

struktive Aufgabe auch weder technische Regeln noch technische Vorschriften.

Die Berliner Kongreßhalle wurde landauf und landab als kühn konstruiertes Bauwerk gerühmt, ohne daß in gebührender Weise dem Gedanken Beachtung geschenkt wurde, daß von Kühnheit ja schließlich nur dort gesprochen werden kann, wo eine Lösung in einem Risikobereich gesucht wird. Ist das nicht der Fall, darf man von Kühnheit nicht sprechen.

Ein etwas anderer Aspekt ergibt sich, wenn man sich mit den Ausführungsmängeln beschäftigt. Sie bestanden im wesentlichen darin, daß gerade in den Bereichen, in denen eine besonders hohe Biegebeanspruchung gegeben war, die Spannglieder nicht mittig in der 7 cm dicken Betonschale lagen und zudem der Beton in der Fuge zwischen Kongreßhallenwand und Außendach teilweise von außerordentlich minderwertiger Qualität gewesen ist. Diese Mängel beruhen auf Verstößen gegen die auch damals gültigen bautechnischen Vorschriften.

Eine praktisch durchführbare Bauüberwachung durch die ausführende Firma, den Bauherrn und schließlich auch die

Bauaufsicht konnte immer nur im begrenzten Umfange Ausführungsmängel verhindern. Sie kann es auch in der Gegenwart und in der Zukunft nur. Die bautechnischen Bestimmungen fordern eben deswegen ein bestimmtes Sicherheitsniveau oberhalb der Bruchsicherheit, damit auch gewisse Ausführungsmängel im Regelfall abgedeckt werden können.

Hatten wir aus dem Beispiel der Autobahnüberbauung auf das Risiko geschlossen, daß sich aus der baustellen-gerechten Umsetzung sehr verfeinerter technisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse ergeben kann, so müssen wir aus dem Einsturzungsglück der Kongreßhalle uns ins Bewußtsein rufen, daß alle neuartigen Bauweisen, Bautechniken und Konstruktionen immer das Risiko in sich bergen, daß die Dauerhaftigkeit der Standfestigkeit möglicherweise nicht gegeben ist. Die im Vorschriftenwerk eingeschraubten Sicherungen können, wenn sich mehrere sehr ungünstige Umstände überlagern, gelegentlich plötzlich durchbrennen.

Zusammenfassung

Es stellt sich abschließend die berechtigte Frage, was wir mit dem nun ge-

wonnenen Risikobewußtsein anfangen. Muß uns die Verunsicherung befallen und uns ständig die Furcht vor dem Versagen der von uns benutzten Bauwerke begleiten?

Ich möchte diesen Schluß nicht ziehen. Wir sollten uns allerdings darüber im klaren sein, daß die Standfestigkeit auf Dauer ein bauaufsichtliches Postulat ist und bleiben muß. Ob auch die sogenannten kühnen Bauten dieser Anforderung immer Rechnung tragen, muß besonders sorgfältig überprüft werden.

Ein gesundes Mißtrauen bei allen am Bau Beteiligten gegenüber den neuen und sogenannten fortschrittlichen Bauverfahren und Bauwerken ist durchaus angebracht. Bei der bisher erbauten Umwelt ist gottlob die Zahl der versagenden Bauwerke außerordentlich gering. Wir brauchen uns daher nicht mit übertriebener Ängstlichkeit in der von uns und unseren Vorfahren gebauten Umwelt zu bewegen. Wir müssen uns nur des Restrisikos bewußt sein, es überall da, wo wir Einfluß haben, möglichst klein halten und im übrigen Erich Kästner zustimmen: „Seien wir mal ehrlich, Leben ist immer lebensgefährlich.“

Maßnahmen zur Schadenverhütung bei Tragluftbauten

(Gedanken zur Norm DIN 4134)

Heinz-Jürgen Brandt

„Tragluftbauten sind bauliche Anlagen, deren äußere Raumabschließung aus einer flexiblen Hülle (mit oder ohne Seilverstärkung) besteht, welche von der durch Gebläse unter Überdruck gesetzten Raumluft getragen wird.“ Diese Definition am Anfang der Norm DIN 4134 „Tragluftbauten – Berechnung, Ausführung und Betrieb“ stellt zwei wesentliche Eigenschaften heraus, die typische Gefahrenmomente bergen: Die Raumbegrenzung besteht aus einer beweglichen Hülle, in der Regel textilen Geweben, die gegen mechanische Verletzungen anfällig ist. Sie wird getragen und in der vorgegebenen Form gehalten durch die unter ständi-

gem Überdruck stehende Raumluft, ein statisches System, das störanfälliger als herkömmliche Tragwerke ist. International bekannt ist diese Bauweise als Teilbereich der „pneumatischen Konstruktionen“, sie ist in vielen Teilen der Welt verbreitet. Aufgekommen ist sie in den 60er Jahren, weil sie dem großen Bedarf an Leichtbauten von geringem Eigengewicht und schneller Mobilität entgegenkam.

Tragluftbauten können große Räume witterungsgeschützt umschließen und trotzdem schnell auf- und abgebaut sowie mit verhältnismäßig geringem Aufwand an einen anderen Standort verlegt werden. Es lassen sich völlig neue Raumformen gestalten, die von dem gewohnten Bild starrer Raumgeometrie abweichen (Titelbild, Bilder 1 bis 3).

Zweck der Norm ist, die Voraussetzungen für Stabilität und Sicherheit

der Tragluftbauten festzulegen. Wenn auch die wesentliche Voraussetzung für die Stabilität die Einhaltung eines bestimmten Druckes ist und damit ein ständiger Energie-Aufwand für den Betrieb der erforderlichen Gebläse verbunden ist, so hat doch diese Bauweise auch in der Zeit des Energie-sparen-Müssens ihre Bedeutung behalten. Dies gilt besonders für Nutzungsarten, bei denen auf Raumheizung oft verzichtet werden kann, wie z. B. bei Lagerhallen.

Gegenwärtig werden die Möglichkeiten einer wärmedämmenden Ausbildung der flexiblen Hülle untersucht, um bei Nutzung für den Aufenthalt von Personen, z. B. bei Sporthallen, den Energieaufwand für die Beheizung zu verringern.

Der Verzicht auf ein starres Tragwerk, die ausschließliche Verwendung der unter Überdruck gehaltenen Raumluft

Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Brandt, Oberbaurat beim Bauordnungsamt der Baubehörde Hamburg.

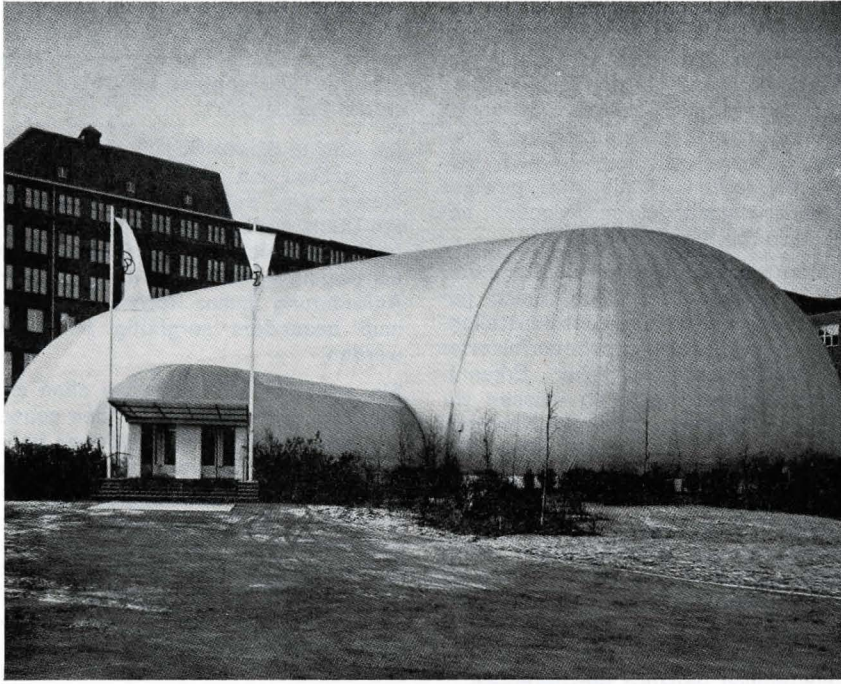


Bild 1. Häufiger Tragluftbautentyp: Langgestreckte zylinderförmige Halle mit halbkreisförmigem Querschnitt und Viertelkugeln als Abschlußkuppeln. Die Eingangsschleuse ist als besonderer kleiner Tragluftbau angesetzt. Nutzung hier als Versammlungsstätte.

als tragendes und die Form stabilisierendes Element, der ausschließliche Zugang durch Schleusen zur Vermeidung von Druckschwankungen stellen an die Standfestigkeit ganz andere Forderungen, als bei Bauwerken sonst zu erfüllen sind. Um einen einheitlichen Beurteilungsmaßstab zu schaffen und Unsicherheiten bei den Bauprüfdienststellen zu beseitigen, wurden sehr bald von Herstellern und Bauaufsichtsbehörden spezielle Baubestimmungen verlangt. 1971 wurden von einem hierfür gebildeten Arbeitskreis der „Fachkommission Bauaufsicht“, einer Arbeitsgemeinschaft der obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder, Entwürfe von Richtlinien und einem Einführungserlaß verabschiedet. Danach wurden die „Richtlinien für den Bau und Betrieb von Tragluftbauten“ in allen Bundesländern als technische Baubestimmungen oder Runderlasse in den Jahren 1971–1973 erstmals eingeführt (siehe „schadenprisma“ 1974, Heft 1).

Da die Entwicklung dieser neuen Bauweise noch nicht abgeschlossen war, beauftragte der Vorsitzende des Ausschusses für Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB) und Präsident des Institutes für Bautechnik, Professor Dr. Bub, eine kleine Gruppe mit der Bildung eines Arbeitsausschusses „Tragluftbauten“ im Normenausschuß Bauwesen. Die Mehrzahl der Mitglieder dieses neuen Ausschusses hatte dem Arbeitskreis der Fachkommission Bauaufsicht angehört; hinzu kamen mehrere Wissenschaftler (z. B.

Strömungstechniker und Meteorologen), erfahrene Baustatiker und ein Vertreter der Sachversicherer.

Nach mehrjähriger Arbeit und zahlreichen Erörterungen im Plenum und in kleinen Unterausschüssen für wichtige Einzelfragen konnte im Oktober 1979 die letzte Fassung der Normvorlage verabschiedet werden; nach Überarbeitung durch einen Redaktionsausschuß

wurde diese als Norm DIN 4134 verabschiedet.

Folgende technische Voraussetzungen müssen danach bei dieser Bauweise erfüllt werden:

- Die Lastannahmen, die den Festigkeitsberechnungen zugrunde gelegt werden, müssen für zwei Lastfälle bestimmt werden, den Lastfall A – Kurzzeitbeanspruchung – mit dem Sonderfall B (Sommergewitter) und den Lastfall C – Dauerbeanspruchung – (Absatz 5.2 der DIN 4134). Damit soll der größeren Windanfälligkeit der flexiblen Hülle bei kurzzeitiger Sturmeinwirkung einerseits, der langzeitigen Einwirkung von Witterungseinflüssen bei mehrjähriger Aufstellung andererseits, wie es meistens der Fall ist, Rechnung getragen werden. Bei diesen Lastfällen werden die klassischen Lasten Eigenlast, Windlast und Schneelast eingebracht, aber auch Belastungen, die für diese Bauweise typisch sind, der Nenn-Innendruck, d. h. der rechnerisch erforderliche Überdruck der Raumluft, und Temperatureinflüsse, die auf eine flexible Hülle stärker einwirken und dort zu Materialspannungen und Festigkeitsänderungen eher führen können als bei herkömmlichen starren Baustoffen.
- Der Nenn-Innendruck (Absatz 5.2.3 der DIN 4134) ist so groß zu wählen, daß die Standsicherheit und die zur Stabilität erforderliche Formbeständigkeit der Hülle sichergestellt werden. Zu seiner Erzielung und Erhaltung müssen Gebälge eingesetzt werden, von deren

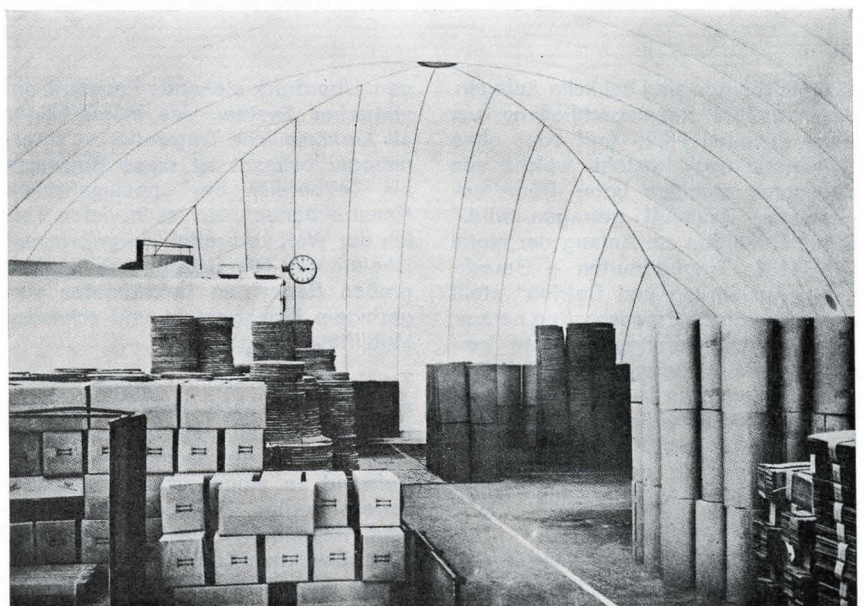


Bild 2. Nutzung eines Tragluftbaues als Lagerhalle, Innenraum. Zu erkennen sind die Nähte der einzelnen Hüllenbahnen. Blickrichtung zur Abschlußkuppel, hier auf geradem Grundriß. Das Lagergut ist ziemlich dicht an die Hülle gestapelt.

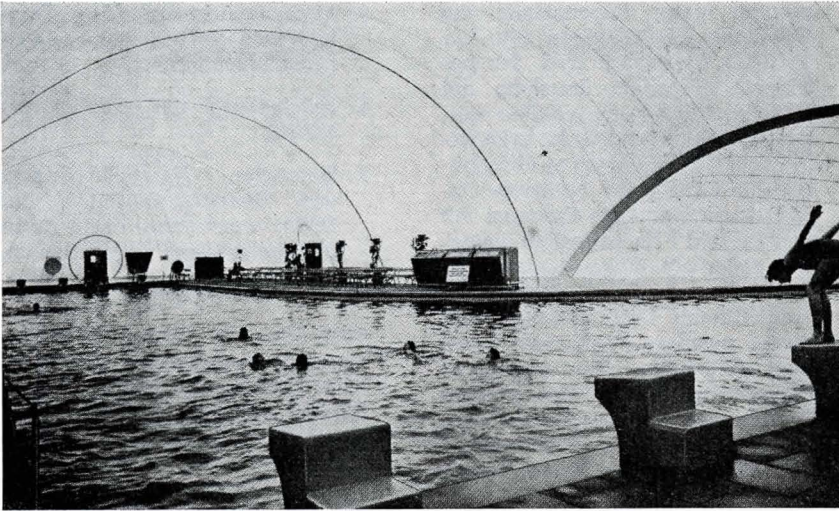


Bild 3. Nutzung eines Tragluftbaues als Schwimmhalle, Innenansicht. Eine größere und eine kleinere zylinderförmige Halle sind zusammengefügt, deutlich sind die einzelnen Hüllenbahnen und Nähte zu erkennen.

Betriebssicherheit letztlich die Stabilität dieser Bauten abhängt.

- Für die Hülle und ihre Verbindungen und für die Anschlüsse müssen Festigkeitsnachweise geführt werden. Hierfür sind im Einzelfall Untersuchungen nur erforderlich, wenn keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorliegt. Eine Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde des jeweiligen Bundeslandes muß dann beantragt werden. Bei Vorliegen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung müssen die dort angegebenen zulässigen Beanspruchungen der Berechnung zugrunde gelegt werden (Absatz 7.1 der DIN). Wenn für die Hüllenbaustoffe und ihre Verbindungen in DIN-Normen keine Festlegungen hinsichtlich ihrer Eigenschaften und der Anforderungen, denen sie genügen müssen, enthalten sind, müssen sie als „neue Baustoffe und Bauarten“ im Sinne der Landesbauordnungen angesehen werden. Der erforderliche Nachweis ihrer Brauchbarkeit für den vorgesehenen Verwendungszweck kann durch die erwähnten Zulassungen im Einzelfall erbracht werden.

Hüllenbaustoffe müssen mindestens schwerentflammbar sein, d. h. der Klasse B 1 der DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ Teil 1 entsprechen und ein Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik besitzen. Die Erfüllung dieser Forderung ist Voraussetzung für eine Ausnahme von der grundlegenden bauaufsichtlichen Forderung, daß tragende Bauteile in der Regel feuerbeständig sein müssen; sie kommt dem Verlangen nach Flexibilität und geringem Eigengewicht dieser Bauweise entgegen.

- Eine Gründung oder Verankerung im Erdreich kann durch flexible Bauweise in erhöhtem Maße beansprucht werden, besonders bei starker einseitiger Winddruckbelastung. Die mit dem Erdreich verbundenen Bauteile wie überhaupt das Bauwerk selbst müssen gegen Abheben, Umkippen und Gleiten eine 1,2fache Sicherheit für den Lastfall A aufweisen (Absatz 7.3.1 der DIN). Im übrigen gilt DIN 1054 „Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds“. Außer durch massive Gründungen werden Tragluftbauten durch Ballastgewichte (z. B. Wasserschläuche) oder Erdanker verschiedener Ausbildung mit dem Boden verbunden. Werden Erdanker gewählt, müssen Ausziehversuche ihre Bindungskraft nachweisen. Die Anzahl der Ausziehversuche (5 % der Gesamtzahl der Anker bis zu 50 %) hängt von der Größe der Ausziehkraft ab, die im Verhältnis zur Resultierenden aus der Verankerungskonstruktion angesetzt wird.
- Halleneingänge, wie Türen, Tore oder Schleusen sowie andere starre Bauteile, die einen Teil der Raumschließung bilden, müssen mit der Hülle so verbunden werden, daß deren Beweglichkeit nicht behindert wird (Absatz 8.4 der DIN). Verformungswerte, die in der Tab. 7 der Norm für zylinderförmige Tragluftbauten (Membranen) angegeben sind, müssen berücksichtigt werden. Feststehende Wände, die Teile der Raumschließung eines Tragluftbaues bilden, müssen die Beanspruchung aus Windlast und Innendruck aufnehmen können. Deshalb müssen Verglasungen in der Umschließung bruchsicher sein.

Die Anwendung des Überdruckes der Raumluft als tragendes Element erfor-

dert besondere betriebliche Maßnahmen zur Sicherung des Nenn-Innendruckes und zur Überwachung der Gebläse. Am Anfang der Vorschriften, die zu diesem Zweck in der Norm zusammengestellt sind, wird die Verantwortung des Betreibers des Tragluftbaues herausgestellt. Dieser oder ein von ihm beauftragter Vertreter, der sachkundig, d. h. in die Betriebsbedingungen des Tragluftbaues eingewiesen sein muß, haben für die Einhaltung der Betriebsvorschriften zu sorgen. Die Verantwortlichkeitsregelung entspricht dem grundsätzlichen Hinweis in den Bauordnungen, daß der Bauherr oder der tatsächlich über eine Bauanlage Verfügungsberechtigte, in übertragenem Sinn also der „Betreiber“, in erster Linie für die Einhaltung der Bau- und Betriebsvorschriften verantwortlich ist.

Im einzelnen enthält die Norm folgende Betriebsvorschriften:

- Bei Tragluftbauten, die zur Aufnahme einer größeren Personenzahl bestimmt sind, muß eine verantwortliche Aufsichtsperson anwesend sein, solange sich mehr als 30 Personen in dem Traglufttraum aufhalten. In allen anderen Fällen genügt es, wenn ein Verantwortlicher im Bedarfsfall unverzüglich herbeigerufen werden kann.
- Die Gebläse zur Aufrechterhaltung des Nenn-Innendruckes und ihre Motoren müssen als wesentliche Bauelemente für die Standsicherheit und Formbeständigkeit laufend überwacht werden. Verbrennungsmotoren müssen mindestens jede Woche und die dauernd in Betrieb befindlichen Teile der Gebläseanlage sowie das Reservegebläse in „angemessenen Zeitabständen“ auf ihre Betriebstauglichkeit geprüft werden. Diese „angemessenen Zeitabstände“ richten sich nach der Größe und Art der Nutzung des Tragluftbaues sowie nach den klimatischen Umständen. Tragluftbauten mit regelmäßigem Personenaufenthalt wie Sporthallen oder Tragluftbauten in überdurchschnittlich windanfälligen Gebieten verlangen eine häufigere Überprüfung der Betriebstauglichkeit.

Wenn Schneefall zu erwarten ist, sollen wegen der damit verbundenen zusätzlichen Belastung Verbrennungsmotoren von Reservegebläsen zweimal wöchentlich auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Die Ergebnisse aller Prüfungen sind in einem Prüfbuch oder auf andere Art schriftlich festzuhalten.

- Tragluftbauten, die für den Aufenthalt von mehr als 30 Personen be-

stimmt sind, müssen Alarmanlagen erhalten, bei deren Signal die Personen unverzüglich den Tragluft-raum verlassen müssen. Der Tragluft-raum soll auch verlassen werden, wenn auf andere Weise ein erheblicher Druckabfall wahrgenommen wird, wie z. B. bei einem merklichen Absinken der Hülle am Scheitel.

Diese Alarmanlagen müssen bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung (besonders wenn die Gebläse mit Elektromotoren betrieben werden) und überhaupt bei Betriebsstörung der Gebläse-Anlage anspringen. Sie sollen zunächst die Aufsichtsperson verständigen, können also den Alarm meist außerhalb des Tragluft- raumes im Aufenthaltsraum des Aufsichtführenden anzeigen. Dieser muß dann unverzüglich die Personen, die sich in dem Tragluft-raum aufhalten, verständigen. In besonderen Fällen muß eine Alarmanlage in dem Tragluft-raum selbst installiert werden. Da auch Gefährdungen durch Panik bedacht werden müssen, kann über den Einbau einer Alarmanlage innerhalb des Tragluft- raumes nur von Fall zu Fall entschieden werden. Tragluftbauten, die von vielen Personen gleichzeitig benutzt werden, aber auch solche Hallen, bei denen das Verlassen nur mit Verzögerungen möglich ist, wie z. B. Schwimmhallen, kommen hierfür in Frage.

Die Alarmanlagen müssen an eine Ersatzstromversorgung angeschlossen sein, damit sie auch bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung wirksam werden können.

- Während der Winterperiode ist die Heizeinrichtung für die Gebläseluft rechtzeitig einzuschalten, um die Mindesttemperatur zur Schneeabseitung, zum Abtauen oder überhaupt zur Verhinderung des Liegenbleibens von Schnee auf der Hülle rechtzeitig zu erhalten. Als Mindesttemperatur können 8–12 °C in Nähe des Scheitels des Tragluft- raumes angesetzt werden. Zu ihrer Kontrolle muß ein Temperaturfühler installiert werden, der eine Thermometerablesung in Nähe des Hauptzuganges ermöglicht. Auf diese Einrichtungen kann allerdings verzichtet werden, wenn Vorrichtungen zur mechanischen Schneeräumung unmittelbar am Verwendungsort vorhanden sind und personell auch sichergestellt ist, daß sie bei Einsetzen von Schneefall sofort verwendet werden.
- Bei Verformungen der Hülle in verschiedenen Belastungszuständen, z. B. durch starken Winddruck oder durch Schneelast, muß vermieden werden, daß die Hülle durch Be-

rührung fester Gegenstände wie Einbauten, Einrichtungen oder Lagergüter beschädigt wird. Ein bestimmter Freiraum innerhalb der Hülle muß daher eingehalten werden. Die Norm umreißt für zylinderförmige Tragluftbauten in Abschnitten, die nicht durch Schleusen unterbrochen sind, den Freiraum mit dem im Bild 7 dargestellten Linienzug. Innerhalb dieses Linienzuges liegt das „nutzbare Profil“ des Tragluftbaues. Dafür zu sorgen, daß dieses nutzbare Profil nicht durch feste Einbauten oder Lagergüter überschritten wird, ist eine wichtige Betriebsvorschrift. Um zu erkennen, ob Einbauten dieses Profil einhalten, können folgende Vorkehrungen getroffen werden:

1. Von der Hallenhaut herabhängende, senkbleiartige Profilschnüre
2. Profilrahmen
3. Markierungen auf dem Hallenboden (Stapelgrenzen) mit Angabe der maximalen Stapelhöhe
4. Markierungen an der Hülle und Bereithaltung unterschiedlich langer Meßplatten.

In Lagerhallen und Tragluftbauten ohne fest vorgegebene Einbauten muß diese Begrenzung auf einem Bauplan angegeben werden, der in der Nähe des Einganges anzubringen ist und aus dauerhaftem Material bestehen soll.

An festen Einbauten, die die Begrenzungslinie tangieren, dürfen keine scharfkantigen Teile hervorstehen, welche die Hülle verletzen könnten. Dies ist auch bei Tragluftbauten zu beachten, die nicht als Lagerhallen genutzt werden und eine deutliche Profilingabe nicht aufzuweisen brauchen, wie z. B. bei Sporthallen für Beleuchtungsmasten.

- Damit im Störfall schnell die erforderlichen Hinweise zur Behebung gefunden werden, müssen in unmittelbarer Nähe des Hauptzuganges an leicht sichtbarer Stelle Schilder mit folgenden Angaben angebracht werden:

1. Name, Anschrift und Telefon-Nr. der verantwortlichen Aufsichtsperson und der Firma, die mit der Wartung der Gebläse und Stromanlagen beauftragt ist.
2. Erforderlicher Nenn-Innendruck.
3. Erforderliche Maßnahmen bei Schneefall (Schneeräumung oder Abtauen) sowie die Mindesttemperatur für das Abtauen.

4. Verwendungszweck des Tragluftbaues, insbesondere zulässige Personenzahl.
5. Kurzfassung der Betriebsvorschrift.
6. Hersteller, Herstellungsdaten und Gewebebezeichnung der Hülle, wenn dies nicht durch Stempelaufdruck angegeben ist.
7. Öffentlicher Notruf.

Außerdem ist innen folgendes Warnschild anzubringen: „Bei merklicher Absenkung der Hülle am Scheitel oder bei Alarmsignal ist die Halle unverzüglich zu verlassen.“

- Um die Kontrolle der Betriebssicherheit zu erleichtern bzw. um ihre laufende Wahrnehmung überhaupt erst zu ermöglichen, sind in dem Tragluft-raum in unmittelbarer Nähe des Hauptzuganges Ablesemöglichkeiten für folgende Meßeinrichtungen anzubringen:

1. Manometer zur Überprüfung des erforderlichen Nenn-Druckes,
2. Thermometer zur Überprüfung der Mindesttemperatur zum Abtauen von Schnee – wie bereits erwähnt.

Schäden an Tragluftbauten

Der Information einer Herstellerfirma für den Hüllenwerkstoff sind Angaben zu entnehmen, die auf Schadenermittlungen nach Stürmen in den Jahren 1972 und 1976 beruhen und die Schäden angeben (Bild 4):

Schäden an/durch	An-gaben 1972	An-gaben 1976
Gründung/Verankerung	5 %	8 %
Hülle (Verarbeitungs- u. Materialfehler)	5 %	0 %
Schleusen/Anschlüsse	30 %	8 %
Einbauten	30 %	23 %
menschliches Versagen	30 %	42 %
Hochwasser	—	19 %

Aus dem Vergleich der Zahlen von 1972 und 1976 ist der Einfluß der bauaufsichtlichen „Richtlinien für den Bau und Betrieb von Tragluftbauten“ zu erkennen, die bei Errichtung der 1972 beschädigten Hallen noch nicht eingeführt waren. Sie haben zu konstruktiven und materialmäßigen Verbesse-

rungen geführt, wodurch der Schadenanteil bei der Hülle, den Schleusen, den Anschlüssen und den Einbauten gesenkt wurde. Dafür nahm rechnerisch der Anteil „menschliches Versagen“ zu; als neue Schadenursache kam 1976 Hochwasser aufgrund besonderer Gegebenheiten hinzu.

Bei den Gründungen und Verankerungen lagen viele Fehlerquellen darin, daß die Bodenverhältnisse nicht genügend berücksichtigt und Verankerungen nicht in frostfreie Tiefe geführt wurden. Erst DIN 4134 schreibt eine Verankerungstiefe von mindestens 80 cm und Ausziehversuche für Erdanker vor.

Schäden an der Hülle, die auf Mängeln des Materials und seiner Verarbeitung beruhen, sind bis auf eine statistisch nicht mehr erfaßbare geringe Zahl zurückgegangen. Hersteller, die zu dünne Kunststoff-Folien anboten, konnten sich auf dem deutschen Markt nicht halten. Zu dieser Entwicklung haben zweifellos die bauaufsichtlichen Richtlinien beigetragen. Die wichtige Forderung nach Schwerentflammbarkeit der Hülle ist in der Norm beibehalten und um Festigkeitsnachweise für die Hülle und ihre Verbindungen ergänzt worden. Nicht auszuschließen sind Schäden durch die Alterung des Hüllenmaterials, jedoch liegen wegen der verhältnismäßig jungen Bauweise noch keine näheren Erfahrungen oder Zahlen vor.

Der Anteil der Schäden durch Schleusenanschlüsse ist ebenfalls durch die Forderung der bauaufsichtlichen Richtlinien, daß Tür- und Schleusenteile die Beweglichkeit der Hülle nicht beeinträchtigen dürfen, erheblich zurückgegangen. Schleusen, Türen und andere feste, durch die Hülle geführte Bauteile, wie Kanäle, werden in der Regel durch flexible Bälge mit der Hülle verbunden. Die Norm hat diese Forderung übernommen und verlangt „Übergangsbauerteile, die die Beweglichkeit der Hülle nicht behindern“. Solche Maßnahmen sollen Formänderungen der Hülle bei Sturm auffangen, so daß die Hülle an den Anschlußstellen nicht einreißt. Durch die neueste technische Entwicklung sind allerdings Verbindungen geschaffen worden, die einen unmittelbaren Anschluß der Hülle an starre Bauteile gestatten, ohne daß eine Gefahr des Einreißens besteht. Der zuständige Normausschuß hat sich daher für einen Verzicht auf die Ausbildung beweglicher Anschlußbauteile unter der Bedingung ausgesprochen, daß die auftretenden Beanspruchungen in der Hülle und den starren Anschlußbaukörpern nachgewiesen werden.

Einbauten in einem Traglufttraum können die Hülle gefährden, wenn sie

so dicht an sie heranreichen, daß sie die Hülle bei Bewegungen berühren. Durch scharfe Kanten, spitze Ecken usw. kann die Hülle bei heftigen Bewegungen, besonders bei Sturm, aufgerissen werden. Deshalb sollen z. B. Beleuchtungsmasten konkav gebogen sein und abgerundete Ecken erhalten. Auch hochgestapeltes Lagergut kann die Hülle gefährden. Hinzu kommt die Gefahr des Einsturzes von Lagergut, wenn es durch Bewegung der Hülle angestoßen wird. Die bauaufsichtlichen Richtlinien haben einen Abstand von mindestens $\frac{1}{10}$ des Halbmessers des Tragluftbaues, mindestens 60 cm, gefordert.

Die Norm hat eine differenziertere Regelung entwickelt, da das Ausmaß der Hüllenbewegungen nach der Lage im Tragluftbau-Querschnitt unterschiedlich ist: Bei (seitlicher) Queranströmung durch Wind wird die Hülle vor allem im Bereich zwischen einem Drittel und zwei Dritteln ihrer Höhe bewegt, bei Schneelast senkt sie sich dagegen im Scheitelbereich ein (Bild 5).

Eine Schema-Zeichnung des vor kurzem verabschiedeten Weißdruckes stellt die Belastungen durch Wind und Schneelast getrennt dar (Bild 6): Die linke Hälfte zeigt die Grenzlinie für Winddruck allein, die rechte für Winddruck mit Schneelast zusammen. Die linke Grenzlinie darf nur in Anspruch genommen werden, wenn der Schnee geräumt ist.

Die wichtigsten Einwirkungen auf einen Tragluftbau, die zu Schäden führen können, sind Druckminderung, Brand, Sturm und Schneelast.

Druckminderung

Das in Bild 6 gezeigte Freiraumprofil geht davon aus, daß bei Windanfall der Nenn-Innendruck gehalten wird. Zwecks Senkung der Betriebskosten und des Energiebedarfs gestattet die Norm eine Senkung des Innendruckes bei ruhiger Wetterlage bis zu 50 % des rechnerisch vorzusehenden Nenn-Innendruckes, jedoch nicht unter 0,18 kN/m² (in der Regel soll der Nenn-Innendruck mindestens 0,30 kN/m² betragen). Es muß dann eine verantwortliche Aufsichtsperson schnell erreichbar sein, die den Druck im Bedarfsfall (bei wachsendem Winddruck) wieder hochfährt, oder es muß hierfür eine staudruckabhängige Steuerung installiert sein.

Das Verhalten der Hülle bei schnellem Druckabfall ist durch praktische Versuche beobachtet worden. Bei einer Probefalle ohne Einbauten wurden die Gebläse abgestellt und die Schleusentüren aufgesperrt. Die Hülle senkte sich in wenigen Minuten ab, blieb aber noch längere Zeit auf einem mannshohen Luftpolster liegen, so daß der Hallenraum in Ruhe verlassen werden konnte. Verletzungsgefahren sind dann jedoch nicht auszuschließen, wenn an die Hülle harte Gegenstände wie Leuchten gehängt sind. Die bauaufsichtlichen Richtlinien haben dies

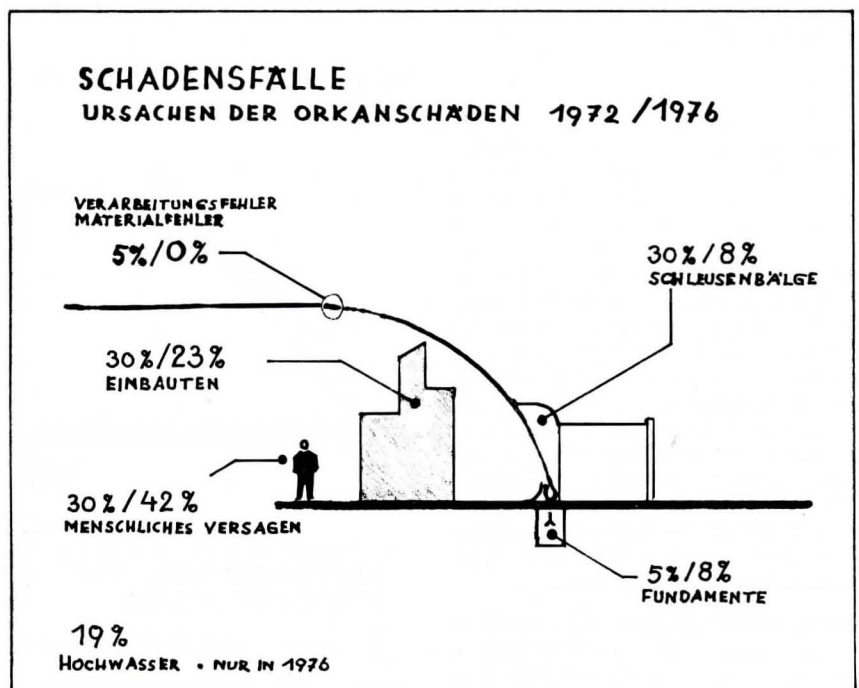


Bild 4. Schema mit Symbolen für die Ursachen der Orkansschäden 1972/1976.

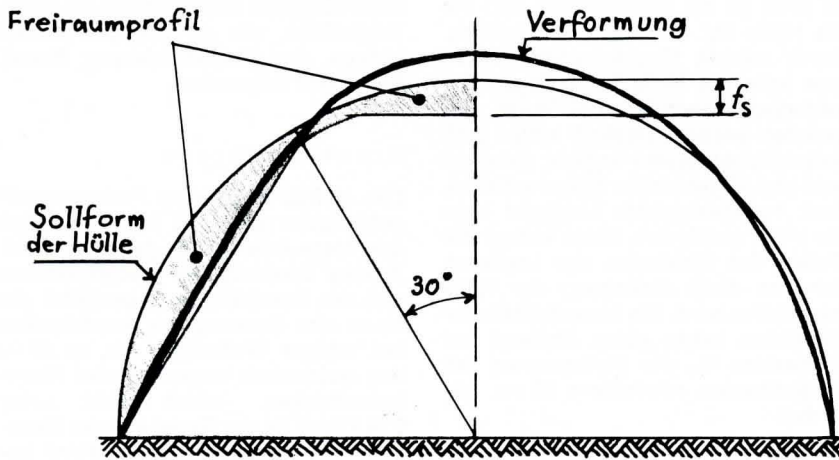


Bild 5. Profil einer Traglufthalle mit halbkreisförmigem Querschnitt: Sollform und Verformungsschema bei halbem Nenn-Innendruck und queranströmendem Wind etwa der Windstärke 4. In der linken Hälfte ist das Freiraumprofil eingetragen, das von der Verformungslinie tangiert wird: Der Nenn-Innendruck muß wiederhergestellt werden.

daher untersagt; die Norm hat auf diese Regelung verzichtet, weil solche Installationen kaum noch eingebaut werden.

Größere Gefährdungen kann das Absinken leichter Folien von Klein-Tragluftbauten wie Schwimmbad-Abdeckungen herbeiführen. Die Folie kann auf der Wasseroberfläche aufliegen und Personen, z. B. Kinder, unter Wasser drücken. Deshalb verlangt die Norm Einrichtungen, die unter der Hülle im Falle des Absinkens einen ausreichenden Luftraum sicherstellen (z. B. gerundete Handläufe von Einstiegleitern). Anzumerken ist, daß solche Klein-Tragluftbauten keine starren Schleusen haben, die an sich schon bei größeren Tragluftbauten einen restlichen Luftraum sichern würden.

Brand

Wenn auch die Hülle schwerentflammbar sein muß – mit Ausnahme der erwähnten Klein-Tragluftbauten bis zu 100 m² Grundfläche und bis zu 4 m Scheitelhöhe –, so bleibt sie doch „brennbar“. Von einer Sprinkleranlage muß bei großen Tragluftbauten abgesehen werden, weil deren Punktlasten die Hülle bei Bewegungen gefährden würden. Bisher sind wenig Brandschäden bekanntgeworden. Im Baugenehmigungsverfahren werden in der Regel zu anderen Gebäuden oder Grundstücksgrenzen dieselben Abstände wie bei Holzbauten gefordert. Hierfür enthält jedoch die Norm keine Regelung; dies wäre vielmehr Sache bauaufsichtlicher Einführungserrasse.

Die Norm enthält aber außer der Forderung nach Schwerentflammbarkeit der Hülle weitere Regelungen zum Brandschutz und zur Rettung von Personen im Gefahrenfall:

- Außenliegende Gebläse, deren Witterungsschutz aus nichtbrennbaren Baustoffen besteht, brauchen nur 1 m Abstand zu der Hülle einzuhalten. Andernfalls muß ein größerer Abstand verlangt werden.
- Gebläse können zwar auch innerhalb des Tragluftbaues liegen, müssen dann aber mindestens feuerbeständig umschlossen sein.
- Zuleitungen für angewärmte Luft, die durch die Hülle hindurchführen, müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen (Baustoffklasse A nach DIN 4102 Teil 1) bestehen, wobei die Weiterleitung von Wärme an

die Hülle durch nichtbrennbare Dämmstoffe gedämmt sein muß. Für die Zuleitungen können schwerentflammbare Baustoffe (B 1 nach DIN 4102 Teil 1) gewählt werden, wenn die Temperatur der eingeführten Warmluft 70 °C nicht übersteigt.

- Mindestabstände von Einbauten und Lagergut zu Öffnungen, aus denen angewärmte Luft in den Tragluftraum tritt, sind einzuhalten: Bei Gegenständen aus leichtentflammaren Baustoffen nach DIN 4102 Teil 1 mindestens 0,6 m, wenn die Temperatur der angewärmten Luft nicht 70 °C übersteigt; bei höheren Luftaustrittstemperaturen sind die Abstände entsprechend zu vergrößern, sofern wegen des Brandschutzes Bedenken bestehen.
- Elektrisch gesteuerte Schleusentore müssen sich bei Stromausfall von Hand öffnen lassen, also sich als notwendige Ausgänge eignen.
- Notausgänge können ohne Schleusen ausgeführt werden. Ihre Zahl und Anordnung richtet sich nach den allgemeinen Bauvorschriften.
- Mindestens ein Ausgang muß sich auch für den Transport von Krankentragen öffnen lassen.
- Alarmanlagen in Tragluftbauten für mehr als 30 Personen.

Anordnung und Bemessung von Rettungswegen innerhalb und außerhalb des Tragluftbaues richten sich nach den allgemeinen Bauvorschriften; ob

VON FESTEN GEGENSTÄNDEN FREIZUHALTENDER RAUM EINER TRAGLUFTHALLE

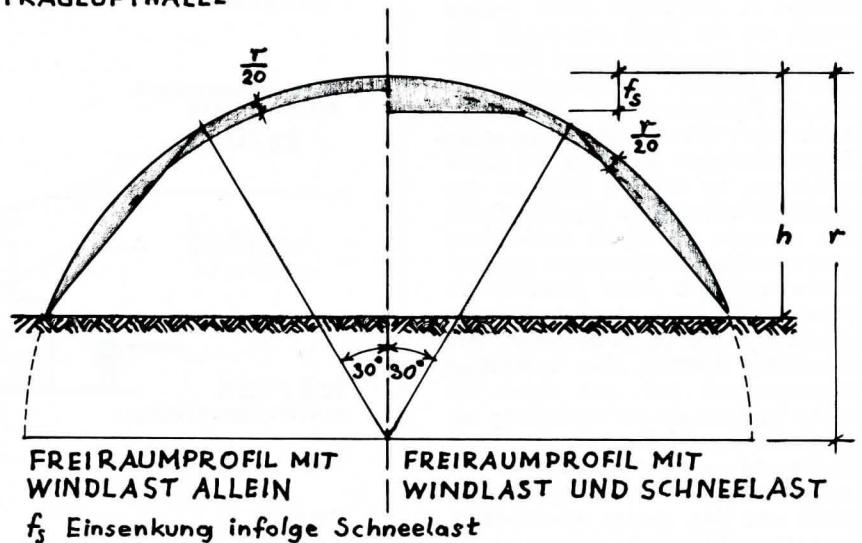


Bild 6. Freiraumprofil lt. DIN 4134 E: Von festen Gegenständen freizuhaltender Raum bei Berücksichtigung von Windlast allein (linker Viertelkreis) und Windlast + Schneelast (rechter Viertelkreis).

für Tragluftbauten Sonderregelungen getroffen werden, liegt in der Entscheidung der obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder.

Sturm

Ungewöhnliche Schäden an Tragluftbauten traten durch Sturmwirkungen auf. In den Anfangszeiten dieser Bauweise, als noch wenige Erfahrungen vorlagen und keine Sondervorschriften galten, waren es wesentlich mehr als heute. Fälle, bei denen dabei Personen zu Schaden gekommen oder in anderen baulichen Anlagen Sachschäden entstanden sind, wurden kaum bekannt. Meistens verlassen Personen bei Sturm den Tragluftbau. Teile einer eingerissenen Hülle können zwar bei Sturmböen um sich schlagen, wirbeln aber nicht durch die Luft und schlagen etwa bei Flachdachteilen z. B. vor. Allerdings sind Sturmschäden an Tragluftbauten manchmal Total-schäden.

Statistiken, die einen Gesamtüberblick über die Schadenhäufigkeit gestatten, werden in der Bundesrepublik Deutschland nicht geführt. Der zuständige Arbeitsausschuß des DIN hatte nach dem schweren Orkan vom 3. 1. 1976 eine Umfrage durchgeführt, die Teilergebnisse lieferte: Nach Angaben der örtlichen Bauaufsichtsbehörden in Hamburg waren von 45 vorhandenen Tragluftbauten zwei beschädigt worden. Ein Hersteller von Tragluftbauten hat aus einer Aufstellung von 52 Bauten in der Bundesrepublik Deutschland ein Objekt als sturmbeschädigt gemeldet. Interessant ist bei dieser begrenzten Anzahl die Nutzungsverteilung:

- 31 Sporthallen
- 17 Lagerhallen
- 3 Ausstellungshallen
- 1 Notkirche.

Beschädigt wurde eine Tennishalle. Im Raum Köln wurden von insgesamt 50 Tragluftbauten zwei Totalschäden gemeldet. Im Bundesgebiet gab es 1976 etwa 2000 Tragluftbauten, von denen bei dem Januar-Sturm 25 bis 30 zerstört oder beschädigt wurden, also etwa 1,5 %.

Umfragen nach dem „Jahrhundertsturm“ am 13. 11. 1972 hatten folgendes Ergebnis: In Nordrhein-Westfalen waren 43 Tragluftbauten zerstört, in Berlin zehn. Ergebnisse aus anderen Bundesländern lagen nicht vor. Geht man davon aus, daß 1972 mit Sicherheit nicht mehr Tragluftbauten in der Bundesrepublik standen als 1976, aber in zwei Bundesländern allein 53 zerstört wurden (gegenüber rd. 30 im

ganzen Bundesgebiet 1976), so zeigt sich 1976 ein weitaus geringerer Prozentsatz der Zerstörung als 1972, sicherlich ein Ergebnis der inzwischen gewonnenen Erfahrungen, einer gewissen qualitativen Marktberichtigung und auch der eingeführten bauaufsichtlichen Richtlinien.

Der Bericht eines Tragluftbauten-Herstellers in Nordrhein-Westfalen wertete die Erfahrungen des Orkans 1972 aus und empfahl folgende Maßnahmen zur besseren Sturmsicherung:

- a) Reservegebläse vorhalten
- b) Sicherungen gegen Stromausfall schaffen (Ersatzstromversorgung)
- c) Abstände zwischen Hülle und Einbauten einhalten
- d) Regelmäßige Pflege und Wartung aller Aggregate
- e) Sofortige Reparatur auch kleiner Schäden an der Hallenhaut
- f) Exaktes Befolgen der Bedienungsanleitungen, insbesondere Einhalten des notwendigen Innendruckes; Schulung des Bedienungspersonals, besonders bei Personalwechsel.

Diese Hinweise sind in dem DIN-Arbeitsausschuß erörtert und zu einem großen Teil in der Norm berücksichtigt worden. Die wichtigsten Einzelregelungen liegen in den Lastannahmen zur Windlast, dem Ansatz eines Nenn-Innendruckes, den Festigkeitsnachweisen für die Hülle und ihre Verbindungen, der Bemessung der Gründung, der Erzeugung und Steuerung des notwendigen Innendruckes und dem Freiraum innerhalb der umschließenden Hülle. Den Berichten zufolge beschränken sich die Ursachen der Sturmschäden hauptsächlich auf zu geringen Innendruck und zu geringen Abstand der Einbauten zur Hülle.

Eine weitere Ursache liegt, wie eine Schadenuntersuchung in Berlin nach dem Sturm am 13. 11. 1972 gezeigt hat, bei den Verbindungen der Hüllenbahnen miteinander und mit starren Bauteilen für Schleusen und Gebläseanschlüsse. Rißbildungen in den Schweißnähten der Hüllen waren besonders dadurch entstanden, daß die Hülle sich gegen Beleuchtungsmasten bewegte oder aufgehängte Beleuchtungskörper gegen die Hülle schlugen.

Schneelast

Außer Sturmwirkungen sind Schneelasten ein häufiger Anlaß zu Schäden an Tragluftbauten. Dabei kann es auch vorkommen, daß beide Witterungseinflüsse gleichzeitig auftreten, aber meistens wird frisch gefallener Schnee bei Sturm verweht. Eine große Schneelast

allein kann aber schon zu erheblichen Verformungen führen; bei Verharschen des Schnees und Eisbildung wird das Hüllenmaterial überdurchschnittlich beansprucht. Statistische Angaben über die Zahl solcher Schäden liegen nicht vor.

So meldete eine Münchner Tageszeitung nach dem Orkan zu Beginn des Jahres 1981, daß drei Tennishallen zusammengesunken seien, wozu bei der damaligen Wetterlage Schneelast beigetragen hat.

Ein tödlicher Unfall ereignete sich im Frühjahr 1978 im südwestdeutschen Raum. Durch Schneelast war die Hülle einer Lagerhalle für Druckpapier-Rollen am Scheitel eingedrückt und an einer Stelle eingerissen. Im Innern wurde mit einem Gabelstapler versucht, durch Anstoßen der Hülle Schnee abzuschütteln; darüber hinaus war ein Arbeiter auf die Hülle gestiegen, um Schnee hinunterzuschieben. Dabei fiel er durch den Riß in den Hallen-Innenraum, wo umstürzende Papierrollen ihn erschlugen.

Abgesehen davon, daß hier leichtfertig vorgegangen worden war, deutet dieser Unfall auf mehrere Fehler beim Betrieb der Halle hin.

- Wenn schon nicht durch entsprechende Druckerhöhung die Schneelast aufgenommen werden konnte, hätte sie durch Beheizung der Halle abgetaut oder außen vom Boden her mit einem Räumgerät beseitigt werden müssen.
- Bei erheblicher Einsenkung der Hülle hätten sich in dem Tragluft-raum keine Personen mehr aufhalten dürfen, da mit dem Umstürzen dieses schweren Lagergutes gerechnet werden mußte.
- Wegen der erhöhten Unfallgefahr hätte niemand auf die ohnehin nicht mehr straff gespannte Hülle steigen dürfen.

Sowohl die bauaufsichtlichen Richtlinien als auch die Norm verlangen Berücksichtigung der vollen Schneelast, es sei denn, der Schnee wird abgetaut oder mechanisch abgeräumt. Die Maßnahmen, die zur Schneebeseitigung getroffen werden müssen, sind auf der erwähnten Tafel am Eingang des Tragluft-raumes anzugeben; wenn Abtauen vorgesehen ist, muß am Eingang ein Thermometer angebracht sein.

Die Norm hat auf praktische Hinweise für die mechanische Schneeräumung verzichtet, da diese über den Rahmen einer Planungsnorm hinausgehen würden und die Entwicklung in diesem Bereich noch im Gang ist. Folgende Hinweise waren in dem DIN-Arbeitsausschuß zur Sprache gekommen: Solche Einrichtungen müssen flexibel

sein und dürfen die Hülle nicht verletzen. Es können z. B. Seile sein, die sich im Bedarfsfall schnell auf die Hülle ziehen lassen, aber auch das ganze Jahr über oder während der Winterperiode auf der Hülle aufliegen können. Sie müßten dann aber gegen Abrutschen gesichert sein, z. B. durch Festzurren an der Verankerungslinie. Stahlseile sollen ummantelt sein, um die Hülle nicht zu beschädigen. Bei sehr langen Hallen empfiehlt es sich, mehrere Schneeräum-Vorrichtungen in Abständen von 30 bis 40 m vorzusehen.

Abschließend soll noch auf verschiedene Nutzungsmöglichkeiten von Tragluftbauten hingewiesen werden: Da diese Bauweise grundsätzlichen Bauvorschriften für Räume, in denen sich Menschen längere Zeit oder dauernd aufhalten, nicht entsprechen kann, werden Tragluftbauten in der Bundesrepublik Deutschland nicht für Wohnzwecke hergestellt oder genutzt. Im Bereich der Arbeitsstätten wird ihre Nutzung meist auf Provisorien beschränkt, da sie nur schwer den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung genügen können. Eine Ausnahme bilden Lagerhallen und Ausstellungshallen. Die Nutzung als Lagerraum ist weit verbreitet und hat sich bewährt. Auch als Ausstellungsräume werden Tragluftbauten seit über 10 Jahren verwendet; es soll hier nur eine Ausstellungshalle erwähnt werden, die 1961 zum 150jährigen Jubiläum der Kruppwerke Essen als Festhalle auf dem Gelände der Villa Hügel errichtet und danach zum Messegelände Hannover verlegt wurde. Nutzungen als Versammlungsstätten, wie es bei dieser Krupp-Halle zuerst der Fall war, bedürfen besonderer Ausnahmegenehmigungen wegen der Abweichungen von bauaufsichtlichen Vorschriften für Versammlungsstätten und werden daher nur in Einzelfällen zugelassen. Aus psychologischen Gründen können bei dieser Nutzung Stützgerüste im Ausgangsbereich eingebaut werden, die bei einem Absinken der Hülle einen größeren Luftraum freihalten und dem Publikum ein Gefühl der Sicherheit geben. Sonst sind solche Gerüste, wie sie zur Anfangszeit dieser Bauweise gefordert wurden, überflüssig. Die Nutzung als Sporthalle für eine begrenzte Zahl von Personen hat sich dagegen bewährt. Besonders häufig sind Tennishallen und auch Schwimmhallen, in beiden Fällen auch als provisorische Winterüberdachung im Freien.

Zusammenfassung

Tragluftbauten sind bauliche Anlagen, deren äußere Raumabschließung aus einer flexiblen Hülle besteht, die von der durch Gebläse unter geringen

Überdruck gesetzten Raumluft getragen wird. Diese neue Bauweise erforderte einen einheitlichen Beurteilungsmaßstab. Ein bundesweiter Arbeitskreis entwickelte bauaufsichtliche Vorschriften, die in den Jahren 1971/72 von den Bundesländern eingeführt wurden, und die die Grundlage für die jetzt vorliegende Norm DIN 4134 „Tragluftbauten – Berechnung, Ausführung und Betrieb“ bildeten.

Technische Grundlagen sind Festigkeitsberechnungen, die insbesondere Windlast und Schneelast berücksichtigen und den erforderlichen Innendruck („Nenn-Innendruck“), die Beanspruchungen der Hülle, ihrer Verbindungen und ihrer Anschlüsse an starre Bauteile wie Schleusen sowie die Lasten auf Fundamenten oder Verankerungen ermitteln.

Schäden treten besonders durch unzureichende Fundamente und Verankerungen, durch Mängel des Hüllmaterials und der Verbindung der Hüllbahnen miteinander oder mit starren Bauteilen sowie durch feste Einbauten auf, wenn diese zu dicht an die Hülle reichen und sie bei Bewegungen durch Wind aufreißen können. Folgende Einwirkungen, die zu Schäden führen können, müssen bei Berechnung und Konstruktion berücksichtigt werden: Druckminderung, d. h. das Absinken des Luftdruckes im Raum unter den Nenn-Innendruck, Brandgefahr (Tragluftbauten lassen sich nicht feuerbeständig herstellen), Windlast (Druck und Sog) sowie Schneelast. Die Norm sieht außer Vorschriften zur Berechnung und Konstruktion eine Reihe von Betriebsanleitungen vor, da die Festigkeit dieser Bauweise von der Erhaltung des Nenn-Innendruckes und damit von dem sicheren Betrieb der Gebläse abhängt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß Sturmschäden vorwiegend bei Nichtbeachtung von Betriebsvorschriften eingetreten sind. Der Betreiber muß eine Aufsichtsperson einsetzen, die für den Betrieb, d. h. für die Überwachung des Innendruckes, die Wartung der Gebläse, Schneeräumung und Einhaltung des Freiraumprofils (der Mindestabstände von Einbauten und Lagergut zur Hülle) verantwortlich ist. Alle wichtigen Angaben für die Betriebssicherheit müssen an einer Stelle im Innenraum deutlich sichtbar ausgehängt sein. Bei Tragluftbauten, die für einen größeren Personenkreis bestimmt sind, muß eine Alarmaneinrichtung installiert werden, die bei Betriebsstörungen die Aufsichtsperson verständigt.

Literatur

DIN 4134 Entwurf „Tragluftbauten – Berechnung, Ausführung und Betrieb“ – Ausgabe Juli 1980.

Richtlinien für den Bau und Betrieb von Tragluftbauten; Musterentwurf des Arbeitskreises Tragluftbauten der Fachkommission Bauaufsicht, in den Bundesländern als Technische Baubestimmung oder Runderlaß 1971/72 eingeführt, in Berlin z. B. als Technische Baubestimmung am 15. 11. 72 (Dienstblatt des Senats Teil VI/72 Nr. 58).

Industrial Fibres of Enka Glanzstoff der Enka Glanzstoff AG, Bericht des Eurofabric Meeting 1976.

H.-J. Brandt: Tragluftbauten – Berechnung, Ausführung und Betrieb. DIN-Mitteilungen H. 8/1980, S. 458–460.

Brandt/Harnach/Niemann: DIN 4234 E für Tragluftbauten – Entwicklung und Grundlagen. Bauingenieur 55 (1980), S. 289–296.

G. Reichardt: Tragluftbauten, ein „neues“ Risiko für den Sachversicherer, „schadenprisma“ 1/1974.

Einsturz einer Traglufthalle, „schadenprisma“ 3/1979.

Th. Herzog: Pneumatische Konstruktionen. Verlag Gerd Hatje, Stuttgart 1976.

R. Lehmann: Schäden an Tragluftbauten in Berlin, „schadenprisma“ 1/1974.

Fr. Krupp GmbH Universalbau Essen: Flexible Konstruktionen, Informationsschrift, um 1970.

PlastiConstruction – Bauen mit Kunststoffen. C. Hanser Verlag München, 1/1972.

Sanders: Traglufthallen. J. B. Sanders & Söhne, Textilwerke, 4550 Bramsche, Firmenprospekt 1971.

Brylka: Traglufthallen im Orkan. Bericht der Fa. Krupp-Universalbau, Essen 1972 (Manuskript).

Bildnachweis

Bild 1 Informationsschrift Krupp-Universalbau.

Bild 2 Firmenprospekt Sanders Traglufthallen.

Bild 3 PlastiConstruction, Heft 1/1972.

Bild 4 Enka Glanzstoff AG, Bericht des Eurofabric Meeting 1976.

Bild 5 Aus einem Forschungsbericht Gesamthochschule Essen, Fachbereich 10, Dipl.-Ing. Oelbermann: Parameterstudie zur Untersuchung des Lichtraumprofils einer Traglufthalle.

Bild 6 DIN 4134 Entwurf, Bild 3, geändert nach dem Besprechungsergebnis der Widerspruchssitzung.