

**V. DENKMÄLER IN DER INDUSTRIELANDSCHAFT**

Bei allen Bemühungen, ein Stück Geschichtlichkeit von Industrieregionen in anschaulichen Zeugnissen über den aktuellen Strukturwandel hinüber zu retten, spielt seit den Anfängen systematischer Industriedenkmalpflege – das heißt in Westfalen-Lippe seit den frühen 70er Jahren – die Erhaltung von Bauten, die besser als technische Großgeräte zu beschreiben sind, eine wesentliche Rolle. Verständlicherweise wurde dabei hier im Ruhrgebiet den Fördergerüsten und -türmen von Anfang an besonderer Rang zuerkannt. Zur Begründung ihrer Denkmaleigenschaft wurde neben der technik- und wirtschaftsgeschichtlichen Bedeutung des jeweiligen Einzelobjektes regelmäßig der hohe Stellenwert als stadtbild- oder landschaftsprägendes Identifikationsmerkmal der Bergbauregion betont. Vielerorts stehen im Ruhrgebiet Fördergerüste tatsächlich als markante Wahrzeichen gleichbedeutend neben dem örtlichen Kirchturm. Wegen ihrer Wirkung als Landmarken der industriell geprägten Kulturlandschaft ist die Erhaltungswürdigkeit in der Öffentlichkeit seit langem kaum noch ernsthaft umstritten (meist kräftig umstritten ist allerdings die tatsächliche Erhaltung – natürlich wegen der Frage, wer dafür aufzukommen hat). Das gleiche gilt etwa für Wassertürme auch dann, wenn sie ohne „künstlerische Gestaltung“ als reine Ingenieurbauten ausgeführt worden sind.

Kühltürme haben offensichtlich nicht die gleiche Wertschätzung gefunden, obwohl sie durch ihre Größe und durch ihre charakteristische Form z. B. im baulichen Gemenge ausgedehnter Zechenanlagen sicher nicht weniger in Erscheinung treten als Fördergerüste und Wassertürme. Eine Aufnahme von 1978 der Zeche Sachsen in Hamm-Heessen (Abb. 1) läßt das ohne nähere Beschreibung auf den ersten Blick erkennen.

Die Zeche wurde 1912 bis 1914 nach einem architektonischen Konzept von Alfred Fischer ausgeführt und in den 20er Jahren ebenfalls nach seinen Plänen weiter ausgebaut. Von den drei Kühltürmen gehörte der vordere zum ältesten Bestand der Zeche, der mittlere gleicher Form wurde vor 1931 hinzugefügt. Die Bauzeit des dritten, jüngsten und größten wäre noch zu ermitteln. Nachdem die Zeche 1976 geschlossen wurde, gab es Bemühungen, wenigstens die Fördergerüste, die Maschinenhalle und die symmetrisch zugeordneten Fördermaschinenhäuser als Kern der architekturgeschichtlich bedeutenden Anlage zu erhalten. Von den Kühltürmen, oder wenigstens von einem, war nach Auskunft der Akten keine Rede. Diese Bemerkung ist nicht als Vorwurf an die damals Beteiligten zu verstehen; hier geht es allein um die Feststellung, daß Kühltürme als Bautyp in der frühen Phase systematischer Industriedenkmalpflege noch keine Beachtung gefunden haben.

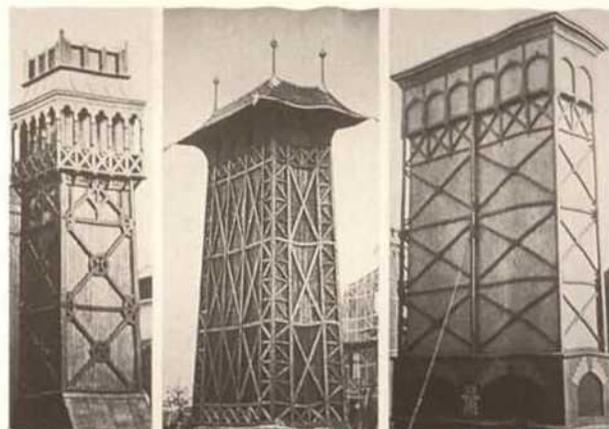
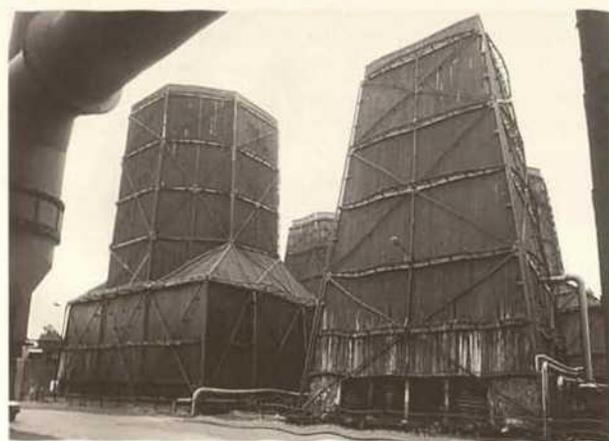
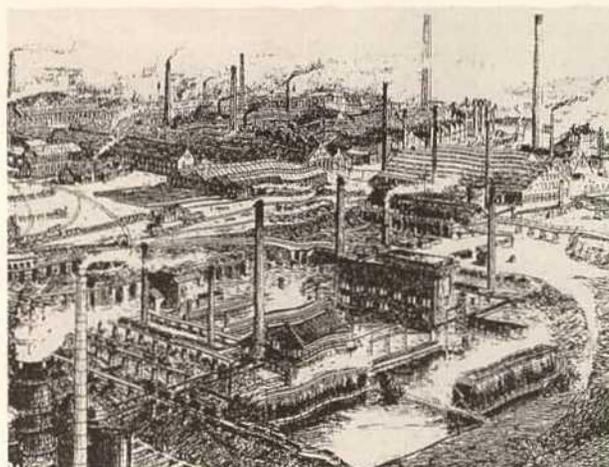
Den Grundstock für eine Materialsammlung zur Geschichte des Kühlturmbaus hat in unserem Amt 1988 Imme Wittkamp zusammengestellt. Die Sichtung von einigen ingenieurwissenschaftlichen Publikationen, von älteren und neuen Firmenprospekten und von Veröffentlichungen aus den 20er Jahren über

Industrie- und Ingenieurbauten haben deutlich gemacht, daß es über die anscheinend etwa hundertjährige Entwicklung von Kühltürmen und über die zahlreichen Varianten ihrer baulichen Gestalt nur wenige, oberflächliche Kenntnisse gab.

#### Historische Entwicklung

Das sprunghafte Wachstum der Großindustrie im späten 19. Jahrhundert führte zu ersten Schwierigkeiten bei der Wasserversorgung. An vielen Industriestandorten konnte der Bedarf an Nutzwasser nicht mehr aus vorhandenen Fluß- und Bachläufen gedeckt werden. Wasserknappheit und steigende Wasserpreise zwangen viele Betriebe dazu, beim Produktionsprozeß aufgewärmtes Wasser zur erneuten Verwendung herunterzukühlen. Kühleiche erwiesen sich wegen ihrer geringen Kühlleistung und wegen ihres großen Flächenbedarfs als wenig wirtschaftlich. Bessere Ergebnisse brachten die bei der Salzgewinnung seit Jahrhunderten üblichen Gradierwerke. Dabei wurde die erhöhte Verdunstung durch Verrieselung jetzt nicht mehr eingesetzt, um den Salzgehalt von Sole zu steigern, sondern um Wasser zu kühlen. Die hohen Wasserverluste durch Versprühen wurden durch Ummantelungen mit hölzernen Jalousien vermindert. Auch dieses Kühlsystem beanspruchte aber große Grundflächen und mußte außerdem möglichst frei aufgestellt werden, um unbehinderte Luftzufuhr von allen Seiten zu erreichen. Die weitgehende Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen, die Gefahr schneller Vereisung im Winter, trotz der Verkleidung durch Verwehen und Versprühen immer noch beträchtliche Wasserverluste und dadurch verursachte Belästigungen der Umgebung waren weitere systembedingte Mängel der Kühlung mit Gradierwerken.

Eine wesentliche Verbesserung wurde dadurch erzielt, daß die Verrieselungsanlagen mit hohen geschlossenen Gehäusen überbaut wurden. Im Inneren wird dabei die Luft durch das in mehreren Metern Höhe eintretende warme Wasser erwärmt, steigt nach oben und saugt durch Öffnungen am Fuß der Ummantelung kältere Luft nach, die dem herabrieselnden Wasser entgegenströmt und es dadurch abkühlt (Gegenstromkühler). Als Variante zur Ausnutzung des kräftigen Luftstromes der natürlichen Sogwirkung eines Kamins wurden ringförmig angeordnete Rieselwerke mit Abzugsschloten über dem freien Innenraum entwickelt, bei denen das herabfallende Wasser von der Kühlluft rechtwinklig durchströmt wird (Querstrom- oder Kreuzstromkühler). In einem weiteren Entwicklungsschritt wurden vermutlich um 1910 die beiden Systeme zum Quer-Gegenstromkühler kombiniert. Das gekühlte Wasser wird in einem Becken, der sogenannten Kühlturmtasse, aufgefangen und von dort in den Betriebskreislauf zurückgeführt. Da ein Teil des Wassers beim Kühlprozeß verdunstet, wie Dampfschwaden über Kühltürmen weithin sichtbar anzeigen, muß dieser Verlust durch die Zuleitung von Frischwasser ausgeglichen werden.



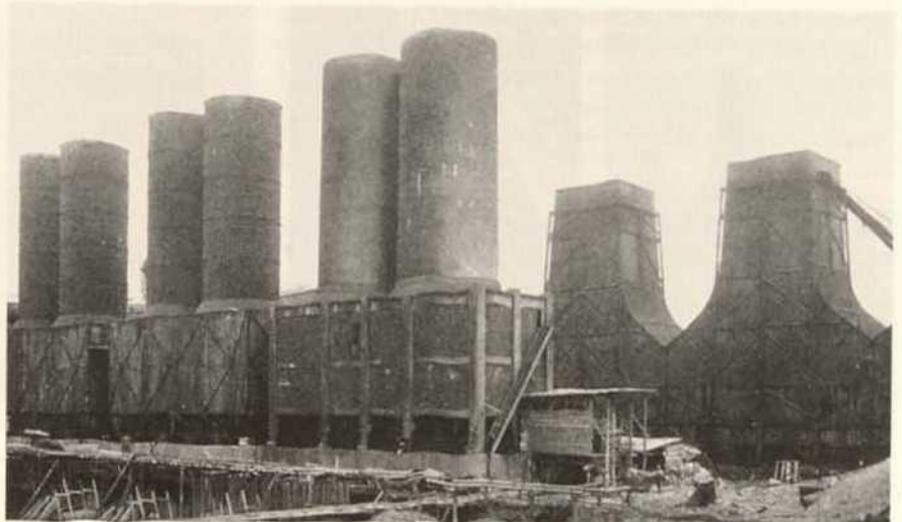
Anfänglich wurden Kühlturm-mäntel ausschließlich aus Holz- oder Stahlgerüsten mit einer Holzverschalung ausgeführt. Zahlreichen Beispielen mit schmalen, langgestrecktem Rechteckgrundriß und dem gar nicht oder nur wenig abgesetzten Kaminaufbau war die Herkunft aus Gradierwerken noch deutlich anzusehen. Zu den üblichen Lösungen früherer Gegenstromkühler gehörten auch eher gedrungene Türme auf rechteckigem oder quadratischem Grundriß, die sich nach oben etwas verzüngten, bei denen aber nicht zwischen einem breiteren Unterbau mit dem Kühlsystem und einem Schlot unterschieden war. Die Bemühungen um leistungsstärkere Kühltürme führten bald zu differenzierten Baukörpern, bei denen die beiden Hauptfunktionsbereiche deutlicher voneinander abgesetzt waren. Bis zum Ersten Weltkrieg entstanden zahlreiche Varianten für Kühltürme aus Holz- oder Stahlgerüsten mit rechteckigen, quadratischen oder polygonalen Grundrissen und mit mehr oder weniger schlanken, meist polygonalen Kaminaufsätzen. Die im ausgehenden 19. und frühen 20. Jahrhundert entwickelten vielfältigen Kühlturmformen wurden von den einschlägigen Spezialfirmen (wie etwa Balcke & Co. in Bochum, Zschocke in Kaiserslautern und Gottfried Bischoff in Essen, um von den bekanntesten nur drei zu nennen) bis zum Zweiten Weltkrieg und z. T. auch noch in den 50er Jahren unverändert ausgeführt. Beispielhaft dafür sind etwa die in der ersten Bauphase ab 1927 entstandenen Kühltürme auf der Kokerei Hansa (Abb. 3). Für sie lassen sich ohne weiteres in Konstruktion und Gestalt übereinstimmende Exemplare aus der Frühzeit des Kühlturmbaus vor 1914 nennen. Da dieser älteste Bestand nur noch in Abbildungen überliefert zu sein scheint, sind Kühltürme wie die der Kokerei Hansa nicht nur als wesentliche Bestandteile des für seine Zeit fortschrittlichen und exemplarischen Betriebs aufschlußreich, sondern auch als Stellvertreter für die erste Entwicklungsphase des Kühlturmbaus.

#### Gestaltung von Kühltürmen

Um die letzte Jahrhundertwende gab es Versuche, die einfachen Nutzbauten mit den Möglichkeiten des historistischen Formenrepertoires zu gestalten, um sie nach damaligem Verständnis mit der Würde „ernster Architektur“ auszuzeichnen (Abb. 4). Dahinter stand offensichtlich die Absicht, daß sich Kühltürme besser in aufwendiger gestaltete Industrieanlagen einfügen sollten. In der Praxis des Industriebaus haben aber die Versuche, Kühltürme in dieser Weise zu überformen, anscheinend keine nennenswerte Rolle gespielt.

Folgenreicher für die weitere Entwicklung waren Bemühungen, Kühltürme aus dauerhafteren Materialien herzustellen. In Mauerwerk ausgeführte Beispiele, wie der Kühlturm des Eisenbahnkraftwerkes in Altona mit einem leicht konisch ausgebildeten, gedrungeneren runden Schlot (Abb. 5), blieben anscheinend Ausnahmen. Kaminkühler mit runden, ganz aus Eisen gefertigten Schloten waren kostengünstiger und schneller auszuführen als gemauerte. Nach dem zeitgenössischen Urteil

1. Hamm-Heesen, Zeche Sachsen, 1912-1914 (Foto 1978).
2. Bochum, Ausschnitt aus einer 1905 publizierten Ansicht des Stahlwerks Bochumer Verein.
3. Dortmund-Huckarde, Kühlturmgruppe der Kokerei Hansa.
4. Historistisch gestaltete Kühltürme der Bochumer Firma Balcke.



5. Altona, Kühlturm des Eisenbahnkraftwerks.

6. Duisburg-Bruckhausen, Kühlturmgruppe der Thyssen-Hütte „Gewerkschaft Deutscher Kaiser“. Rechts Holzgerüste mit Holzaukleidungen; links Stahlgerüste mit eisernen Schloten; in der Mitte Stahlbetonkühler.

erzielten auch sie „bei geringer Grundfläche und relativ großer Höhe eine vorzügliche Kühlung“; außerdem müsse ihnen bei sachgemäßer Instandhaltung eine weitaus größere Lebensdauer zugesprochen werden als den hölzernen Kühlern.

Die Anforderungen, leistungsstarke und dauerhafte Kühltürme in kurzer Bauzeit zu errichten, legten es nahe, auch für diese Bauaufgabe den damals noch jungen Werkstoff Stahlbeton einzusetzen. Für das Thyssen-Hüttenwerk „Gewerkschaft Deutscher Kaiser“ in Duisburg-Bruckhausen etwa wurde vor 1915 ein Doppelkühlturm aus Stahlbeton errichtet (Abb. 6), der in seinem Aufbau mit dem 10,50 m hohen rechteckigen Kubus für die Verrieselungsanlage und mit den zwei 17,50 m hohen runden Schloten den benachbarten Kühlern mit kastenförmigen Stahlgerüsten und mit jeweils zwei eisernen Rundschloten entspricht. Die Essener Firma Gottfried Bischoff hat vor 1914 ähnliche Kaminkühler aus Stahlbeton ausgeführt. Ein Foto davon hat Walter Gropius in seine Sammlung beispielhafter Industriebauten aufgenommen, die er von 1910 bis 1914 im Auftrag von Karl Ernst Osthaus für das Deutsche Museum für Kunst in Handel und Industrie zusammengetragen hat. Die beiden Kühltürme entsprachen offensichtlich besonders gut der damaligen Vorstellung fortschrittlicher Architekten über das künftige „ästhetische Rüstzeug des modernen Baukünstlers“, für das nach Gropius u.a. „exakt geprägte Form, jeder Zufälligkeit bar, klare Kontraste, Ordnen der Glieder, Reihung gleicher Teile ...“ wesentliche Grundlagen seien.

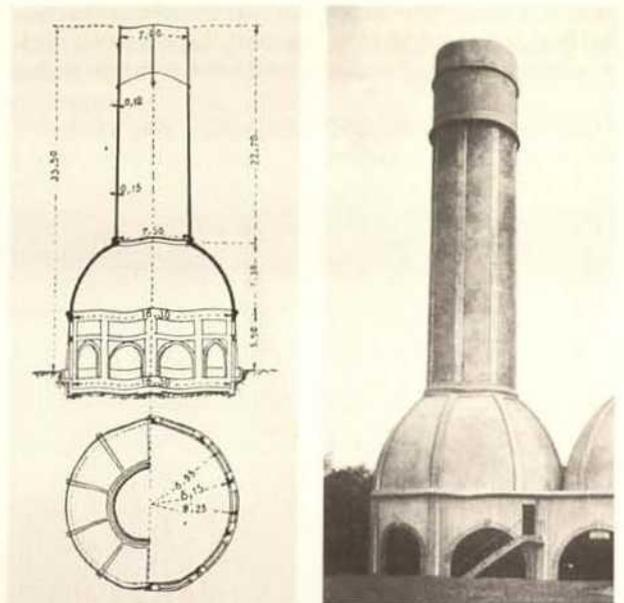
Als drittes Beispiel für die markanten Formen früher Stahlbetonkühltürme soll schließlich noch eine Entwicklung der Betonbaufirma Wayss & Freytag erwähnt werden. Sie hat für ein Hüttenwerk in Differdingen/Luxemburg (Abb. 7) und 1908 für die Gutehoffnungshütte in Oberhausen (Abb. 8) 35 bzw. 40 m hohe Kaminkühler mit überkuppelten Rundbauten für

7. Differdingen/Luxemburg, Stahlbeton-Kaminkühler der Firma Wayss & Freytag.

8. Oberhausen, Stahlbeton-Kaminkühler der Firma Wayss & Freytag für die Gutehoffnungshütte, 1908.

das Kühlsystem und mit sehr schlanken runden Schloten errichtet. Der Wunsch nach ansprechender Gestaltung spielte hier offensichtlich eine größere Rolle als bei den beiden zuvor genannten Exemplaren.

Der baugeschichtlichen Frage, ob frühe massive Kaminkühler von älteren Bauten abzuleiten sind, deren Funktion eine Ummantelung mit der kräftigen Sogwirkung eines Kamins notwendig oder sinnvoll erscheinen ließ, soll hier wenigstens gestellt, wenn auch nicht weiter erörtert werden. Vergleiche mit mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Küchenbauten mit hohen kegelförmigen Gewölben (z.B. Küchenturm von 1568/71 in Wagenitz/Brandenburg), mit älteren Kalköfen (Abb. 9), mit frühen Hochöfen oder mit konischen Glashützentürmen (Abb. 10) liegen wohl nahe. Überraschender dürfte der Vergleich mit einem von dem Chirurgen Antoine Petit 1774 publizierten Entwurf für den Neubau des Hôtel-Dieu in





9. (links) Stadtlohn, Kalköfen um 1860.

10. (rechts) Petershagen-Gernheim, Glashüttenturm von 1826 (Foto 1985).



12. (links) Bönen-Altenbögge, Kühlturm der Zeche Königsborn, 1924 (Foto 1983).

13. (rechts) Dortmund-Eving, Kühlturm der Kokerei Minister Stein, 1927 (Foto 1988).

Paris sein (Abb. 11). Bei dem Projekt öffnen sich sechs radial angeordnete Krankensäle zur runden Hospitalkirche im Mittelpunkt der Anlage. Der Zentralraum ist mit einem hohen, an der Spitze offenen, kegelförmigen Aufbau überdeckt. Er sollte die Aufgabe übernehmen, aus den Krankensälen stickige und verbrauchte Luft abzuziehen, die damals als der Krankheitsherd schlechthin galt.

Bis zum Ersten Weltkrieg lagen Entwurf und Bau von Kühltürmen anscheinend ganz in der Hand der ausführenden Firmen. Erst in den 20er Jahren haben sich Architekten damit beschäftigt, bei der Planung von Industrieanlagen auch die Gestaltung von Kühltürmen zu beeinflussen. Das beste Beispiel dafür war der 1924 errichtete, von Alfred Fischer entworfene Kühlturm der Zeche Königsborn in Bönen-Altenbögge bei Unna (Abb. 12). Die Ziegelausfachung des achteckigen Stahlbetonskeletts, die Eckvorlagen bis in halbe Höhe und die umlaufenden Betongesimse haben das Bauwerk als wesentlichen Bestandteil der Zechenanlage in das architektonische Gesamtkonzept einbezogen. Gustav Adolf Platz hat 1927 in seinem Band „Die Baukunst der neuesten Zeit“ im Rahmen der großen Propyläen-Kunstgeschichte geurteilt, daß mit Alfred Fischers Kühlturm „ein für die chemische Industrie wichtiger Bautyp

11. Entwurf für einen Neubau des Hôtel-Dieu, Paris 1774, Schnitt durch die Hospitalkirche.



zum erstenmal vollgültige Form gewonnen hat.“ In den frühen 80er Jahren wurde der Kühlturm zusammen mit den übrigen Gebäuden der Zeche abgebrochen. Als einziges Relikt blieb wenigstens der Förderturm von 1928 erhalten. Mit drei Kühltürmen, die 1927 nach Plänen des Architekten Helmuth von Stegmann und Stein auf der Kokerei Minister Stein in Dortmund-Eving ausgeführt wurden, hat Fischers Lösung eine unmittelbare Nachfolge gefunden (Abb. 13).

Die bisher erwähnten Beispiele sollten vor allem zeigen, daß die ersten Jahrzehnte in der Geschichte des Kühlturmbaus eine erstaunliche Vielfalt unterschiedlicher Konstruktionen und Formen hervorgebracht haben. Das eingangs erwähnte geringe techn- und baugeschichtliche Interesse an der Baugattung hat aber dazu geführt, daß von dem breiten Spektrum dieser Ingenieurleistungen nur noch sehr wenig erhalten ist.

#### Kühlturmbau in jüngerer Zeit

Warum ältere Kühltürme bis heute allenfalls in einem kleinen Kreis von Spezialisten auf historisches Interesse stoßen, könnte vielleicht daran liegen, daß unser Bild von Kühltürmen fast ausschließlich durch Beispiele bestimmt ist, die in den letzten Jahrzehnten als Bestandteile großer Kraftwerke errichtet wurden. Da deren Erscheinungsbild entscheidend von den riesigen Kühltürmen geprägt wird, werden diese zu Wahrzeichen der Großkraftwerke, die in der Umweltdebatte der jüngsten Vergangenheit nicht unumstritten geblieben sind. Durch die Diskussion seit den frühen 70er Jahren über die ökologischen Auswirkungen unkritischer Fortschrittsgläubigkeit und bedenkenlosen Energieverbrauches werden die Betonriesen heute von großen Teilen der Öffentlichkeit wohl weniger als erstaunliche bautechnische Leistungen bewundert, sondern eher als Zeugnisse einer ungehemmten Technokratie abgelehnt. Ausserdem sind sich die großen Kühltürme der letzten Jahrzehnte in ihrer Form so ähnlich, daß ihre bauliche Gestalt ausschließlich als konstruktions- und funktionsnotwendig erscheinen mag und deshalb nicht als besondere Leistung zu würdigen sei.

Ob und inwieweit die negative Einschätzung von Kühltürmen der jüngsten Vergangenheit berechtigt ist, soll zunächst

## INDUSTRIELANDSCHAFT

anhand einiger Beispiele aus den Jahren zwischen 1967 und 1970 erörtert werden.

Für das Steag-Kraftwerk in Lünen wurde 1967 bis 1969 ein 109,50 m hoher Kühlturm errichtet (Abb. 14). Sein Durchmesser beträgt am Fuß der V-förmigen, nach innen geneigten Stützen 83 m; er verengt sich auf 44,50 m in 84 m Höhe und erreicht am oberen Rand 51 m. Was auf den ersten Blick wie ein gigantischer Betonkoloß aussehen mag, ist tatsächlich eine extrem dünne Schale, die – bei kontinuierlicher Verjüngung vom Basisring an – in ihren oberen Partien nur 14 cm dick ist. Der auskragende Ring am oberen Rand versteift die Konstruktion, die durch die sattelartig zweifach gekrümmte Oberfläche in der Form eines einschaligen Rotationshyperboloides ausreichende Festigkeit erhält. Die dünnen Meridianrippen tragen der Einsicht Rechnung, daß rauhe Oberflächen bei hohen runden Bauwerken die Auswirkungen der großen Windkräfte günstig beeinflussen.

1967/68, also etwa gleichzeitig mit dem Beispiel in Lünen, ist der 122 m hohe Kühlturm des VEW-Kraftwerkes bei Hamm-Uentrop entstanden (Abb. 15). Der Durchmesser des Hyperboloids beträgt hier an der Basis 92 m und an der engsten Stelle 50 m, um sich bis zum oberen Rand auf 54 m auszuweiten. Im Vergleich dazu ist also bei dem Exemplar in Lünen die Meridiankurve etwas stärker gekrümmt, und vor allem fällt für das Erscheinungsbild die größere Aufweitung über der Taillierung ins Gewicht. Die Schrägstützen, auf denen die Schale ruht, sind in Hamm-Uentrop nicht V-förmig nach oben gespreizt, sondern paarweise in A-Form angeordnet. Der versteifende Ring am unteren Schalenrand ist als eigenständiges Bauglied ausgebildet; in Lünen dagegen ist zwischen Basisring und Mantel nicht weiter differenziert.

Für das VEBA-Kraftwerk Knepper westlich von Dortmund-Mengede wurde 1970 unmittelbar an der Stadtgrenze nach Castrop-Rauxel ein 128 m hoher Kühlturm gebaut (Abb. 16), dessen Maße mit einem Durchmesser von 91,60 m an der Basis, von 50 m in der Taille in 96 m Höhe und von 55 m am oberen Rand den entsprechenden Werten des Beispiels in Hamm-Uentrop nahe stehen. Wie in Lünen und wie bei dem folgenden Beispiel ist auch hier die Schale im oberen Abschnitt nur 14 cm dick.

Die beiden älteren, um 1970 ausgeführten Exemplare der Kühlturmgruppe des Kraftwerkes Gerstein in Werne-

Stockum (Abb. 17) haben bei einer Höhe von 114,40 m mit einem Basisdurchmesser von 94,66 m und mit einem Durchmesser von 70,54 m am oberen Rand bei einer weniger ausgeprägten Taillierung bzw. bei schwächer gekrümmter Meridiankurve eine deutlich gedrungener Gestalt als die vorherigen Beispiele.

Die Möglichkeit, bei aller Ähnlichkeit doch auch Unterschiede beschreiben zu können, zeigt, daß die Bauwerke keineswegs als reine Konfektionsware entstanden sind, sondern durchaus individuell konzipiert wurden. Bei der Suche nach einer möglichst günstigen Form der Kühlturmschale ging es immer wieder darum, für die vielfältigen und komplizierten Beziehungen zwischen konstruktiven und nutzungsbedingten Anforderungen Lösungen zu finden, die möglichst sicher und leistungsfähig sind, und die gleichzeitig mit möglichst geringem Baustoff- und Kostenaufwand ausgeführt werden können. Der Hinweis auf einen Kühlturmeinsturz in Ferrybridge in England bei einem Sturm im Jahre 1965 macht deutlich, daß der Entwicklungsprozeß nicht ohne Rückschläge verlief.

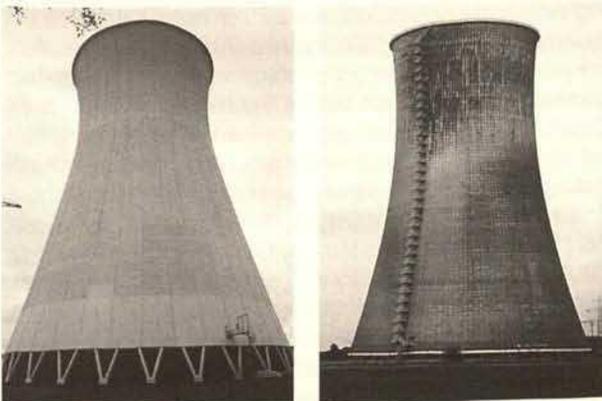
Um die Betonriesen der jüngsten Vergangenheit angemessen beurteilen zu können, muß man sich vergegenwärtigen, daß der Bau so zahlreicher Großkühltürme in den 60er und 70er Jahren nicht, oder wenigstens nicht nur, durch sprunghafte Steigerungen des Energieverbrauchs und durch erfolgreiche Expansionspolitik der Energiewirtschaft begründet ist. In der Fachliteratur der 70er Jahre wird immer wieder darauf hingewiesen, daß „bis vor kurzem“ bei ausreichendem Wasservorkommen die Frischwasserkühlung die übliche Lösung gewesen sei. Erst „in den letzten Jahren“ habe es sich durchgesetzt, benötigtes Kühlwasser nicht mehr Flüssen oder Seen zu entnehmen, um es nach der Aufwärmung wieder dorthin zurückzuleiten. Die Einsicht, daß der Mißbrauch natürlicher Wasserläufe als Abwärmekanäle zu gravierenden Störungen des ökologischen Gleichgewichtes führt, war eine der wesentlichen Voraussetzungen für den Boom in den 60er und 70er Jahren auf dem Sektor des Kühlturmbaus.

### Die hyperbolische Turmform

Die bloße Beschreibung jüngerer Kühltürme und der ergänzende Hinweis darauf, daß ihre dominante Rolle im Landschaftsbild das Ruhrgebiet als eine der führenden Energie-

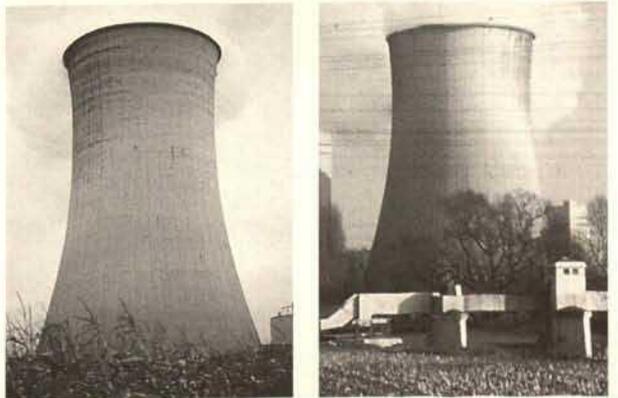
14. (links) Lünen, Kühlturm des Steag-Kraftwerkes, 1967/69 (Foto 1995).

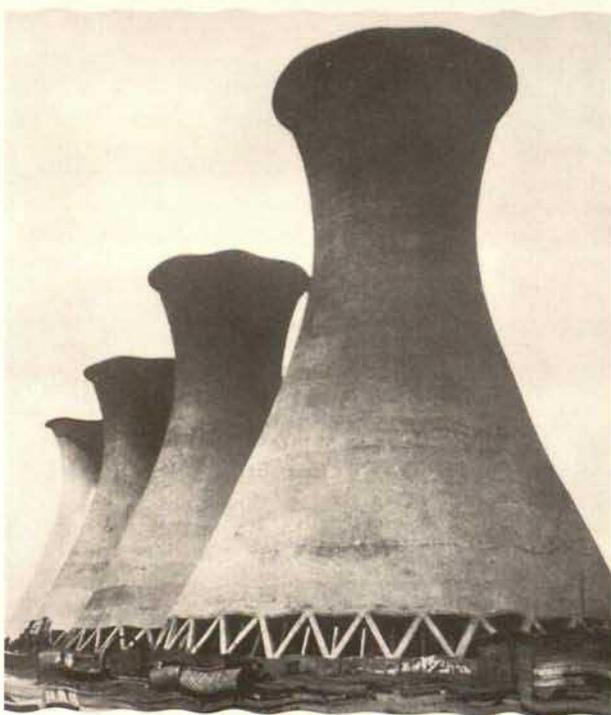
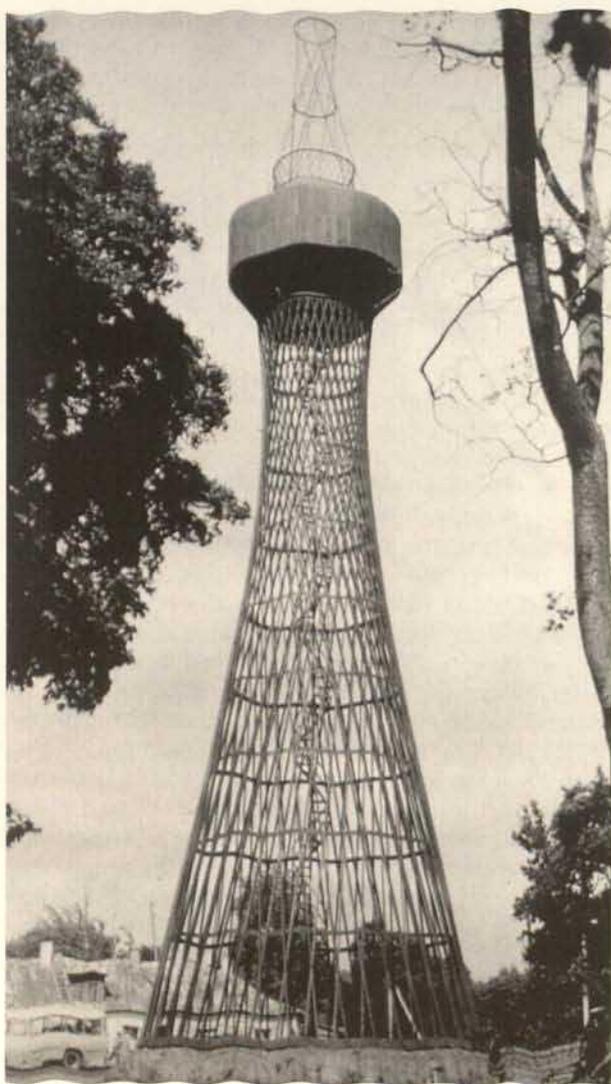
15. (rechts) Hamm-Uentrop, Kühlturm des VEW-Kohlekraftwerkes, 1967/68 (Foto 1995).



16. (links) Dortmund-Mengede, Kühlturm des VEBA-Kraftwerkes Knepper, 1970 (Foto 1995).

17. (rechts) Werne-Stockum, Kühltürme des Kraftwerkes Gerstein, um 1970 (Foto 1995).





zentralen Europas ausweist, wird aber kaum als Antwort auf die Frage ausreichen, ob Kühltürme Beachtung als Kulturgut und gegebenenfalls sorgsamem Umgang verdienen. Deshalb soll zunächst nach den baugeschichtlichen Voraussetzungen hyperbolischer Großkühler gefragt werden.

Dabei stellt sich heraus, daß die scheinbar für die Bauaufgabe spezifische Form in ihren frühesten Anwendungen nicht im Kühlturmbau auftritt. Der russische Ingenieur Vladimir Schuchow hat bereits 1896 eine Turmkonstruktion mit einem zweifach gekrümmten flächigen Gitterwerk aus Stahlprofilen entwickelt. Bei seinem Wasserturm (Abb. 18) für die Allrussische Handwerks- und Industrieausstellung in Nischni Nowgorod wurde erstmals die Form des Hyperboloids – hier mit einer Höhe von 25,60 m – für ein Bauwerk angewendet. Sie ermöglichte ein äußerst stabiles Tragwerk bei möglichst geringem Materialaufwand. Außerdem ließ sich die statisch vorteilhafte Form problemlos aus geraden Stäben herstellen, weil das Hyperboloid durch die Drehung einer Geraden um eine zu ihr windschiefen Achse erzeugt wird. Bei Schuchows Wasserturm sind die vom Fundamentring zum oberen Rand durchlaufenden Stahlstäbe in regelmäßigen Abständen durch horizontale Ringe miteinander verbunden. Sie bilden zusammen mit den schräg ansteigenden Profilen Dreiecke, die das netzförmige Tragwerk erst verformungssteif machen. Nach dem gleichen Bauprinzip entstanden in den folgenden Jahrzehnten in Rußland zahlreiche Wassertürme. Mit einem Leuchtturm, der im Jahre 1911 bei Cherson am Schwarzen Meer errichtet wurde, hat Schuchow einen bereits 68 m hohen hyperbolischen Turm ausgeführt.

Die Wirtschaftlichkeit und die Leistungsfähigkeit seines Konstruktionsprinzips bewies der russische Ingenieur mit dem 1922 in Betrieb genommenen Sendeturm für die Radiostation der Kommunistischen Internationale in Moskau. In diesem Fall sind nach oben sich verjüngend sechs Hyperboloide als feingliederiges Flächentragwerk übereinander gestapelt. Die in der ersten Planung 1919 zunächst vorgesehene Höhe von 350 m wurde in der Ausführung auf 150 m reduziert, da es in der Zeit größter wirtschaftlicher Not während des Bürgerkrieges in der Sowjetunion Probleme bei der Materialbeschaffung gab. Das Gewicht des ursprünglich geplanten Turmes mit 350 m Höhe hätte nur etwa ein Viertel vom Gewicht des 300 m hohen Eiffelturmes betragen.

Beim Bau von Kühltürmen wurde die Form des Hyperboloids erstmals in den Niederlanden angewendet. Nach einem Entwurf aus dem Jahre 1916 von Prof. Frederik Karl Theodor van Iterson, der seit 1913 technischer Direktor der staatlichen Bergbaugesellschaft war, und dem Ingenieurbüro Gerard Kuypers wurden um 1921 auf der staatlichen Zeche „Emma“ in Treebeek bei Heerlen vier etwa 35 m hohe Kühltürme mit hyperbolischen Betonschalen gebaut (Abb. 19). Mit der stark ausgeprägten Krümmung der Meridiankurve wurde die bei älteren Stahlbetonkühlern übliche Trennung zwischen breitem Unterbau mit der Verrieselungsanlage und dem hohen schlanken Rundschlot zugunsten einer geschlossenen Gesamtform aufgegeben, in der die günstigeren Strömungsverhältnisse

18. Hyperbolischer Wasserturm von Wladimir Schuchow für die Allrussische Handwerks- und Industrieausstellung 1896 in Nischni Nowgorod, umgesetzt nach Polibino.

19. Hyperbolische Stahlbeton-Kühltürme der Zeche Emma in Treebeek bei Heerlen/NL, Entwurf 1916 von Kuypers und van Iterson, ausgeführt um 1921.

unmittelbar anschaulich werden. Obwohl die Kühltürme der Zeche Emma in den 20er Jahren mehrfach als beispielhafte Ingenieurbauten publiziert wurden, haben sie anscheinend zunächst keine unmittelbare Nachfolge gefunden.

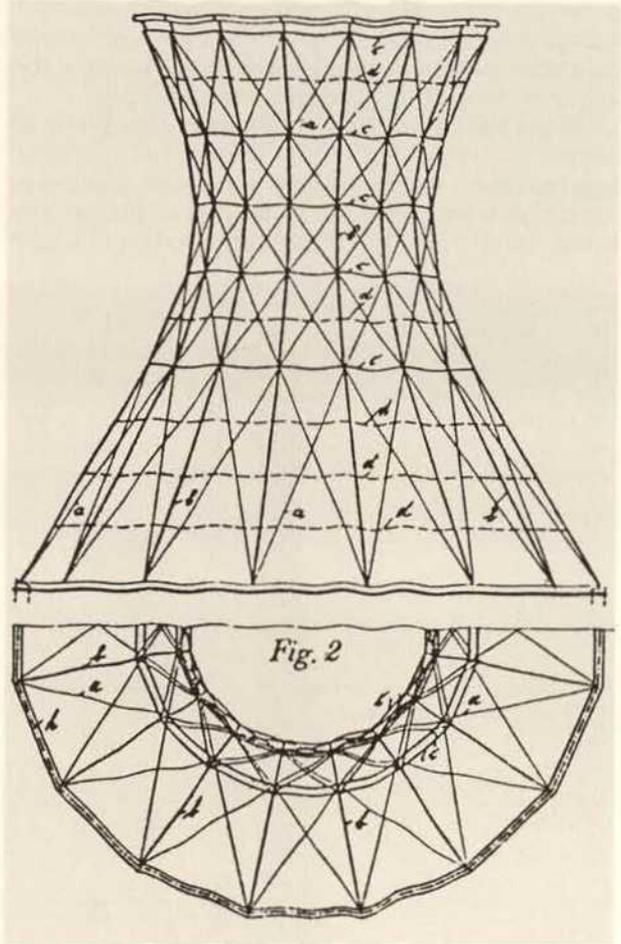
Etwa seit 1930 läßt sich eine intensivere Beschäftigung mit dem Hyperboloid als Bauform beobachten. 1933 erhielt die DEMAG in Duisburg ein Patent für die Stahlkonstruktion eines Kühlturmes (Abb. 20), der mit seinen schrägen, sich kreuzenden Zugstäben an das System von Schuchows Turmbauten erinnert. Tatsächlich handelt es sich um eine dem Hyperboloid angenäherte Form, die sich aus ebenen, von geraden Stäben in Meridian- und Ringrichtung begrenzten Flächen zusammensetzt. Ähnliche Lösungen, meist acht- oder zwölfseitig, waren in den 30er Jahren und auch noch nach dem Zweiten Weltkrieg anscheinend weit verbreitet.

In der Sowjetunion wurden ab 1935 hölzerne hyperbolische Kühltürme nach Schuchows Konstruktionssystem gebaut.

Ein 68 m hoher Kühlturm, der bereits 1931 in Hams Hall in England entstanden ist, hat die Form auch im Stahlbetonbau wieder aufgenommen. Über den Neubau eines hyperbolischen Kühlturms aus Stahlbeton auf der niederländischen Staatszeche „Maurits“ hat die Zeitschrift *Der Bauingenieur* 1938 kurz berichtet. Dabei werden auch vier ältere, kleinere Beispiele gleichen Typs erwähnt. In Deutschland wurden die ersten Kühltürme mit hyperbolischer Stahlbetonschale von der Firma Wayss & Freytag 1938-1940 für das Kraftwerk Espenhain in Sachsen gebaut (Abb. 21). Bei einer Höhe von 55,50 m haben sie einen Durchmesser von 44,06 m an der Basis, von 23,25 m an der engsten Stelle in 48 m Höhe und von 23,836 m am Fuß des oberen Randringes. Das Hyperboloid ist also verhältnismäßig knapp über der Taille „abgeschnitten“. Die Aufweitung zum oberen Rand hin tritt deshalb nur wenig in Erscheinung. Von 20 m Höhe an ist die Schale nur noch 10 cm dick. Zumindest ein weiterer hyperbolischer Stahlbetonkühlturm ist in Deutschland noch zur Zeit des Dritten Reiches für die Reichswerke Hermann Göring im heutigen Salzgitter ausgeführt worden.

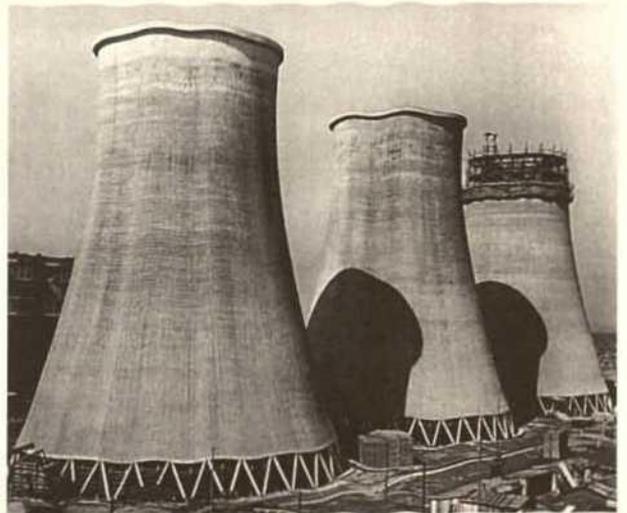
Nach der Entwicklung der 30er Jahre setzte im Kühlturmbau der Siegeszug des Hyperboloids allerdings erst im Laufe der 50er Jahre ein. Dann allerdings mit so durchschlagendem Erfolg, daß große Naturzugkühltürme seit den frühen 60er Jahren fast ausschließlich in dieser Form gebaut wurden. Die Vorkriegsbeispiele wurden in der Größe bei weitem übertroffen: in den USA wurde die 100 m-Marke bereits 1958 überschritten (High Marnham Power Station), 1971 auch die 150 m-Marke (Trojan Nuclear Plant).

Die Entwicklung hyperbolischer Stahlbetonkühltürme seit den 30er Jahren hat sicher eine ihrer Voraussetzungen im Bau von Schalenträgwerken seit den 20er Jahren. Stellvertretend dafür soll hier nur die legendäre, 1925 ausgeführte, nur 6 cm dicke Kuppelschale des Planetariums in Jena erwähnt werden. Außerdem wurden seit den frühen 30er Jahren durch die ingenieurwissenschaftliche Forschung die theoretischen Grundlagen für derartige Konstruktionen erarbeitet und ausgebaut. W. Flügges Publikation von 1934 über „Statik und Dynamik der Schalen“ hat dabei offensichtlich eine maßgebliche Rolle gespielt. Für die Entwicklung in der Nachkriegszeit war wohl der Beitrag von R. Rabich aus dem Jahre 1953 über „Die Membrantheorie der einschalig hyperbolischen Rotationschalen“ eine wichtige Etappe. In den späten 50er und in den 60er Jahren, insbesondere nach dem Kühlturmeinsturz 1965 in Ferrybridge, wurden die allgemeinen Kenntnisse durch eine



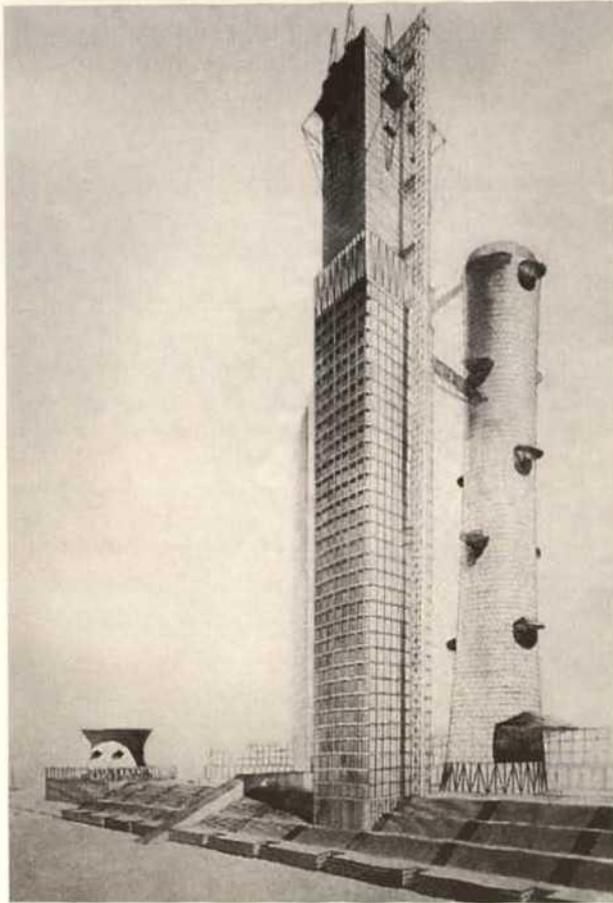
20. Kühlturmplanung der DEMAG, Duisburg 1931.

21. Espenhain, Kühltürme des Kraftwerks I (Foto April 1940).



große Zahl von Einzeluntersuchungen wesentlich verbessert. Außerdem war die Entwicklung neuer Bauverfahren, wie etwa das Kletter- und das Gleitbauverfahren, eine wesentliche Voraussetzung für das kräftige Wachstum der Großkühler.

Das um 1930 zunehmende Interesse am Hyperboloid als Bauform war keineswegs auf den Kühlturmbau beschränkt. Iwan Leonidow z. B., einer der Protagonisten der sowjetischen Architekten-Avantgarde in den späten 20er und frühen 30er Jahren, hat die Form des Hyperboloids mehrfach in Skizzen

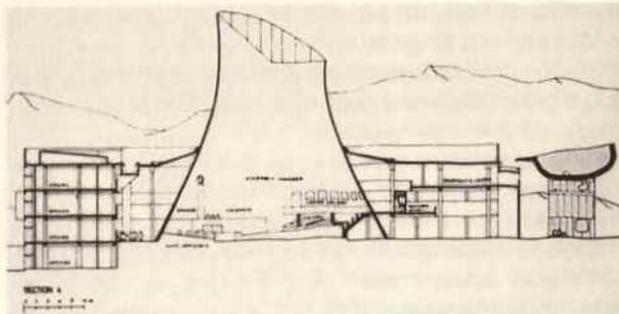


21. Iwan Leonidows Wettbewerbsentwurf für das Volkskommissariat für Schwerindustrie in Moskau, 1934.

und Entwürfen aufgegriffen. Sein Wettbewerbsentwurf von 1934 für den Neubau des Volkskommissariats für Schwerindustrie in Moskau (Abb. 21) zeigt das Motiv gleich zweifach: eines von drei Hochhäusern und der niedrige, etwas abgesetzte Baukörper des Arbeiterclubs sind als Hyperboloide ausgebildet.

Bruno Taut hat in seiner 1936/37 verfaßten „Architekturlehre“ versucht, die Faszination dieser und verwandter Formen zu ergründen: „Nur ganz geniale Konstruktionen sind in sich selbst so geschlossen, daß sie jene Freude an der Logik menschlicher Vernunft auslösen. Am meisten trifft dies bei mathematischen Kurven komplizierter Natur zu, wie Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln u. a., wie es eben der Eiffelturm und außerdem besonders schön die Luftschiffhalle von Freyssinet zeigen“. (Hier hätte Taut ebenso gut die Kühltürme von van Iterson und Kuypers nennen können.) „Ganz reine Linien, also

die absolute Gerade, der absolute Kreis, der Kubus usw. dagegen beunruhigen und lassen das Auge nicht zur Ruhe kommen (...). Der Mensch kann mathematisch in der abstrakten Form denken, aber sein Auge will dergleichen nicht sehen. Mit der Musik verglichen, will das Auge ebenso wie das Ohr Zwischentöne aufnehmen und kann ebenso wenig eine mathematische Musik ertragen. Wahrscheinlich findet es in den Parabeln und Hyperbeln schon einiges von jenen Zwischentönen, und deshalb bewundert es derartige Ingenieurwerke.“



22. Chandigarh, Parlamentsgebäude von Le Corbusier, 1953-1962, Schnitt.

23. Brasília, Kathedrale von Oscar Niemeyer, 1959-1970.



Nach dem Zweiten Weltkrieg gibt es einige durchaus überraschende Anwendungen des Hyperboloids in der Architektur. Le Corbusier z. B. hat beim Parlamentsgebäude (1953-1962) in Chandigarh den Plenarsaal im Zentrum der Anlage als Hyperboloid mit Stahlbetonschale ausgeführt (Abb. 22). Nach Le Corbusiers eigener Aussage wurde er dazu durch die Form von Kühltürmen angeregt.

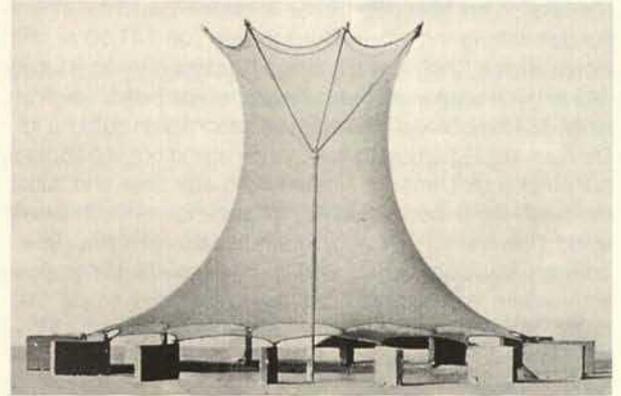
Oscar Niemeyer hat die 1959 entworfene und 1970 fertiggestellte Kathedrale in Brasília (Abb. 23) als Hyperboloid ausgebildet, das nicht aus einem Flächentragwerk, sondern aus 16 sichelförmigen Stahlbeton-Hohlrippen und großen Glasflächen dazwischen besteht. Ein unmittelbarer Zusammenhang mit Kühltürmen, wie bei Le Corbusiers Plenarsaal, ist hier wohl nicht anzunehmen. Niemeyer hat die markante Gestalt der Kathedrale damit begründet, daß er eine formal in sich geschlossene Lösung angestrebt habe, „die von jedem Gesichtswinkel dieselbe Reinheit der äußeren Linienführung zeigen sollte. So gelangten wir zur Rundform, die, außer jener Forderung gerecht zu werden, eine geometrische, rationale und konstruktive Disposition des Baues ermöglicht“. Bei seiner

Maison de la Culture in Le Havre (1972 entworfen und 1982 fertiggestellt) hat Oscar Niemeyer das Theater als gedrungenes, etwa in Taillenhöhe endendes Hyperboloid mit einem weitgehend geschlossenen Stahlbetonmantel ausgeführt. Eine Abweichung von der regelmäßigen Grundform ergibt sich aus der geneigten Achse.

### Die Seilnetzkonstruktion

Im Kühlturmbau gab es zu Beginn der 70er Jahre im Zusammenhang mit der Umweltdebatte einen kräftigen Innovationsschub, nachdem sich in den 60er Jahren die Entwicklung auf die stetige Perfektionierung von hyperbolischen Betonschalen konzentriert hat. Architekten und Ingenieure setzten sich in zahlreichen Projekten mit der Frage auseinander, wie das „Zubetonieren“ der Landschaft mit Großkühltürmen etwa durch die Anwendung von Seil- und Membrankonstruktionen vermieden werden könne. Einen Überblick über die Vielfalt der Anregungen und Lösungsvorschläge gibt der Band „Leichtbau und Energietechnik“, der 1978 als Heft 11 der Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart publiziert wurde.

Beispielhaft für die damalige Suche nach neuen Wegen ist etwa Frei Ottos Projekt von 1974 für Membran-Kühltürme bis zu einer Höhe von 500 m (Abb. 24). Weil der Verdacht nahe liegen könnte, daß Vorschläge wie der von Frei Otto alle bisherigen Rekorde schlagen sollte, muß betont werden, daß der Entwurf von der Überzeugung getragen war, Bauten dieser Art seien noch eine Generation lang notwendig, bis man endlich gelernt habe, ohne sie auszukommen. Bis dahin würden als Übergangslösungen möglichst sichere und zugleich wirt-

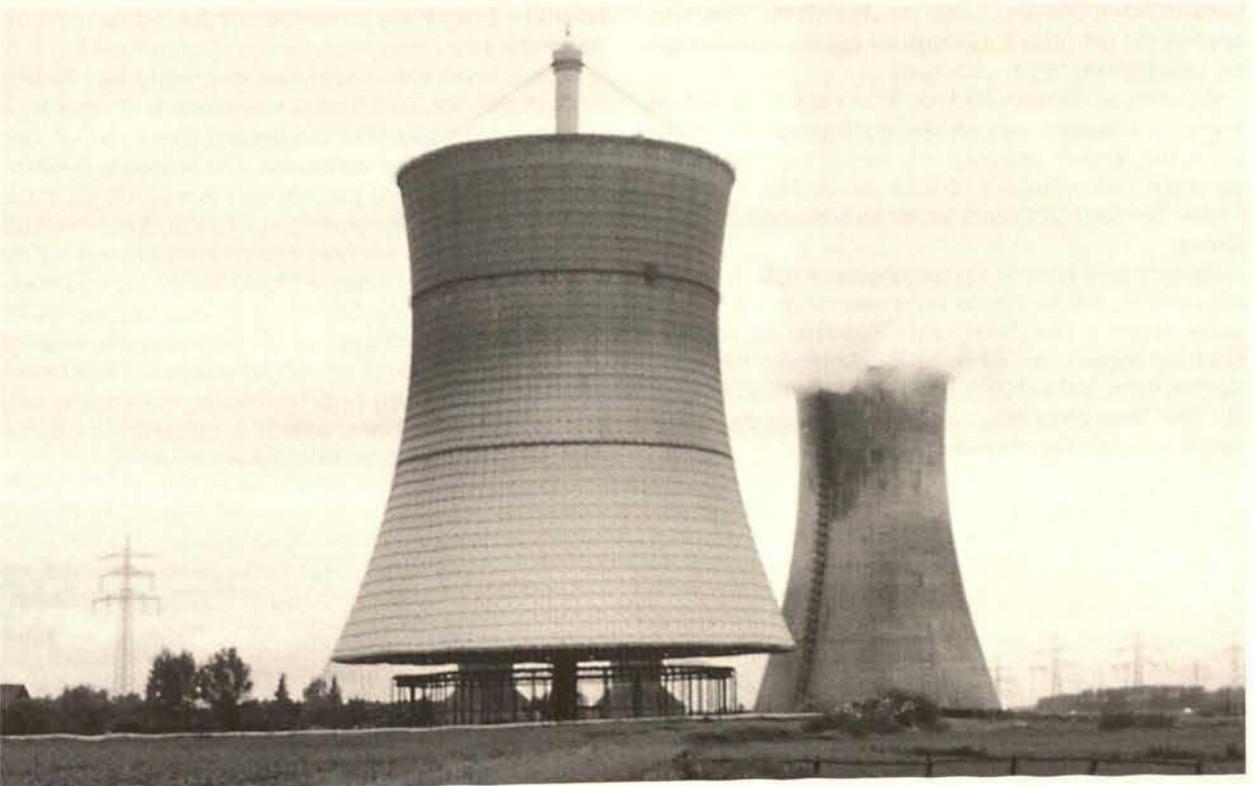


24. Frei Otto, Modell für Membran-Kühltürme bis zu 500 Metern Höhe, 1974.

schaftliche, energiesparende und doch leistungsfähige Bauten gebraucht, die genau für den Zeitraum, in dem sie gebraucht werden, konzipiert seien und ohne großen Aufwand wieder beseitigt oder neuen Aufgaben angepaßt werden könnten.

Das einzige realisierte Beispiel der innovativen Experimentierphase mit Leichtbaukonstruktionen für diese Aufgabe war der Seilnetz-Kühlturm (Abb. 25) in Hamm-Uentrop, der von Prof. Dr.-Ing. Jörg Schlaich und Ing. grad. Günter Mayr, damals als Partner bzw. als Mitarbeiter bei dem Stuttgarter Ingenieurbüro Leonhardt und Andrä tätig, 1972 geplant und 1973/74 ausgeführt wurde. Der Kühlturmmantel wurde von einem dreischarigen Seilnetz aus zweimal 108 Diagonal- und 216

25. Hamm-Uentrop, Seilnetz-Kühlturm, 1972-1974; Entwurf, Statik und Konstruktion: Ingenieurbüro Leonhardt und Andrä (Jörg Schlaich und Günter Mayr). Im Hintergrund der Stahlbeton-Kühlturm von 1967/68 (Foto 1991).



Meridianseilen gebildet. Die Seile waren zwischen einem Fundamentring mit einem Durchmesser von 141,50 m und einem oberen Ringträger mit einem Durchmesser von 91 m in 145 m Höhe verspannt. Dieser Ringträger war mittels Seilen an einen 181 m hohen, schlanken Stahlbetonmasten aufgehängt. Die Form des Hyperboloids war hier zwingend notwendig, weil nur so eine gleichmäßige Vorspannung aller Seile und damit ein durch die Dreiecksmaschen verformungssteifes Tragwerk erreicht werden konnte. Im Unterschied dazu nutzt eine hyperbolische Stahlbetonschale im Kühlturmbau die strömungstechnischen Vorzüge der Form aus und verbessert die Stabilität, ist aber keine unverzichtbare Konsequenz der Konstruktion, wie z.B. zahlreiche Exemplare zeigen, bei denen die Schale aus einem Kegelstumpf im unteren Teil und einem Hyperboloid darüber aufgebaut ist. Die Außenhaut des Kühlturms in Hamm-Uentrop bestand aus 1 mm dicken, profilierten Aluminiumblechen, die auf der Innenseite des Seilnetzes angebracht waren.

Der Bau wurde als Forschungsprojekt durch das Land Nordrhein-Westfalen gefördert, um die Anwendung der umweltschonenden Trockenkühlung mit ihrem geschlossenen Kühlkreislauf ohne Wasserverluste für Großkraftwerke in einem Pilotprojekt zu erproben. Bei herkömmlichen Naßkühltürmen beträgt die erforderliche Zusatzwassermenge etwa 1,5 bis 2 % der umlaufenden Kühlwassermenge. Daraus ergibt sich beispielsweise für den großen Naßkühlturm von 1967/68 in Hamm-Uentrop mit einem Wasserdurchlauf von 42.000 m<sup>3</sup>/h, daß pro Betriebsstunde 630 bis 840 m<sup>3</sup> Wasser zugesetzt werden müssen. Da Trockenkühltürme im Vergleich zu Naßkühltürmen für gleiche Leistung wesentlich größere Abmessungen erfordern, wurde der Bau in Hamm-Uentrop als Prototyp für künftige, wesentlich größere, in Stahlbeton kaum noch herstellbare Kühltürme entworfen. Konstruktiver Erfindungsreichtum und erheblicher Aufwand an öffentlichen Mitteln wurden hier nicht mehr zur Beförderung eines an kurzfristigen wirtschaftlichen Erfolgen orientierten „Fortschritts“ eingesetzt, sondern mit der Absicht, ökologisch negative Auswirkungen der Energiegewinnung zu verringern.

Nachdem der Thorium-Hochtemperaturreaktor, für den der Kühlturm bestimmt war, endgültig stillgelegt worden ist, wurde der Abbruch beantragt. Alle Versuche unseres Amtes, die Unterschutzstellung als Denkmal zu erwirken, blieben erfolglos. Der Seilnetz-Kühlturm wurde im September 1991 gesprengt.

Die technische Entwicklung der jüngsten Vergangenheit hat dazu geführt, daß die Zeit der Höhenrekorde im Kühlturmbau vorbei zu sein scheint. Naß-/Trockenkühltürme mit Ventilatorbelüftung haben in der Form von Kegelstümpfen mit großen Durchmessern und verhältnismäßig geringen Höhen im Laufe der 80er Jahre begonnen, bei Neubauprojekten die Ausführung von riesigen Hyperboloiden zu verdrängen.

## Resümee

Schon eine eng begrenzte und in manchem zufällige Auswahl an Beispielen – wie im vorliegenden Beitrag – deutet darauf hin, daß Kühltürme ein ergiebiges Thema der Baugeschichte sein dürften, das eine gründlichere Bearbeitung verdient. Das bisher geringe technik- und baugeschichtliche Interesse an Kühltürmen ist vor allem deshalb erstaunlich, weil im Laufe der gut hundertjährigen Entwicklung der Bauaufgabe eine große Vielfalt unterschiedlicher Konstruktionen und Formen entstanden ist. Gestalterische Absichten haben dabei bis auf wenige Ausnahmen anscheinend keine oder nur eine untergeordnete Rolle gespielt. Trotzdem beeindruckt die zahlreichen Varianten in allen Entwicklungsphasen des Kühlturmbaus jeweils durch ihre prägnante Form. Es ist sicher keine Übertreibung, wenn man z.B. die hyperbolischen Stahlbetonschalen der niederländischen Ingenieure van Iterson und Kuypers zu den herausragenden Ingenieurleistungen zählt, die gleichzeitig auch als eine der erfolgreichsten großen Formschöpfungen des 20. Jahrhunderts einzustufen ist, oder wenn man etwa Jörg Schlaichs Seilnetz-Kühlturm als einen der bewundernswerten Höhepunkte der im 19. Jahrhundert einsetzenden „Kunst der sparsamen Konstruktion“ bewertet, die Baumasse durch konstruktive Intelligenz ersetzt, und von der die moderne Architektur seit ihren Anfängen entscheidend mitgeprägt worden ist.

Zusammen mit Fördergerüsten und -türmen, mit Kohlentürmen, Hochöfen, Wassertürmen, Gasbehältern und anderen baulich ausgeprägten industriellen Großgeräten und -behältern gehören Kühltürme zu den einprägsamen Zeugnissen der Industriekultur der letzten hundert Jahre. Im Zusammenhang des einzelnen Betriebes, für den Kühltürme gebaut wurden, tragen sie oft zum Verständnis früherer Betriebsabläufe wesentlich bei. In einzelnen Regionen, wie z.B. im Gebiet zwischen Emscher und Lippe, machen jüngere Kühltürme deren historische Entwicklung zu Energiezentralen des ganzen Landes anschaulich.

Neben diesen eher pauschalen geschichtlichen Bedeutungsgehalten von Kühltürmen im allgemeinen ist sicher auch ein besserer Überblick über den Bestand älterer und jüngerer Kühltürme und darauf aufbauend eine wertende Differenzierung erforderlich. Erst dadurch wird es möglich, die individuelle Bedeutung des jeweiligen Einzelstückes herauszuarbeiten. Nur so läßt sich wohl eine konkrete Antwort auf die Frage finden, ob das einzelne Objekt Beachtung und Rücksichtnahme als Kulturgut verdient, ob es als Altlast oder als Teil eines Altlastkomplexes eventuell als Gefahrenquelle beseitigt werden sollte, oder ob es sich möglicherweise um eine besonders intelligente Lösung eines bestimmten Problems handelt, die rückblickend erst heute, vielleicht in Unkenntnis der damaligen Aufgabenstellung, als Altlast bewertet wird.

## Nachwort zur Literatur und zu den Quellen

Um die Detailangaben des vorliegenden Beitrages überprüfbar und gegebenenfalls weiterverwertbar zu machen, wäre es notwendig gewesen, den Text mit Anmerkungen zu versehen. Darauf wurde verzichtet, weil der Eindruck entstanden wäre, es handle sich um das Ergebnis einer sorgfältigen, gut fundierten wissenschaftlichen Arbeit. Tatsächlich baut der Beitrag nicht auf einer systematischen Literaturrecherche auf.

An allgemeiner Literatur über den Kühlturmbau wurden folgende Publikationen herangezogen:

Arpad Zathureczky: Bau und Betrieb von Kühltürmen (Bauingenieur-Praxis, Heft 78). Berlin/München/Düsseldorf 1972. Der Band wurde verfaßt, um „den Betriebsingenieur mit den sich im Kühlturm abspielenden Vorgängen und mit der Physik der Verdunstungskühlung bekanntzumachen“.

Erhard Hampe: Kühltürme. Berlin 1975. Das Buch dient vor allem dazu, Bauingenieure und Industriearchitekten über den damals aktuellen Entwicklungsstand des Kühlturmbaus zu informieren. Mit einigen Tabellen sind Informationen zur Entwicklungsgeschichte eher beiläufig eingestreut. Der Zielsetzung dieses Bandes entspricht das ausführliche Verzeichnis ingenieurwissenschaftlicher Literatur.

Leichtbau und Energietechnik (Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke/IL der Universität Stuttgart, Heft 11). Stuttgart 1978. Neben der ausführlichen Behandlung von Alternativen zu Stahlbeton-Kühltürmen, darunter auch ein Beitrag von Jörg Schlaich und Günter Mayr über den Seilnetzkühlturm in Hamm-Uentrop, enthält der Band eine kleine Sammlung von Kühlturmpatenten und Abbildungen älterer Kühltürme.

Außerdem standen Kopien von älteren Prospekten der Firmen Gottfried Bischoff, Balcke & Co und Zschocke-Werke A.G. zur Verfügung.

Beispiele früher Kühltürme wurden vor allem folgenden Publikationen entnommen:

Fritz v. Emperger (Hrsg.): Handbuch für Eisenbetonbau, 2. Aufl., Bd. 7. Berlin 1912, und Bd. 11. Berlin 1915.

Werner Lindner: Die Ingenieurbauten in ihrer guten Gestaltung. Berlin 1923. ders.: Bauten der Technik. Ihre Form und Wirkung. Berlin 1927.

Zu den „Architekten-Kühltürmen“ in Bönen-Altenböge und in Dortmund-Eving:

Wilhelm Busch: Bauten der zwanziger Jahre an Rhein und Ruhr. Architektur als Ausdrucksmittel (Beiträge zu den Baudenkmälern im Rheinland, Bd. 32). Köln 1993.

Die hyperbolischen Türme in Rußland sind beispielhaft bearbeitet in:

Rainer Graefe, Murat Gappoev, Ottmar Pertschi, Vladimir G. Suchov (Schuchow) 1853-1939. Die Kunst der sparsamen Konstruktion. Stuttgart 1990.

Über die geschichtliche Bedeutung des Seilnetzkühlturmes in Hamm-Uentrop:

Imme Wittkamp: „Der Seilnetzkühlturm des Kernkraftwerkes Hamm-Uentrop/Schmehausen.“ In: TKD (Technische Kulturdenkmale), Heft 24, April 1992, S. 2-6.

Eberhard Grunsky: „Der Seilnetzkühlturm in Hamm-Uentrop: Zu jung, um Denkmal zu sein.“ In: Deutsche Kunst und Denkmalpflege, Jg. 51, 1993, S. 69-85.

Zu den Naß-/Trockenkühltürmen der jüngsten Vergangenheit:

Knut W. Menzel: „Umweltschützer. Entwicklungen im Naßkühlturmbau.“ In: Energie 4, 1988, S. 12-14.

Für den Stahlbeton-Kühlturm in Hamm-Uentrop sind Maße und Datierung einer Prospektmappe der Hochtief AG, Essen, für den Kühlturm des Kraftwerkes Gerstein in Werne-Stockum dem Aufsatz: Hans-Jürgen Neimann; Hans Ludolf Peters, Wolfgang Zerna: „Naturzugkühltürme im Wind.“ In: Beton- und Stahlbetonbau, Jg. 67, 1972, S. 121-129, entnommen.

Für die entsprechenden Angaben über den Kühlturm in Lünen bin ich Herrn Wolfgang Balzer (Stadt Lünen, Untere Denkmalbehörde) und über den des Kraftwerkes Knepper bei Dortmund-Mengede der VEBA Kraftwerke Ruhr AG in Gelsenkirchen zu Dank verpflichtet. Für Fotos und Pläne mit detaillierten Maßangaben von den Kühltürmen des Kraftwerkes Espenhain danke ich der Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH in Borna.