

Staatstheater Mainz

Erneuerung des 1. Ranges

Gerhard Peters
Grebner Gesamtbauplanung Mainz

Zusammenfassung

Im Rahmen der Generalsanierung des Großen Hauses nach der Fertigstellung des Kleinen Hauses des Staatstheaters Mainz im Oktober 1997 wird auch der Zuschauerraum neu gestaltet. Hier sollen auf den Grundlagen der vorhandenen Bausubstanz die Ränge ganz bzw. teilweise neu aus Beton errichtet und gestaltet werden. Den Planern waren die Schwierigkeiten voll bewußt, zum einen, einen bestimmten Kostenrahmen einhalten zu müssen, zum anderen durch die Veränderungen auch eine tatsächliche Verbesserung zu erreichen, sowohl für den Besucher als auch für das gesamte Theater-Ensemble. Ferner wollte man auch der Geschichte gerecht werden und die Ursprungsformen wieder besser sichtbar machen, soweit die Zerstörung im 2. Weltkrieg und die folgende Wiedererrichtung mit weiteren Eingriffen in die alte Substanz die Realisierung dieses Wunsches überhaupt noch möglich machte. Mit den heute zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden bzw. -hilfsmitteln wurde die Bearbeitung dieser Wünsche unterstützt und zur Umsetzung konstruktiv durchdacht.

Geschichte

Das Theater wurde zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts nach Plänen des Franzosen J.F.Eustache du Far begonnen und 20 Jahre später nach Plänen von Georg Moller, einem der großen renomierten Baumeister seiner Zeit, fertiggestellt. Die Eröffnung war im September 1833. Moller leitete durch seine Formgebung eine neue Entwicklung des Theaterbaues nicht nur für Deutschland ein. Das einfache Rechteck ist abgelöst, das Bühnenhaus und das Zuschauerhaus sind getrennt und sowohl innen als auch außen optisch erfahrbar. Der Zuschauerraum bot mit Parkett, drei Rängen und einer Galerie 1500 Personen Platz.



Abbildung 1 Staatstheater Mainz

Im Laufe der zwei Jahrhunderte wurde das Theater mehrfach renoviert, umgebaut und erweitert. Die erste größere Baumaßnahme war die Erweiterung des Foyers mit den heutigen Treppenhäusern zur Einzellerschließung der verschiedenen Ebenen aus Forderungen des Brandschutzes nach Plänen des Stadtbaurates Gelius zu Beginn dieses Jahrhunderts. Somit war die Moller'sche Rotunde nicht mehr sichtbar.

Der letzte große Umbau war die Wiedererrichtung nach der Zerstörung im 2. Weltkrieg. Viele Elemente der Gründerzeit waren unwiederruflich zerstört und wurden nicht mehr in der alten Form erneuert. Der 2. und 3. Rang wurden zusammengezogen. Die Galerie entfiel. Die höheren Anforderungen an den Brandschutz waren ein wesentlicher Grund. Die alte Dachkonstruktion aus Holz wurde durch zeitgemäße Baumaterialien zu ersetzt und gleichzeitig die Möglichkeiten des Materials Stahl ausgenutzt.

Die letzte Umbaumaßnahme wurde in den siebziger Jahren durchgeführt. Die dazugehörige Planung wurde nur unvollständig umgesetzt. Eine neue Zwischendecke über dem Zuschauerraum mit einer begehbaren Beleuchterbrücke und die Erneuerung der Lüftungstechnik, der das Dachcafe zum Opfer fiel, waren zwei wesentliche Eingriffe. Die Umgestaltung des Foyers wurde mit der Auflösung einer Mauerwerkswand in der Ebene E0 in eine Stützen/Riegel-Konstruktion, auf die im folgenden noch eingegangen wird, begonnen, aber nicht vollendet.

Grundlagen

Die Neugestaltung des Zuschauerraumes ist ein wesentlicher Teil der Generalsanierung. Die laufenden Planungen werden durch eine Vielzahl alter, aber nicht vollständiger Unterlagen unterstützt. Das gesamte Bauwerk wurde daher vermessen. Mit diesen Daten und den alten Unterlagen wurden Bestandspläne der konstruktiven Bauteile gefertigt. Dies geschah während des laufenden Theaterbetriebes, so daß es zur Zeit noch weiße Flecken gibt, die durch vorhandene Festeinbauten (Verkleidungen, Kanäle und andere Technik) nicht eindeutig bestimmt werden können. Alle nunmehr vorliegenden Unterlagen bilden die Voraussetzung für die Planung aller Beteiligten.

Zum 1. August 1998 stellt das Theater mit der laufenden Spielzeit den Betrieb ein und zieht für mehrere Jahre in ein Provisorium. Nach dem Ausräumen und ersten Abbrucharbeiten der Verkleidungen und Rückbau der Theater- und Haustechnik können die weißen Flecken geklärt und Untersuchungen des Mauerwerksgefüges, der genauen Mauerwerksstärken und -festigkeiten durchgeführt werden.

Konstruktion

Der Bestand ist in Abb. 2, Teilschnitt senkrecht zum Bühnenportal, zu erkennen. Die Ränge wurden nach dem Krieg auf den noch vorhandenen Wänden neu errichtet.

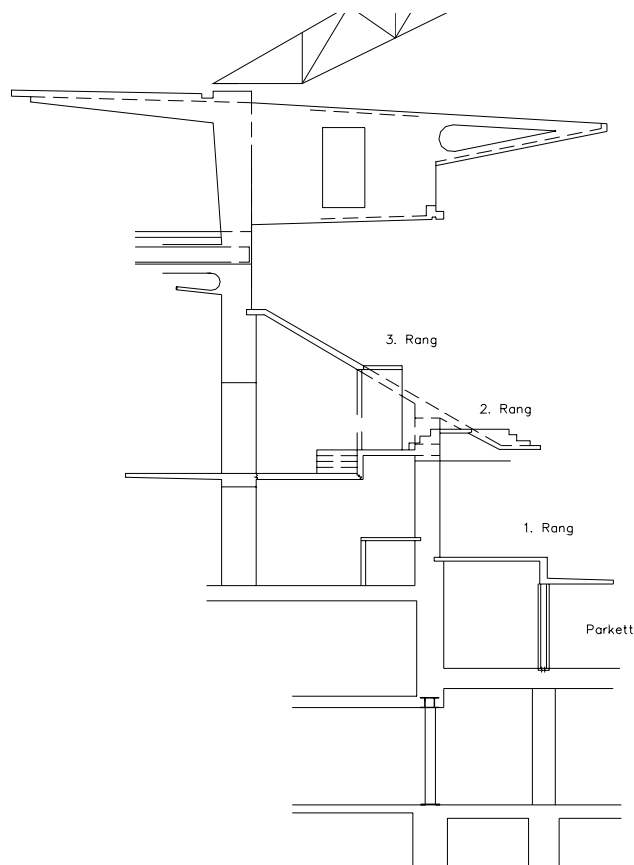


Abbildung 2: Schnitt durch den Bestand

Die Ränge sind als Halbkreis ausgeführt. Die Planung beinhaltet einen Fortfall der Stützen im Parkett und eine Zurücknahme der Kragplatte für eine optimale Sicht aller Plätze im Parkett auf die Bühne. Dies bedeutet zwangsläufig eine totale Erneuerung des 1. Ranges. Der 2. und 3. Rang wird im Bestand nicht geändert. Die Abb. 2 zeigt auch die Stützen/Riegel-Konstruktion, die in den siebziger Jahren zur Abfangung der Mauerwerkswand in der Ebene E0 eingebaut wurde, um das Foyer in dieser Ebene zu vergrößern. Dies ist die Wand, auf der der 1. Rang aufgelagert ist. Folglich muß diese Konstruktion für die neuen Lasten, die durch die Veränderungen größer werden, auf ihre Funktionsfähigkeit untersucht werden. Darauf wird aber hier nicht weiter eingegangen.

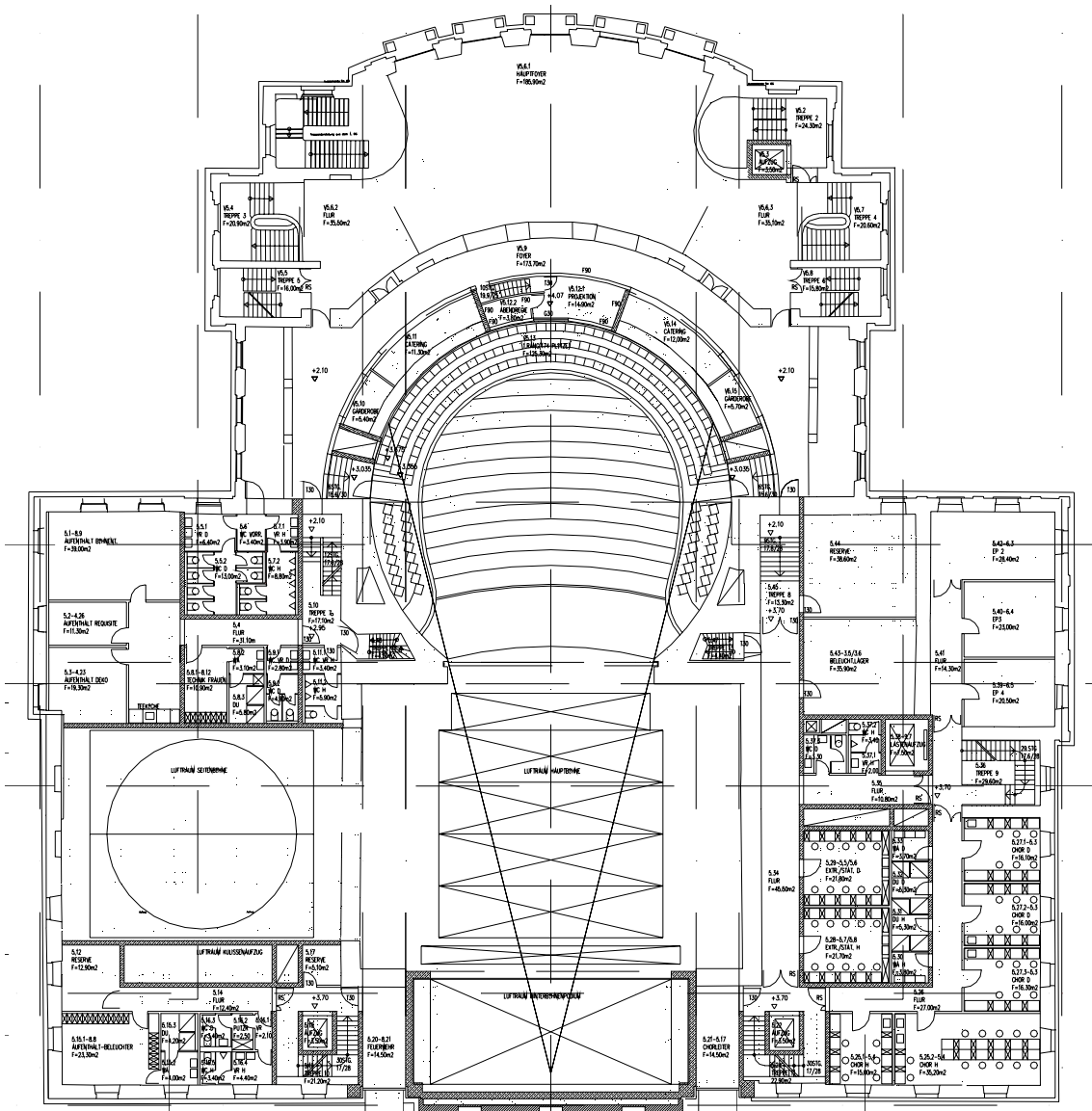


Abbildung 4: Ebene 2/1

Einschneidend ist ferner die auch veränderte Form der Ränge im Grundriss. Während zur Zeit die Ränge wie oben erwähnt als Halbkreis ausgeführt sind, läßt man jetzt die alten Formen aus der Gründerzeit, die sogenannte Lyraform, wieder aufleben. Die Ränge werden weiter in Richtung Bühne verlängert. Dies bedeutet nunmehr, daß die Ränge einen dreiviertel Kreis bilden mit der Öffnung zur Bühne hin. Für den 2. und 3. Rang ist dies eine Verlängerung des Bestandes, exakt genommen betrifft dies nur den 2. Rang. Das Theater hat nach der Sanierung ca. 900 Zuschauerplätze.

Durch den Wunsch des Wegfalls der Stützenreihe und Zurücknahme der Rangtiefe war die Frage nach einer Kragarmlösung gegeben. Da die vertikale Konstruktion aus Ziegel- oder Bundsandsteinmauerwerk besteht, -genaue Analysen müssen noch gemacht werden- mußte nach Möglichkeiten gesucht werden, die Einspannung der Kragplatte mit einer Kraglänge von $l = 3.00$ m zu realisieren. Durch die Neugestaltung der Foyers in den verschiedenen Ebenen mit einem Servicering wurde die Einplanung von Schotten in einem anzustrebenden Raster vorgeschlagen.

Hieraus entwickelte sich die vorliegende Planung. Diese sieht auf den Seiten jeweils einen Schacht für die Lüftung und in der Mitte die Ton- und Lichtregie vor, die aus dem Zuschauerraum herausgenommen wurde, um die guten Plätze nicht durch Technikräume zu reduzieren. Zwischen diesen beiden Elementen wurde noch jeweils ein weiteres Schott eingeplant. Es stehen nunmehr 8 Schotten zur Verfügung. Die Größe der Schotten ist unterschiedlich. Während die Tiefe durch den Servicering vorgegeben und bei allen gleich ist, ist die Höhenentwicklung unterschiedlich. Im allgemeinen sind die Schotten in Ebenen E1, E2/1 und E2/2 vorhanden und enden Unterkante der schrägen Platte des 2. und 3. Ranges. Ein Schott des Schachtes jedoch beginnt bereits in der Ebene E0. Das zwischen dem Schacht und der Regie vorhandene Schott ist hingegen nur in der Ebene E1. Im Bereich der Regie wird die ca. 80 cm starke Mauerwerkswand abgetragen und durch zwei Betonscheiben ersetzt. In der Ebene E1 besteht diese aus zwei nicht exakt senkrecht zur Mittelachse stehenden Teilen. In der Ebene E2/1 hat die Scheibe die Kreisbogenform der ehemaligen Wand. Dies ist erforderlich um zum einen dem bestehenden 2. Rang sein Auflager zu erhalten und zum anderen die Kreisbogenform der Bestuhlung des 1. Ranges zu gewährleisten. Im Bereich der Schächte wird die Mauerwerkswand ebenfalls, hier auf der gesamten Höhe, entfernt und durch eine Betonscheibe ersetzt, um so eine größere Schachttiefe zu erhalten. Die Schotten werden im Mauerwerksbereich gegen diese betoniert. Das nur in der Ebene E1 vorhandene Schott wird in einen Wandschlitz betoniert.

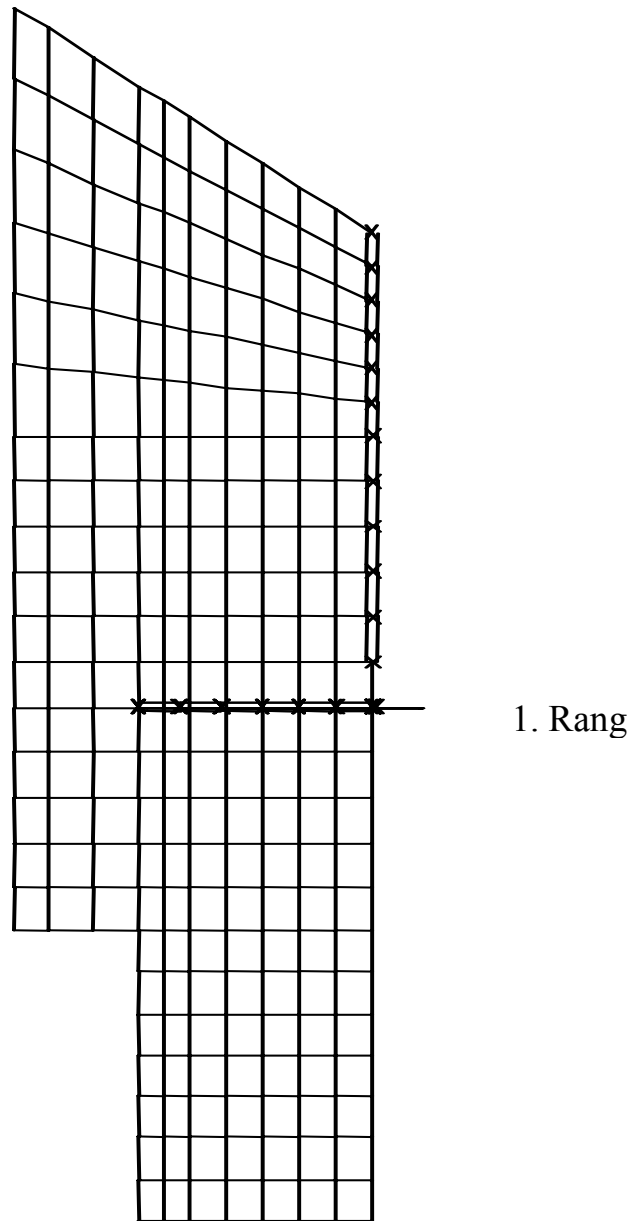


Abbildung 5: Elementnetz eines Schotts (Regie)

Die Verlängerung des 2. Ranges erfolgt nur im Bereich des Kragarms. Da dieser Teil senkrecht über dem 1. Rang liegt, werden die beiden Ränge hier durch eine gebogene Wandscheibe vertikal verbunden. Die Möglichkeit der Anordnung von weiteren Schotten ist in diesem Bereich nicht gegeben. Daher mußte hier nach anderen konstruktiven Maßnahmen gesucht werden. Es wurde vorgeschlagen, die auftretenden Verformungen am oberen Ende der gebogenen Wandscheibe mit Verankerungen durch Spannelemente in die neuen Decken der Seitenflügel des Hinterhauses zu verhindern. Mit der weiteren Planung müssen, wie hier deutlich wird, noch viele Detaillösungen erarbeitet werden.

Für die Auflagerung der Platte in die Wand wurde folgende Konstruktion gewählt:

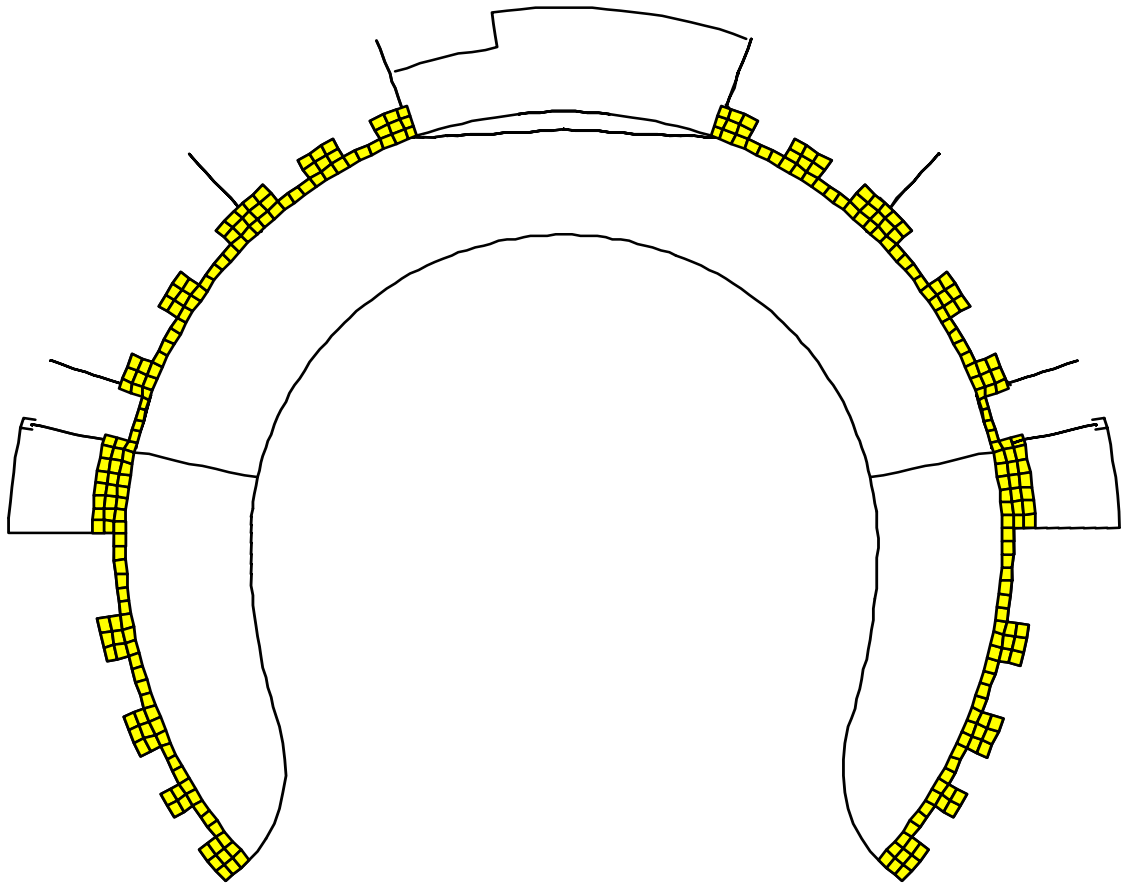


Abbildung 6: Darstellung des Mauerwerksauflagers

Auf ein Drittel der Wandstärke ist eine kontinuierliche Lagerung geplant. Die anderen zwei Drittel werden in einem vorgegebenen Raster voll in die Wand eingebunden. Diese Einbindung wird mit einer größeren Plattenstärke (Abb. 7) ausgeführt. Das Raster ist durch die Anordnung der Schotten vorbestimmt, da jeweils seitlich der Schotten eine volle Auflagerung auf die Mauerwerkswand sinnvoll ist. Inwieweit diese Konstruktion tatsächlich im angenommenen Raster ausgeführt werden kann hängt vom Zustand des Mauerwerks ab. Für das statische System spielen diese Überlegungen keine entscheidende Rolle. Es sind an anderen Stellen des Gebäudes Kernbohrungen gemacht worden. Diese haben den Betriebsablauf des Theaters nicht gestört und hier gab es keine Ver-

kleidungen oder aber Technikbelegungen. Das Ergebnis dieser bisherigen Untersuchungen zeigt ein derart unterschiedliches Mauerwerk, so daß Rückschlüsse nur schwer zu ziehen sind. Die Vertikallasten der Schotten werden von der Mauerwerkswand übernommen, da wie oben beschrieben die Schotten nicht in die Ebene E0 bzw. E01 geführt werden können. Die Schotten hängen sich im Bereich der

Einbindung des Ranges auf die Mauerwerkswand bzw. stehen direkt auf den Riegeln der Abfangkonstruktion.

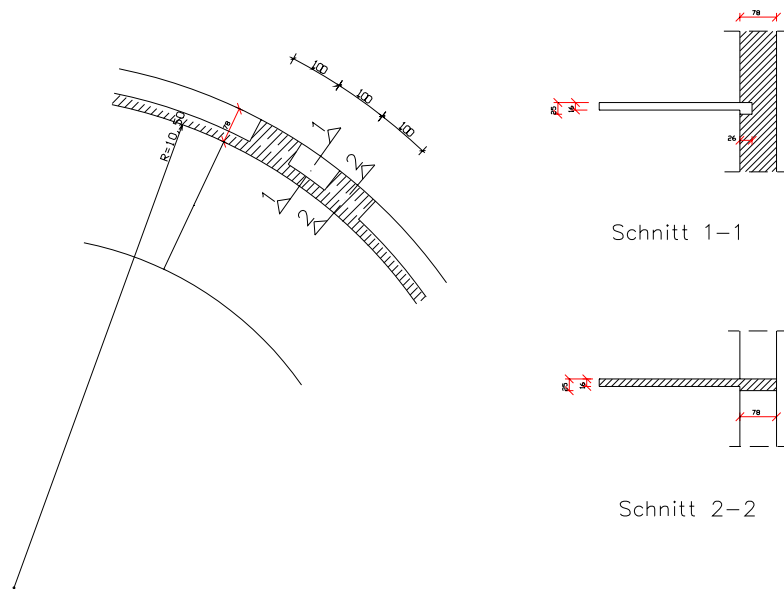


Abbildung 7: Schnitt durch Einbindung in das Mauerwerk

Der Eingang zum 1. Rang ist neben den Schächten. Durch das unterschiedliche Niveau des Ranges (+3.05m) und des Foyers (+2.08m) sind Differenzstufen erforderlich. Diese werden nicht in einer Leichtkonstruktion sondern als "Gegen" Kragarm zum Rang massiv ausgeführt. Dadurch ergibt sich eine volle Auflagerung auf die Mauerwerkswand.

Im Bereich der Ton- und Lichtregie ist die Zwischendecke in Höhe des Ranges, so daß sich hier über die Wandscheibe im Parkett eine gegenseitige Einspannung ergibt. Ebenfalls in diesem Bereich wird zwischen der anderen kreisrunden Mauerwerkswand, der alten Aussenwand von Moller, und dem Servicing ein Luftraum geschaffen. Daher muß die vorhandene Einfelddecke zunächst komplett entfernt werden. Der Deckenteil im Servicing wird erneuert und an die anderen neuen Konstruktionsteile aufgehängt bzw. in den Riegel der Abfangung eingebunden.

Statisches Modell

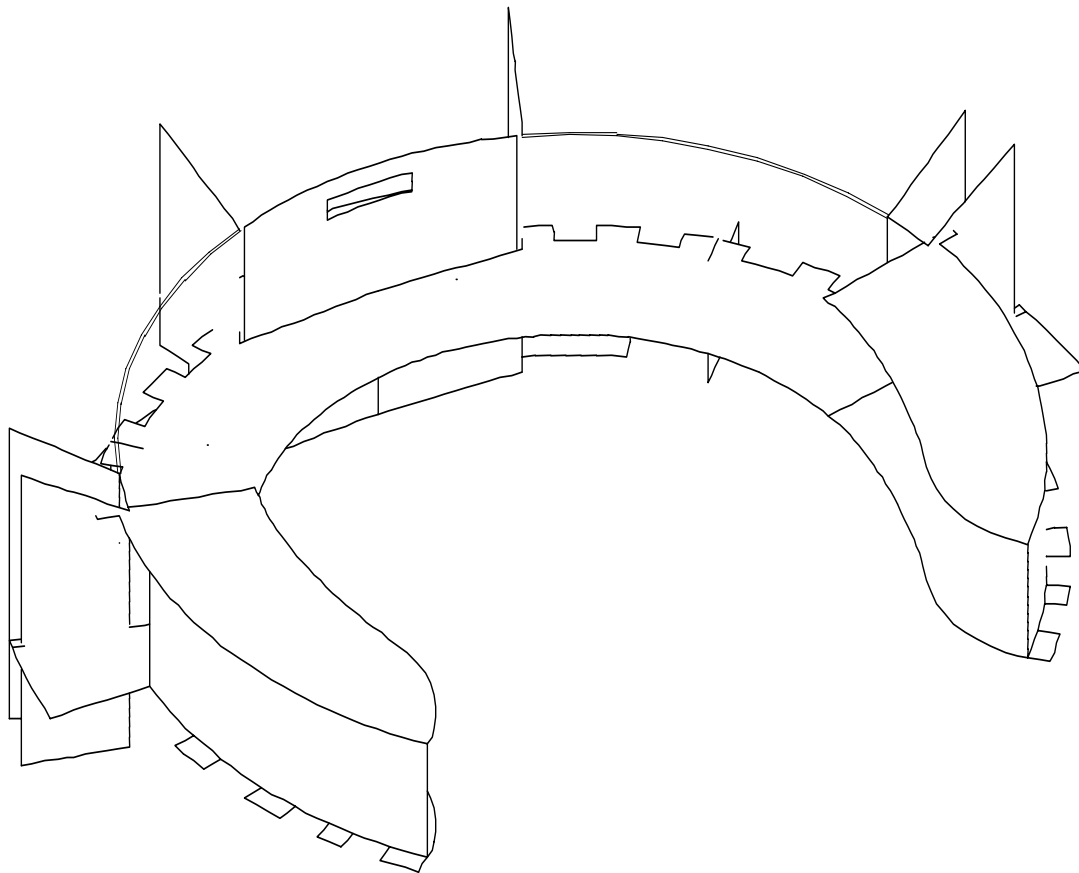


Abbildung 8: Kontur des statischen Systems

Für die Aufbereitung der räumlichen FE-Struktur durch das Programm NEGER wurden die CAD-Daten aus der Genehmigungsplanung des Architekten übernommen. Diese waren zunächst durch das im Hause zur Verfügung stehende CAD-System auf die notwendigen Daten reduziert worden, um die Arbeit mit dem Programm NEGER zu optimieren.

Zunächst wurde das FE-Netz für die Platte des 1. Ranges unter Berücksichtigung der vertikalen Schotten strukturiert. Dabei wurden folgende Betonabmessungen festgelegt:

Plattenstärke der Kragplatte $d = 16 \text{ cm}$

Plattenstärke im Wandbereich $d = 25 \text{ cm}$ (vgl. Abb. 7)

Die Auflagerung in der Wand erfolgt auf elastisch gebetteten Elementen mit einem rechnerischen

Bettungsmodul $C = 2.0 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

Dieser Wert wurde mit $C = E/h$ unter der Annahme eines Elastizitätsmodul für Mauerwerk mit $E = 10.000 \text{ MN/m}^3$ und einer Wandhöhe $h = 5.00 \text{ m}$ ermittelt. Dieser Parameter wird im Rahmen der Mauerwerksanalysen noch zu prüfen sein.

Die maximale Elementgröße wurde auf 35cm beschränkt. Es wurden keine Elementverdichtungen gewählt.

Für die Auflagerung in und auf der Wand ergaben sich folglich 3 Elementreihen. Diese Wahl entspricht der oben getroffenen konstruktiven Festlegung mit einem Drittel kontinuierliche und zwei Drittel zahnförmige Lagerung.

Nach der Strukturierung dieses Netzes wurden die unterschiedlichen Schotten als Einzelstrukturen (siehe Abb. 4) erstellt und dann in das Gesamtsystem eingefügt. Der Nullpunkt dieser Einzelstrukturen wurde in die Ebene des 1. Ranges und auf der Mauerwerksinnenseite definiert. Nach der Fertigstellung der jeweiligen Struktur wurde diese um 90 Grad zur X-Achse gedreht und in separaten Dateien abgelegt. Im Gesamtsystem wurde im Menü "NDB-Einfügen" nunmehr der Drehwinkel, der vorher mit dem Programm ermittelte Winkel zwischen der globalen X-Achse und der Mittellinie des Schotts, eingegeben und nach der Bestätigung des Referenzpunktes aus dem Schnittpunkt der Mauerwerksinnenseite und der Mittellinie das Schott eingefügt. Auf diese Weise wurden alle Schotten eingearbeitet.

Die Kopplung erfolgt nicht über je eine Knotenreihe der horizontalen und vertikalen Strukturen, sondern in Elementmitte der horizontalen Struktur eingefügt, jeweils an die beideseits verlaufende Knotenreihe des Rangnetzes. Die monolithische Verbindung der Bauteile wird durch die starre Kopplung mit KF simuliert. Diese Verbindung erfolgt im Mauerwerksbereich.

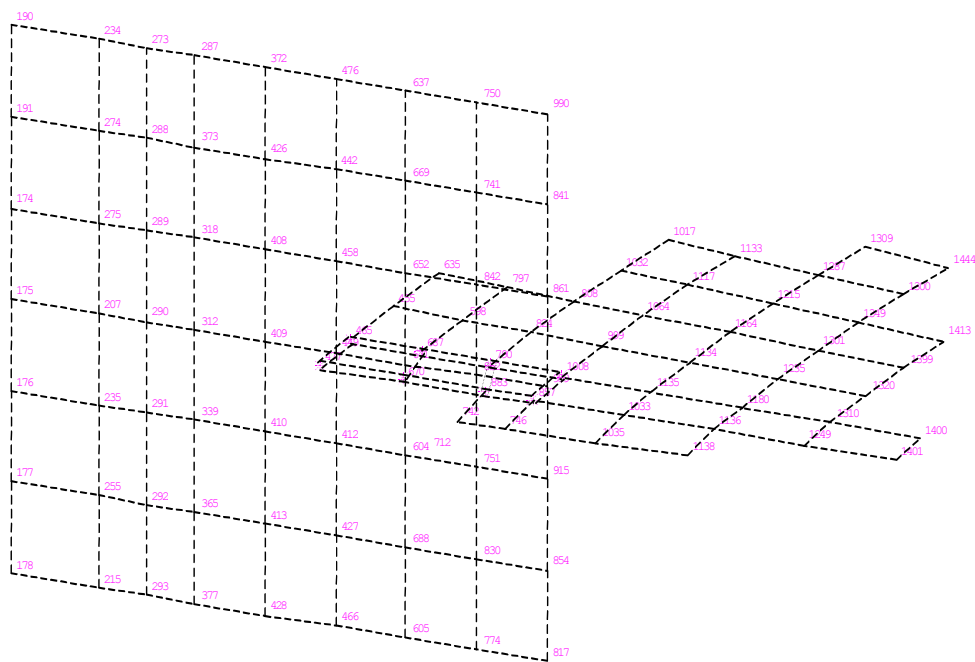


Abbildung 9: Kopplung der Schotten an den Rang

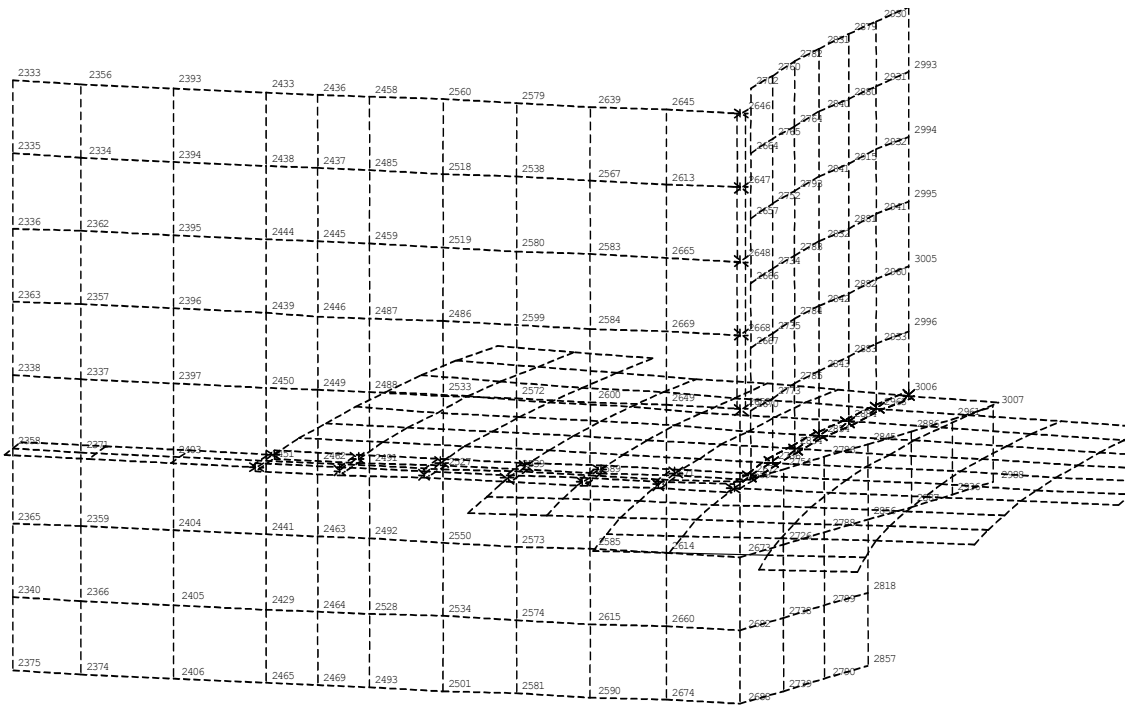


Abbildung 10: Kopplung der Regiewand an die Schotte

Die Kopplungen der gebogenen Wandscheibe in Ebene E2/1 mit den Schotten wird durch den Kopplungstyp KF erreicht und mit dem Rang durch die Knotenreihe direkt verbunden. Bei der geknickten Wandscheibe in der Ebene E1 erfolgt dies auf umgekehrten Weg: direkte Verknüpfung mit den Schotten und Kopplung mit KF an die Knotenreihe mit der gebogenen Scheibe oberhalb. Die FE-Netze dieser beiden Wandscheiben wurden im Gesamtsystem strukturiert.

Der 2. Rang wurde aus dem 1. Rang über Gruppen entwickelt und eingefügt. Die Neigung dieses Ranges wurde nicht berücksichtigt. Die übereinanderliegenden Ränge 1 und 2 wurden über eine gebogene Strukturfläche miteinander vernetzt.(Abb. 8)

Im Bereich der Regie wurde die Zwischendecke ebenso wie die neue Decke über der Ebene E0 mit in das System einbezogen. Der neue Zugang zum 1. Rang neben den Schächten wurde auch in das Elementnetz des Modells eingebunden. Somit sind alle neuen Konstruktionsteile Teile des FE-Netzes.

Vertikale Festhaltungen sind die oben beschriebenen elastisch gebetteten Elemente. Die horizontalen Festhaltungen sind die Decken des Foyers, die die Schotten durchstoßen. Diese werden durch entsprechende Festhaltungen im System symbolisiert. Die Festhaltung an den oberen Punkten gegen den Auflagerbalken (siehe Abb. 2) des 2. und 3. Ranges auf dem Mauerwerk wird durch ein Ersatzsystem beschrieben. Zwischen den Schächten und den Regiewänden wird ein polygonaler Stabzug eingefügt. Im Bereich der Regie übernimmt im statischen Modell die gebogene Wandscheibe diese

Funktion. Zur Bühne geht die Normalkraft über die Stirnwand des Schachtes und dem 2. Rang in die neue vertikale, gebogene Wandscheibe. Die beschriebene Rückverankerung des 2. Ranges wird durch eine Festhaltung in X-Richtung definiert.

Die vorhandene, geneigte Stahlbetonplatte des 2. und 3. Ranges wurde nicht in das Rechenmodell integriert.

Belastungen

Neben dem durch das vom Programm ASE bestimmte Eigengewicht, der Verkehrslast mit $p = 5.00 \text{ kN/m}^2$ und einer Randlast mit $p = 2.00 \text{ kN/m}$ wurde auf der äußeren Reihe der elastisch gelagerten Elemente die Auflast aus dem aufgehenden Mauerwerk und die ständige Last aus der Konstruktion des 2. und 3. Ranges aufgebracht. Hinter der Annahme, diese Last nur auf der äußeren Elementreihe anzusetzen, steht die Überlegung, daß sich bei einer Verformung der neuen Platte durch die Gewölbewirkung des Mauerwerks vertikal über den Zähnen und horizontal durch den Kreisbogen eine Umlagerung der vertikalen Last auf die Außenseite ergibt. Die Belastung aus dem Rang oberhalb der Regie wurde entsprechend berücksichtigt. Alternativ wurde der Lastfall mit gleichmäßig verteilter Last aus der aufgehenden Konstruktion gerechnet.

Berechnung

Während der Entwicklung der Planung und des hier vorgestellten statischen Systems wurden Zwischenberechnungen ausgewertet. Nach dem ersten Entwurfsvorschlag der Architekten gab es noch keine Schotten, keinen Servicing in der jetzigen Form. Nach Möglichkeiten der vertikalen Führung der Lüftungskanäle wurde schon seit geraumer Zeit intensiv durch die Haustechnik in Zusammenarbeit mit den anderen Planern gesucht. Bereits in den ersten Gesprächen wurde auf notwendige konstruktive Elemente zur Einspannung hingewiesen.

Zur Demonstration wurde ein ebenes System des 1. Ranges mit SEPP gerechnet. Zunächst unter der Einwirkung der Zugspannungen. Die Größenordnung dieser ließ vermuten, daß es zu extremen Umlagerungen der Bettungskräfte kommen würde, wenn eine nichtlineare Berechnung folgen würde. Diese zeigte dann mit ASE als ebenes System das erwartete Ergebnis: Da wir keinen geschlossenen aussenaufliegenden Kreisringträger haben, führten die Iterationen zu keiner Konvergenz und so zum "Zusammensturz" des Ranges. So konnte den Architekten rechnerisch eindrucksvoll belegt werden, daß die geforderte Einspannung nicht "aus der Luft" gegriffen und berechtigt war. Auf der folgenden Seite ist ein Auszug aus dieser wiedergegeben:

STAATSTHEATER MAINZ

MZB 97 M03

Berechnung mit nichtlinearen Materialeigenschaften

L A S T F A L L 1 Vollast

Eigengewicht in Z-Richtung 2.250

Iteration 1	Restkraft	46.210	Energie	7.3701 e/f	.000	1.000
Iteration 2	Restkraft	39.249	Energie	7.5023 e/f	.000	1.018
.						
.						
Iteration 98	Restkraft	3.704	Energie	46.9396 e/f	-.320	.800
Iteration 99	Restkraft	3.701	Energie	46.9450 e/f	-.320	.800
Iteration100	Restkraft	3.699	Energie	46.9504 e/f	-.320	.800

+++++ WARNUNG NR. 2191 in PROGRAMM VERS ; EINGABEZEILE: 13
Kein Gleichgewicht in der nichtlinearen Iteration gefunden!
Bitte pruefen Sie die Laststufe oder aendern Sie die
Iterationssteuerung: - mehr Iterationen zulassen
- groebere Toleranzschränke waehlen
- FMAX begrenzen z.B. FMAX=1.1
- evtl. Iter.verfahren wechseln. -->STEU ITER

Das nunmehr vorliegende statische System wurde mit den ständigen Lasten und verschiedenen Verkehrslastfällen linear gerechnet. Die Auswertung zeigt, daß rechnerisch

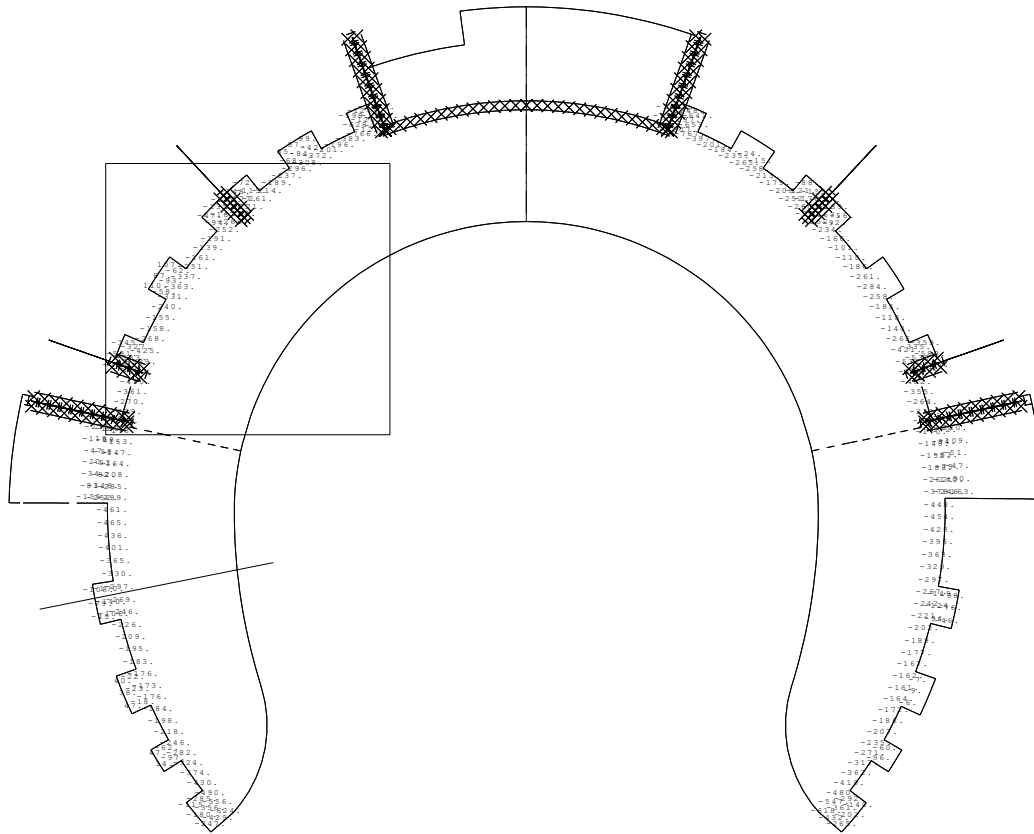


Abbildung 11 Spannungen

weiterhin Zugspannungen auftreten, die durch das Mauerwerk bekanntermaßen jedoch nicht aufgenommen werden können. Diese Bereiche sind jedoch nur noch an wenigen Stellen zu finden. Es ist zum einen der Bereich, an denen keine Schotten vorhanden sind und zum anderen der mittlere Abschnitt der gekrümmten Wand zwischen dem 1. und 2. Rang. Daher wurde der Lastfall Vollast mit ASE auch nichtlinear (Ausschluß der Zugspannungen) gerechnet. In der Abb. 11 sind diese beiden Lastfälle -optisch überlagert- dargestellt: links linear, rechts nichtlinear. Die Abb.12 zeigt in Ausschnitten die tatsächlich auftretenden Größenordnungen der Spannungen für beide Lastfälle in kN/m^2 :

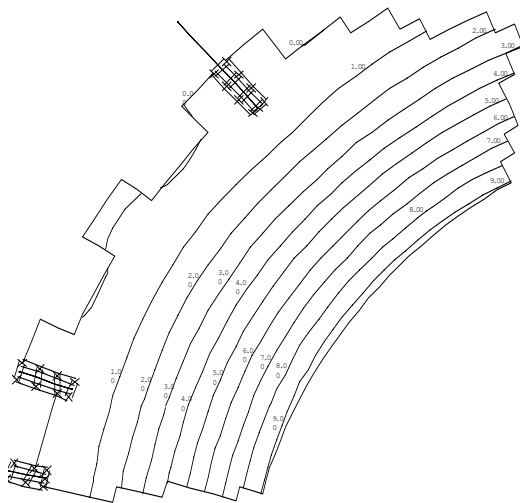


lineare Berechnung

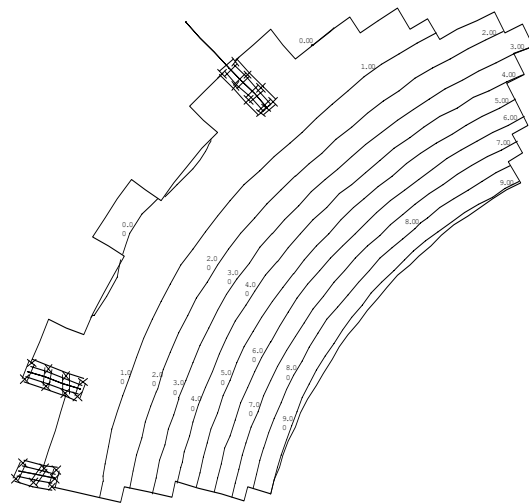


nichtlineare Berechnung

Abbildung 12 Spannungen



lineare Berechnung



nichtlineare Berechnung

Abbildung 13 Vertikalverformungen

Die Abbildung 13 dokumentiert, in den gleichen Ausschnitten, daß die vertikalen Verformungen im Zustand I unter dem angenommenen Bettungsmodul nur ganz unwesentlich voneinander abweichen. Unterschiede sind nur direkt im Auflagerbereich festzustellen. Der Unterschied in der Durchbiegung am Plattenrand ist nur aus den Zahlen zu erkennen: nichtlinear 9.48 mm und linear 9.44 mm. Diese Werte gelten nur für den Bereich des Ausschnittes, entsprechen aber den Werten am Gesamtsystem mit 9.49 mm und 9.45 mm

Schluß

Das vorliegende statische Modell ist die Entwicklung aus der Zusammenarbeit mit den anderen Planungsbeteiligten. Die Bearbeitung ist noch nicht abgeschlossen. Dies gilt vor allem für die Abfangkonstruktion. Ein Vergleich der alten Berechnung aus den siebziger Jahren mit den neuen Lasten zeigt, daß die vorhandenen Riegel und Stützen die Lasten nicht aufnehmen. Ein Vorschlag geht dahin, die Spannweite der z.Zt. vorhanden Riegel durch eine zusätzliche Stütze zu halbieren und so auch eine gleichmäßigere Lastverteilung auf die Kreisbogenwand im Keller zu erhalten. Da ferner ein neues Lüftungskonzept erarbeitet wurde, muß die Lage der Schächte unter Umständen überarbeitet werden. Inwieweit dies Auswirkungen auf das statische System hat, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht gesagt werden.