

# Wie von Geisterhand

Friedemann Kugel: Das wandelbare Dach in Bad Hersfeld nach 25 Jahren  
Architekt: Frei Otto, Warmbronn, mit Bernd-Friedrich Romberg (†)



Seit 1968 kann über die Stiftsruine in Bad Hersfeld, wo unter freiem Himmel Theater-, Opern- und Musikdarbietungen stattfinden, innerhalb von vier Minuten ein schützendes Membrandach gespannt werden. In der Fachwelt des Leichtbaus gilt dieses Dach als eines der epochemachenden Spitzenwerke von Frei Otto und seinem ehemaligen Partner Bernd-Friedrich Romberg (†). Obwohl jedes Jahr Gäste aus aller Herren Ländern hier kulturelle Höhepunkte erleben, kennen nur wenige Architekten und Ingenieure dieses faszinierende Musterbeispiel wandelbarer Architektur etwas genauer. Dies mag daran liegen, daß die Membrane nur in der sommerlichen Jahreszeit bei schlechtem Wetter aufgespannt wird.

Anlässlich der notwendigen Durchsicht und Erneuerung einiger Teile wurde jetzt die flexible Dachhaut nach neuesten Erkenntnissen und Methoden überarbeitet.

## Vorgeschichte

Wie im damaligen Ideenwettbewerb 1959 erwünscht, hatte Frei Ottos Entwicklungsstätte für Leichtbau eine Fülle von Ideen eingereicht. Neben der letztlich gebauten, zentral gerafften Membrane lagen auch zahlreiche parallel fahrbare Varianten vor. Dabei wurden feste oder bewegliche Stützbogen verwendet, und man ging nach dem Prinzip des Wellenzeltes mit wechselweise nebeneinander angeordneten Gratbeziehungsweise Kehlseilen vor, an denen entlang die Membrane bewegt werden kann.

## Die raffbare Membrane

Wandelbare Membrandächer leben von den Besonderheiten des textilen Gewebes: Es kann wie kein anderer Baustoff durch Raffen gefaltet oder, wie hier, punktuell aufgehängt und auf engstem Raum gebündelt werden. Jeweils in der Grundrißprojektion gesehen, kann die Fläche eines Dachtuches einachsrig beziehungsweise eindimensional auf eine »Rafflinie« (Parallelraffung) oder aber zweiachsrig beziehungsweise zweidimensional auf einen »Raffpunkt« (Zentralraffung) zusammengefahren werden, wie dies hier geschieht.

Nach einem Vierteljahrhundert wurde Frei Ottos Dach über der Stiftsruine in Bad Hersfeld für die Saison 1993 erneuert. Der Autor erläutert die Erfahrungen mit diesem wandelbaren Dach und den Stand der Technik bei seiner Erneuerung.

## Das Phänomen

Bei dem 1968–69 gebauten Dach senkt sich die Dachhaut an einem kaum zu bemerkenden, dünnen System ver-spannter Seile und Gittermaste wie eine riesige Geisterhand von der Seite her über das Längsschiff der Stiftsruine, ohne deren Mauerkrone zu berühren. Gleichzeitig breitet sie sich auf dem Fächer der Trage-seile nach allen Richtungen aus, im letzten Augenblick des Fahrens spannt sie sich allseits zur glatten Membrane. Nicht weniger faszinierend entschwebt das sich raffende Tuch mit leisem Geräusch der selbstfahrenden Seiltraktoren, läßt das Licht vom freien Himmel einströmen, entzieht sich langsam dem Auge, um auf engstem Raum an der Mastspitze gerafft seine Ruhelage einzunehmen. Eine von Ideenreichtum getragene, sorgfältig entwickelte und raffinierte Technik macht dieses phantastische Phänomen wandelbarer Architektur zur Wirklichkeit. Dieser Technik wurde ein strenger Rahmen gewiesen: Sie beschränkt sich in Form und Dimension auf das Notwendige, Aufgabe und Funktion jedes Details präsentierten sich sinnfällig dem Beschauer. Das technische Gebilde stellt sich in eindrücklichen Gegensatz zu wuchtigen Massen aus der Erde gewachsener, romanischer Mauern.

## Das Trag- und Fahrsystem

Das Zentrum des Systems bildet der 32 m hohe Mast an der Außenseite des Längsschiffes, der nach hinten durch zwei Abspannseile, nach vorne durch die 14 strahlenförmig quer über das Längsschiff gespannte, sogenannte Fahrseile gehalten wird. Auf diesen bewegen sich die 21 selbstfahrenden, speziell entwickelten Seiltraktoren (»Klettermaxe«), an denen die Dachhaut mit 14 Randpunkten und 7 Hochpunkten innerhalb der Dachfläche aufgehängt ist.

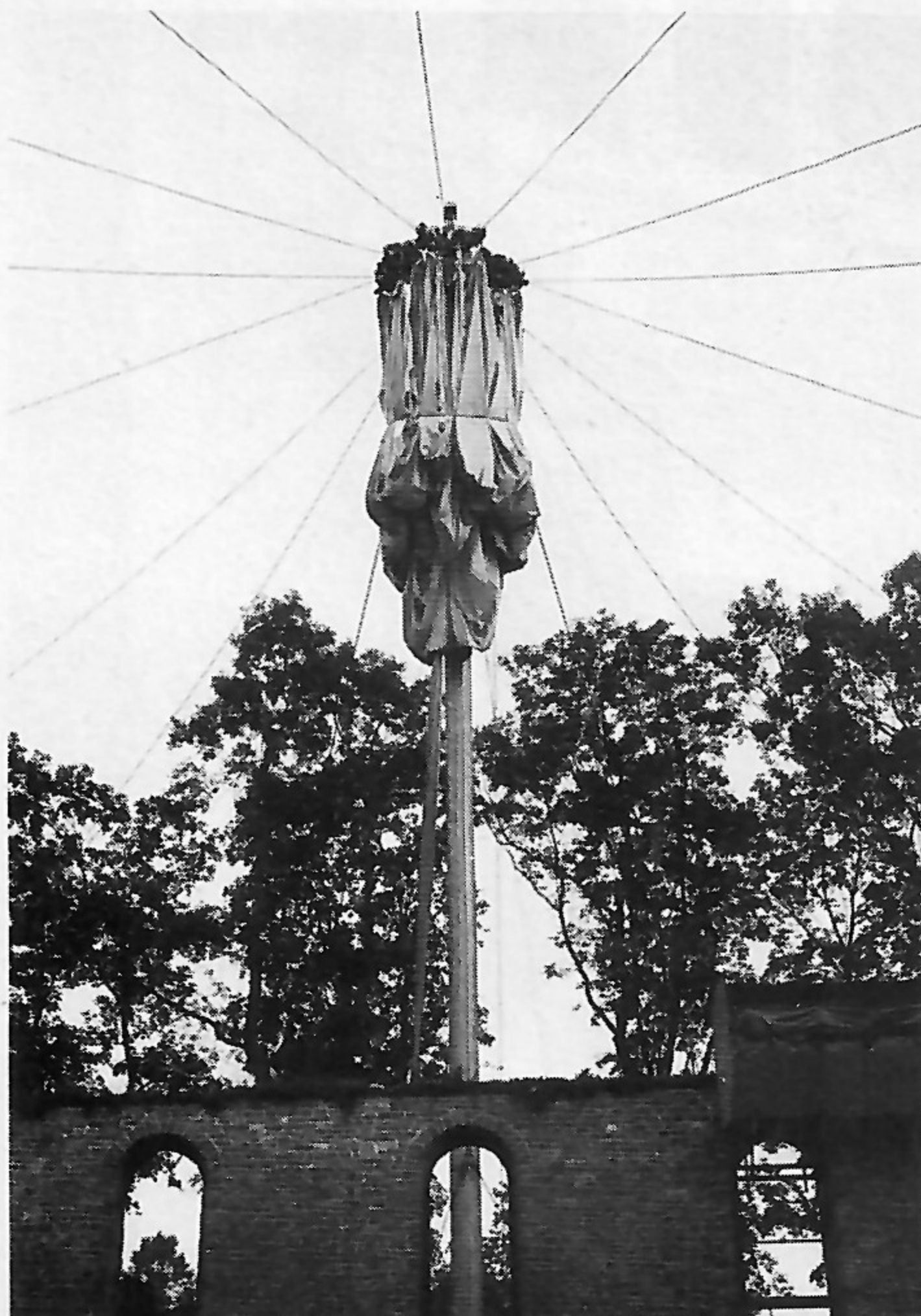
**1 Das »alte« Dach während des Ausfahrens**

**2 Blick vom Stiffturm auf das Dach im Fahrvorgang (Aufnahme aus den 60er Jahren)**

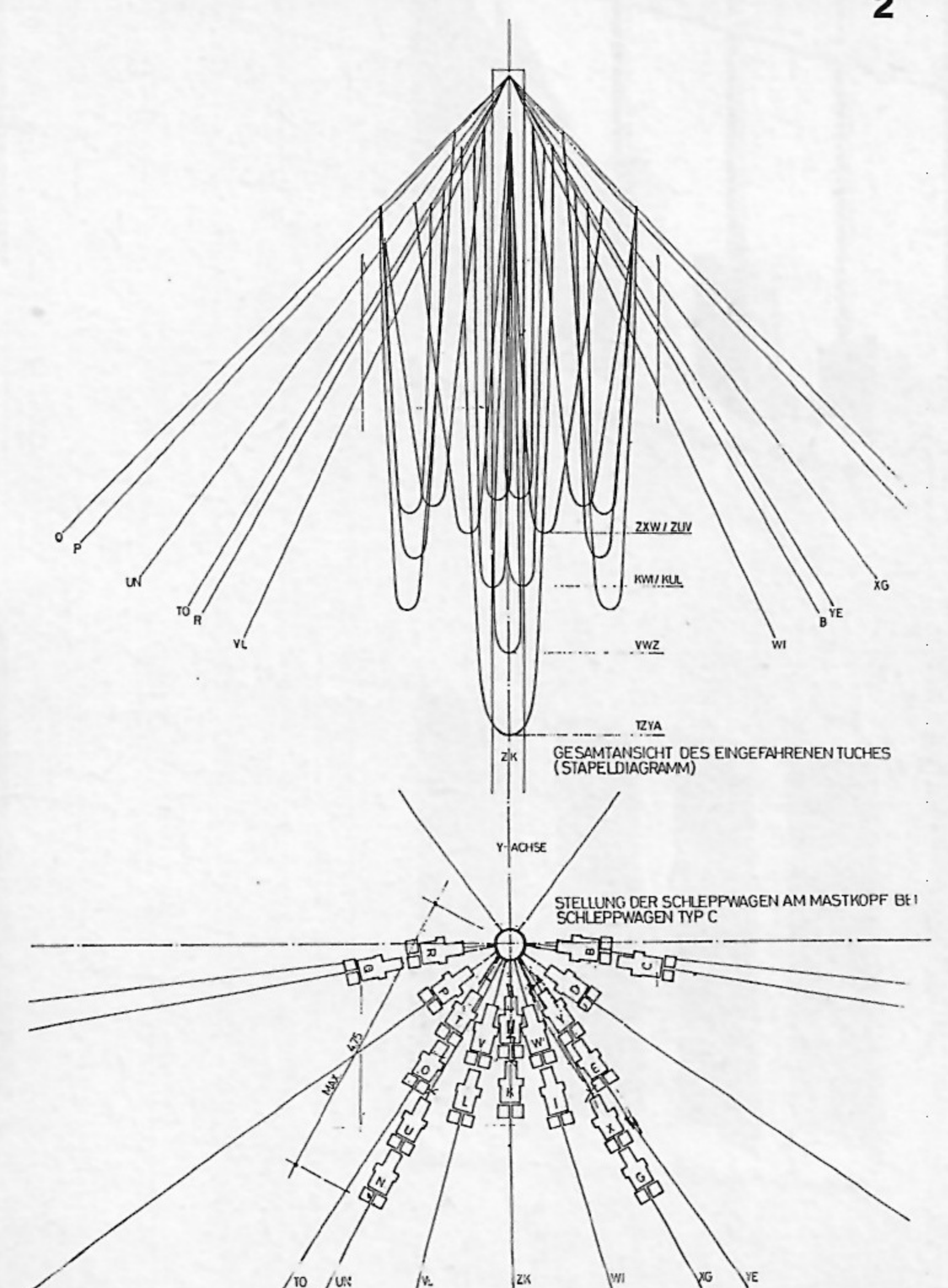
**3 Im zusammenge-rasteten Zustand**  
**4 oben: Ansicht des eingefahrenen Tuches, Stapeldiagramm; unten: Traktorenposition am Mastkopf bei eingefahrenem Dach**



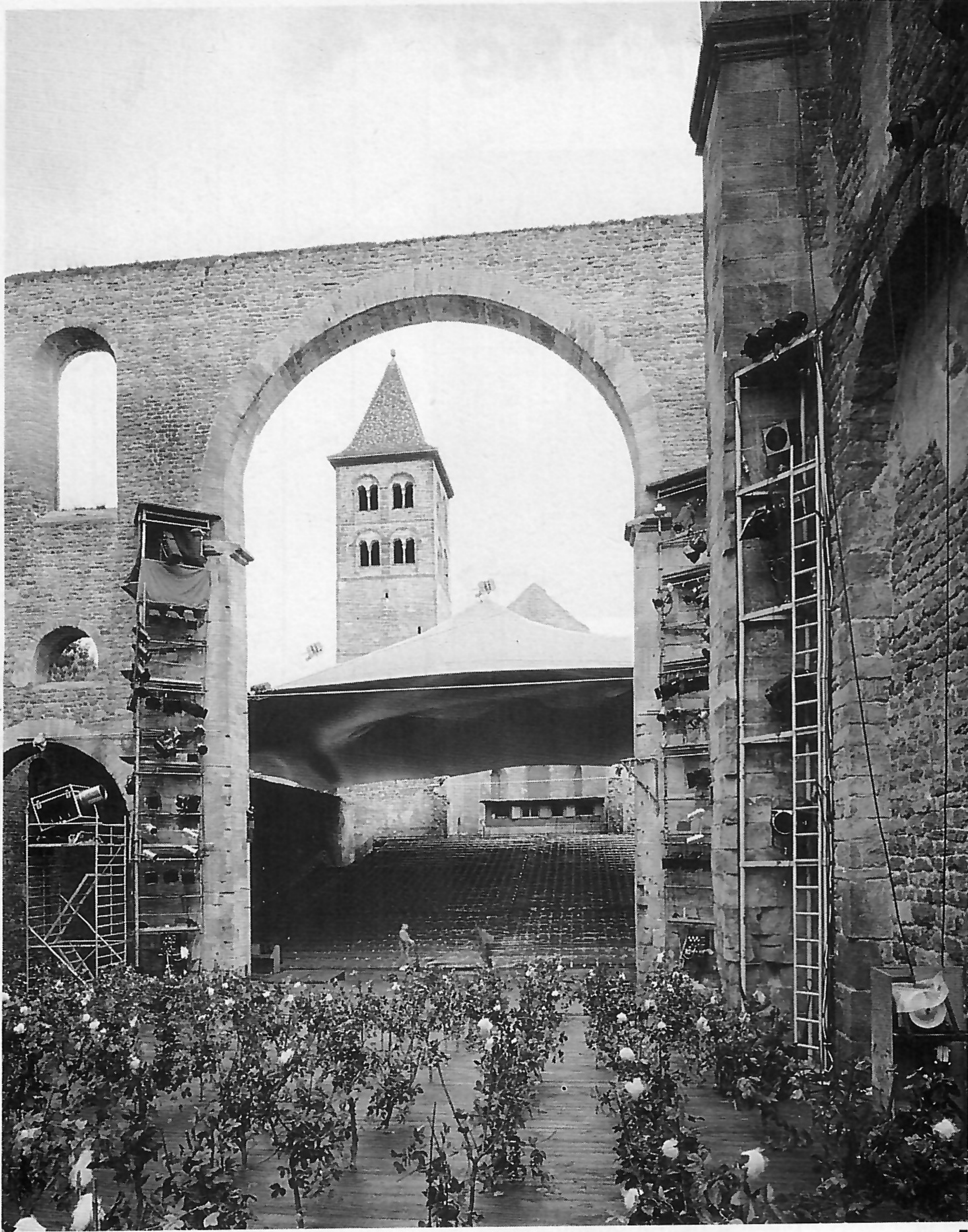
2



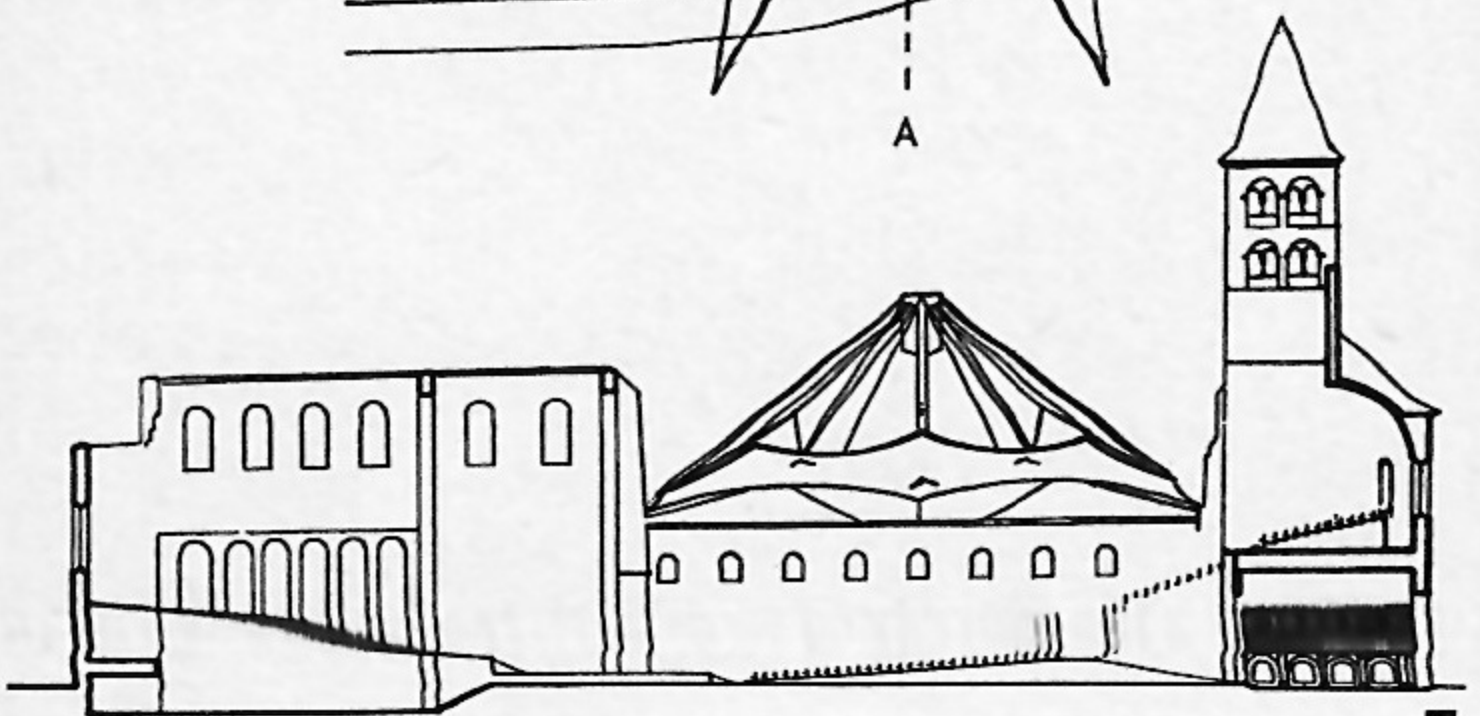
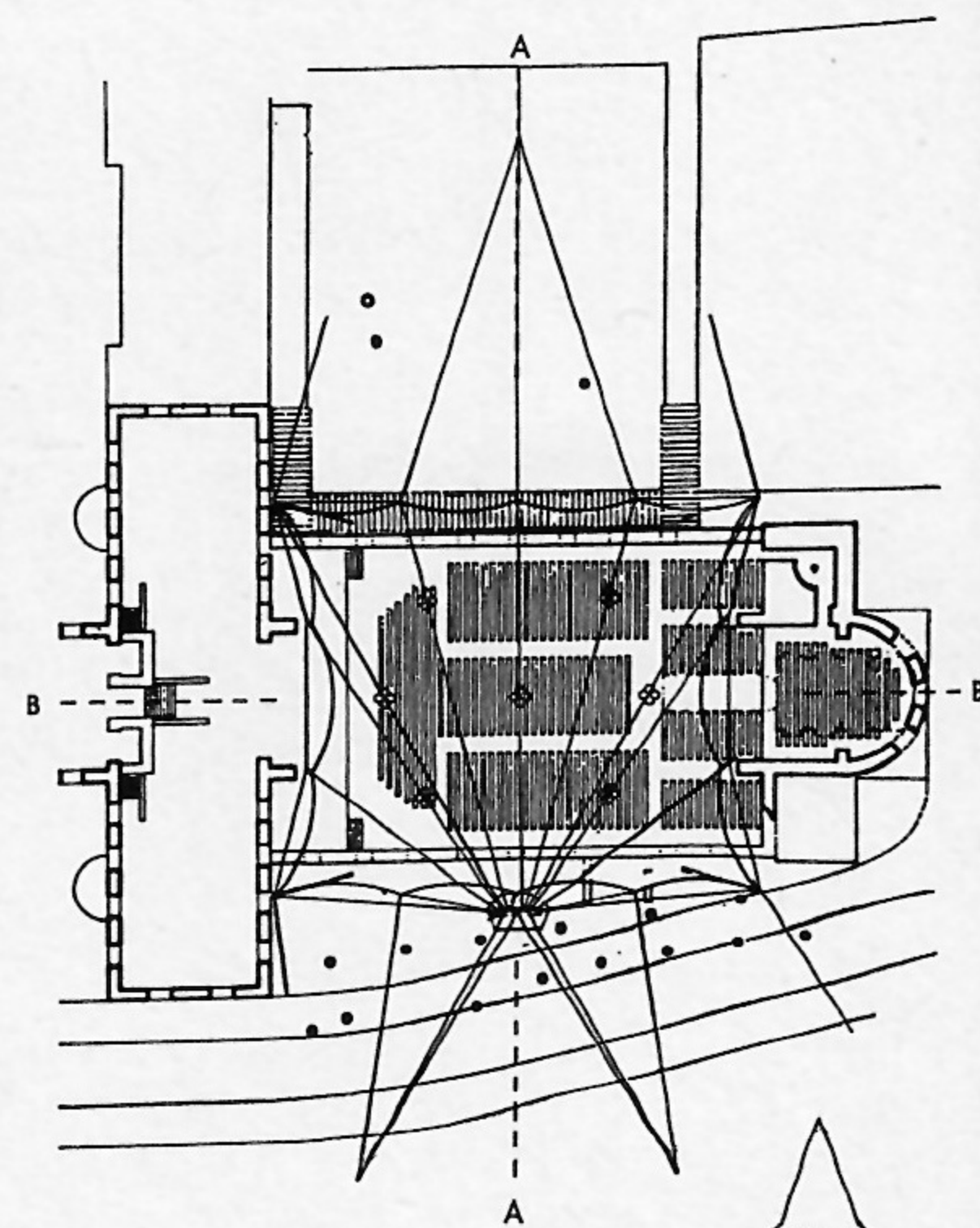
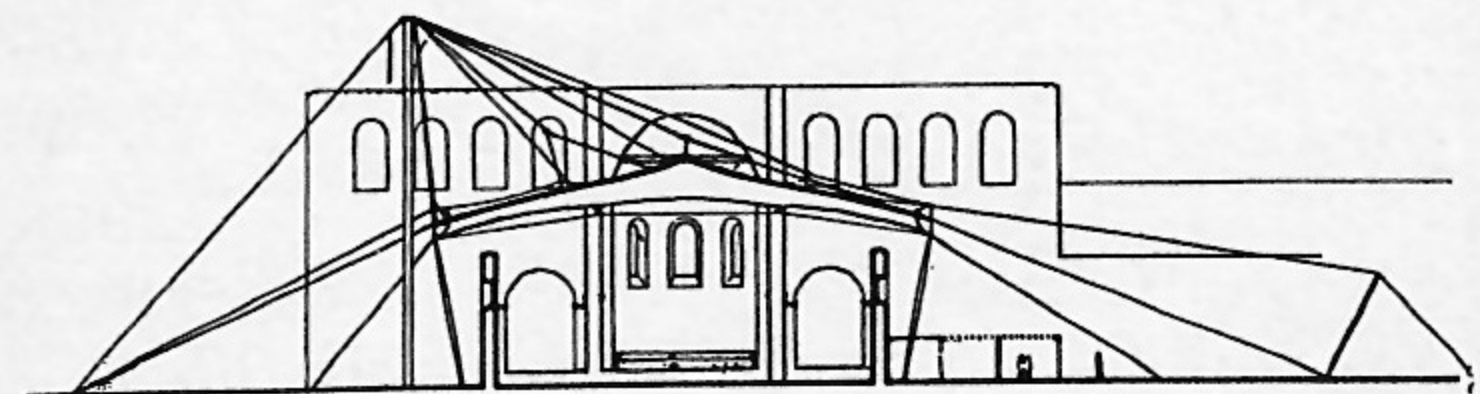
3



4



Die Höhenlage der Aufhänger ergibt die leicht nach oben gewölbte Form der Dachmembrane. Sie kann abhebende Windkräfte gut aufnehmen und leitet das Regenwasser sicher zum Rand ab. Die vier Eckpunkte des Daches werden an nach außen abgespannten Gitterstützen, die dazwischen liegenden Randpunkte durch umlaufend der Dachtraufe entlang gespannte Fangseile gehalten. Von diesen Punkten aus laufen die Fahrseile zur Spitze des zentralen Mastes, zu der hin die Membran gerafft wird. Sie steigen dabei so an, daß das beim Raffenzunehmend durchhängende Dach Tuch nirgends das Mauerwerk berührt. Bis auf geometrische Korrekturen und den Austausch einiger Fahrseile und Abspannungen, deren Dehnzustand beim Ablängen genau beachtet werden muß, war das Trag- und Fahrsystem der bisherigen Dachhaut voll funktionsfähig, nicht zuletzt dank sorgfältiger, laufender Wartung und Betreuung.



5, 6 Das erneuerte Dach über der Stiftsruine, 1993

8, 9 Unter- und Aufsicht des neuen Daches

7 Schnitt, Grundriß und Ansicht der Anlage



## Die Membranränder

Die Zugkräfte aus der Membranfläche werden an allen Rändern entlang durch lineare Tragglieder zu den Fixpunkten des Primärtragwerks abgeleitet. Diese »Verstärkung« des Membranrandes muß wegen der Raffung hochflexibel gestaltet sein. Dies gilt nicht nur für die äußeren Randbögen, sondern auch für den inneren Rand der Hochpunkt-Rosetten, der durch mehrere Schlaufen mit dem Aufhängepunkt verbunden ist. Alle Ränder bestanden bei der alten Dachhaut aus Stahlseilen, die in Saumtaschen geführt wurden. Die feuerverzinkten Seile, insbesondere in den Taschen an den Hochpunkten, waren teilweise so stark korrodiert, daß der Membranrand deren Tragfunktion übernahm, ohne die erforderliche Tragfähigkeit zu besitzen. Dieses Korrosionsproblem, auch von anderen Zeltbauten bekannt, erklärt sich dadurch, daß in den schlecht belüftbaren Saumtaschen Kondenswasser mit innenseitigen Auswanderungen aus der PVC-Beschichtung ein chemisches Säureklima bildet, das zunächst die Verzinkung und dann die Substanz des Stahlseils zerstört. An den Rosetten waren deshalb in den letzten Jahren ersatzweise Edelstahlseile eingebaut worden.

Häufig verrutschten beim Raffen des Daches die Stahlseile in den Randtaschen so, daß der Tuchrand überlastet und immer wieder beschädigt wurde. Unter der Beratung Frei Ottos wurden neue Ränder für Tuch und Rosetten entwickelt, mittels derer dieses Problem beherrscht werden kann. Anstelle der lose eingebauten Seile traten gewobene Polyestergurte gleicher Tragfähigkeit, die mit einer dicht anliegenden Hülle aus beschichtetem Gewebe vernäht wurden.

Am Tuchrand wurden vier, an den Rosettenrändern jeweils ein Gurt mit der Membrane zu einer materialtechnischen Einheit zusammenkonfektioniert. Diese Ränder können sowohl die Spannkraften aus der Membranfläche im ausgefahrenen Zustand, als auch das Gewicht des gerafften Tuches in idealer Kombination aufnehmen. Eine fertigungstechnische Glanzleistung stellte das Vernähen der Gurte mit der Dachhaut in der Weise dar, daß sich die unterschiedlichen Materialdehnungen unter Spannung faltenfrei angleichen.

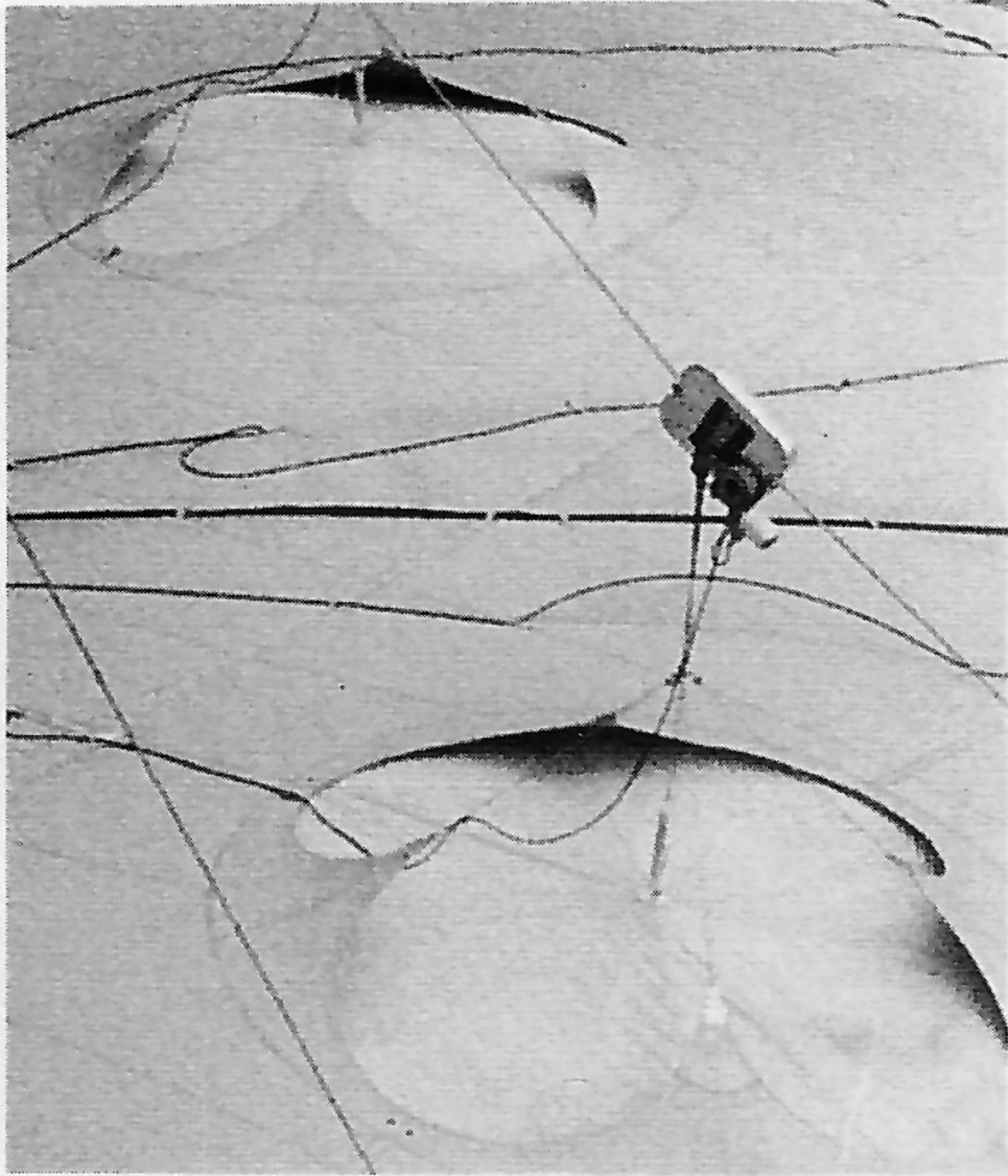


8



9

## Wandelbares Dach in Bad Hersfeld



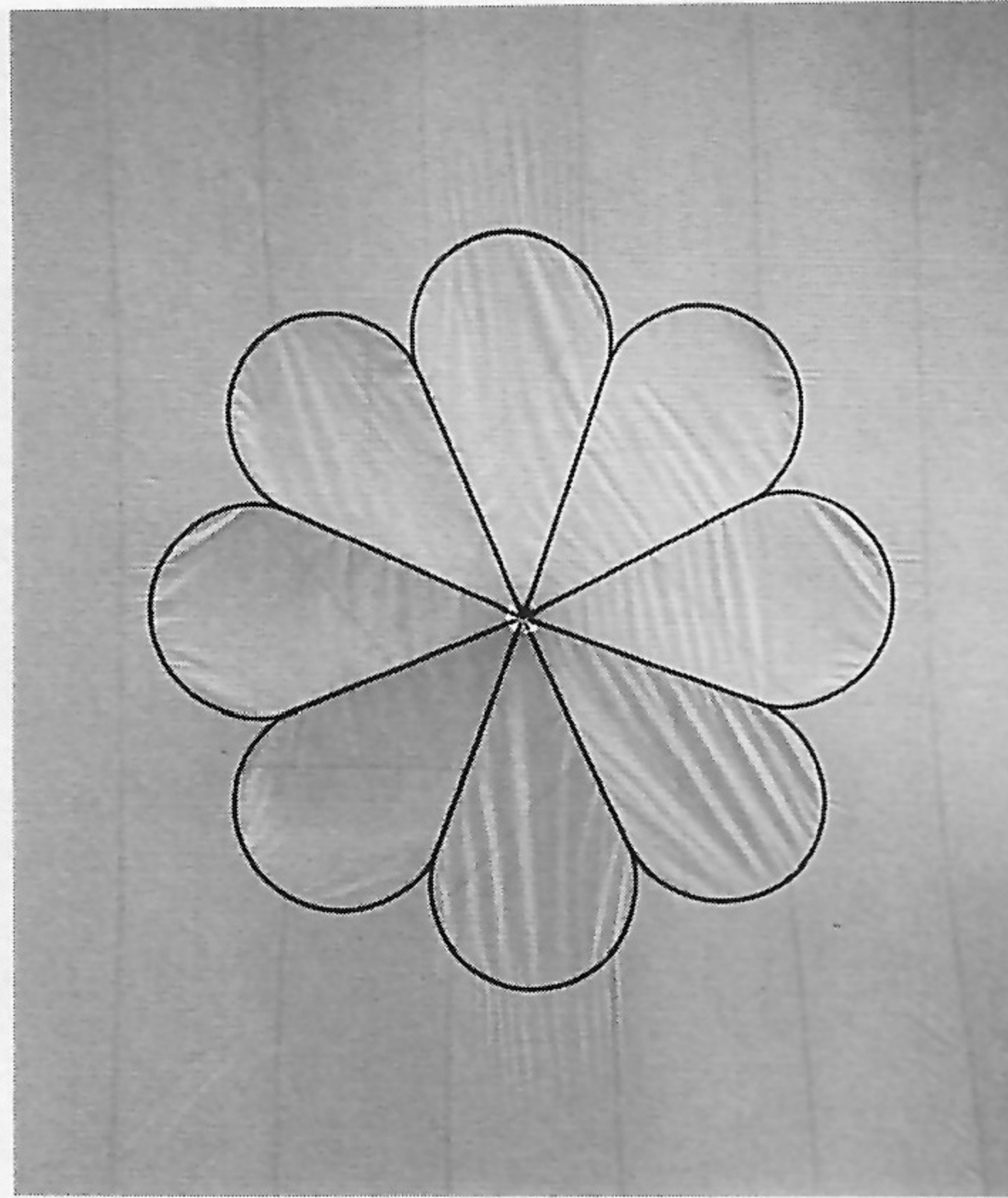
10

Die Hochpunkt-Rosetten

Die weitestreichende optische und technische Veränderung erfuhren die sieben rosettenartigen Aufhängeschlaufen innerhalb der Dachfläche. Mit leisem Bedauern sah der Verfasser die höchst eleganten »vierblättrigen Kleeblätter« als Opfer weitergehender technologischer Überlegungen verschwinden. Das alte »Kleeblatt« zeigte bei aufgespanntem Membrandach eine problemlose Lastabtragung über die Ränder. Im gerafften Zustand hängte sich die tonnenschwere Dachhaut jedoch nicht nur in die Schlaufen, da diese gestreckt wesentlich länger waren als die Radialen in Schlaufenachse, die dadurch überlastet wurden. So wurde an den neuen Rosetten die Schlaufenzahl von 4 auf 8 verdoppelt, um die Last besser zu verteilen. Zusätzlich wurde die dehnungsweiche, diagonale Geweberichtung auf die Schlaufenachse gelegt, um eine flächigere Abtragung über die Rosettenmembrane zu erzielen. Diese wird nur wenig vorgespannt. In gleichem Zuge erwies sich auch die Vergrößerung des Rosettendurchmessers von 5 auf 6 m als konstruktiv sinnvoll.

**10 Die ursprünglichen »Kleeblatt-Rosetten«, von oben gesehen**

**11 Die neuen, achteiligen Rosetten zur besseren Kraftverteilung, von unten gesehen**



11

Die alte Dachhaut

Nach 25jährigem Betrieb wurde jetzt die neue Dachhaut eingebaut, ebenfalls aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe. Das Gewebe der alten Dachhaut zeigte auch nach so langer Zeit kaum gravierende Alterserscheinungen, waren doch bei nur 2 bis 3 Prozent Lichtdurchlässigkeit seine Fasern gut gegen das festigkeitsabbauende Sonnenlicht geschützt. Die Nähte, als genähte und geschweißte Verbindung ausgeführt, waren stärker angegriffen, vor allem fehlte der mitverschweißte Folienstreifen als Lichtschutz für den Nähfaden.

Die hochtransluzenten und damit lichtanfälligeren Füllmembranen der Hochpunktrosetten mußten in den letzten Jahren mehrfach ausgetauscht oder repariert werden.

### Das neue Gewebe

Das Polyestergewebe wurde in opakem Schwarz vorbeschichtet und erhielt darüber eine weiße Deckbeschichtung, oben mit schmutzabweisender Lackierung, unten mit seidenmatter Oberfläche. Neben einer langen Lebensdauer der auf diese Weise gut geschützten Gewebefasern sollte eine eventuelle Einwanderung von Mikroorganismen in die Faserkapillaren verhindert werden und sich auch nicht optisch auswirken, was bei transluzenten Geweben häufig vorkommt. Statt der an die Ruine angepaßten Grautöne der alten Dachhaut wurde im Sinne des Kontrastes zwischen der Erscheinung der Ruine zu dem fahrbaren, hochtechnischen Membrandach Weiß als Farbe gutgeheißen.

Eine dosierte Lichtdurchlässigkeit der Membrane mit graduell helleren Rosettenfüllungen wäre das architektonische Ziel gewesen. Hierfür ist die Entwicklung beschichteter Gewebe leider im Rückstand. Es scheint, daß der entscheidende Schritt in der Kombination einzelner Firmen-Know-hows liegt, um den idealen Geweben für das textile Bauen erheblich näherzukommen.

### Einteilige Membrane und Details

Die Dachmembrane konnte einteilig konfektioniert werden. Damit entfielen die Klemmstöße aus Aluminiumplättchen, von denen stets eine Beschädigungsgefahr für das Tuch beim Raffen ausgegangen war.

Die Erneuerung des Daches gab auch Gelegenheit, einige Details neu zu überdenken. Im Zuge der Umstellung von Stahlrandseilen auf fest mit der Membrane verbundene Randgurte konnten schwere und sperrige Beschlagsplatten entfallen, die Anschlüsse vereinfacht oder verkleinert und den besonderen Gegebenheiten optimal angepaßt werden. Auch die mit der Membrane bewegten Versorgungskabel der Seiltraktoren wurden in punktuell aufgeschweißten Tuchtaschen sicherer und optisch gefälliger verwahrt. Die textilen Randrinnen wurden ebenfalls verbessert.

### Form, Statik und Zuschnitt

Was seit 1968 an Rechenmethoden über Computer im Zeltbau Eingang gefunden hat, kam auch der neuen Dachmembrane zugute. An die Stelle früherer Modelle zur Ermittlung von Form und Zuschnitt durch Vermessung und sehr unvollständige Rechnung von Hand tritt heute ein ganzheitliches Programm, mit dem Form, statische Kräfte und Tuchzuschnitt vollständig und sehr genau ermittelt werden können. Die ursprüngliche Statik von Leonhardt und Andrá für die in der Dachhaut auftretende Kräfte wurde beibehalten und daraus ein der neuen Situation angepaßter Zuschnitt ermittelt. So konnte auch Bad Hersfeld standsicherer geplant und perfekter ausgeführt werden.

F. K.

Architekt: Frei Otto mit Bernd-Friedrich Romberg (†)  
Erneuerung: Stromeyer Ingenieurbau, Konstanz; Friedemann Kugel und Rainer Fuchslocher