cm	über NN
Horizontaler Kreuzbalken (Mitte)	520,96 m ± 0,5 cm	über NN
Beobachtungspfeiler	488,60 m ± 0,3 cm	über NN
Helmstange Knopf (Mitte)	517,70 m ± 1 cm	über NN
Gehsteig (vor dem Hauptportal)	392,76 m	über NN
F. O. K. Kirche (PP 24)	393,28 m	über NN
Höhe des St. Martinsturmes bis zur Kreuzspitze	130,60 m	
Höhe Helmstange Knopf (Mitte)	124,94 m	
Dicke des Knopfes (in der Vertikalen)	1,09 m	
Dicke des Knopfes (in der Horizontalen)	1,23 m	

ANHANG
zu II

Residenz in Würzburg: Portalfassade

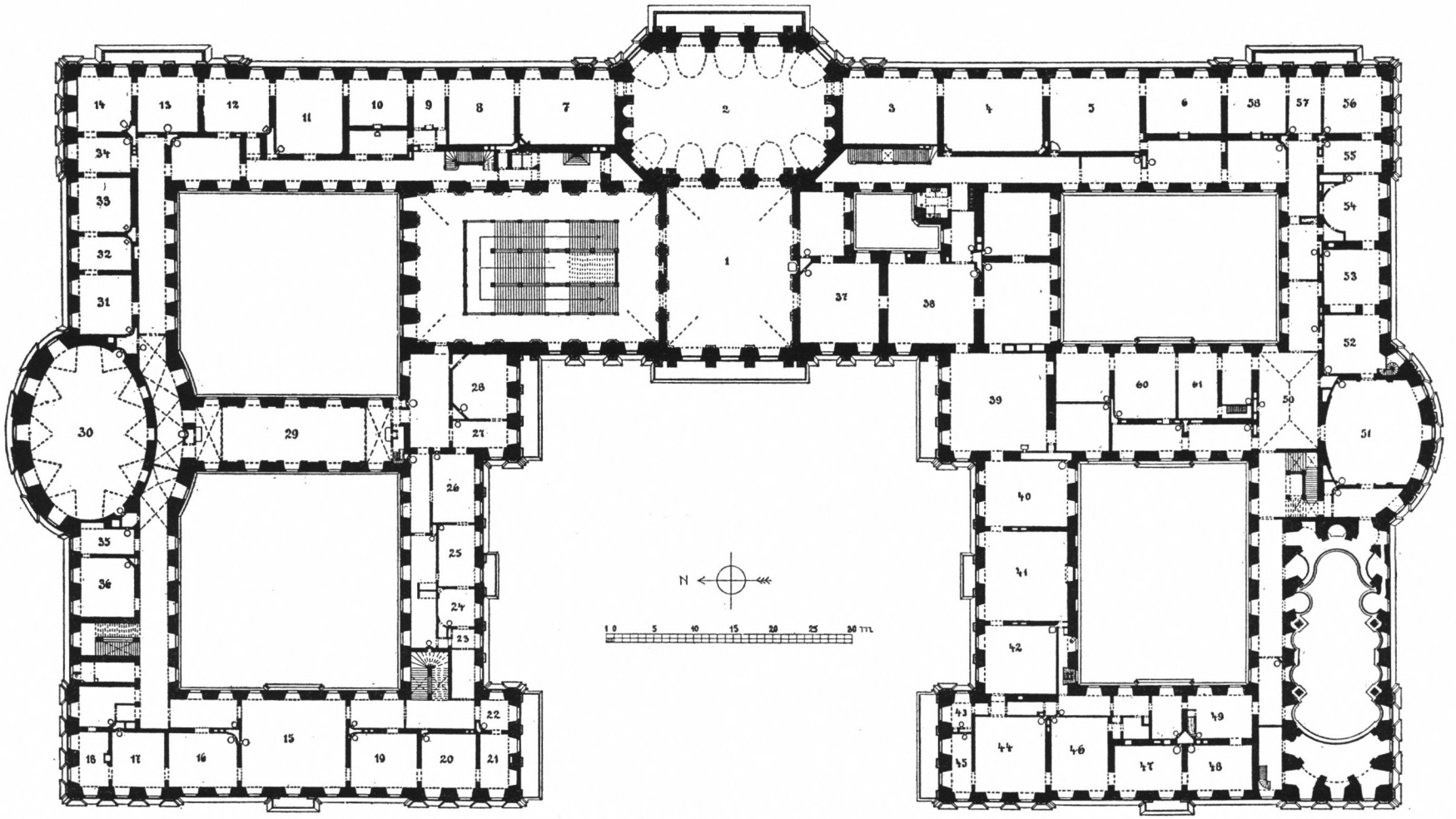
TAFEL IV

Residenz in Würzburg: Blick vom Stiegenhaus zur Einfahrtshalle

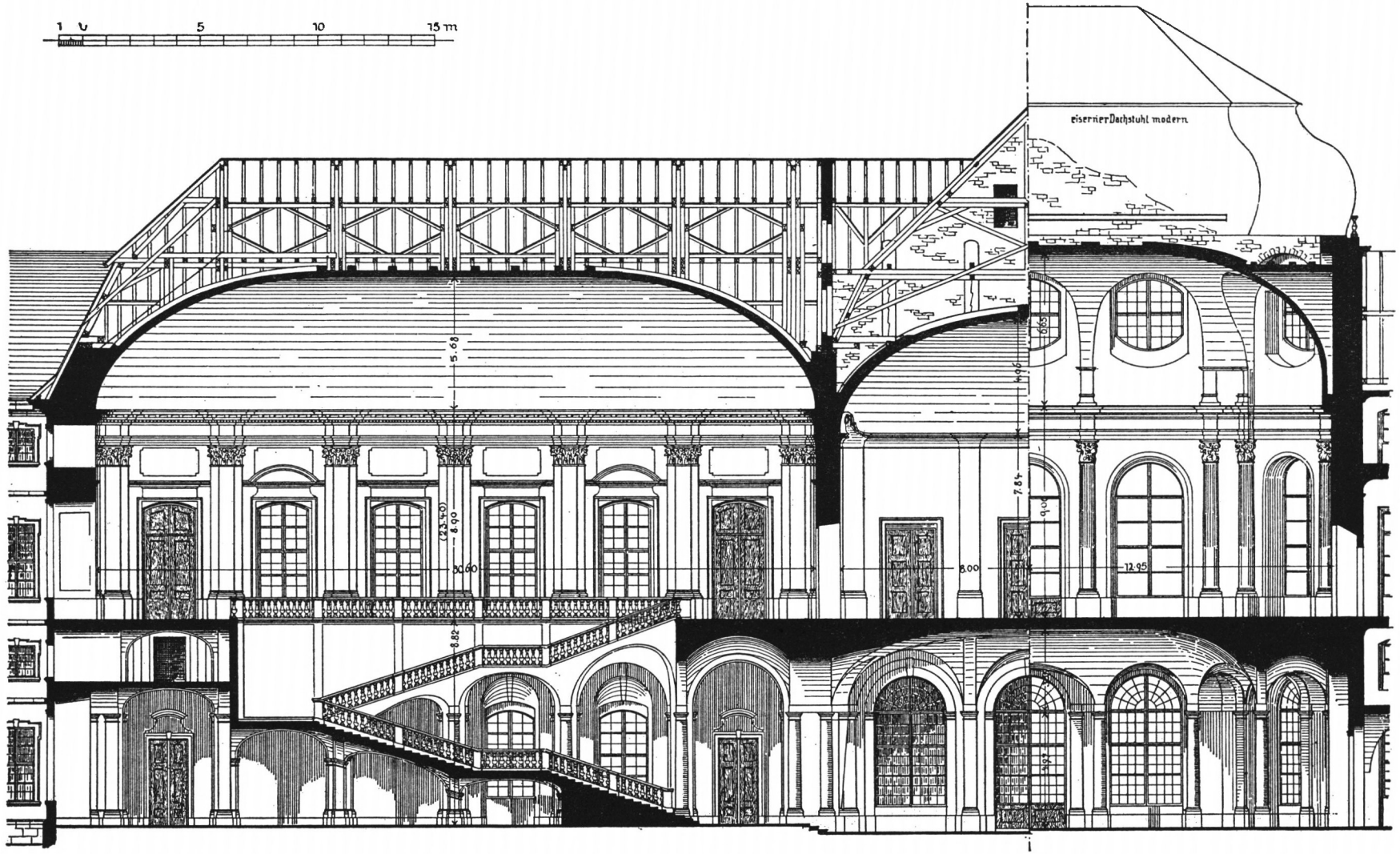


Residenz in Würzburg: Grundriß des Erdgeschosses

ANLAGE 19a



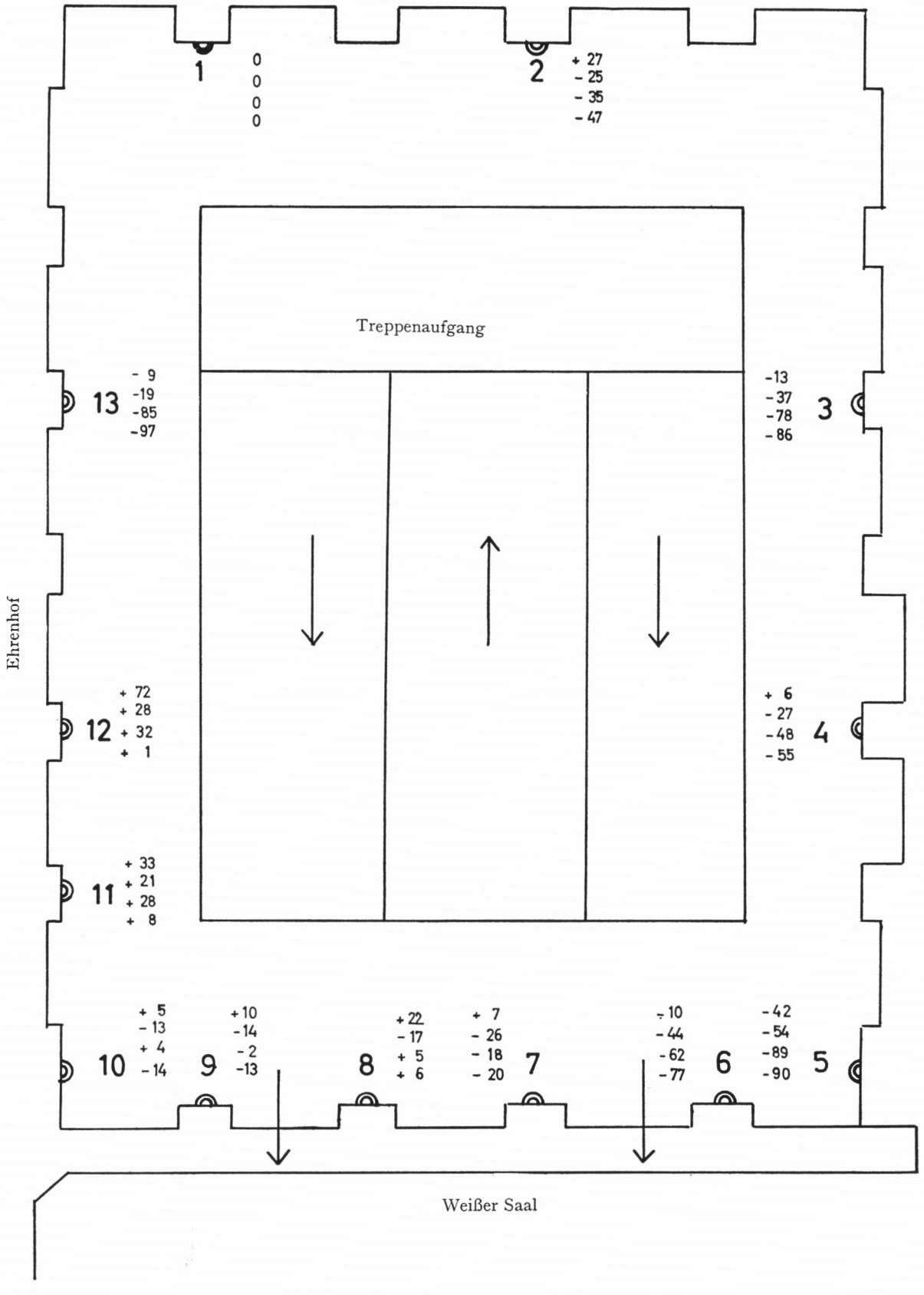
Residenz in Würzburg: Grundriß des Hauptgeschosses über dem Erdgeschoß



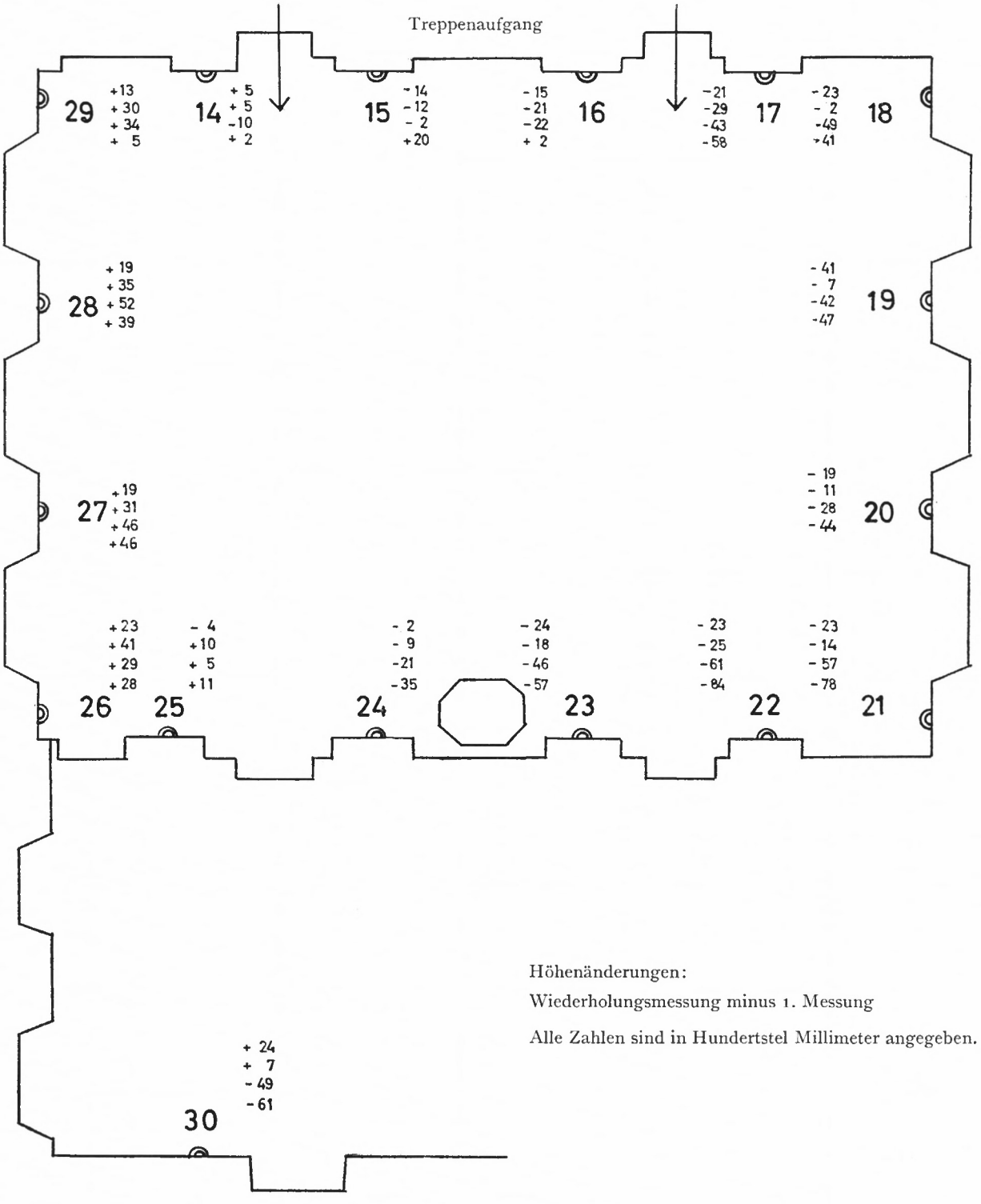
Residenz in Würzburg: Kombinierter Schnitt durch Stiegenhaus, Weißen Saal und Kaisersaal

ANLAGE 21

Residenz in Würzburg: Lage der Höhenbolzen im 1. Stock des Treppenhauses



Höhenänderungen: Wiederholungsmessung minus 1. Messung. Alle Zahlen sind in Hundertstel Millimeter angegeben.



Höhenänderungen:

Wiederholungsmessung minus 1. Messung

Alle Zahlen sind in Hundertstel Millimeter angegeben.

Residenz in Würzburg: Lage der Höhenbolzen im Weißen Saal (1. Stock)

ANLAGE 23a

Residenz in Würzburg: Vergleich der Höhen der Kontrollpunkte

1) Kontroll-punkte	2) H_1 21. 12. 63	3) H_2 21. 2. 64	4) H_3 17. 3. 64	5) Δ 2–1	6) Δ 3–1	7) Δ 3–2
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	10000,00	10000,00	10000,00	0,00	0,00	0,00
2	9964,91	9965,18	9964,66	+ 0,27	— 0,25	— 0,52
3	9909,09	9908,96	9908,72	— 0,13	— 0,37	— 0,24
4	9889,66	9889,72	9889,39	+ 0,06	— 0,27	— 0,33
5	9909,90	9909,48	9909,36	— 0,42	— 0,54	— 0,12
6	9965,46	9965,36	9965,02	— 0,10	— 0,44	— 0,34
7	9889,89	9889,96	9889,63	+ 0,07	— 0,26	— 0,33
8	9919,46	9919,68	9919,29	+ 0,22	— 0,17	— 0,39
9	9984,56	9984,66	9984,42	+ 0,10	— 0,14	— 0,24
10	10027,08	10027,13	10026,95	+ 0,05	— 0,13	— 0,18
11	9983,66	9983,99	9983,87	+ 0,33	+ 0,21	— 0,12
12	9963,25	9963,97	9963,53	+ 0,72	+ 0,28	— 0,44
13	9987,30	9987,21	9987,11	— 0,09	— 0,19	— 0,10
14	10041,76	10041,81	10041,81	+ 0,05	+ 0,05	0,00
15	10049,09	10048,95	10048,97	— 0,14	— 0,12	+ 0,02
16	10009,77	10009,62	10009,56	— 0,15	— 0,21	— 0,06
17	10011,77	10011,56	10011,57	— 0,21	— 0,20	+ 0,01
18	10047,49	10047,26	10047,47	— 0,23	— 0,02	+ 0,21
19	10067,95	10067,54	10067,88	— 0,41	— 0,07	+ 0,34
20	10078,78	10078,59	10078,67	— 0,19	— 0,11	+ 0,08
21	10010,08	10009,85	10009,94	— 0,23	— 0,14	+ 0,09
22	10065,68	10065,45	10065,43	— 0,23	— 0,25	— 0,02
23	10016,18	10015,94	10016,00	— 0,24	— 0,18	+ 0,06
24	10035,27	10035,25	10035,18	— 0,02	— 0,09	— 0,07
25	10075,07	10075,03	10075,17	— 0,04	+ 0,10	+ 0,14
26	10028,32	10028,55	10028,73	+ 0,23	+ 0,41	+ 0,18
27	10029,30	10029,49	10029,61	+ 0,19	+ 0,31	+ 0,12
28	10037,90	10038,09	10038,25	+ 0,19	+ 0,35	+ 0,16
29	10027,04	10027,17	10027,34	+ 0,13	+ 0,30	+ 0,17
30	9974,93	9975,17	9975,00	+ 0,24	+ 0,07	— 0,17

(„+“ → Hebung; „—“ → Senkung)

Residenz in Würzburg: Vergleich der Höhen der Kontrollpunkte

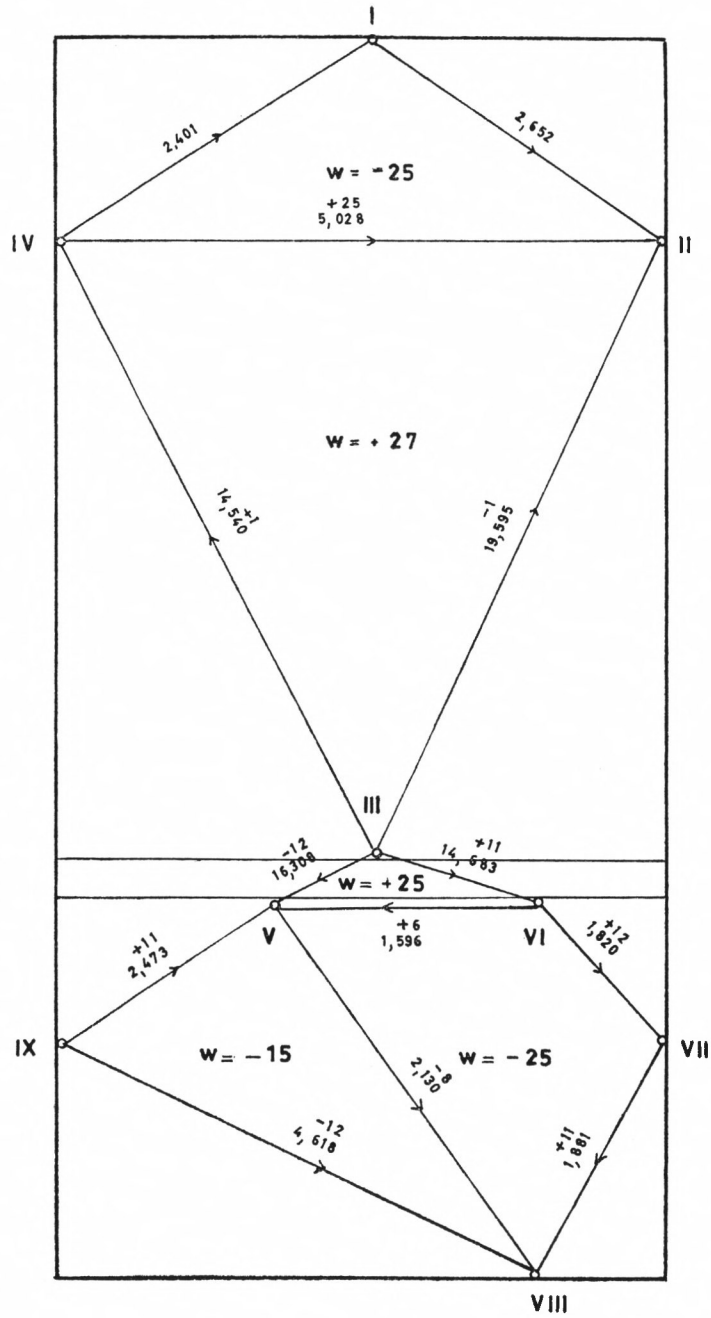
Kontroll-punkte	H_4	Δ_{4-1}	Δ_{4-3}
	mm	mm	mm
1	10000,00	0,00	0,00
2	9964,56	—0,35	—0,10
3	9908,31	—0,78	—0,41
4	9889,18	—0,48	—0,21
5	9909,01	—0,89	—0,35
6	9964,84	—0,62	—0,18
7	9889,71	—0,18	+0,08
8	9919,51	+0,05	+0,22
9	9984,54	—0,02	+0,12
10	10027,12	+0,04	+0,17
11	9983,94	+0,28	+0,07
12	9963,57	+0,32	+0,04
13	9986,45	—0,85	—0,66
14	10041,66	—0,10	—0,15
15	10049,07	—0,02	+0,10
16	10009,55	—0,22	—0,01
17	10011,34	—0,43	—0,23
18	10047,00	—0,49	—0,47
19	10067,53	—0,42	—0,35
20	10078,50	—0,28	—0,17
21	10009,51	—0,57	—0,43
22	10065,07	—0,61	—0,36
23	10015,72	—0,46	—0,28
24	10035,06	—0,21	—0,12
25	10075,12	+0,05	—0,05
26	10028,61	+0,29	—0,12
27	10029,76	+0,46	+0,15
28	10038,42	+0,52	+0,17
29	10027,38	+0,34	+0,04
30	9974,44	—0,49	—0,56

ANLAGE 23c

Residenz in Würzburg: Vergleich der Höhen der Kontrollpunkte

Kontroll-punkte	1. Messung 21. 12. 63 mm	4. Messung 14./15. 5. 64 mm	5. Messung 20. 6. 64 mm	Δ 5–1 mm	Δ 5–4 mm
1	10000,00	10000,00	10000,00	0,00	0,00
2	9964,91	9964,56	9964,44	— 0,47	— 0,12
3	9909,09	9908,31	9908,23	— 0,86	— 0,08
4	9889,66	9889,18	9889,11	— 0,55	— 0,07
5	9909,90	9909,01	9909,00	— 0,90	— 0,01
6	9965,46	9964,84	9964,69	— 0,77	— 0,15
7	9889,89	9889,71	9889,69	— 0,20	— 0,02
8	9919,46	9919,51	9919,52	+ 0,06	+ 0,01
9	9984,56	9984,54	9984,43	— 0,13	— 0,11
10	10027,08	10027,12	10026,94	— 0,14	— 0,18
11	9983,66	9983,94	9983,74	+ 0,08	— 0,20
12	9963,25	9963,57	9963,26	+ 0,01	— 0,31
13	9987,30	9986,45	9986,33	— 0,97	— 0,12
14	10041,76	10041,66	10041,78	+ 0,02	+ 0,12
15	10049,09	10049,07	10049,29	+ 0,20	+ 0,22
16	10009,77	10009,55	10009,79	+ 0,02	+ 0,24
17	10011,77	10011,34	10011,19	— 0,58	— 0,15
18	10047,49	10047,00	10047,08	— 0,41	+ 0,08
19	10067,95	10067,53	10067,48	— 0,47	— 0,05
20	10078,78	10078,50	10078,34	— 0,44	— 0,16
21	10010,08	10009,51	10009,30	— 0,78	— 0,21
22	10065,68	10065,07	10064,84	— 0,84	— 0,23
23	10016,18	10015,72	10015,61	— 0,57	— 0,11
24	10035,27	10035,06	10034,92	— 0,35	— 0,14
25	10075,07	10075,12	10074,96	— 0,11	— 0,16
26	10028,32	10028,61	10028,60	+ 0,28	— 0,01
27	10029,30	10029,76	10029,76	+ 0,46	0,00
28	10037,90	10038,42	10038,29	+ 0,39	— 0,13
29	10027,04	10027,38	10027,09	+ 0,05	— 0,29
30	9974,93	9974,44	9974,32	— 0,61	— 0,12

Ergebnis der 1. Schlauchkanalwaagemessung am 15. mit 17. 5. 1964



Es bedeuten:

w = Schleifenschlußfehler
+ 25 = Verbesserung des Höhenunterschieds durch die Schleifenabgleichung
5,028 = beobachtete Höhenunterschiede
I bis IX = Nummern der Meßstellen.

Alle Höhenunterschiede sind in „mm", alle Widersprüche und Verbesserungen in 1/1000 mm angegeben.

Ergebnisse der Schlauchwaagenmessung am 15./17. Mai 1964
Berechnung der Schleifenwidersprüche

Pkt.	Beob. Höhenuntersch. mm	Pkt.	Δ h mm
II		III	
	— 19,595		+ 16,308
III		V	
	+ 14,540		— 1,596
IV		VI	
	+ 5,028		— 14,683
II		III	
w = — 27 μ		w = + 29 μ	
V		V	
	— 1,596		+ 2,130
VI		VIII	
	+ 1,820		— 4,618
VII		IX	
	+ 1,881		+ 2,473
VIII		V	
	— 2,130		
V			
w = — 25 μ		w = — 15 μ	
I			
	+ 2,652		
II			
	— 5,028		
IV			
	+ 2,401		
I			
w = + 25 μ			

$$m = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{n}} = \sqrt{\frac{3045}{5}} = \pm 25\,\mu$$

Ergebnisse der Schlauchwaagenmessung am 15./17. 5. 1964

Abgeglichene Höhen der Versicherungsbolzen

I. Hauptschleife

	Δh'	v	Δh	H
	mm	μ	mm	mm
I				10000,000
II	+ 2,652		+ 2,652	10002,652
III	— 19,595	+ 1	— 19,594	9983,058
IV	+ 14,540	+ 1	+ 14,541	9997,599
I	+ 2,401		+ 2,401	10000,000
w	— 2	+ 2	0	

II. Hauptschleife

III				9983,058
VI	+ 14,683	+ 11	+ 14,694	9997,752
VII	+ 1,820	+ 12	+ 1,832	9999,584
VIII	+ 1,881	+ 11	+ 1,892	10001,476
IX	— 4,618	+ 12	— 4,606	9996,870
V	+ 2,473	+ 11	+ 2,484	9999,354
III	— 16,308	+ 12	— 16,296	9983,058
w	— 69	+ 69	0	

III. Kontrolle durch Diagonalen:

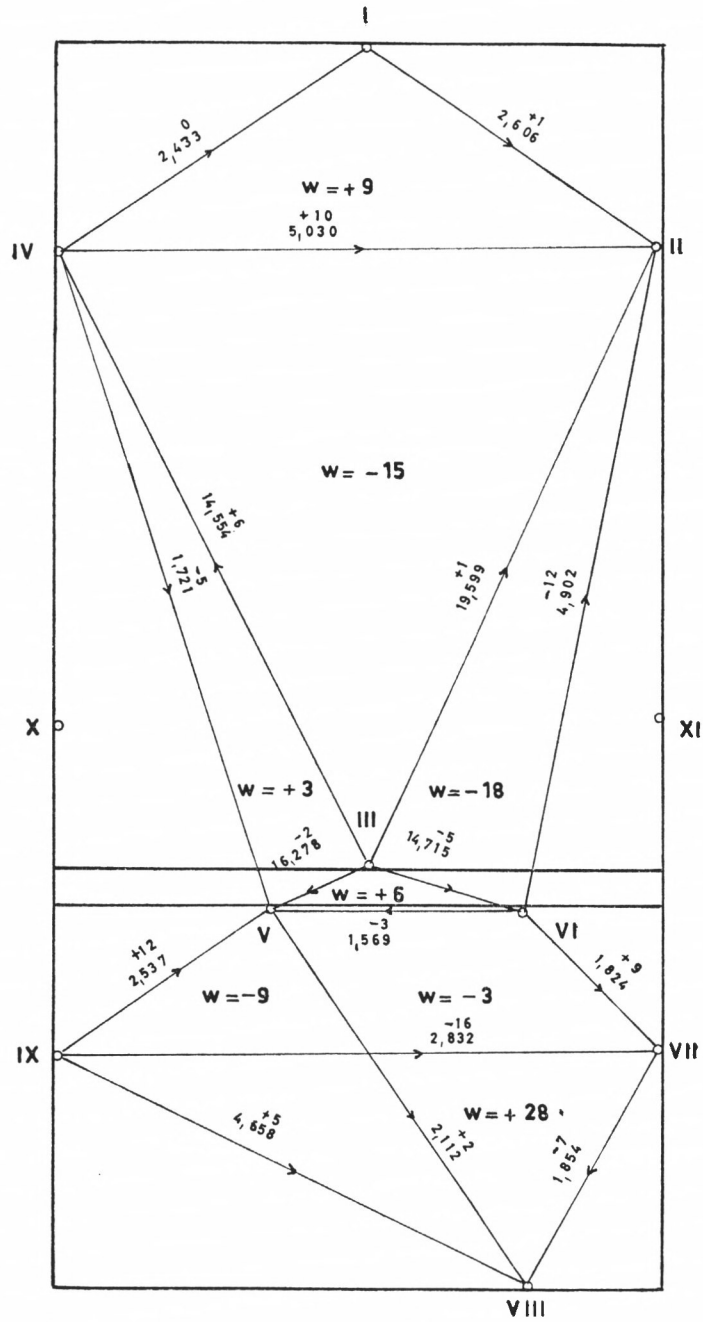
II				10002,652
IV	— 5,028	— 25	— 5,053	9997,599
V				9999,354
VI	— 1,596	— 6	— 1,602	9997,752
V				9999,354
VIII	+ 2,130	— 8	+ 2,122	

Die Genauigkeit einer vollständigen Schlauchwaagenmessung beträgt somit:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{h}} = \sqrt{\frac{1522}{13}} = \pm 11\,\mu.$$

ANLAGE 27

Ergebnis der 2. Schlauchwaagenmessung



Ausgeglichene Höhen:

Pkt.	2. Mess. 22. 5. 64	1. Mess. 14. 5. 64		Pkt.	2. Mess. 22. 5. 64	1. Mess. 14. 5. 64	
	mm	mm	cmm		mm	mm	cmm
I	10000,000	10000,000	0	VI	9997,717	9997,752	— 3,5
II	10002,607	10002,652	— 4,5	VII	9999,550	9999,584	— 3,4
III	9983,007	9983,058	— 5,1	VIII	10001,397	10001,476	— 7,9
IV	9997,567	9997,599	— 3,2	IX	9996,734	9996,870	— 13,6
V	9999,283	9999,354	— 7,1				

$m = \pm 10\,\mu$

$v = (2)-(1)$

Ergebnis der Schlauchwaagenmessung

2. Messung am 22. 5. 1964

Punkt	Δ h' mm	v μ	Δ h mm
I			
	+ 2,606	+ 1	+ 2,607
II			
	— 5,030	— 10	— 5,040
IV			
	+ 2,433	0	+ 2,433
I			
w	+ 9	— 9	0
II			
	— 19,599	— 1	— 19,600
III			
	+ 14,554	+ 6	+ 14,560
IV			
	+ 5,030	+ 10	+ 5,040
II			
w	— 15	+ 15	0
II			
	— 4,902	+ 12	— 4,890
VI			
	— 14,715	+ 5	— 14,710
III			
	+ 19,599	+ 1	+ 19,600
II			
w	— 18	+18	0
III			
	+ 14,715	+ 5	+ 14,710
VI			
	+ 1,569	— 3	+ 1,566
V			
	— 16,278	+ 2	— 16,276
III			
w	+ 6	— 6	0
III			
	+ 16,278	— 2	+ 16,276
V			
	— 1,721	+ 5	— 1,716
IV			
	— 14,554	— 6	— 14,560
III			
w	+ 3	— 3	0

Punkt	Δ h' mm	v μ	Δ h mm
V			
	— 1,569	+ 3	— 1,566
VI			
	+ 1,824	+ 9	+ 1,833
VII			
	+ 1,854	— 7	+ 1,847
VIII			
	— 2,112	— 2	— 2,114
V			
w	— 3	+ 3	0
V			
	+ 2,112	+ 2	+ 2,114
VIII			
	— 4,658	— 5	— 4,663
IX			
	+ 2,537	+ 12	+ 2,549
V			
w	— 9	+ 9	0
VII			
	+ 1,854	— 7	+ 1,847
VIII			
	— 4,658	— 5	— 4,663
IX			
	+ 2,832	— 16	+ 2,816
VII			
w	+ 28	— 28	0
V			
	— 1,569	+ 3	— 1,566
VI			
	+ 1,824	+ 9	+ 1,833
VII			
	— 2,832	+ 16	— 2,816
IX			
	+ 2,537	+ 12	+ 2,549
V			
w	— 40	+ 40	0

$$m = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{3129}{9}} = \pm 19\,\mu$$

Berechnung der Schleifenwidersprüche und der ausgeglichenen Höhenunterschiede

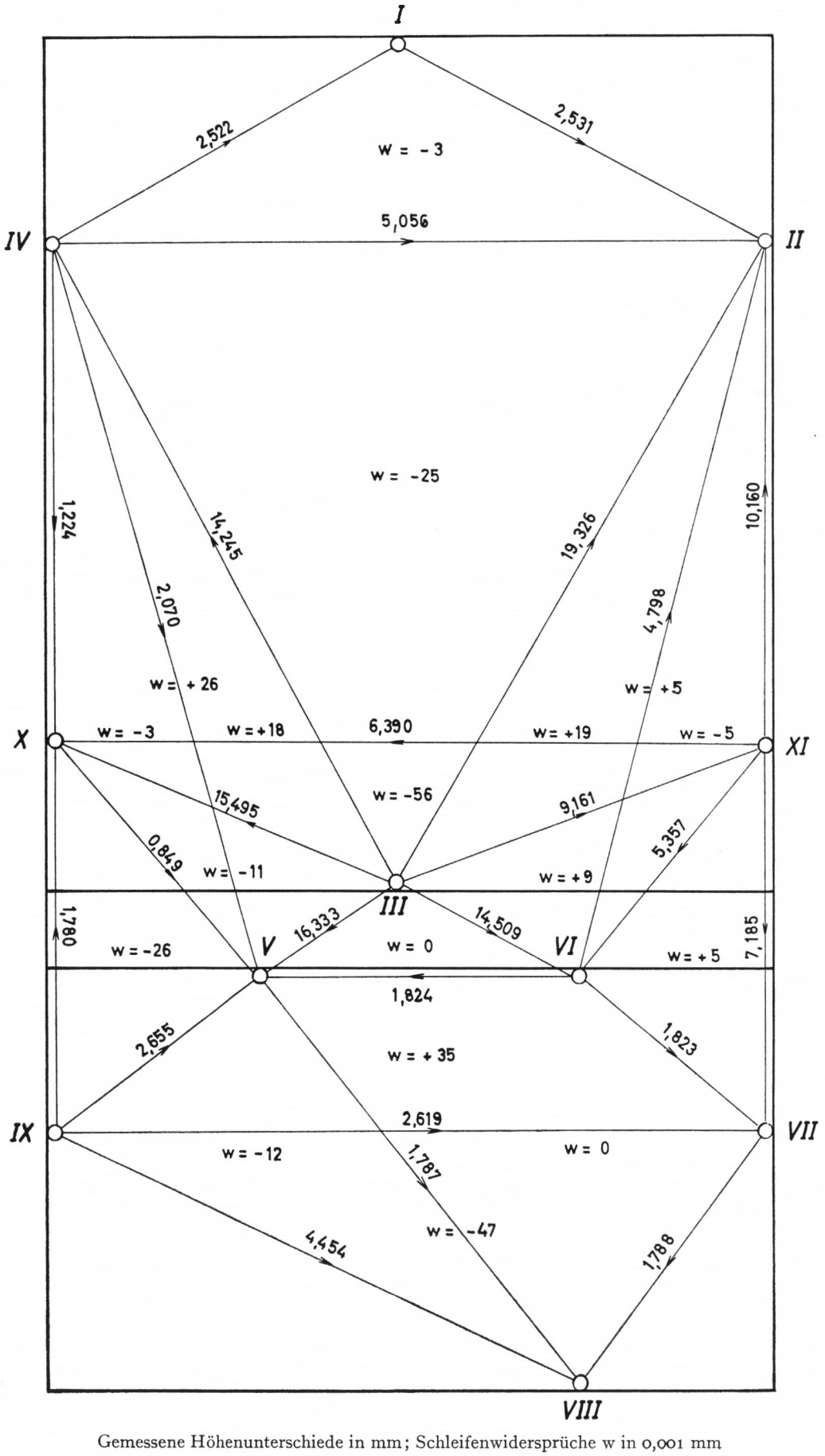
ANLAGE 29

Ergebnis der Schlauchwaagenmessung

Bolzen	1. Messung 15.–17. 5. 64	2. Messung 22. 5. 1964	Differenz 2.–1.
	mm	mm	cmm
I	10000,000	10000,000	0,0
II	10002,652	10002,607	— 4,5
III	9983,058	9983,007	— 5,1
IV	9997,599	9997,567	— 3,2
V	9999,354	9999,283	— 7,1
VI	9997,752	9997,717	— 3,5
VII	9999,584	9999,550	— 3,4
VIII	10001,476	10001,397	— 7,9
IX	9996,870	9996,734	— 13,6

Ausgeglichene Höhen der Versicherungsbolzen und Vergleich der beiden Messungen

Ergebnis der 3. Schlauchwaagenmessung am 19. 6. 64



Gemessene Höhenunterschiede in mm; Schleifenwidersprüche w in 0,001 mm

ANLAGE 31a

Ergebnis der Schlauchwaagenmessung

3. Messung am 19. 6. 1964

a) unabhängige Schleifen

Punkt	Δ h′ mm	v μ	Δ h′ mm	Punkt	Δ h′ mm	v μ	Δ h′ mm
I				III			
	+ 2,531	— 0,3	+ 2,5307		+ 9,161	— 16,5	+ 9,1445
II				XI			
	— 5,056	+ 3,5	— 5,0527		+ 5,357	+ 9,0	+ 5,3660
IV				VI			
	+ 2,522	— 0,2	+ 2,5218		— 14,509	— 1,5	— 14,5105
I				III			
w	+ 3	+ 3,0		w	+ 9		
II				III			
	— 19,326	+ 11,7	— 19,3143		+ 14,509	+ 1,5	+ 14,5105
III				VI			
	+ 14,245	+ 16,8	+ 14,2618		+ 1,824	+ 6,5	+ 1,8305
IV				V			
	+ 5,056	— 3,5	+ 5,0525		— 16,333	— 7,9	— 16,3410
II				III			
w	— 25			w	0		
II				III			
	— 4,798	— 5,8	— 4,8038		+ 16,333	+ 7,9	+ 16,3409
VI				V			
	— 14,509	— 1,5	— 14,5105		— 0,849	+ 5,3	— 0,8437
III				X			
	+ 19,326	— 11,7	+ 19,3143		— 15,495	— 2,2	— 15,4972
II				III			
w	+ 19			w	— 11		
II				III			
	— 10,160	— 9,8	— 10,1698		+ 15,495	+ 2,2	+ 15,4972
XI				X			
	— 9,161	+ 16,5	— 9,1445		— 1,224	— 11,4	— 1,2354
III				IV			
	+ 19,326	— 11,7	+ 19,3143		— 14,245	— 16,8	— 14,2618
II				III			
w	+ 5			w	+ 26		

Berechnung der Schleifenwidersprüche und der ausgeglichenen Höhenunterschiede

Punkt	Δ h′ mm	v μ	Δ h mm
III			
	+ 15,495	+ 2,2	+ 15,4972
X			
	— 6,390	+ 37,3	— 6,3527
XI			
	— 9,161	+ 16,5	— 9,1445
III			
w	— 56		
IV			
	+ 2,070	+ 9,1	+ 2,0791
V			
	— 0,849	+ 5,3	— 0,8437
X			
	— 1,224	— 11,4	— 1,2354
IV			
w	— 3		
V			
	— 2,655	+ 12,8	— 2,6422
IX			
	+ 1,780	+ 18,4	+ 1,7984
X			
	+ 0,849	— 5,3	+ 0,8437
V			
w	— 26		
V			
	+ 1,787	+ 5,5	+ 1,7925
VIII			
	— 4,454	+ 19,3	— 4,4347
IX			
	+ 2,655	— 12,8	+ 2,6422
V			
w	— 12		

Punkt	Δ h′ mm	v μ	Δ h mm
VI			
	— 5,357	— 9,0	— 5,3660
XI			
	+ 7,185	+ 2,0	+ 7,1870
VII			
	— 1,823	+ 1,9	— 1,8211
VI			
w	+ 5		
VII			
	+ 1,788	+ 13,9	+ 1,8019
VIII			
	— 4,454	+ 19,3	— 4,4347
IX			
	+ 2,619	+ 13,8	+ 2,6328
VII			
w	— 47		
V			
	— 1,824	— 6,5	— 1,8305
VI			
	+ 1,823	— 1,9	+ 1,8211
VII			
	+ 1,788	+ 13,9	+ 1,8019
VIII			
	— 1,787	— 5,5	— 1,7925
V			
w	0		

ANLAGE 31 b

Ergebnis der Schlauchwaagenmessung

3. Messung am 19. 6. 1964

b) abhängige Schleifen

Punkt	Δ h' mm	v µ	Δ h mm
II			
	— 10,160	— 9,8	— 10,1698
XI			
	+ 5,357	+ 9,0	+ 5,3660
VI			
	+ 4,798	+ 5,8	+ 4,8038
II			
w	— 5	+ 5,0	
III			
	+ 16,333	+ 7,9	+ 16,3409
V			
	— 2,070	— 9,1	— 2,0791
IV			
	— 14,245	— 16,8	— 14,2618
III			
w	+ 18	— 18,0	
I			
	+ 2,531	— 0,3	+ 2,5307
II			
	— 10,160	— 9,8	— 10,1698
XI			
	+ 7,185	+ 2,0	+ 7,1870
VII			
	+ 1,788	+ 13,9	+ 1,8019
VIII			
	— 4,454	+ 19,4	— 4,4346
IX			
	+ 1,780	+ 18,4	+ 1,7984
X			
	— 1,224	— 11,4	— 1,2354
IV			
	+ 2,522	— 0,2	+ 2,5218
I			
w	— 32	+ 32,0	
V			
	— 1,824	— 6,5	— 1,8305
VI			
	+ 1,823	— 1,9	+ 1,8211
VII			
	— 2,619	— 13,8	— 2,6328
IX			
	+ 2,655	— 12,8	+ 2,6422
V			
w	+ 35	— 35,0	

Punkt	Δ h' mm	v µ	Δ h mm
X			
	— 6,390	+ 37,3	— 6,3527
XI			
	+ 7,185	+ 2,0	+ 7,1870
VII			
	— 2,619	— 13,8	— 2,6328
IX			
	+ 1,780	+ 18,4	+ 1,7984
X			
w	— 44	+ 43,9	
IV			
	+ 5,056	— 3,5	+ 5,0525
II			
	— 10,160	— 9,8	— 10,1698
XI			
	+ 6,390	— 37,3	+ 6,3527
X			
	— 1,224	— 11,4	— 1,1354
IV			
w	+ 62	— 62,0	
IV			
	+ 5,056	— 3,5	+ 5,0525
II			
	— 4,798	— 5,8	— 4,8038
VI			
	+ 1,824	+ 6,5	+ 1,8305
V			
	— 2,070	— 9,2	— 2,0792
IV			
w	+ 12	— 12,0	
X			
	— 6,390	— 37,3	— 6,3527
XI			
	+ 5,357	+ 9,0	+ 5,3660
VI			
	+ 1,824	+ 6,5	+ 1,8305
V			
	— 0,849	+ 5,2	— 0,8438
X			
w	— 58	+ 58,0	

Berechnung der Schleifenwidersprüche und der ausgeglichenen Höhenunterschiede

Gegenüberstellung der mit der Schlauchkanalwaage gemessenen Höhenunterschiede

Von HB	Nach HB	1. Messung mm	2. Messung mm	3. Messung mm	2–1 μ	3–1 μ	3–2 μ
					[1]	[1]	[1]
I	II	+ 2,652	+ 2,606	+ 2,531	— 46	— 121	— 75
IV	I	+ 2,401	+ 2,433	+ 2,522	+ 32	+ 121	+ 89
XI	II	—	—	+ 10,160	—	—	—
VI	II	—	+ 4,902	+ 4,798	—	—	— 104
III	II	+ 19,595	+ 19,599	+ 19,326	+ 4	— 269	— 273
IV	II	+ 5,028	+ 5,030	+ 5,056	+ 2	+ 28	+ 26
III	IV	+ 14,540	+ 14,554	+ 14,245	+ 14	— 295	— 309
III	V	+ 16,308	+ 16,278	+ 16,333	— 30	+ 25	+ 55
III	VI	+ 14,683	+ 14,715	+ 14,509	+ 32	— 174	— 206
III	X	—	—	+ 15,495	—	—	—
III	XI	—	—	+ 9,161	—	—	—
IV	V	—	+ 1,721	+ 2,070	—	—	+ 349
IV	X	—	—	+ 1,224	—	—	—
VI	V	+ 1,596	+ 1,569	+ 1,824	— 27	+ 228	— 255
V	VIII	+ 2,130	+ 2,112	+ 1,787	— 18	— 343	— 325
IX	V	+ 2,473	+ 2,537	+ 2,655	+ 64	+ 182	+ 118
X	V	—	—	+ 0,849	—	—	—
VI	VII	+ 1,820	+ 1,824	+ 1,823	+ 4	+ 3	— 1
XI	VI	—	—	+ 5,357	—	—	—
VII	VIII	+ 1,881	+ 1,854	+ 1,788	— 27	— 93	— 66
IX	VII	—	+ 2,832	+ 2,619	—	—	— 213
XI	VII	—	—	+ 7,185	—	—	—
IX	VIII	+ 4,618	+ 4,658	+ 4,454	+ 40	— 164	— 204
IX	X	—	—	+ 1,780	—	—	—
XI	X	—	—	+ 6,390	—	—	—

[1]) „+" bedeutet: Der Höhenunterschied wurde größer.

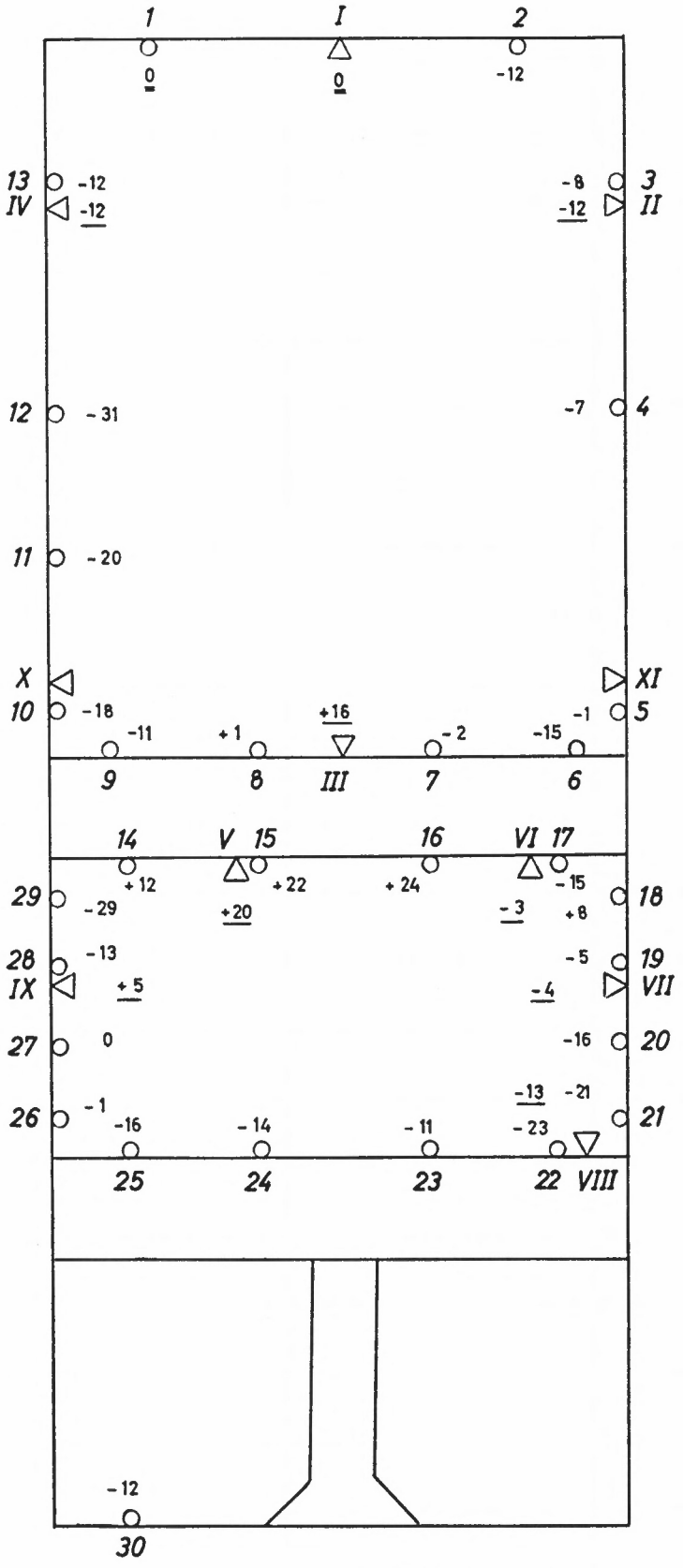
Ergebnis der Schlauchwaagenmessung

Bolzen	1. Messung 14. 5. 64 mm	2. Messung 22. 5. 64 mm	3. Messung 19. 6. 64 mm	Δ 3–1 cmm	Δ 3–2 cmm
I	10000,000	10000,000	10000,000	0,0	0,0
II	10002,652	10002,607	10002,531	— 12,1	— 7,6
III	9983,058	9983,007	9983,216	+ 15,8	+ 20,9
IV	9997,599	9997,567	9997,478	— 12,1	— 8,9
V	9999,354	9999,283	9999,557	+ 20,3	+ 27,4
VI	9997,752	9997,717	9999,727	— 3,0	+ 1,0
VII	9999,584	9999,550	9999,548	— 3,6	— 0,2
VIII	10001,476	10001,397	10001,350	— 12,6	— 4,7
IX	9996,870	9996,734	9996,915	+ 4,5	+ 18,1
X	—	—	9998,714	—	—
XI	—	—	9992,361	—	—

Ausgeglichene Höhen der Versicherungsbolzen und Vergleich der drei Messungen

ANLAGE 34

Übersicht über die Höhenänderungen im Bereich des Treppenhauses und des Weißen Saales vom 15. 5. bis 19. 6. 1964



Erläuterungen

○ HB Feinnivellement

◁ HB Schlauchwaagenmessung

— 12 Höhenänderung aus Feinnivellement in cmm

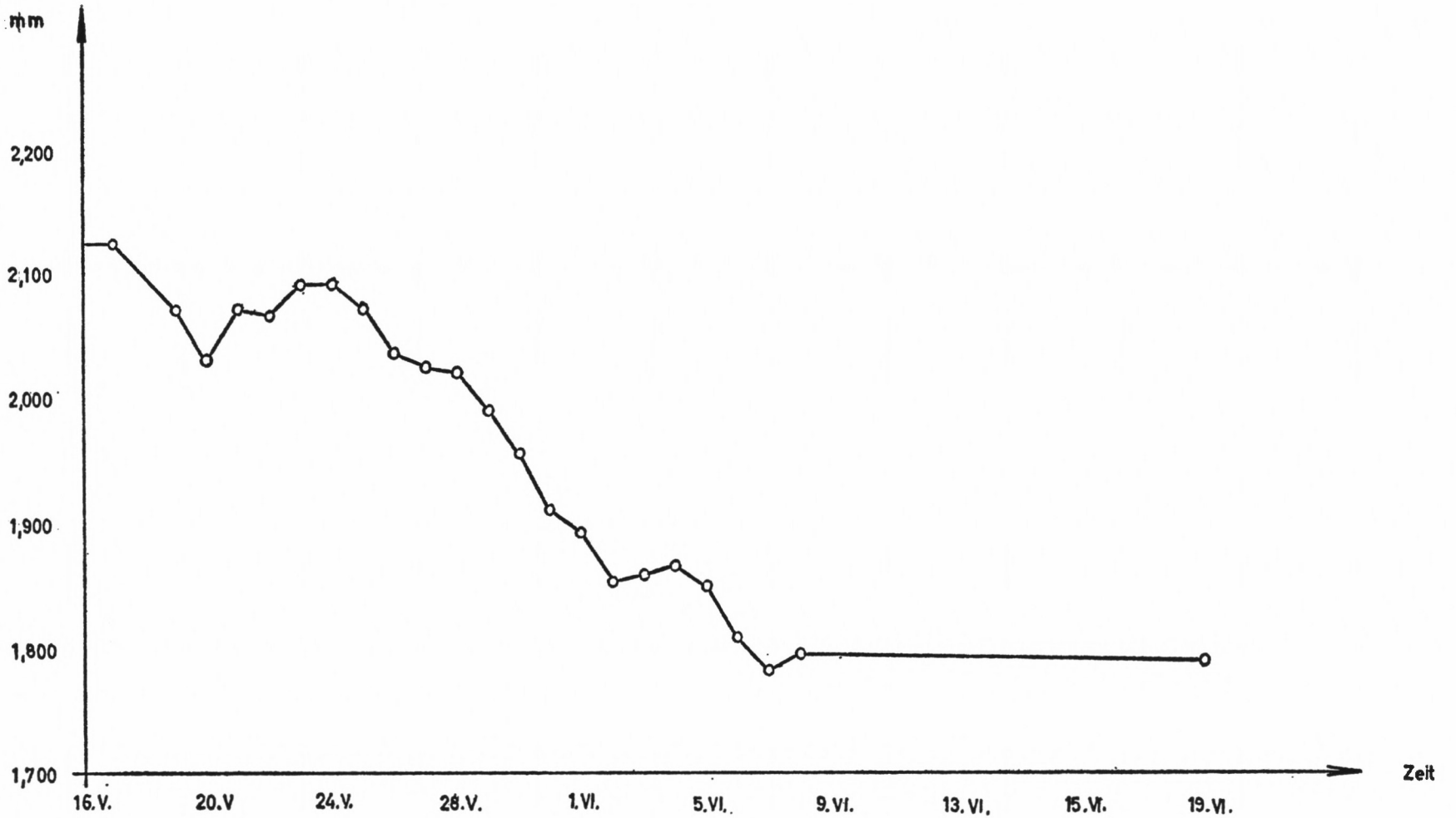
+ 13 Höhenänderung aus Schlauchwaagenmessg. in cmm

„+" Hebung d. Punktes

„—" Senkung d. Punktes

Maßzahlen in cmm (0,01 mm)

Veränderung des Höhenunterschiedes V–VIII vom 15. 5. bis zum 19. 6. 1964

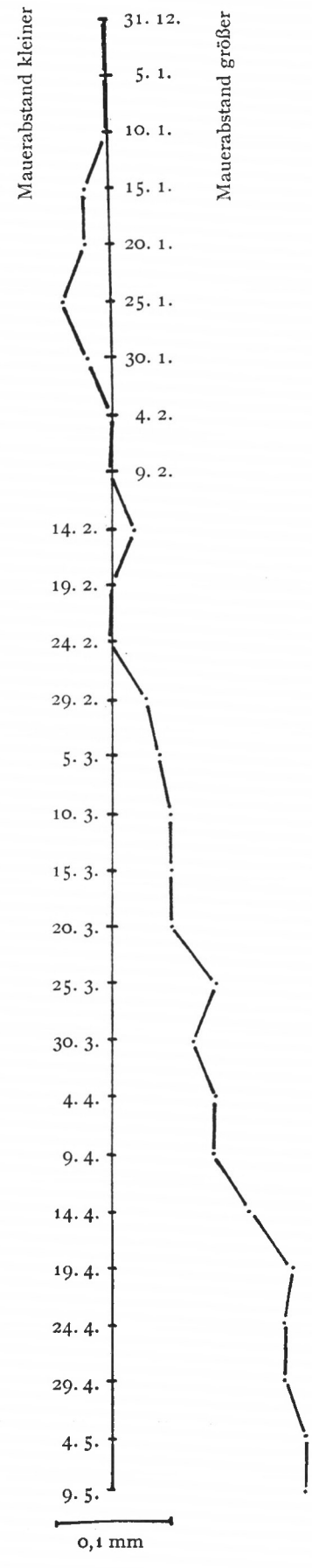


ANLAGE 36a

Auswertung der Drahtmessung im Weißen Saal (Plahl-Gerät)

Tag	Ablesung	Temp.	Temp. Verb.		Verb. Ablesung	Δ
			Draht	Gerät		
	mm	°C	cmm	cmm	mm	cmm
31. 12.	5,21	+ 2	[1]) 0	[2]) 0	5,21	[3]) 0
5. 1.	5,21	+ 2	0	0	5,21	0
10. 1.	5,21	+ 2	0	0	5,21	0
15. 1.	5,21	+ 1	— 1	— 1	5,19	— 2
20. 1.	5,21	0	— 1	— 1	5,19	— 2
25. 1.	5,21	— 1	— 2	— 2	5,17	— 4
30. 1.	5,21	0	— 1	— 1	5,19	— 2
4. 2.	5,21	+ 2	0	0	5,21	0
9. 2.	5,21	+ 2	0	0	5,21	0
14. 2.	5,21	+ 3	+ 1	+ 1	5,23	+ 2
19. 2.	5,21	+ 2	0	0	5,21	0
24. 2.	5,21	+ 2	0	0	5,21	0
29. 2.	5,22	+ 3	+ 1	+ 1	5,24	+ 3
5. 3.	5,23	+ 3	+ 1	+ 1	5,25	+ 4
10. 3.	5,24	+ 3	+ 1	+ 1	5,26	+ 5
15. 3.	5,24	+ 3	+ 1	+ 1	5,26	+ 5
20. 3.	5,24	+ 3	+ 1	+ 1	5,26	+ 5
25. 3.	5,24	+ 6	+ 3	+ 3	5,30	+ 9
30. 3.	5,24	+ 5	+ 2	+ 2	5,28	+ 7
4. 4.	5,24	+ 6	+ 3	+ 3	5,30	+ 9
9. 4.	5,24	+ 6	+ 3	+ 3	5,30	+ 9
14. 4.	5,24	+ 8	+ 5	+ 4	5,33	+ 12
19. 4.	5,23	+ 11	+ 7	+ 7	5,37	+ 16
24. 4.	5,22	+ 12	+ 7	+ 7	5,36	+ 15
29. 4.	5,22	+ 12	+ 7	+ 7	5,36	+ 15
4. 5.	5,22	+ 13	+ 8	+ 8	5,38	+ 17
9. 5.	5,22	+ 13	+ 8	+ 8	5,38	+ 17

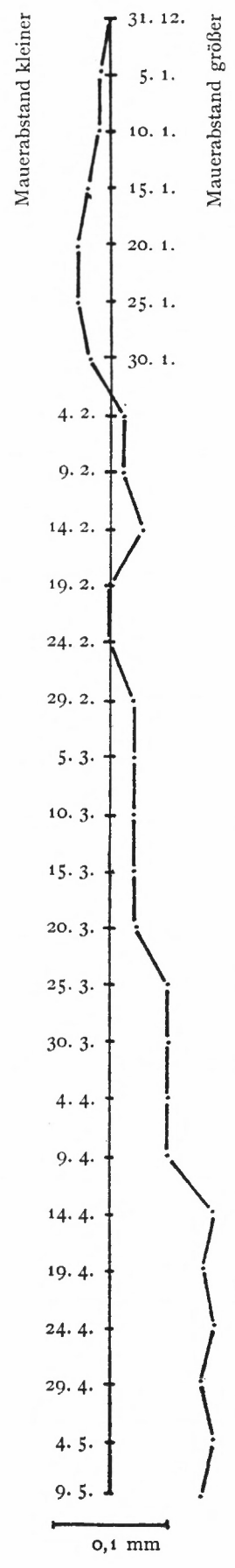
[1]) Draht ist 15,1 m lang
Ausdehnungskoeffizient 0,5 μ/°m
[2]) Gerät ist 0,65 m lang
Ausdehnungskoeffizient 11,5 μ/°m
[3]) „+" Mauerabstand ist größer geworden.



Auswertung der Drahtmessung im Weißen Saal (Stoppani-Gerät)

Tag	Ablesung	Temp.	Temp. Verb.		Verb. Ablesung	Δ
			Draht	Gerät		
	mm	°C	cmm	cmm	mm	cmm
31. 12.	1,94	+ 2	[1]) 0	[2]) 0	1,94	0
5. 1.	1,95	+ 2	0	0	1,95	— 1
10. 1.	1,95	+ 2	0	0	1,95	— 1
15. 1.	1,94	+ 1	+ 1	+ 1	1,96	— 2
20. 1.	1,93	0	+ 2	+ 2	1,97	— 3
25. 1.	1.92	— 1	+ 3	+ 2	1,97	— 3
30. 1.	1,92	0	+ 2	+ 2	1,96	— 2
4. 2.	1,93	+ 2	0	0	1,93	+ 1
9. 2.	1,93	+ 2	0	0	1,93	+ 1
14. 2.	1,93	+ 3	— 1	— 1	1,91	+ 3
19. 2.	1,94	+ 2	0	0	1,94	0
24. 2.	1,94	+ 2	0	0	1,94	0
29. 2.	1,94	+ 3	— 1	— 1	1,92	+ 2
5. 3.	1,94	+ 3	— 1	— 1	1,92	+ 2
10. 3.	1,94	+ 3	— 1	— 1	1,92	+ 2
15. 3.	1,94	+ 3	— 1	— 1	1,92	+ 2
20. 3.	1,94	+ 3	— 1	— 1	1,92	+ 2
25. 3.	1,95	+ 6	— 3	— 3	1,89	+ 5
30. 3.	1.94	+ 5	— 3	— 2	1,89	+ 5
4. 4.	1,95	+ 6	— 3	— 3	1,89	+ 5
9. 4.	1,95	+ 6	— 3	— 3	1,89	+ 5
14. 4.	1,95	+ 8	— 5	— 5	1,85	+ 9
19. 4.	2,01	+ 11	— 8	— 7	1,86	+ 8
24. 4.	2,01	+ 12	— 8	— 8	1,85	+ 9
29. 4.	2,02	+ 12	— 8	— 8	1,86	+ 8
4. 5.	2,03	+ 13	— 9	— 9	1,85	+ 9
9. 5.	2,04	+ 13	— 9	— 9	1.86	+ 8

[1]) Draht ist 15,5 m lang
Ausdehnungskoeffizient: 0,5 μ/°m
[2]) Gerät ist 0,7 m lang
Ausdehnungskoeffizient 11,5 μ/°m

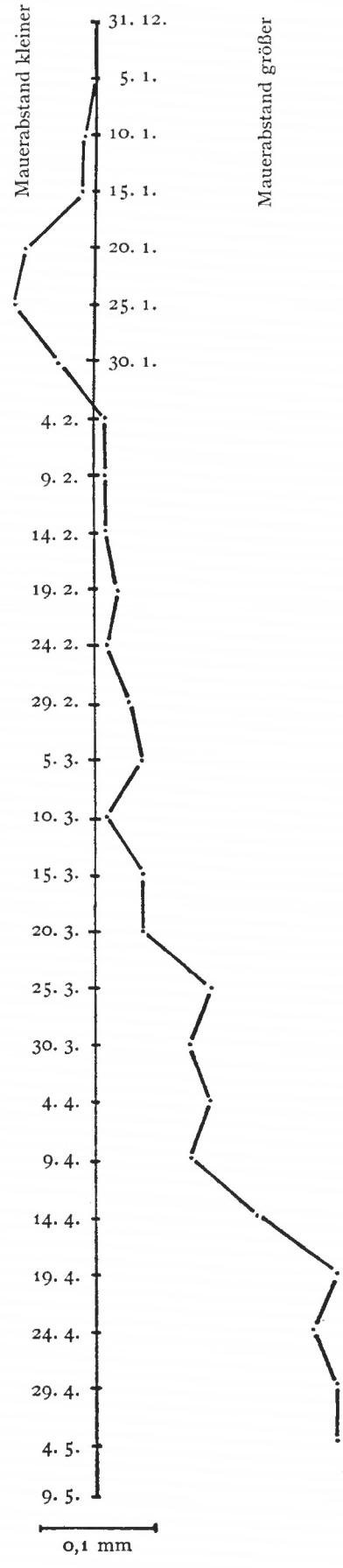


ANLAGE 36c

Stoppani – Treppenhaus

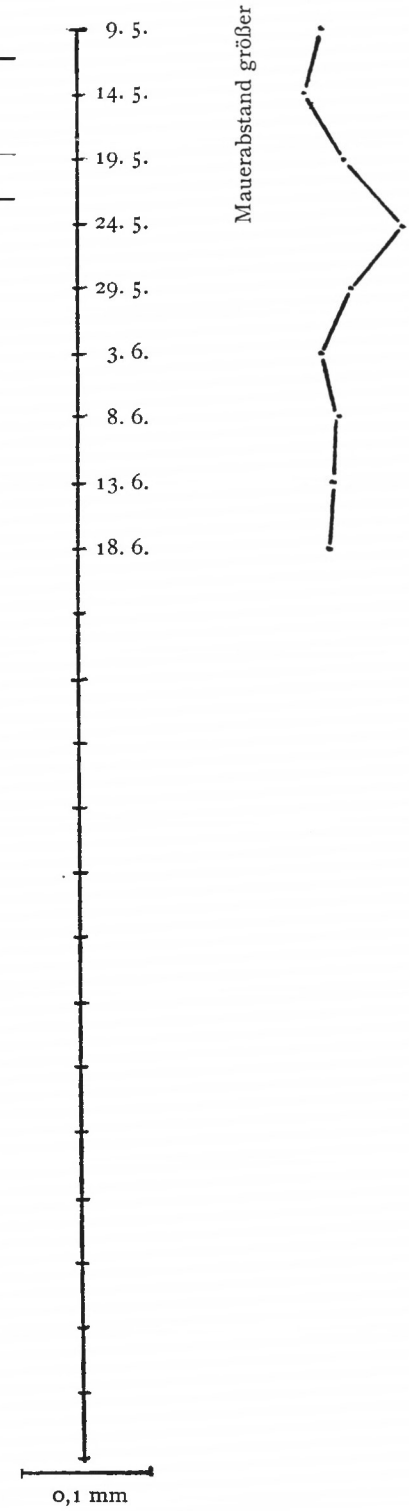
Tag	Ablesung	Temp.	Temp. Verb.		Verb. Ablesung	Δ
			Draht	Gerät		
	mm	°C	cmm	cmm	mm	cmm
31. 12.	2,32	+ 2	[1]) 0	[2]) 0	2,32	0
5. 1.	2,32	+ 2	0	0	2,32	0
10. 1.	2,32	+ 2	0	0	2,32	— 1
15. 1.	2,32	+ 2	0	0	2,33	— 1
20. 1.	2,33	0	+ 3	+ 2	2,38	— 6
25. 1.	2,33	— 1	+ 4	+ 2	2,39	— 7
30. 1.	2,33	+ 1	+ 1	+ 1	2,35	— 3
4. 2.	2,33	+ 3	— 1	— 1	2,31	+ 1
9. 2.	2,33	+ 3	— 1	— 1	2,31	+ 1
14. 2.	2,33	+ 3	— 1	— 1	2,31	+ 1
19. 2.	2,32	+ 3	— 1	— 1	2,30	+ 2
24. 2.	2,33	+ 3	— 1	— 1	2,31	+ 1
29. 2.	2,34	+ 4	— 3	— 2	2,29	+ 3
5. 3.	2,33	+ 4	— 3	— 2	2,28	+ 4
10. 3.	2,33	+ 3	— 1	— 1	2,31	+ 1
15. 3.	2,33	+ 4	— 3	— 2	2,28	+ 4
20. 3.	2,33	+ 4	— 3	— 2	2,28	+ 4
25. 3.	2,33	+ 7	— 7	— 4	2,22	+ 10
30. 3.	2,33	+ 6	— 6	— 3	2,24	+ 8
4. 4.	2,33	+ 7	— 7	— 4	2,22	+ 10
9. 4.	2,33	+ 6	— 6	— 3	2,24	+ 8
14. 4.	2,34	+ 9	— 10	— 6	2,18	+ 14
19. 4.	2,34	+ 12	— 15	— 8	2,11	+ 21
24. 4.	2,36	+ 12	— 15	— 8	2,13	+ 19
29. 4.	2,36	+ 13	— 16	— 9	2,11	+ 21
4. 5.	2,36	+ 13	— 16	— 9	2,11	+ 21
9. 5.	2,35	+ 14	— 18	— 10	2,07	+ 25

[1]) Draht ist 29,9 m lang
Ausdehnungskoeffizient: 0,5 μ/°m
[2]) Gerät ist 0,7 m lang
Ausdehnungskoeffizient: 11,5 μ/°m



Auswertung der Drahtmessung im Weißen Saal (Plahl-Gerät)

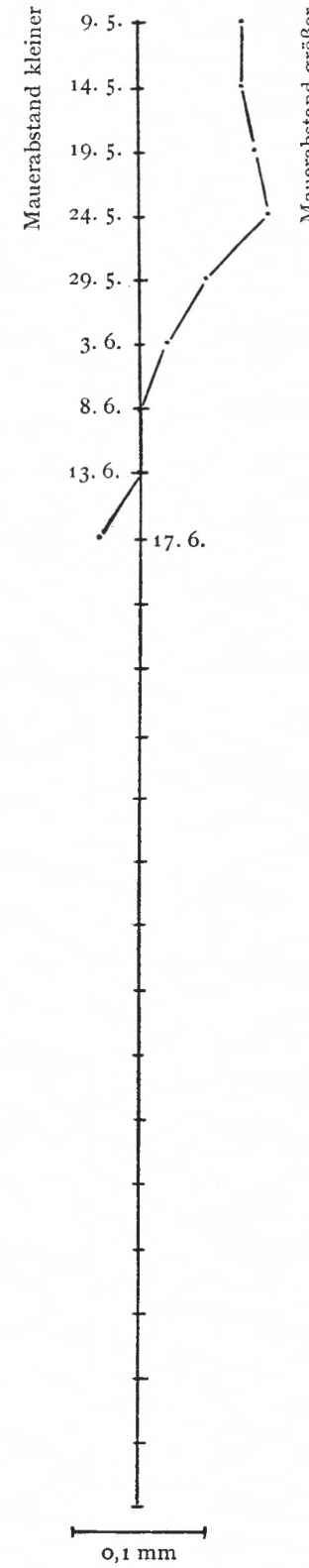
Tag	Ablesung	Temp.	Temp. Verb.		Verb. Ablesung	Δ
			Draht	Gerät		
	mm	°C	cmm	cmm	mm	cmm
9. 5.	5,22	+ 13	+ 8	+ 8	5,38	+ 17
14. 5.	5,19	+ 14	+ 9	+ 9	5,37	+ 16
19. 5.	5,18	+ 16	+ 11	+ 11	5,40	+ 19
24. 5.	5,23	+ 17	+ 11	+ 11	5,45	+ 24
29. 5.	5,19	+ 17	+ 11	+ 11	5,41	+ 20
3. 6.	5,15	+ 18	+ 12	+ 12	5,39	+ 18
8. 6.	5,12	+ 20	+ 14	+ 14	5,40	+ 19
13. 6.	5,12	+ 21	+ 14	+ 14	5,40	+ 19
18. 6.	5,12	+ 21	+ 14	+ 14	5,40	+ 19

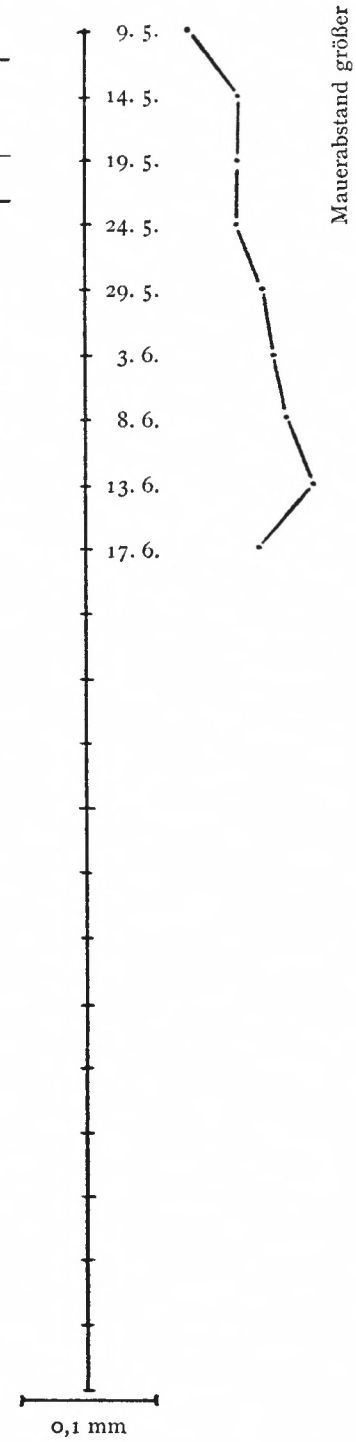


ANLAGE 37b

Auswertung der Drahtmessung im Weißen Saal (Stoppani)

Tag	Ablesung	Temp.	Temp. Verb.		Verb. Ablesung	Δ
			Draht	Gerät		
	mm	°C	cmm	cmm	mm	cmm
9. 5.	2,04	+ 13	— 9	— 9	1,86	+ 8
14. 5.	2,09	+ 16	— 12	— 11	1,86	+ 8
19. 5.	2,08	+ 16	— 12	— 11	1,85	+ 9
24. 5.	2,09	+ 17	— 13	— 12	1,84	+ 10
29. 5.	2,14	+ 17	— 13	— 12	1,89	+ 5
3. 6.	2,19	+ 18	— 14	— 13	1,92	+ 2
8. 6.	2,23	+ 20	— 15	— 14	1,94	0
13. 6.	2,24	+ 21	— 15	— 15	1,94	0
17. 6.	2,27	+ 21	— 15	— 15	1,97	— 3



Stoppani-Treppenhaus

Tag	Ablesung	Temp.	Temp. Verb.		Verb. Ablesung	Δ
			Draht	Gerät		
	mm	°C	cmm	cmm	mm	cmm
9. 5.	2,35	+ 14	— 18	— 10	2,07	+ 25
14. 5.	2,35	+ 16	— 21	— 11	2,03	+ 29
19. 5.	2,35	+ 16	— 21	— 11	2,03	+ 29
24. 5.	2,35	+ 16	— 21	— 11	2,03	+ 29
29. 5.	2,35	+ 17	— 22	— 12	2,01	+ 31
3. 6.	2,37	+ 18	— 24	— 13	2,00	+ 32
8. 6.	2,38	+ 19	— 25	— 14	1,99	+ 33
13. 6.	2,40	+ 21	— 28	— 15	1,97	+ 35
17. 6.	2,40	+ 19	— 25	— 14	2,01	+ 31