

KONSTRUKTION UND AUSFÜHRUNG

BAUWEISEN • BAUSTOFFE • BAUBETRIEB

DBZ

65. JAHR 1931

3. JUNI

K NR. 9

BEILAGE ZUR DEUTSCHEN BAUZEITUNG NR. 45 • 46

HERAUSGEBER • REGIERUNGSBAUMEISTER FRITZ EISELEN

ALLE RECHTE VORBEHALTEN • FÜR NICHT VERLANGTE BEITRÄGE KEINE GEWÄHR **BERLIN SW 48**

PLANETARIUMSBAU UND RAUMAKUSTIK

VON PROF. DR.-ING. EUGEN MICHEL, HANNOVER • 12 ABBILDUNGEN

Als besondere Neuerscheinung unserer Zeit verdienen die Wunderwerke der Zeißschen Planetarien unsere aufmerksamste Beachtung. Ebenso haben die zu ihrer Unterbringung und Vorführung errichteten Bauten unser höchstes Interesse, weil sie bei aller Verschiedenartigkeit der architektonischen Lösung einen Raumtypus darstellen und weil in ihnen deutlich eine von Fall zu Fall immer weitergehende Rücksichtnahme auf raumakustische Bedingungen sich ausspricht. Außerdem lassen die an ihnen gewonnenen Lehren wertvolle Verallgemeinerungen für Kuppeln und kuppelartige Raumüberdeckungen zu. Der Gedanke, einem größeren Publikum die Himmelserscheinungen in täuschender Projektionsdarstellung vorzuführen, verlangte vor allen Dingen einen Raum mit geeigneter Bildfläche. Dies führte zur Halbkugelform derselben und damit zum Zentralraum.

Es lag nahe, die Bildfläche mit der Raumüberdeckung zu vereinigen und eine Massivkuppel zu wählen, die sich in der neu aufgefundenen Torkret-Bauweise ohne große Schwierigkeit als dünne, aber widerstandsfähige Schale von geringem Gewicht herstellen ließ. Man hatte dann nur nötig, die Innenfläche dieser Kuppel weiß anzustreichen, um eine das Himmelsgewölbe darstellende Bildfläche zu erhalten.

In dieser Weise wurde 1924 als Versuchsbau der erste Planetariumsraum auf dem Dach der Zeißwerke in Jena errichtet. Bei Ingebrauchnahme zeigte sich aber, daß der begleitende Vortrag nicht die wünschenswerte Verständlichkeit besaß. Ein zu lange andauernder Nachhall verwischte die aufeinanderfolgenden Silben. Vor allem aber häufte sich der Schall an einzelnen Stellen des Raumes derart stark an, daß sich dort die Hörer belästigt fühlten.

Der lange Nachhall erklärt sich aus der Beschaffenheit der verwendeten Materialien, indem der sich ausbreitende Schall von der harten Fläche des Kuppelbetons und der darunter sitzenden Zylinderwand mit nur geringem Energieverlust zurückgeworfen wird und daher vielmals hin und her wandern muß, bis er endlich er stirbt. Und die störenden Schallanhäufungen ergeben sich aus der Form der Kuppel, aus ihrer sphärischen Krümmung.

Letzteres ist ohne weiteres verständlich, wenn man die Wege in Betracht zieht, die der Schall nehmen muß. Bei einheitlicher Raumtemperatur darf man im großen und ganzen annehmen, daß die Schallwellen sich in der Luft nach allen Seiten hin mit gleicher Geschwindigkeit, also kugelförmig fortpflanzen. Gehen sie von einem in Kopfhöhe befindlichen, seitlichen Punkt M aus (Abb. 2) und treffen sie auf eine hohlgekrümmte Fläche, so werden ihre Strahlen, d. h. die senkrecht zur Tangente verlaufenden Ausbreitungsrichtungen, nach den Reflexgesetzen auf eine Stelle N geworfen, die dem Ausgangspunkt M ungefähr symmetrisch gegenüber liegt, d. h. es wird der Schall in N gesammelt. Das trifft aber nicht nur für die in der Zeichnung dargestellte Mittelschnittebene, sondern auch für den räumlichen Vorgang zu, womit sich der Schalleindruck in N noch besonders verstärkt.

Verbindet man Punkte gleicher Weglänge miteinander, so ergibt sich das Bild der Rückwurfelle

für den entspr. Zeitverlauf. Auf der Zeichnung ist die vor Erreichen des Sammelpunktes N, nämlich nach einem Weg von 15 m sich ergebende Rückwurfelle als Kurve a—b dargestellt, ferner als Kurve c—d die nach Überschreiten von N und nach gegenseitigem Überkreuzen der Schallstrahlen wieder in Ausbreitung begriffene Welle, und zwar nachdem sie einen Weg von 18 m zurückgelegt hat. Die Pfeile deuten die Fortpflanzungsrichtung an.

Eine Bestätigung hierfür geben die photographischen Aufnahmen nach Wasserwellen (Abb. 1). Sie lassen deutlich erkennen, wie die im Halbkreisumriß rechts entstandene Welle sich zunächst nach links hin sammelt, um von da aus der eingeschlagenen Bewegungsrichtung folgend wieder neu auszustrahlen.

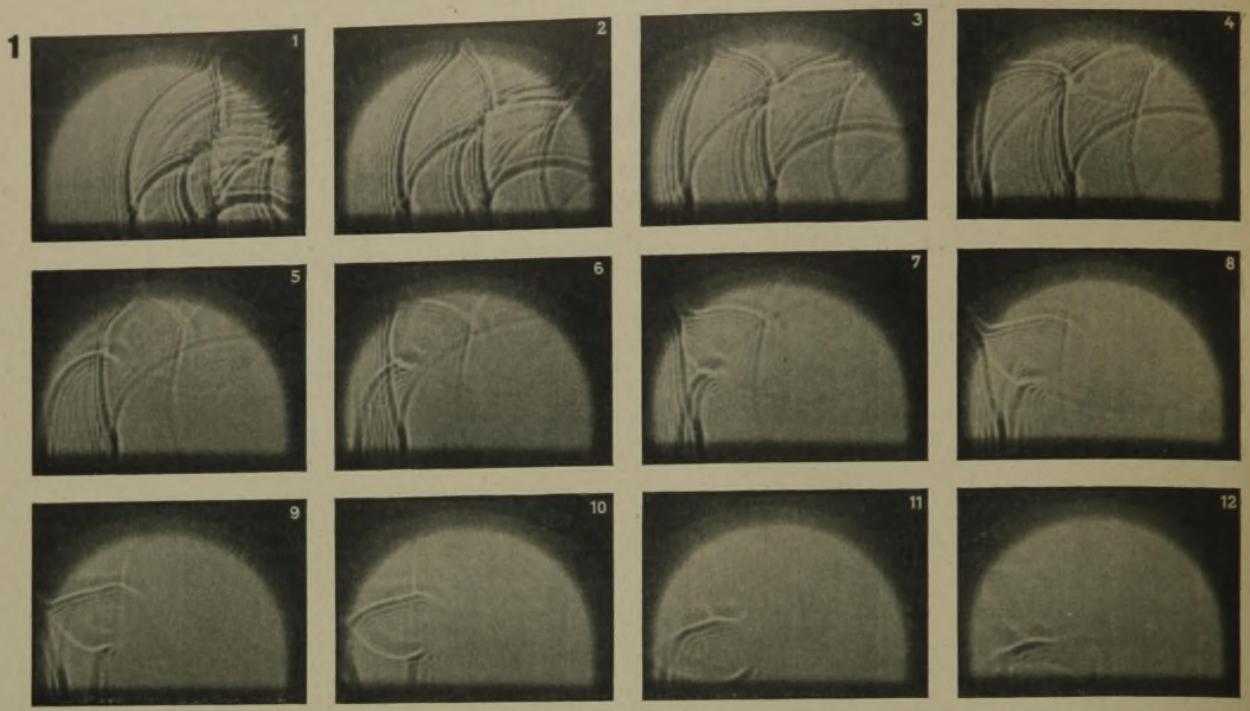
Deutlich geht aus dieser Sachlage ein innerer Widerspruch zwischen den akustischen und optischen Raumanforderungen hervor. Während nämlich das Planetariumsinstrument im Mittelpunkt aufgestellt wird und seine Bildstrahlen gleichwertig nach allen Richtungen aussendet, also in der Halbkugel die geeignete Form der Bildfläche findet, haben wir es bei dem gesprochenen Wort mit einer unverkennbaren Richtwirkung zu tun. Es darf sich demnach ein Redner nicht in dessen Mitte aufstellen, sondern er muß seinen Platz seitwärts wählen.

Für das Planetarium ergibt sich daraus die Forderung, die Stelle für den Redner von vornherein seitlich festzulegen und den zentral gestalteten Raum so auszustatten, daß bei der gewählten Anordnung der Schallquelle keine ungünstige Rückwirkung zustandekommt. Es muß also durch genügende Abdämpfung, vor allem an der dem Redner gegenüber befindlichen Seite der Kuppel und der Umfassungswand, jeder störende Hall unmöglich gemacht werden. Dagegen sind die im Rücken des Redners befindlichen Wandteile schallzurückwerfend auszustatten, so daß der auf sie entfallende Schall dem unmittelbaren Sprechschall verstärkend nachgesandt wird.

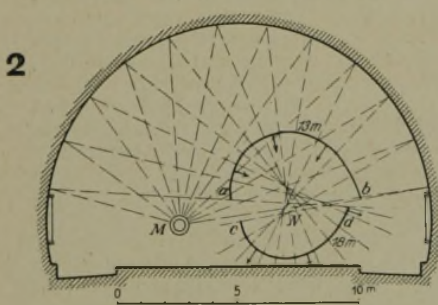
Um in diesem Sinne geeignete sachliche Unterlagen für die Wahl der Materialien zu erhalten, wurden vor Inangriffnahme der noch geplanten Planetariumsbauten eingehende Versuche und Messungen im Physikal. Institut der Techn. Hochschule Hannover vorgenommen, und es ergaben sich daraus wertvolle Zahlen, von denen als bes. wichtig genannt seien:

Laufende Nummer	Untersuchte Stoffe (frei ausgespannt)	In v. H. der auffallenden Schallstärke wird		
		zurückgeworfen	absorbiert	durchgelassen
1	Poröse Korkplatten von 50mm Stärke	87,2	10,3	2,5
2	Sattelfilz von 22 mm Stärke m. darüber ausgespanntem, gewöhnlichem Nesselstoff	39	48	13
3	Dünner Leinwandstoff oder Nessel	10,3	7,9	81,8

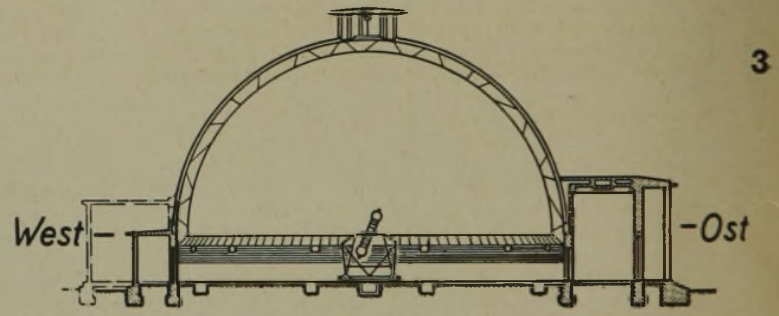
Bei Beurteilung der einzelnen Materialien mußte auch noch die Feuergefährlichkeit, die Motten- und Mäusegefahr sowie die Frage einer bequemen techn. Verarbeitung und zuverlässigen Anbringung in Betracht gezogen werden.



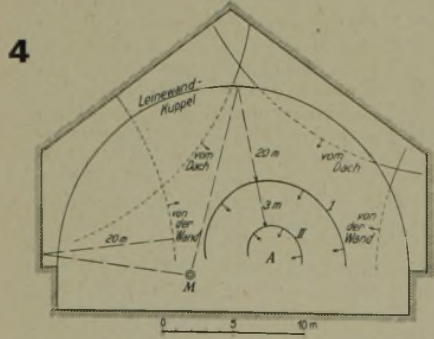
Wasserwellenverlauf im Halbkreis



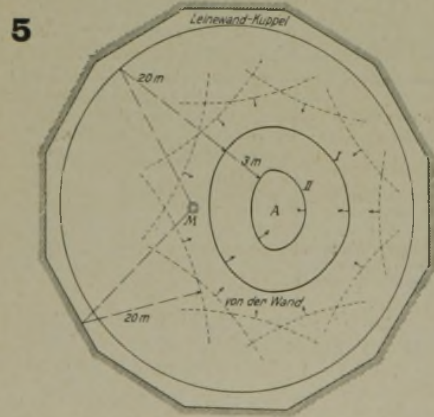
Schallübertragung in Zeisskuppel



Schnitt durch das Planetarium in Jena



4 u. 5 Planetarium Leipzig, Schnitt und Grundriß. Schallwirkung



6 Netzwerk-Kuppel mit Schallblechen

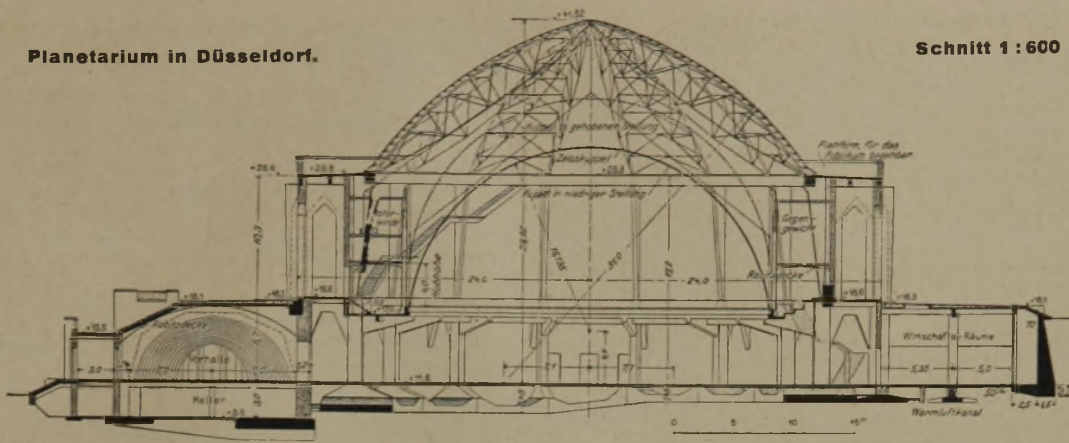


Nach eingehenden Erwägungen entschlossen sich die Zeiss-Werke, bei dem in Jena¹⁾ zu erbauenden Planetarium (Abb. 3 und 8) unter die Betonkuppel von 25 m Dm. noch eine Eisenstabbkuppel von 25,5 m Dm. zu setzen und diese auf der Innenseite unter Zuhilfenahme von Holzringen mit einem dünnen, weißen Stoff zu bespannen. Zwischen die beiden Kuppeln

¹⁾ W. Villiger, Das Zeiss-Planetarium. Jena, B. Vopelius.

Planetarium in Düsseldorf.

Schnitt 1 : 600



7

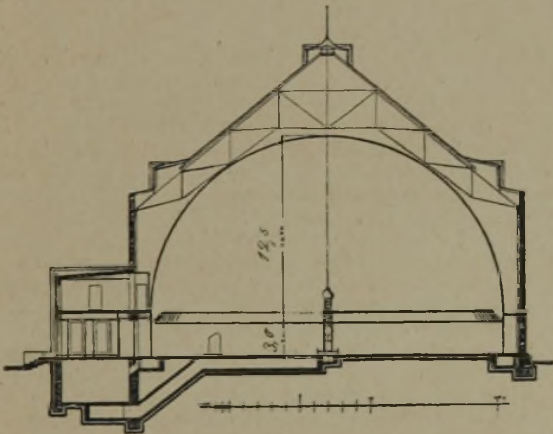


Planetarium Jena

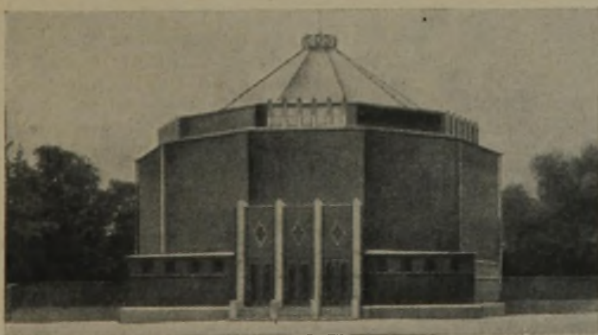


Planetarium Dresden

10



11



10 u. 11 Planetarium Leipzig

wurden nach dem Vorschlag von Dir. Dr. Bauersfeld dünne, unregelmäßig gestaltete Eisenbleche von etwa $\frac{3}{4}$ mm Stärke und 2 m^2 Fläche angebracht, um den durch den Stoff dringenden und dadurch schon etwas geschwächten Schall nach den verschiedensten Richtungen zurückzuwerfen (Abb. 6²).

²) K. Kisshauer, Das Planetarium der Stadt Dresden.

12



Hochhaus mit Planetarium Hannover

So entstanden eine Reihe von Planetariumsbauten, z. B. zu Barmen und Berlin. Das Ergebnis war im großen und ganzen befriedigend, jedoch ließ sich nicht verkennen, daß bei dem nur dünnen Kuppelstoff die Gesamtdämpfung noch nicht stark genug war, was dann zu störenden Hallerscheinungen führte. Auch wurde vielfach nicht ausreichend auf den senkrechten

Wandteil unterhalb der Kuppel geachtet. Deutlich machte sich z. B. in Dresden, wo dieser Wandteil lediglich verputzt und schwarz gestrichen wurde, ein stärkerer Nachhall bemerkbar als in Leipzig, wo diese Fläche faltigen Stoffbezug erhalten hatte.

Nachdem die Bildfläche, die aus optischen Gründen halbkugelförmig sein mußte, sich selbständig gemacht hatte, lag, abgesehen von architektonischen Gesichtspunkten, kein Grund mehr vor, die Raumüberdeckung ausdrücklich als Kuppel zu gestalten. Demgemäß finden wir in Mannheim, Düsseldorf und Hannover eine steilere Außenkuppel, in Dresden die Form eines Klostergewölbes über polygonalem Grundriß (Abb. 9) und in Leipzig ein Zeltdach (Abb. 10 und 11)³⁾.

Damit wurde man auch freier in der Wahl der Baustoffe und Konstruktionen und konnte daher gelegentlich, wie in Düsseldorf und Leipzig, zu Eisenbindern oder, wie in Wien, zu Holz greifen. Letzteres Material gereichte durch seine akustisch wertvollen Eigenschaften dem Bau sehr zum Vorteil.

In Düsseldorf (Abb. 7)⁴⁾ lag ein besonderer Fall vor, als der Wunsch bestand, den Raum auch für sonstige Vorträge und Konzerte zu benutzen und um die Fassungskraft durch Hinzunahme eines Rangs zu vergrößern, die Kuppel bis zur Oberkante dieses Rangs heben zu können. Der Raum bietet für Planetariumsvorführungen, also bei gesenkter Kuppel 1616 Sitzplätze, bei gehobener weitere 275 Sitzplätze und 600 Stuhlplätze. Leider wurde auch hier die Ausführung der Umschließungsflächen sehr hart gewählt, es tritt daher ein lang andauernder Nachhall auf.

Bei der für die Planetariumsbauten nunmehr allgemein durchgeführten Trennung von Bildkuppel und Raumüberdeckung bietet der dazwischen verbleibende Hohlraum die Möglichkeit, außer den Schallblechen oder statt derselben schalldämpfendes Material einzubauen.

Im ganzen ist bei besonderer Bildkuppel, am Beispiel des Planetariumsbau in Leipzig betrachtet (Abb. 4 und 5), die Sachlage etwa folgende:

Nach den schon erwähnten Versuchen kann man annehmen, daß die Leinwand etwa 10 v. H. der auf sie treffenden Schallenergie zurückwirft, 8 v. H. absorbiert, und die noch verbleibenden 82 v. H. in den dahinterliegenden Raum durchtreten läßt.

Der zurückgeworfene Teil verläuft innerhalb des Kuppelraums nach den Reflexgesetzen und führt damit bei der Ungunst der Kuppelform zu örtlichen Schallanhäufungen der bereits erwähnten Art. Geht z. B. von der Schallquelle M, die etwa der Mundhöhe eines auf einem Podium stehenden Redners entspricht, eine Schallwelle aus, so wird ihr zehnpromtender Anteil von der Leinwand zurückgeworfen, und diese Rückwurfelle nimmt nach einer Weglänge von 20 m die mit I bezeichnete Lage, nach weiteren 3 m die Lage II ein, drängt sich dann in der Gegend des Punktes A zusammen, um sich über diesen hinaus wieder neu auszubreiten.

Ein in A befindlicher Hörer wird durch solche Schallanhäufungen gestört. Da aber der Schall beim Auftreffen auf die Fläche der Leinwandkuppel und dann auch späterhin jedesmal beim Rückwurf 82 v. H. seiner Energie nach außen abgibt, so halten sich die durch die Rückwürfe an der Leinwand entstehenden Störungen in verhältnismäßig bescheidenen Grenzen. Die durch die Leinwand tretende Schallenergie kommt nach einer Absorption von 8 v. H. mit einer Reststärke von 82 v. H. in den äußeren Raum zwischen Leinwand und Gebäudekonstruktion. Hier läuft sie gegen die gemauerten Umfassungswände, die hölzerne Dachkonstruktion und die Unterseite der Dachschalung und wird von den getroffenen Oberflächen wieder teils zurückgeworfen, teils absorbiert, teils nach außen durchgelassen. Der erstere, zurückgeworfene Teil dringt unter teilweisem Rückwurf an der Außenseite der Leinwandkuppel und mit erneutem Absorptionsverlust wieder durch die Leinwand in das Innere des Kuppelraumes, wie in der Zeichnung mit gestrichelten Linien angedeutet ist, und kann dort zu Störungen führen, die aber immerhin nicht so stark sind, als wenn die Leinwandkuppel nicht vorhanden wäre. Dieser Rückwurfeschall folgt, wie die Abbildungen erkennen lassen, in ganz kurzem Abstand hinter den Rückwurfellen der Leinwandkuppel und hilft damit wieder die Wirkung dieser Wellen zu verstärken.

Der Schall behält, im Schnittbild (Abb. 4) betrachtet, nach Anlauf und Rückwurf an der einzelnen geraden Dachlinie seinen Ausbreitungssinn bei, während er von der gekrümmten Kuppellinie zusammengedrängt wird. Räumlich dagegen suchen die zueinander geneigten ebenen Innenflächen des Zeltdaches den Schall ebenfalls zu sammeln, wenn auch nicht so stark wie die Kugelflächen. Der Hörsamkeit kommt zugute, daß die nach unten vortretenden Binderkonstruktionen den Schall zerstreuen und dämpfen.

Der Stoff der Bildkuppel muß seine für die Projektion erforderliche weiße Farbe schon von vornherein besitzen. Ein Anstrich würde die Poren zu setzen und die Schalldurchlässigkeit beeinträchtigen, andererseits die akustisch ungünstige Rückwurfefähigkeit erhöhen.

Man muß also bei der Auswahl der hinter der Bildfläche anzubringenden Materialien mit großer Sorgfalt vorgehen. Das ist z. B. bei dem Planetariumsbau in Hannover geschehen, der das Hochhaus des „Hannoverschen Anzeigers“⁵⁾ bekrönt (Abb. 12). Hier wurden hinter einem Teil der Bildkuppel Einbauten aus Holz angebracht, die mit ihrem unregelmäßigen Querschnitt den durch die Stoffkuppel auf sie eindringenden Schall zerstreuen, zugleich aber durch Mitschwingungen dem rednerischen Vortrag eine gute Klangwirkung sichern. Außerdem wurde den Kuppelzonen, die in besonders hohem Maße zu störenden Rückwürfen führen konnten, durch Filzauflagen eine erhöhte Dämpfungswirkung verliehen. Auch erhielten die senkrechten Wandflächen unterhalb der Kuppel eine mit Filz hinterlegte Rupfenbespannung.

Damit wurde der Raum so abgestimmt, daß es möglich war, ihn nicht nur zu den Planetariumsvorträgen, sondern auch zu Versammlungen und Konzerten zu benutzen. Auch konnte er unter Benutzung eines kleinen Nebenraumes ohne klangliche Störung mit einer Orgel versehen werden. Schließlich wurde sogar eine Tonfilmapparat mit gutem Erfolg angelegt, was besonders hervorgehoben zu werden verdient, weil der Tonfilm klanglich sehr empfindlich ist.

Die in Hannover durchgeführte mannigfaltige Benutzungsmöglichkeit hat sich übrigens als sehr wertvoll erwiesen, da hier ebenso wie anderwärts nach dem ersten Begeisterungsrausch das Interesse an den reinen Planetariumsvorführungen sehr zurückging.

Ferner ist hervorzuheben, daß der Fußboden der Planetariumsräume stark schalldämpfend hergestellt werden muß, um störendes Geräusch zu vermeiden.

Das Gestühl muß so fest konstruiert sein, daß durch die Bewegungen beim Betrachten der Bildkuppel kein knarrendes Geräusch entsteht und durch Besetzen der Stuhlfüße mit Gummi u. dgl. kein Geräusch beim Rücken der Stühle stattfindet.

Akustisch vorteilhaft ist es ferner, wenn die Sitze und Lehnen gepolstert werden und dadurch von vornherein einen gewissen höheren Dämpfungswert in den Raum bringen. Der Unterschied der Gesamtdämpfung und damit der entspr. Nachhalldauer bei schwach und bei stark besetztem Raum ist dann auch geringer. Anzuraten ist es nach diesem Ziel hin, auch die Unterseiten der Klappsitze mit Stoff zu beziehen, damit bei schwach besetztem Raum, also bei großenteils hochgeklappten Sitzen, der vom Bildpodium kommende Schall eine absorbierende Gewebefläche vorfindet.

Das Rednerpult wird am besten aus Holz hergestellt und mit einem als Resonanzboden dienenden hölzernen Unterbau versehen.

Heizungs- und Lüftungsanlagen dürfen keinerlei Geräusch in den Raum bringen, müssen also genügend weite Kanäle besitzen. Etwaige Ventilatoren sind so groß zu wählen, daß sie keine hohe Umdrehungszahl erfordern, die zu brummendem Geräusch führt. Auch müssen sie gegen Gebäude und Luftkanäle gut gegen Übertragung von Schall und Erschütterungen isoliert sein. Wo aber eine Weiterleitung von Geräusch durch das Innere der Luftkanäle zu befürchten ist, kann durch Einbau von Schallfiltern entgegengewirkt werden. Wichtig ist, daß die Überdeckung des Gebäudes gut isoliert wird, nicht nur wegen der zu befürchtenden Wärmeverluste, sondern vor allem auch in akustischer Hinsicht, damit sich keine Geräusche von aufschlagendem Regen usw. bemerkbar machen können.

Der Entwurf muß vermeiden, an den Planetariumsraum lärmreiche Betriebe ohne geeignete Schutzmaßnahmen unmittelbar anzuschließen.

Der Bauplatz ist so zu wählen, daß das Planetariumsgebäude nicht gerade in eine geräuschvolle Umgebung kommt, andererseits aber vom Verkehr bequem erreicht werden kann. —

³⁾ J. Weber, Das Planetarium im Zoolog. Garten zu Leipzig.

⁴⁾ DBZ 1926, Beilage „Konstruktion und Ausführung“ S. 67.

⁵⁾ DBZ 1928, Hauptblatt S. 537 ff.