

# Technische Türme

# Technische Türme

Autoren:

Burkhard Pahl

## 1. Leuchttürme



Abbildung 41: Laternenhaus mit diagonalen Streben, Christiansø bei Bornholm, Dänemark

Die Funktion (Leuchtfeuer, Warn- und Signalfunktion), Bauweise und Ästhetik dieser nach 2000 Jahren aussterbenden Gattung technischer Türme hat ihn zum technischen Denkmal schlechthin werden lassen. Bildhaft steht hierfür die Generation ab ca. 1850, mit konisch zulaufendem Schaft und aufgesetztem Laternenhaus. Die Feuerschalen der Antike und des Mittelalters wurden zur besseren Sicherung der Seewege systematisch durch Hochleistungslampen (Waltran, Petroleum, Gas, später elektrisches Licht) mit Reflektoren und Licht lenkenden Glaskörpern (Fresnellinsen ab 1823) größerer Reichweite [Williams, 5, S. 55] ersetzt und mit Kennungen (Art der Lichtdauer, Wiederholung, Lichtfarbe) versehen. Allein die Konstruktion des Laternenhauses (in der Regel sehr schlanke diagonale, verglaste Verstrebungen) ist Ausdruck der technologischen Reife (Abbildung 41).

Herausragend ist die bautechnische Erstellung der Türme entlang der französischen und englischen Atlantikküste (Kéréon, Wolf Rock, Eddystone u. a.) oftmals mehrfach überbaut, mit dem Zwang zur Vorfertigung und der Fähigkeit zur Aufnahme von gewaltigem Wasserdruck. Die Türme der Nachkriegszeit (welche in der Regel Feuerschiffe ersetzten) können hinsichtlich der Gründung mit der Technologie moderner Offshore-Anlagen verglichen werden. Verankerungstiefen von 20 – 40 m wurden erprobt (Großer Vogelsand 39 m, Alte Weser 23 m unter Wasser Abbildung 42), nebst Ballastkörper, Tanks und 89% Helikopterplattform. Die typologischen Ansätze – mit Ausnahme der nordamerikanischen Gitter- und Holztürme – lassen sich an den Leuchttürmen an der deutschen Küste gut aufzeigen, darunter Kap Arkona (unter Verantwortung von S. F. Schinkel, Roter Sand und das Seefeuer Wangerooge 1966 – 67 in Stahlbeton errichtet und dem Fernmeldeturm verwandt).

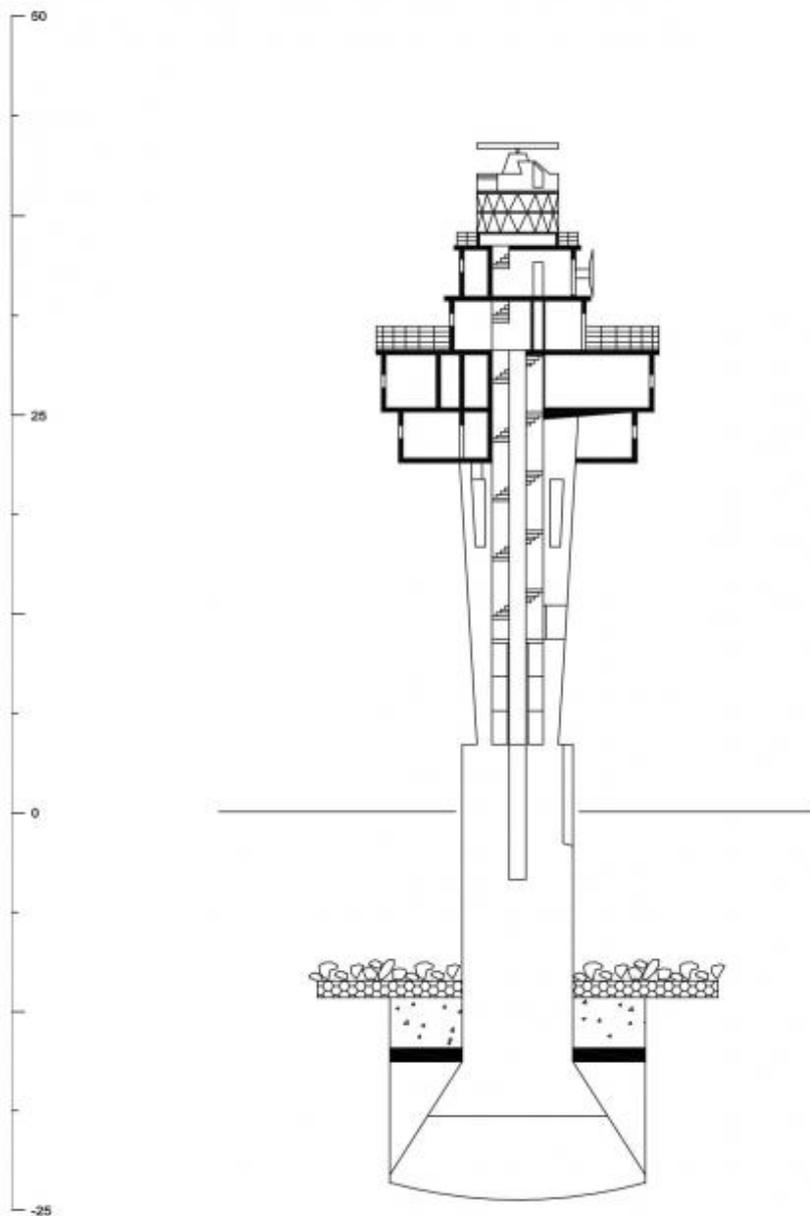


Abbildung 42: Schnitt Leuchtturm ‚Alte Weser‘ mit Brunnengründung (Kegelfundament und Auf-last), konischer Stahlbetonschaft mit integrierten Öltanks (4,80 – 6,80 m Durchmesser), Kopfteil mit 17 m Durchmesser nach Drechsel [3]

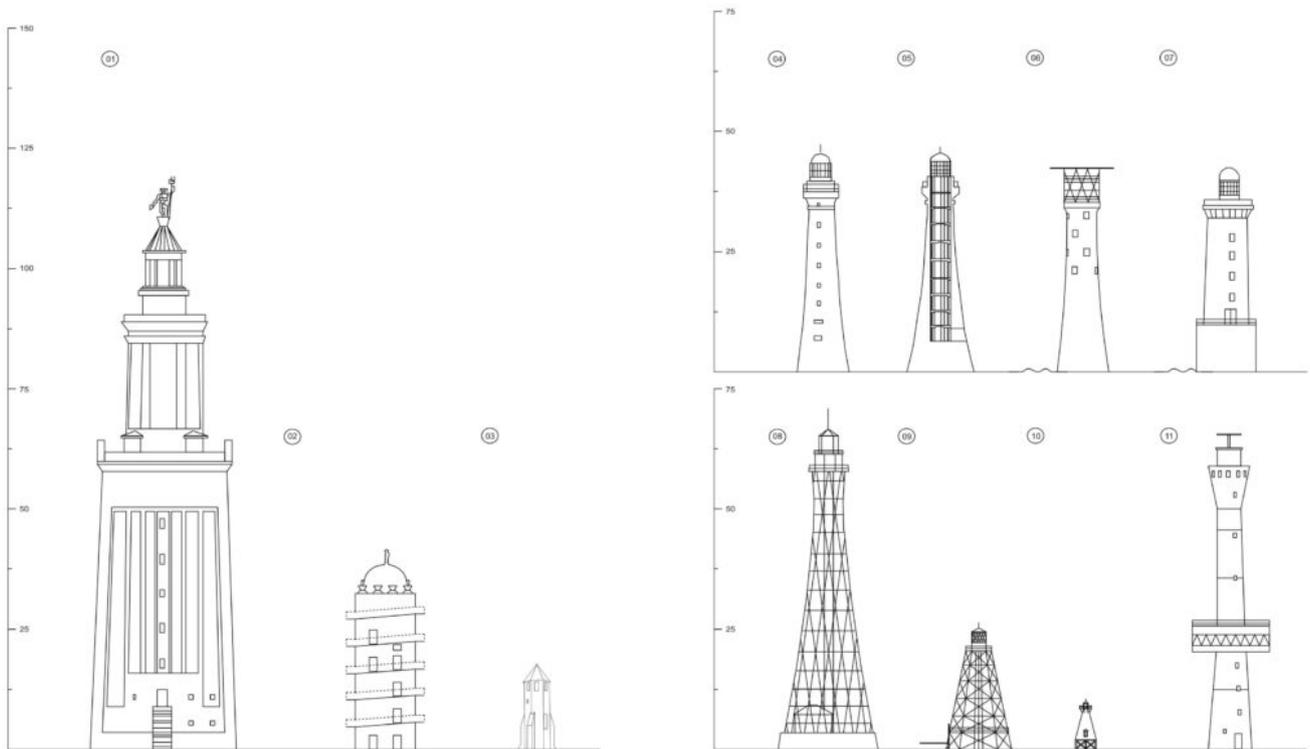


Abbildung 43: Leuchttürme

Tabelle 7: Leuchttürme

	Ort	Baujahr	Höhe
01	Pharo, Alexandria	290 – 270 v. Chr.	122m
02	La Coruna	ca. 400 n. Chr.	40m
03	Chale Down	o.A.	18m
04	Skerryore, Schottland	1844	48m
05	Skerryore Schnitt	s.o.	s.o.
06	Wolf Rock, England	1870	41m
07	Kereon, Frankreich	1916	41m
08	Adzuigol, Cherson	1911	68m
09	Sand Key, USA	1853	25m
10	Point du Chene, USA	1895	14m
11	Wangerooge Seefeuer, Deutschland	1966 – 1967	64m

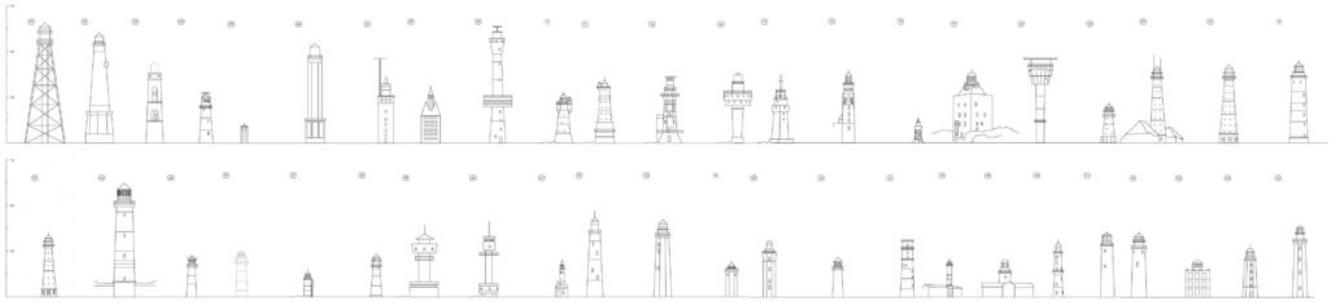


Abbildung 44: Leuchttürme an deutschen Küsten nach Fotodokumentation von H. Bauermeister und Nerlich [36], jedoch von Westen nach Osten

**Tabelle 8:** Leuchttürme an deutschen Küsten

01	Leuchtturm Campen	1891	65m
02	Leuchtturm Borkum	1879	60m
03	Alter Leuchtturm Borkum	1576	45m
04	Kleiner Leuchtturm Borkum	1888-89	27m
05	Pilsum	1888-89	11m
06	Norderney	1874	54m
07	Helgoland	1952	35m
08	Wangerooge Westturm	1933-34	56m
09	Wangerooge Seefeuer	1966-67	64m
10	Roter Sand	1885	28m
11	Arngast	1909-10	36m
12	Hohe Weg	1885	36m
13	Alte Weser	1960-63	37m
14	Robbenplate	1923-24	37m
15	Bremerhaven Oberfeuer	1854-55	38m
16	Kaiserschleuse Ostfeuer	1900	15m
17	Neuwerk	1299 -1310	39m
18	Grosser Vogelsand	1973 – 1975	44m

19	Büsum	1912-13	22m
20	Westerheversand	1908	40m
21	Pellworm	1906-07	41m
22	Amrum	1875	42m
23	Hörnum	1907	34m
24	Kampen	1856	62m
25	List Ost	1856-57	22m
26	Bülk	1863-65	25m
27	Schleimünde	1861	14m
28	Falkshöft	1908-09	24m
29	Leuchtturm Kiel	1964-67	34m
30	Friedrichsort	1971	32m
31	Holtenauer Schleuse	1895	20m
32	Flügge	1916	42m
33	Neuland	1915-16	40m
34	Westermarkelsdorf	1881	17m
35	Dameshöved	1880	29m
36	Staberhuk	1904	22m
37	Travermünde	1539	31m
38	Timmendorf	1872	21m
39	Buk	1876-78	21m
40	Warnemünde Seefeuer	1898	31m
41	Darßer Ort	1849	35m
42	Kap Arkona	1902	35m
43	Kap Arkona	1828	21m
44	Dormbusch	1888	26m
45	Greifswalder Oie	1855	39m

## 2. Fernmeldetürme

Die funktionale Sicht auf fernmeldetechnische Türme bedarf der näheren Erläuterung von Veränderungen hinsichtlich der technologischen Anforderungen. Die frühen Masten (Mühlacker, Gleiwitz) und Türme dienten der Übertragung von Radiowellen, militärischer und nachrichtentechnischer Nutzung. Das höchste Bauwerk der Welt ist bis heute ein Mast eben dieser Funktion (KVLY-Mast mit 628 m Höhe). Mit der systematischen Einführung von Richtfunkstrecken nach dem zweiten Weltkrieg zur Übertragung jeglicher Daten war ein dichtes Netz von Türmen erforderlich, welche über Plattformen verfügen mussten zur Aufstellung von Parabol-Antennenkörpern.

Die flächendeckenden Netze sollten eine Redundanz besitzen durch die Möglichkeit der Umschaltung auf andere Richtfunkstrecken (Ausweichen von Gewitterlagen, techn. Ausfall, etc.). Dies war die Geburtsstunde von Typentürmen, welche in großer Zahl bis Enden der 80er Jahre errichtet wurden (Abbildung 45).

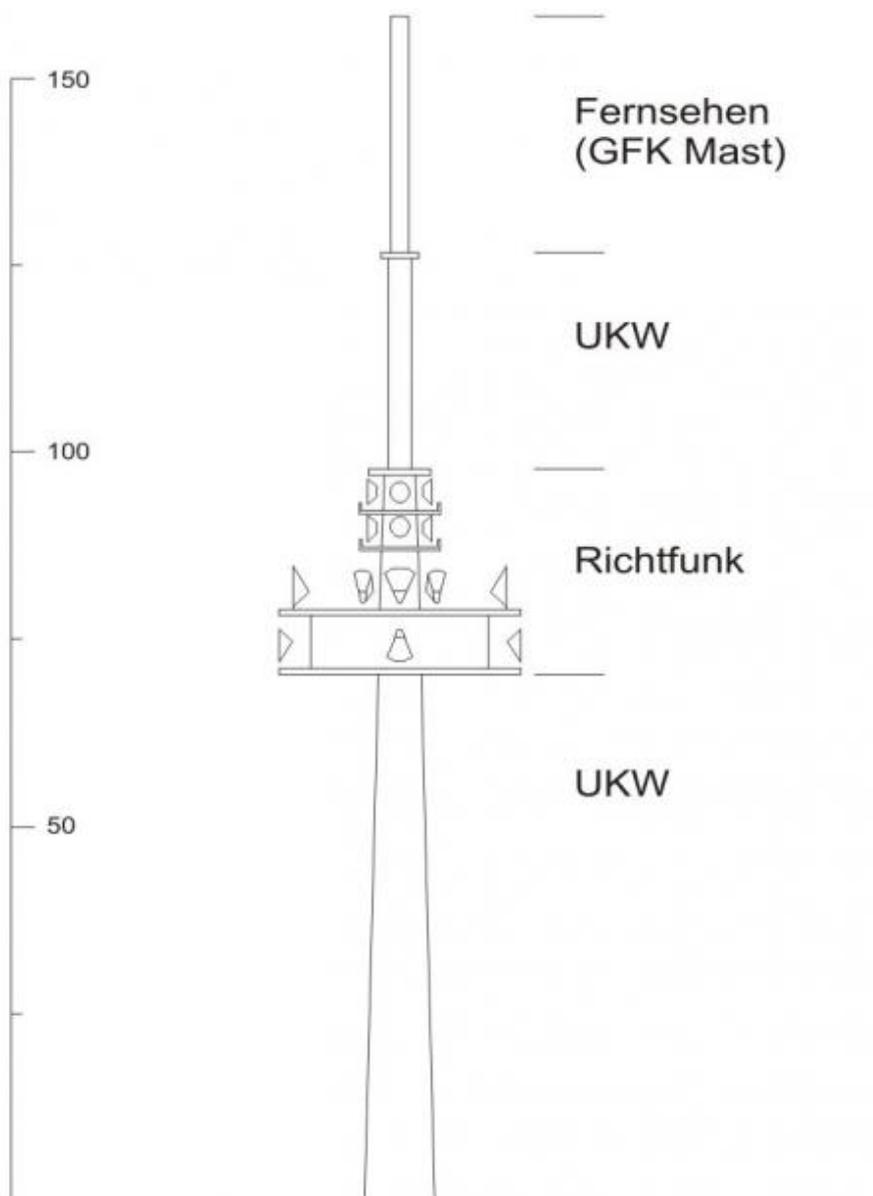


Abbildung 45: Schema mit klassischer Antennenbelegung nach Richtzeichnung

Der terrestrische Fernsehempfang (ab 50er Jahre) erforderte zusätzlich Turmstandorte mit flächendeckender Abstrahlung in die Ballungsräume und Großstädte. Der Typus ‚Fernsehturm‘ war geboren und sprachlich mit der Bauform Stahlbetonschaft, hoch liegendes Betriebsgeschoss und aufgesetztem Mast verknüpft (Sinnbild des Stuttgarter Fernsehturms) und löste einen Boom derartiger Türme aus, welche mit Aussichtsplattform und individueller Gestalt zu Wahrzeichen der jeweiligen Städte avancierten. Letztlich diente nur ein kleiner Teil der Signalabstrahlung von Fernsehbildern, weshalb der Begriff

‚Fernsehturm‘ (vgl. Fritz Leonhardt, [37]) zu eng gefasst ist. Satellitentechnik, Kabelfernsehen und Mobilfunk haben die technologischen Voraussetzungen drastisch verändert. Für den Mobilfunk sind Stabantennen ( $l = \text{ca. } 2,00 \text{ m}$ ) erforderlich, welche nach Betreibern getrennt kleinere Masten (Schleuderbeton-, Gittermasten), Hochhäuser und Kirchtürme belegen.

Obsolet werden Fernmelde- und ‚Fernsehtürme‘ nicht, da auch digitale Daten terrestrisch abgestrahlt werden und die geforderte Empfangsqualität qualifizierte Standorte und Redundanz erfordert.

Das Bewusstsein für die Zeichenhaftigkeit von Fernmeldetürmen hat heute in innerstädtischen Lagen zu einer Individualisierung der Formen geführt, welche über die Sinnhaftigkeit leistungsfähiger Tragwerksformen weit hinausgeht.

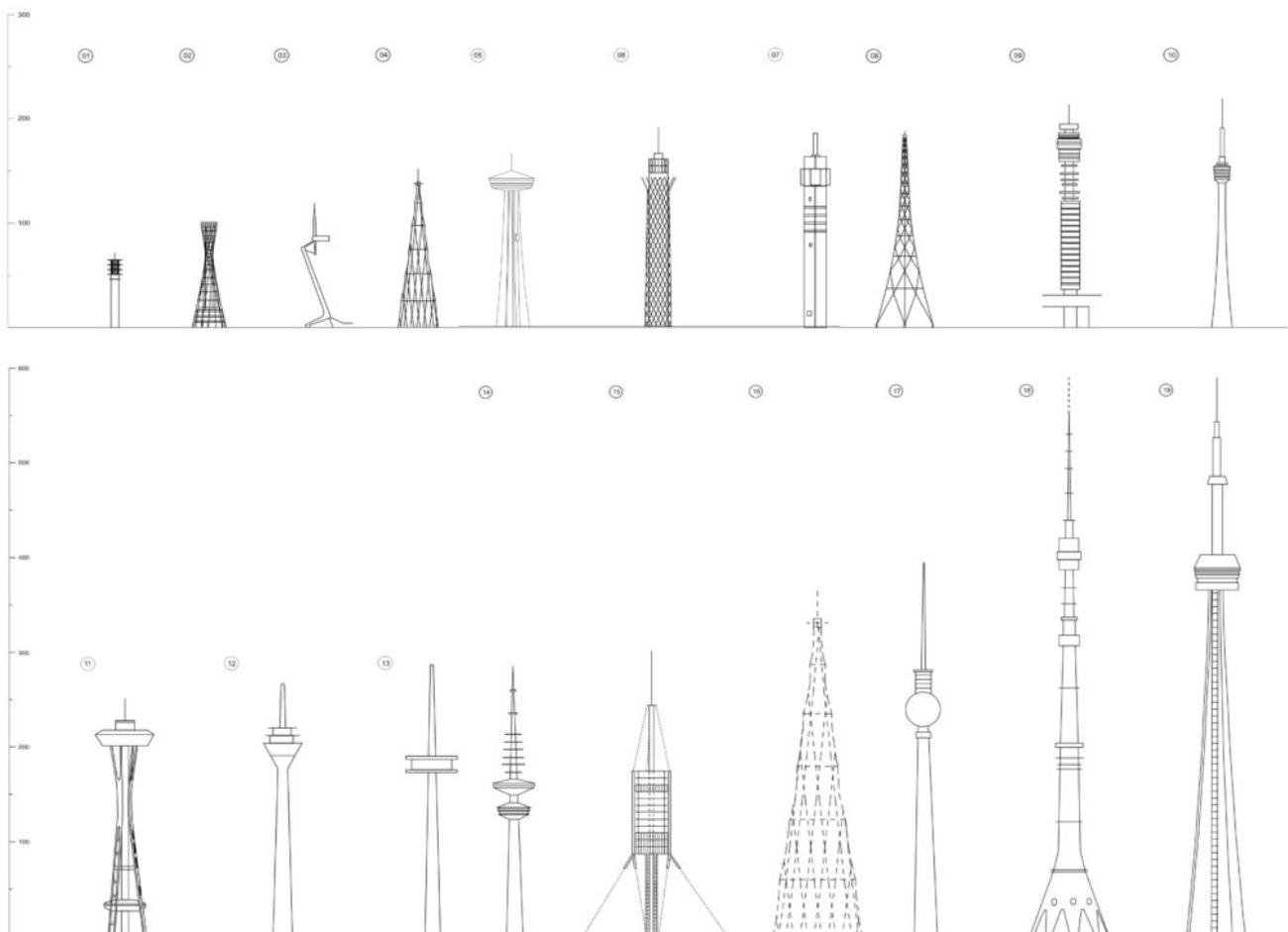


Abbildung 46: Übersicht Fernmeldetürme und ausgewählte Masten

**Tabelle 9:** Fernmeldetürme und ausgewählte Masten

01	FMT 1	1952 – 1954	69,2m
02	Kobe	1959	100m
03	Barcelona, Montjuic	1989 – 1992	110m
04	Radioturm, Moskau	1919 – 1922	150m
05	Niagara Falls, (Skylon)	1963	160m
06	Kairo	1971	175m
07	Stockholm, Kaknästornet	1963	177m
08	Mühlacker	1933 – 1934	190m
09	London	1969	210m
10	Fernsehturm Stuttgart	1953 – 1955	217m
11	Space Needle, Seattle	1962	223m
12	Düsseldorf	1982	235m
13	Koblenz	1976	255m
14	Hamburg	1966	272m
15	Torre de Collseola, Barcelona	1988 – 1992	288m
16	Radioturm Moskau (geplant)	(1919)	(350m)
17	Berlin Ost	1969	365m
18	Moskau – Ostankino	1959 – 1967	537m (577m)
19	CN – Tower	1974 – 1975	553m

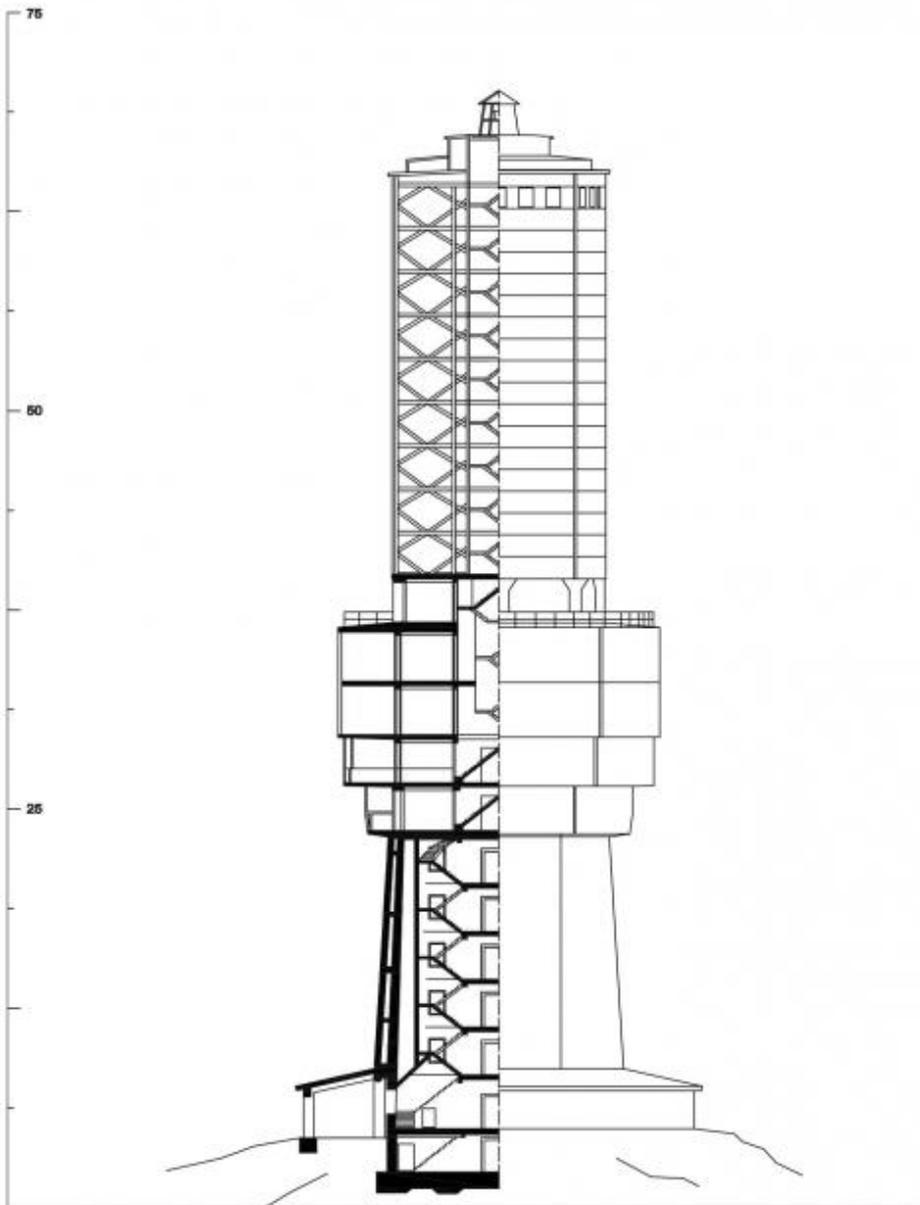


Abbildung 47: Schnitt Fernmeldeturm, Großer Feldberg im Taunus, Wiederaufbau auf quadrati-schem Stahlbetonschaft (21,20 m) achteckiges Stahlskelett mit Stahlbetondecken (17,65 m), darüber bekleidetes Holzskelett unter Verzicht auf metallene Verbindungsmittel (30,28 m), 2003 erneuert [Drechsel, 30]

### 3. Schlote und Kühltürme



Abbildung 48: Abgasschornstein der Bank Side Power Station, London, H = 93 m, heute Tate Modern (Kunstmuseum)

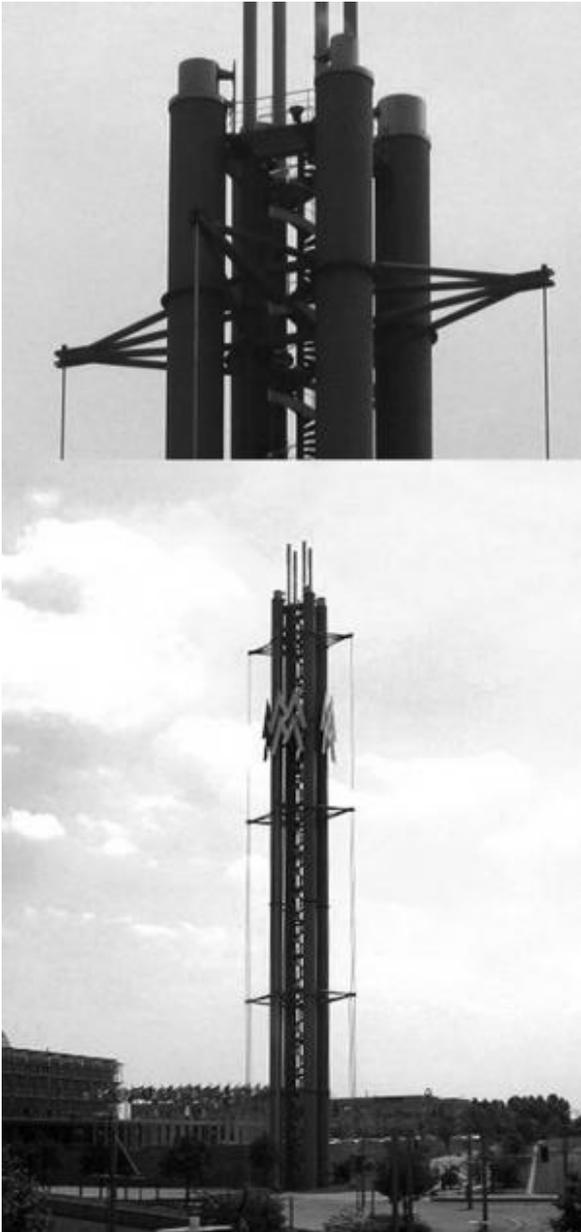


Abbildung 49: Messeturm und Abgasschornstein Leipzig, Arch. GMP und Ing. Schlaich und Bergemann

Zu allen Zeiten des Bauens wurden Rauchgase und erwärmte Luft über Kamine, Dachaufsätze (Venturi-Effekt) derart abgeleitet, dass sich eine Thermik ausbildete (Kaminzug), oftmals mit geregelter Zufuhr von Frischluft durch das gesamte Bauwerk.

Im Zuge der Industrialisierung wurden offene Feuerstellen systematisch mit Abzugskaminen (Esse) versehen und zunächst integrierter Bestandteil der Bauwerke (vgl. Sayner-Hütte). Es etablierte sich die Bauart des frei stehenden Kamins, welcher

bereits Auskleidungen (Schamottsteine) gegen Hitze besaß. Gemauerte Abgasschornsteine erreichten in den 50er Jahren Bauhöhen bis 120 m, bei einem lichten Durchmesser von ca. 7,0 m am Turmkopf (Kraftwerke Trattendorf III, [Drechsel, 30, S. 323 ff.]).

Die thermischen Belastungen auf solche Bauwerke waren immens. Bei einer herkömmlichen Einleitung der Rauchgaskanäle in ca. 10 – 15 m Höhe betrug die Temperaturen innerhalb der Auskleidung 130 – 160° C in ca. 50 m Höhe. Darüber hinaus bestand die Gefahr des Austritts von Kondensat.

Industrieschornsteine besitzen heute eine Luftschicht zwischen Abgasrohr (mit offenem Luftein- und -austritt) und tragender Hülle, was zu einem beherrschbaren Temperaturgefälle an der Außenhülle führt. Die unmittelbare Umweltbelastung (SO<sub>2</sub>-Konzentration) führte zu Bauweisen mit Höhen bis zu ca. 300 m (vgl. Gelsenkirchen-Scholven), welche in Stahl- und Mauerwerk nicht mehr zu erzielen waren. Regelbauart sind hier zylindrische Stahlbetontürme in Gleitschalung, geeignet zur Aufnahme mehrerer Abgasrohre. Der konisch anlaufende Schaft geht in der Regel in Höhe des Eintritts der Rauchgaskanäle in einen zylindrischen Querschnitt (Mantelstärken um die 30 cm) über. Die derzeit größten Stahlbetontürme sind Westernholt-Gelsenkirchen in Deutschland mit 337 m (Baujahr 1997) und Ekibastuz, Kasachstan, mit 419,70 m Höhe bei 44 m Durchmesser an der Basis und 14,20 m am Turmkopf (Baujahr 1987). Dieser weltweit höchste Abgasschornstein besitzt erst bei ca. 300 m Höhe einen kurzen zylindrischen Querschnitt (Abbildung 50).

Zwei Entwicklungen kennzeichnen moderne Abgasanlagen:

1. Die Forderung nach Abgasentschwefelungsanlagen hat dem Streben nach großer Höhe und weiträumiger Verteilung von Schadstoffen zumindest in Europa ein Ende gesetzt.
2. Niedrige Abgastemperaturen moderner Heizungsanlagen

in gewöhnlichen Industrie- und Gebäudeschornsteinen haben zu schlankeren Querschnitten geführt und zu gedämmten Systembauweisen in Stahl.

Erneuerungen von Altanlagen führen zu Querschnittsreduzierungen (Innenrohrsysteme), um eine ausreichende Abgastemperatur zu erreichen (Versottungsgefahr) oder werden gänzlich neu erstellt.

Zu den konstruktiv und formal interessantesten Entwürfen kleinerer Abgasschornsteine zählt der Messeturm Leipzig von 1995, welcher Zeichen und Schlot in einer Form vereint (Abbildung 49). Er geht zurück auf die Idee der Stabilisierung eines Rohres mittels außenseitig und parallel geführter Zugverbände (Outtrigger-System), welches ursprünglich für standardisierte Fernmeldetürme angedacht war [Holgate, 38].

Vier 75 m hohe Abgasrohre werden von quadratisch angeordneten Stahlrohren gehalten und gegen Horizontallasten durch Ausleger mit vertikaler Seilverspannung stabilisiert.

Zu den leistungsfähigsten turmartigen Bauwerken, welche thermische Prinzipien einsetzen, gehören Kühltürme. Bekannt sind im Zuge der historischen Entwicklung Bauweisen in Holz, Stahl, Stahlbeton und GFK.

Während Kleinst-Bauarten im Industriebereich als geschlossene Systeme (Escher-Wyss u. a.) schlüsselfertig geliefert werden und vielfältige Anwendung finden, dienen größere Kühltürme vornehmlich bei Kraftwerken oder Kokereien der Kühlung von Wasser (Nasskühlung) bzw. Luft (Luftkühlung). Konstruktiv haben sich hyperbolische Stahlbetonschalen mit Bauwerkshöhen bis zu 180 m und geringsten Wandstärken (14 – 16 m) herausgebildet. Ingenieurtechnisch bedürfen sie einer eigenständigen und umfassenden Betrachtung innerhalb der Schalenbauweisen. Drei entwurflich signifikante Kühltürme sollen hier dennoch genannt werden: die stark eingeschnürten Kühltürme der Völklinger Hütte (Saarland), der hyperbolische

Kühlturm Berlin-Mariendorf (Dreiecksnetzstruktur) und der Trockenkühlturm Schmehausen von 1974, welcher als Seilnetzkonstruktion einen eigenständigen Lösungsansatz darstellt.

Der höchste Schlot aller Zeiten war als Turm des Aufwindkraftwerkes in Mildura, Australien, mit 1.000 m Höhe und 120 m Durchmesser geplant [Schlaich, 21].

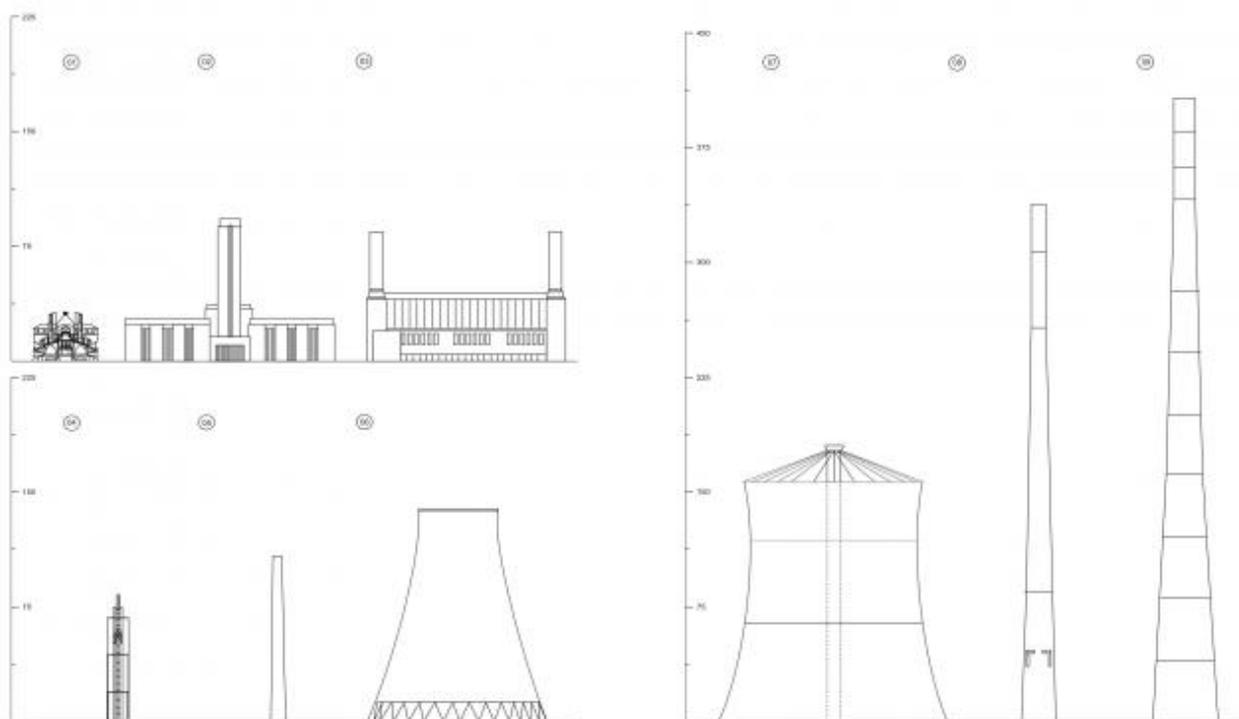


Abbildung 50: Übersicht Schlote und Kühltürme

**Tabelle 10:**Schlote und Kühltürme

01	Sayner Hütte, Bendorf	1824 – 1830	o.A.
02	Bank Side Power Station, London	ca. 1951 – 53	93m
03	Battersea Power Station, London	ca. 1932 -1934	o.A.
04	Messturm Leipzig	1995	75m
05	Schornstein Mauerwerk	50er Jahre	120m
06	Standardkühlturm		140m

07	Kühlturm Schmehausen	1974	180m
08	Gelsenkirchen – Westerholdt	1997	337m
09	Ekibastuz, Kasakhstan	1987	419m

#### 4. Behälter, Silos und Wassertürme

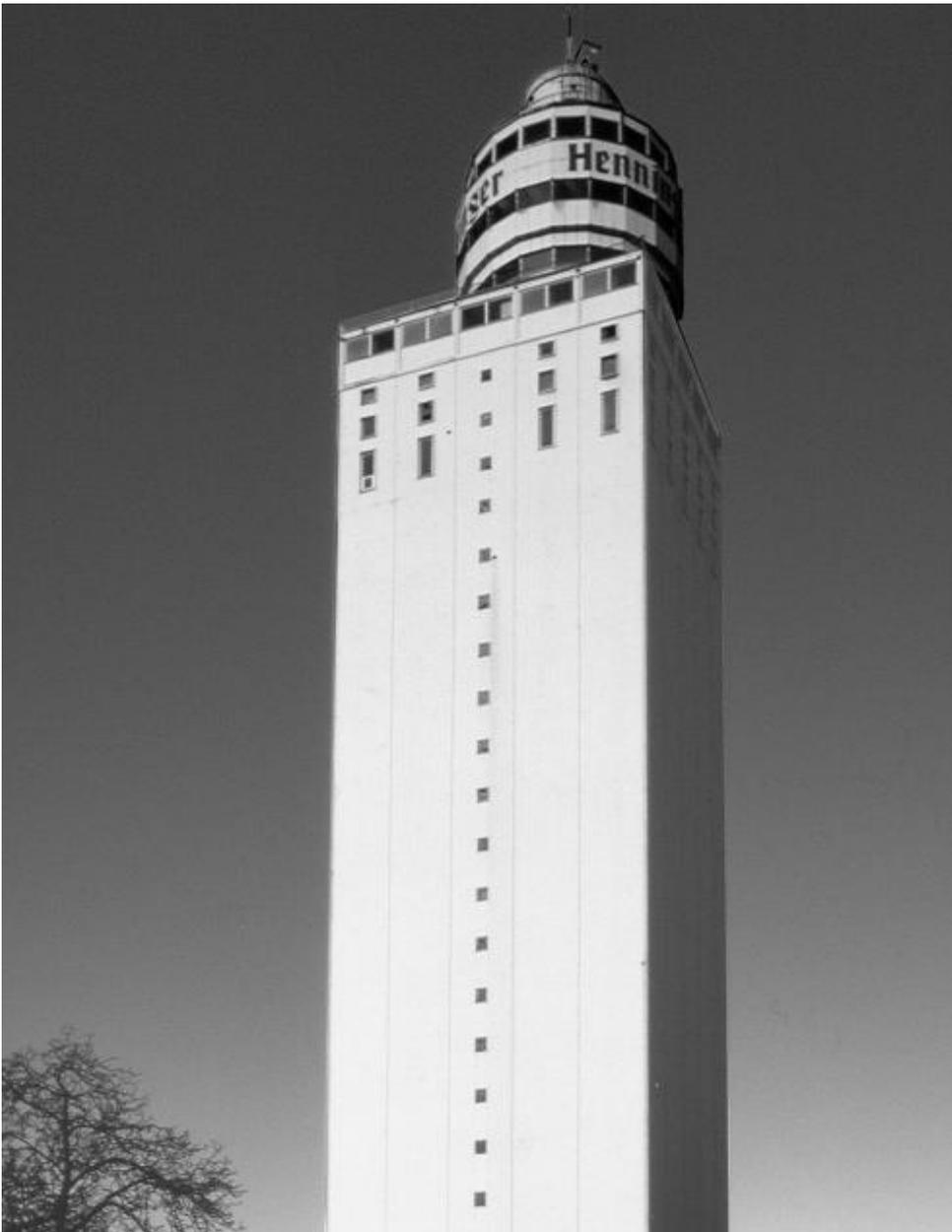


Abbildung 51: Henninger Turm, Frankfurt am Main, vermutlich höchstes Silobauwerk in Stahl-betonweise (1959 – 61) (aus [56]), inzwischen abgerissen und ersetzt durch ein Wohnhochhaus

Die Geschichte der Silobauten ist eingangs ausführlich beschrieben worden. In funktionaler Sicht ist von Bedeutung, dass die Ein- und Zwischenlagerung von Getreide, Braugerste etc. bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts zu kompakten, vertikalen Anordnungen geführt hat und sich die Bauform der Silos somit von den zunächst baugleich verwandten Holzzylindern (vgl. frühe Wassertürme) und sonstigen Einzelbehältnissen in Größe und Bauform abgelöst hat (Abbildung 53, 54).

Hinsichtlich Lastverteilung und Temperaturverhalten ist der Stahlbetonzylinder ideal. In der geometrischen Anordnung mehrerer Silozellen aus Stahlbeton ist der Zylinder als Grundform jedoch von Nachteil. Der Silo des Henninger Turmes in Frankfurt am Main (Abbildung 51) löste dieses Problem durch einen rasterartigen Aufbau (4 x 4 m) mit 18 cm Wandstärke und abgefasten Ecken, welche stützenartige Versteifungen in den Siloecken ausbilden [Höhmann, 39]. Auf dieser Grundkonstruktion lastete auch der Turmaufsatz mit Drehrestaurant nebst integrierter Vertikalerschließung. Da heute derartige Silos für den Brauereibetrieb nicht mehr benötigt werden (Anlieferung von Fertigmaische, veränderte Betriebsstrukturen) stellt sich die Frage möglicher Nachnutzungen. Hier sind die seinerzeit optimierten, schalenartigen Hüllenflächen oftmals von Nachteil, weil sie für Hochhäuser nicht die heute erforderlichen Wandstärken und Betonüberdeckungen besitzen. Diverse Beispiele zeigen, dass ein Aufschneiden der Silozellen (Fenster, Türen etc.) hingegen möglich ist.

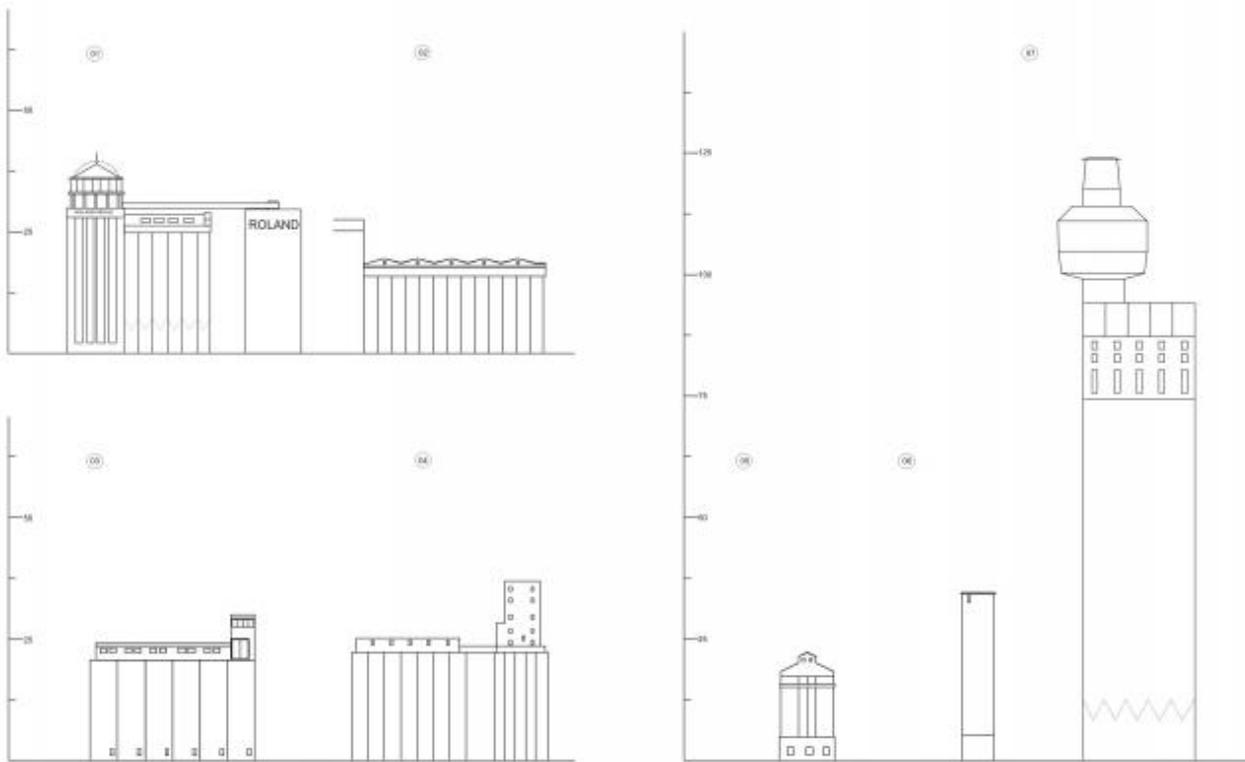


Abbildung 52: Übersicht Silobauten

Tabelle 11: Solos

01	Rolandmühle, Bremen	1909, 1929 ...	25 – 30m
02	Getreidesilo Bunge y Born, Buenos Aires	vor 1913	o.A.
03	Getreidesilo Barby an der Elbe	1922	ca. 27m
04	Getreidesilo und -speicher, Fort Williams	vor 1913	o.A.
05	Getreidespeicher, Worms	1908	ca. 25m
06	Peavy – Haglin, Minneapolis	1899 -1900	ca. 38m
07	Silo Henninger Turm, Frankfurt am Main	1959 -1961	ca. 70m

Die Entwicklung der Wassertürme ist von weitaus größerer Vielfalt geprägt (Abbildung 54). Ab Mitte des 19. Jahrhunderts begann das eigentliche Zeitalter der Wassertürme. Neben dem

Bedarf für Industrie und Stadt wurden insbesondere Wassertürme für die Speisewasserversorgung der Dampflokomotiven benötigt. Die ersten Behälter aus Holz und verschraubten Gusseisenplatten wurden durch zylindrische, genietete Blechkonstruktionen ersetzt, welche auf einen engmaschigen Trägerrost aufgesetzt wurden [Werth, 10]. Um der Frostgefahr entgegen zu wirken, wurden die Bauten umhaust bzw. das Wasser vorgewärmt. 1853 – 55 errichtete Lindley einen für die damalige Zeit beachtlichen zylindrischen Hochbehälter aus Gusseisen mit ca. 2.350 m<sup>3</sup>, ca. 30 m Durchmesser und 3,04 m Behälterhöhe [S. 341, ebenda 10] auf kreisförmigem Ziegelunterbau. Weitere Flachbodenbehälter in Schmiedeeisen und mit Ziegelunterbauten folgten in zahlreichen Städten. Eine wesentliche konstruktive Innovation stellte die Ausbildung eines Hängebodens in Form einer Kugelkalotte (vgl. Wasserturm Straßburg, 54 m Höhe und 1.050 m<sup>3</sup> Inhalt [10, ebenda]) und die Entwicklung von Stützenbodenbehältern (Intze-Patent) dar mit einschnürendem Kegelstumpf und stützender Kugelkalotte. Die wesentypische Gestalt (Abbildung 39) war gefunden, ein auskragender Behälter auf einem sich verjüngendem Schaft, welcher darüber hinaus Typenbehälter der Eisenbahn wurde (85 Stk. zwischen 1891 – 1902 mit je 500 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. [S. 357, ebenda 10]). Im Industriebau wurde ab ca. 1900 der Schritt zur allseitig umschlossenen, kugelförmigen Behälterform vollzogen, nebst üblicher Freistellung auf einem Stahlgerüst.

Nicht minder von Bedeutung war die Entwicklung von Stahlbetonbehältern, welche ab ca. 1870 einsetzte. *J. Moniersoll* 1868 in Maison-Alfort einen Behälter von 200 m<sup>3</sup> [10, ebenda] in bewehrtem Beton erstellt haben. Bekannter ist sein früher Alençon-Wasserturm in Betonbauweise der Eisenbahn mit 180 m<sup>3</sup> von 1873. Türme von *Hennebique* a. folgten, wobei der 1904 erbaute Wasserturm in Newton-le-Willows, England, auf zukünftige Bauweisen aus tragendem Skelett mit rahmenartigen Knoten verweist. Sämtliche mögliche Behälterformen (einschl. der Intze-Bauweise) wurden in Stahlbeton errichtet. Letztlich

war auch der entscheidende Durchbruch in der formalen Verschmelzung von Behälter und Schaft der Schalenbauweise und dem Stahlbeton vorbehalten. Meist auf zylindrischer Gleitschalung (ab 20er Jahre) oder Gleitschaft errichtet entfaltete sich meist ein breiter Kelch mit möglichst geringer Wassertiefe (< 8 m) bei maximalem Volumen (vgl. Wasserturm Örebro (Schweden), Höhe 75 m, mit 9.000 m<sup>3</sup>, 1957).

Die Entwicklung in den USA erfolgte losgelöst von der europäischen Stahlbetontechnologie vornehmlich in Stahlbauweise mit kugelförmigen und flachen, sphäroiden Körpern.

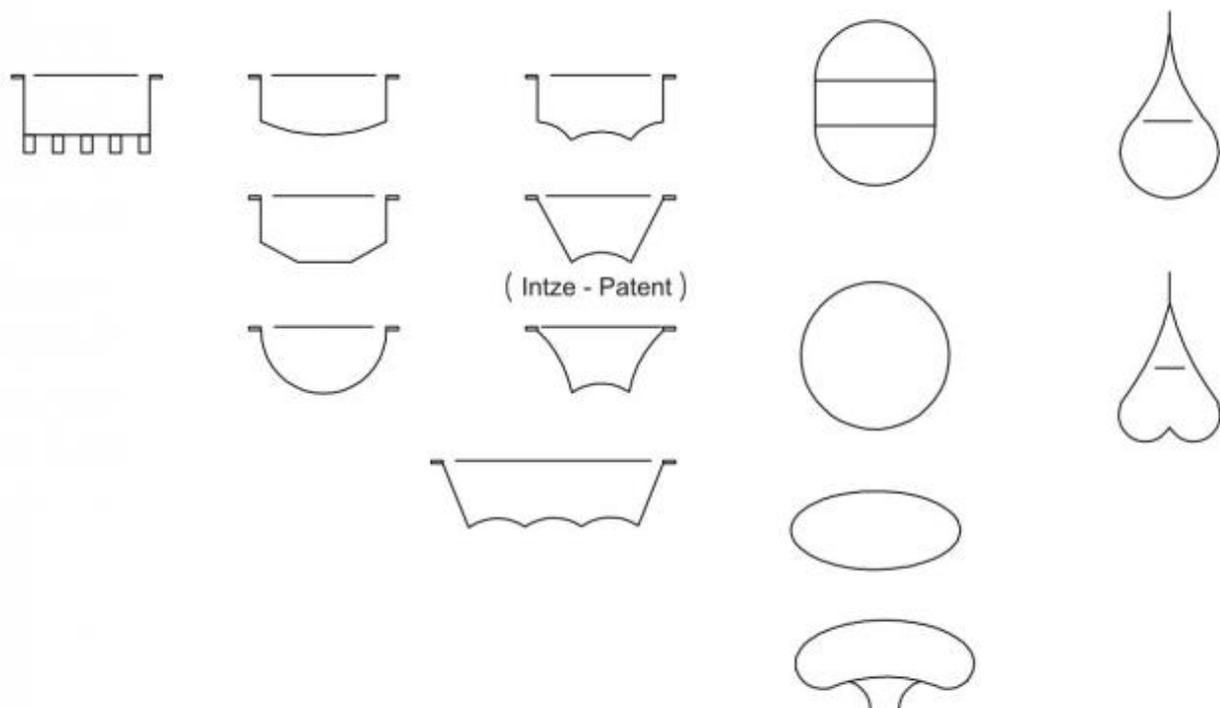


Abbildung 53: typische Behälterformen nach Werth [10], typologisch ergänzt

Von besonderer ingenieurtechnischer Bedeutung ist der Fedala-Wasserturm, Marokko, Baujahr 1957, von *E. Torroja*, welcher auf einfachsten Baugerüsten als Schale errichtet wurde (s.o.). Er verbindet die Erfahrungen von Intze, die Forderung nach geringer Wassertiefe (< 8 m) mit moderner Betontechnologie. Das innere, komplexe Bauwerk besticht nach außen durch seine formale Klarheit. Selbst die Eindeckung des Wasserbehälters

ist gewölbt (Torus). Hier greift *Torroja* auf eine Hohlziegelschalentechnologie (vgl. auch das Werk von *E. Dieste*) zurück, welche vermutlich das Temperaturgefüge im Behälter verbesserte. Das Fassungsvermögen beträgt  $3.500 \text{ m}^3$  bei 40 m Durchmesser und 10 – 18 cm Schalendicke [Ordóñez, 40].

Aus ingenieurtechnischer Sicht sind die skandinavischen Wassertürme richtungsweisend, welche von einem schlanken Schaft in eine breite Kegelschale übergehen. Wiederum ist es das Hyperboloid, welches für kleinere Wassertürme (Möglingen bei Ludwigsburg,  $400 \text{ m}^3$  bei 30 m Höhe) Funktion, Tragwerk und Erscheinungsbild zur Deckung bringt.

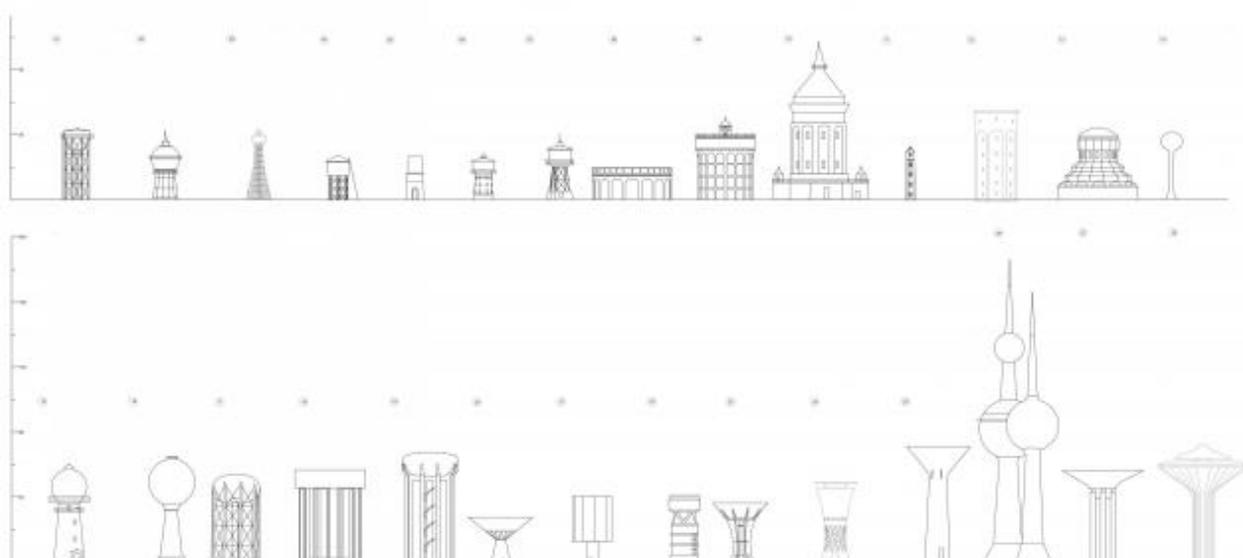


Abbildung 54: Übersicht Wassertürme

**Tabelle 12:** Wassertürme

	Ort	Baujahr	$\text{m}^3$	Höhe
01	Zeche Minister, Stein	1899	520	27m
02	Weil am Rhein	1913	500	23m
03	Nizji, Novgorad	1896	114	25,60m
04	Champaign Illinois, USA	19. Jh	o.A.	ca. 15m

05	Alencon	1873	180	ca. 13m
06	Worms	o.A.	ca. 400	ca. 18m
07	Intzebehälter	1891 – 1902	400 -500	ca. 20 -25m
08	Lindleyturm, Hamburg	1853 – 1855	2350	ca. 12m
09	Newton de Willow, England	1904	1362	ca. 28m
10	Mannheim	1886 – 1887	2000	60,33m
11	Zeipau	1922	o.A.	o.A.
12	Bochum	o.A.	o.A.	o.A.
13	Posen	1911	o.A.	o.A.
14	Circle City, New Jersey	o.A.	o.A.	o.A.
15	Köln Kalk	o.A.	o.A.	o.A.
16	Rodange, Luxemburg	o.A.	o.A.	o.A.
17	Toledo, Ohio	o.A.	o.A.	o.A.
18	Kwaadmechelen, Belgien	o.A.	o.A.	o.A.
19	Gary, Indiana ( Hortonbeh.)	ab ca. 1930	750 – 12000	o.A.
20	Dole Jura, Frankreich	o.A.	o.A.	o.A.
21	Essen Byfang	o.A.	o.A.	o.A.
22	Miesburg, Hannover	o.A.	o.A.	o.A.
23	St. Jean-de-Vedas, Frankreich	o.A.	o.A.	o.A.
24	Möglingen	1960	400	30m
25	Maizieres-les-Metz, Frankreich	o.A.	o.A.	o.A.
26	Kuwait	o.A.	4500	140 – 180

27	Landskrona	1980	4000	ca. 58
28	Örebro, Schweden	1957	9000	75

## 5. Mühlen- und Windkraftanlagen



Abbildung 55: Kappenmühle mit Steert, Friesland, Niederlande



Abbildung 56: moderne Windkraftanlage

Generell sind Mühlen zu unterscheiden in Wasserwerke und Windwerke, wobei gerade die *Windmühlen* hinsichtlich ihrer Herkunft (Persien, vorderer Orient und Asien) als Schöpfwerke eingesetzt wurden [Ernst, 41]. Die Bauart einfacher Steinbauten mit Stangenkreuz und Segeltuchbespannung hatte sich ab 1100 in Mitteleuropa eingebürgert (s. Andalusien, Mallorca, Italien, Frankreich).

Ab dem 17. Jahrhundert entstanden vornehmlich in Friesland Windmühlen mit ausgeprägter Technik (Abbildung 55). Es sind zwei grundlegende Bauarten zu unterscheiden: die Bockmühle und die Kappen- (holländische) Mühle [Hage, 42]. Die Bockmühle (z. B. Hallig Hooge von 1719, heute zerstört) basiert auf einem kastenartigen Aufbau, welcher drehbar auf einem Balkenkreuz errichtet wurde. Bei einem Flügeldurchmesser von ca. 14 m und ungünstigem Hebelarm zwischen Flügelachse und Drehlager des Bocks war sie kippgefährdet.

Wesentliche Vorteile besaß die Kappenmühle. Auf gemauertem

Sockelgeschoss wurde ein starres Holzgehäuse mit drehbarer Kappe (Prinzip Generatorkopf) angeordnet. Auf einer Galerie (umlaufender Balkon) konnte mittels Steert (Holzverstrebung) die Kappe gedreht und fixiert werden.

Ein Windrosenantrieb an der Kappe ersetzte Ende des 18. Jahrhunderts den Steert. Die Windrosen besaßen bereits Jalousienflügel, welche im angelsächsischen Raum, dem heutigen Commonwealth und den USA, bauartprägende Wassermühlen und Windräder zur Energieerzeugung wurden. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts lösten mechanische Mühlen flächendeckend windbetriebene Getreidemühlen ab und führten zu großen Betriebseinheiten mit angeschlossener Silotechnik (vgl. Roland- und Hasenmühle, Bremen). Die Funktion als Windgenerator zur Stromerzeugung und Wasserförderung sollten sie behalten.

Die leistungsfähigen Jalousienflügelantriebe auf Gittermasten wurden zunehmend durch Rotorblätter (Durchmesser 80 m und mehr) mit drehbarem Generatorkopf ersetzt, welches heute eine Regelbauart in Systembauweise darstellt (Abbildung 56). Darüber hinaus wurden in den 80er Jahren Drehwerke erstellt (z. B. Windparks Kalifornien, USA), welche abgespannt über die gesamte Bauhöhe rotierten. Ein Einflügelsystem (Growian) blieb Forschungsgegenstand und konnte sich nicht durchsetzen (Unwucht, Getriebebelastung). Technologisch bedeutend ist die „offshore“-Aufstellung (Windpark in der Nordsee) sowohl hinsichtlich Gründung als auch Baugröße.

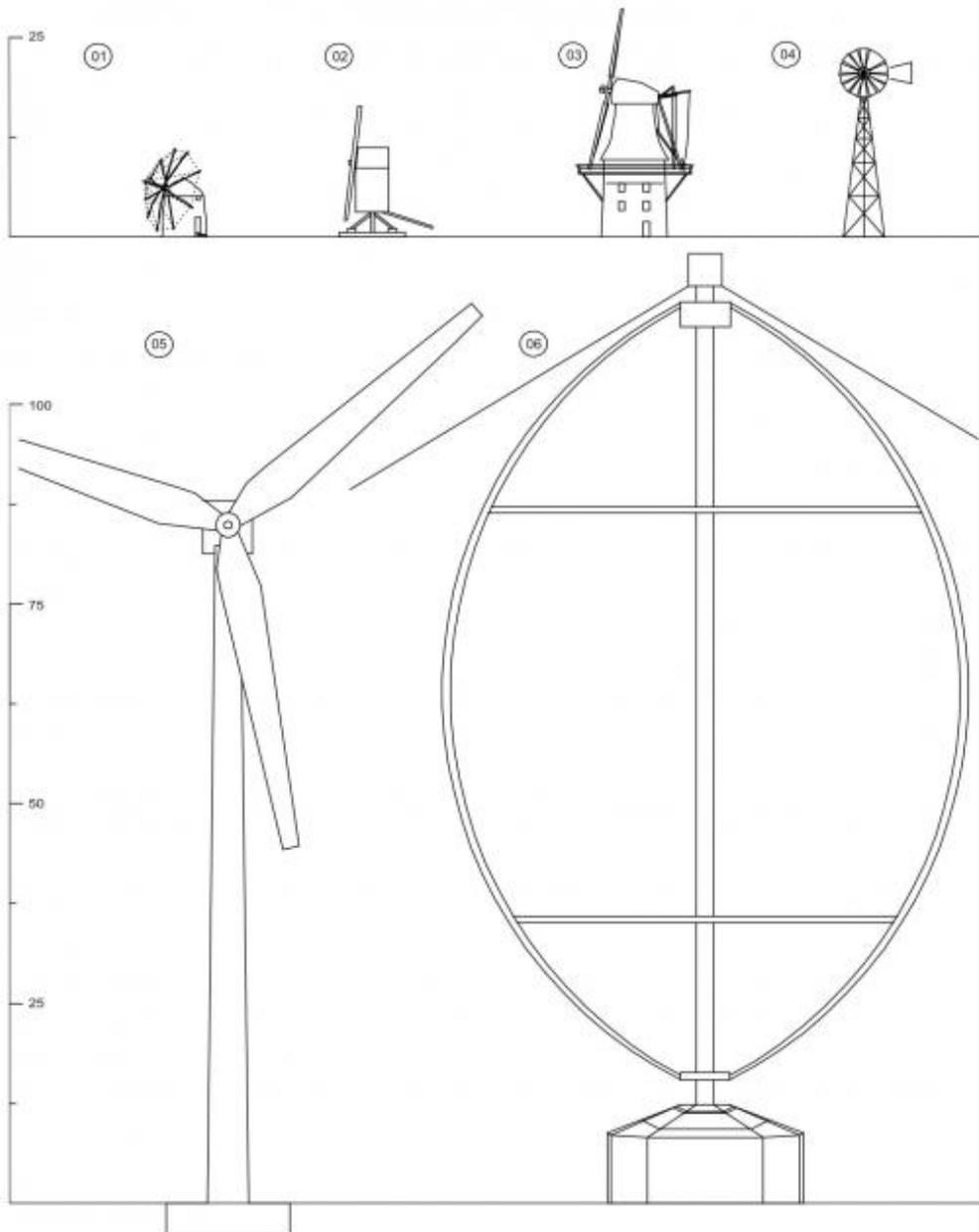


Abbildung 57: Übersicht Mühlen- und Windkraftanlagen

**Tabelle 13:**Windkraftanlagen

01	Historische Mühlen, Mittelmeerraum	15. Jh.	ca. 8m
02	Bockmühle	um 1719	ca. 11m
03	Holländische Klappenmühle	18. + 19. Jh.	ca. 20m

04	Windrad mit Jalousieflügel	19. + 20. Jh.	23m
05	Windkraftanlage Typ Nordex	o.A.	Rotorblätter 80m
06	Versuchsanlage Eole C	o.A.	ca. 125

## 6. Fördergerüste und Fördertürme

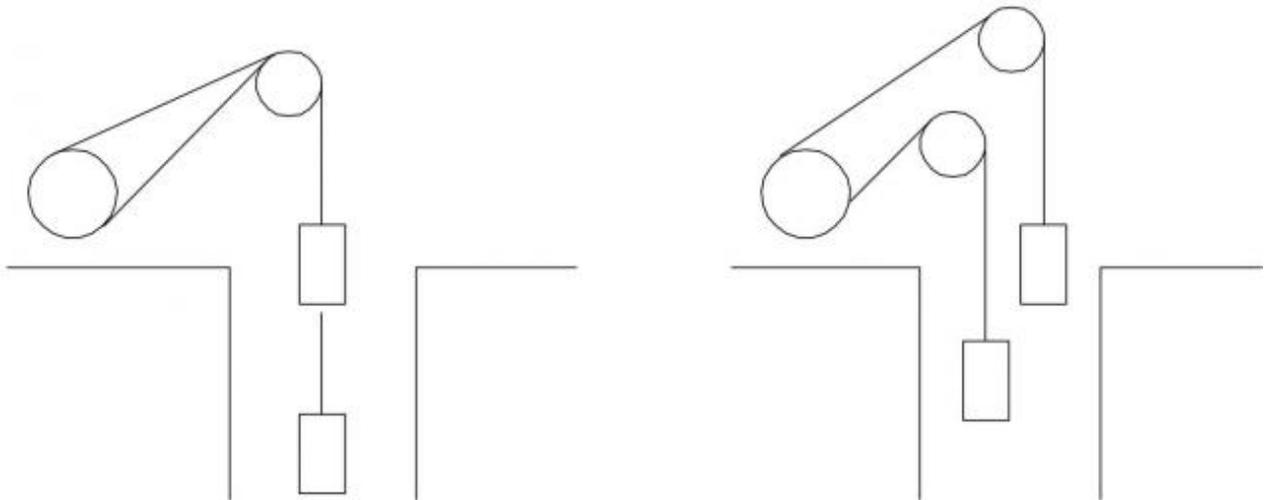


Abbildung 58: einfache Förderprinzipien nach Schönberg [43]

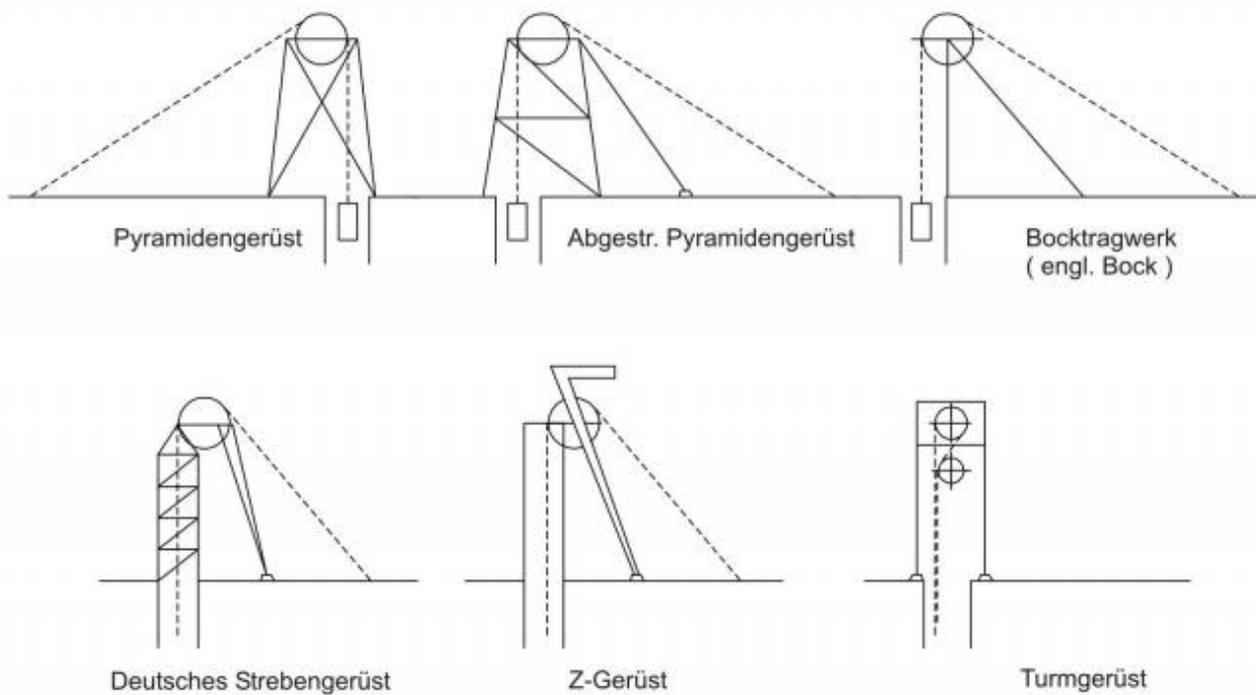


Abbildung 59: Übersicht Bauarten von Fördergerüsten und -türmen nach Schönberg [43] und Buchheit [44]

Schönberg[43] spricht bereits 1971 vom Rationalisierungs- und Stilllegungszwang bei Schachtanlagen und dem damit zu erwartenden Verschwinden der Seilstützkonstruktionen, welche Fördertürme in ihrem Wesen darstellen (Abbildung 59). Diese Bauweisen sind rückblickend unmittelbares Ergebnis aus Funktion und Empirik. Das Prinzip der Haspel (eine Trommel mit Seil umwickelt und jeweils ein Behälter am Seilende) war seit dem Mittelalter erprobte Technologie, der einfache Bock über dem Schacht das Tragprinzip.

Umlenkungen (z. B. über Pferchgöpelanlagen) erlaubten die Übertragung großer Kräfte. Damit war das noch heute gültige Prinzip Fördergerüst mit Umlenkung und seitlich angeordnetem Antrieb gefunden. Die Dampfmaschine (gleichzeitig zur Wasserhaltung eingesetzt) und moderne Stahlseile mit Festigkeiten  $> 5000 \text{ kp/cm}^2$  ermöglichten ab ca. 1834 [43, ebenda] qualifizierte Nutzlasten und größere Teufen.

Gestellartige Förderkörbe mit mehreren Etagen und Sortiersieben erforderten eine so genannte Hängebank bis zu ca. 17 m Höhe über der Oberfläche. Darüber hinaus verlangte der manuell gesteuerte Abbremsvorgang eine beachtliche Überfahrt, welche in neueren Bauarten durch Seilauslöseverrichtungen wieder reduziert werden konnte.

Von großer Bedeutung für die Konstruktion waren weiterhin die Aufnahme Schwingungen und von unterschiedlichen Seilkräften, was ein steifes Gerüst und Abstreben in Richtung der resultierenden Seilkräfte nahe legte.

Formal drückt der so genannte ‚englische Bock‘ mit einfacher Vertikale und rückwärtiger Strebe die statischen Randbedingungen präzise aus. Verunklart wurde das klare Bild durch den Anbau von Spurgerüsten für die teils mehrgeschossigen Förderkörbe.

Deutlich erhöht werden konnte die Förderleistung durch stählerne Doppelstrebengerüste (vgl. Schacht XII, Zeche Zollverein Essen-Katernberg, 1930, Architekten *Schuppund Kremer*, H = 56 m) mit klarer Gestalt durch Vollwandträger und signifikanter Auskrugung der Kranbahnträger zur Auswechslung der Seilscheiben (Abbildung 60).

Der erste Förderturm in Stahlbetontechnologie wurde lt. Schönberg in Camphausen, Saar [43, ebenda, S. 284] von dem Ingenieur Th. Möhrle errichtet. Stahlbetontürme etablierten sich in der Folgezeit vornehmlich in Belgien und Frankreich, während in Deutschland Strebengerüste aus Stahl bestimmend wurden (Bauart der Fa. Klönne von 1903 mit zweiteiligem Strebengerüst und Ausbildung als Dreigelenkrahmen).

Das Kennzeichen von Fördertürmen (gegenüber Fördergerüsten) ist die Anordnung eines umhausten Antriebes direkt über dem Schacht unter Wegfall der Seilumlenkung (Abbildung 59). Die witterungsgeschützte Anordnung des Turmkopfantriebes wurde

möglich durch die Entwicklung von Treibscheiben und Elektroantrieb. Das Erscheinungsbild wurde von nun an durch ein geschlossenes Kopfbauwerk bestimmt.

Moderne Fördertürme erhalten in der Regel eine durchgehende Wandbekleidung und vermitteln nur in geringem Maße durch ihr Erscheinungsbild ihre innere Funktion (vgl. Förderturm Gewerkschaft Sophia-Jacoba, Hückelhofen, 1962 / 63).

Bautechnisch sind sie dennoch von Interesse. Der 75 m hohe Stahlbetonförderturm der Gewerkschaft Sophia-Jacoba steht auf Stahlplatten, welche einen hydraulischen Niveaueausgleich erlauben. Das umschließende Tragwerk wurde in Kletterschalung (Stahltafeln) und Sichtbeton mit geordnetem Fugenbild (Raster 53 / 153 cm) erstellt [Drechsel, 30, S. 230].

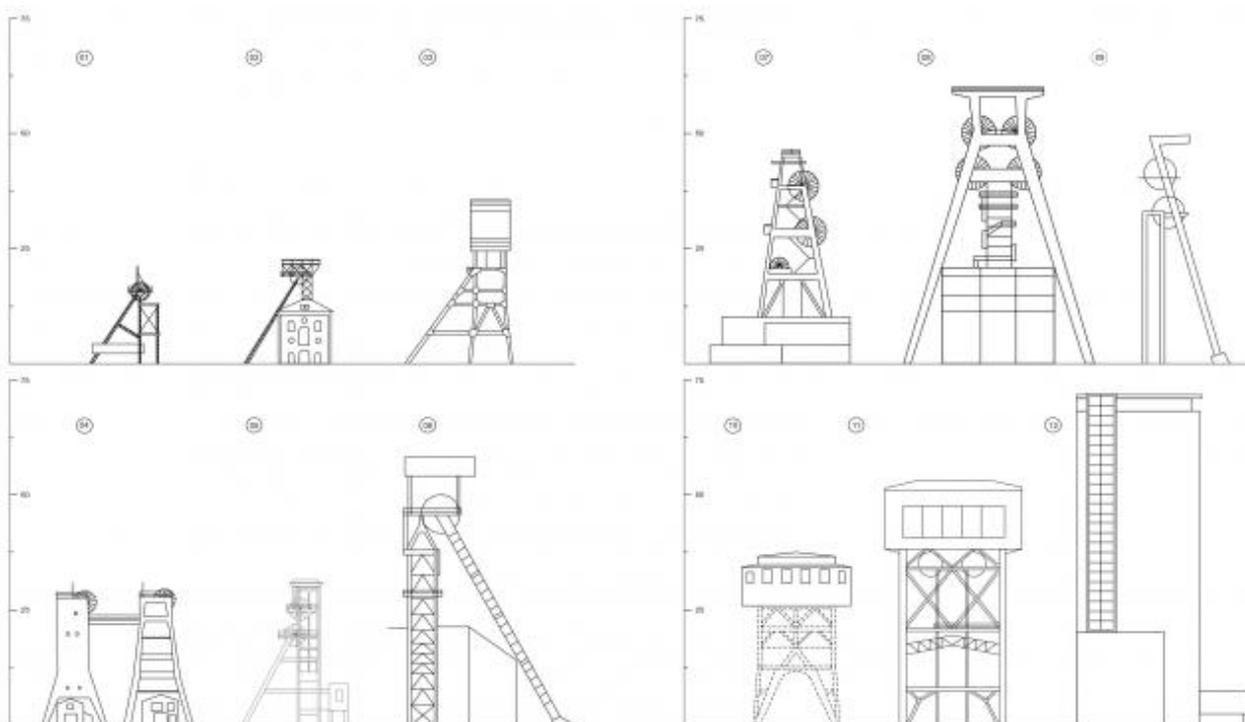


Abbildung 60: Übersicht Fördergerüste und -türme

**Tabelle 14:** Fördertürme

01	Naval Colliery, Tonypanyd, Southwales	1902	ca. 23m
----	--	------	---------

02	Zeche Königsborn, Schacht 1, Unna, Ruhrgebiet	o.A.	ca. 24m
03	Ryhope Colliery, Sunderland, England	o.A.	ca. 35m
04	Hucknall Colliery, Nottingham, England	o.A.	ca. 29m
05	Puits Dutemple, Valenciennes, France	1920	ca. 28m
06	Zeche Robert Müser, Schacht Amalia, Bochum Werne	1904	ca. 57m
07	Bold Colliery, St. Helens, Liverpool, England	o.A.	ca. 48m
08	Zeche Graf Bismarck, Gelsenkirchen, Ruhrgebiet	1929	ca. 61m
09	Zeche Monopol, Schacht Grimberg 2, Bergkamen	1982	o.A.
10	Camphausen	1911	38,70m
11	Dortmund	1925 – 1926	52,40m
12	Sophia Jacoba	1962 – 1964	70,69m

Mit der weitgehenden Ablösung der Steinkohle durch Erdöl und Erdgas verlagert sich auch die Bauaufgabe der Fördertürme hin zu Gerüsten zur Aufnahme von Bohrgestängen und zu so genannten ‚off shore‘-Anlagen. Die großen Wassertiefen zwingen zu Bauarten, welche neben der Plattform beachtliche Turmbauwerke erfordern (soweit Plattformen nicht dynamisch positioniert werden). Neben der Förderung dienen die ‚off shore‘-Systeme der Einlagerung und dem Transport (Abbildung 61). Die schalenartigen Röhrentragwerke erreichen Bauhöhen bis zu 300 m und gehören zu den höchsten und technologisch anspruchsvollsten Turmbauwerken.

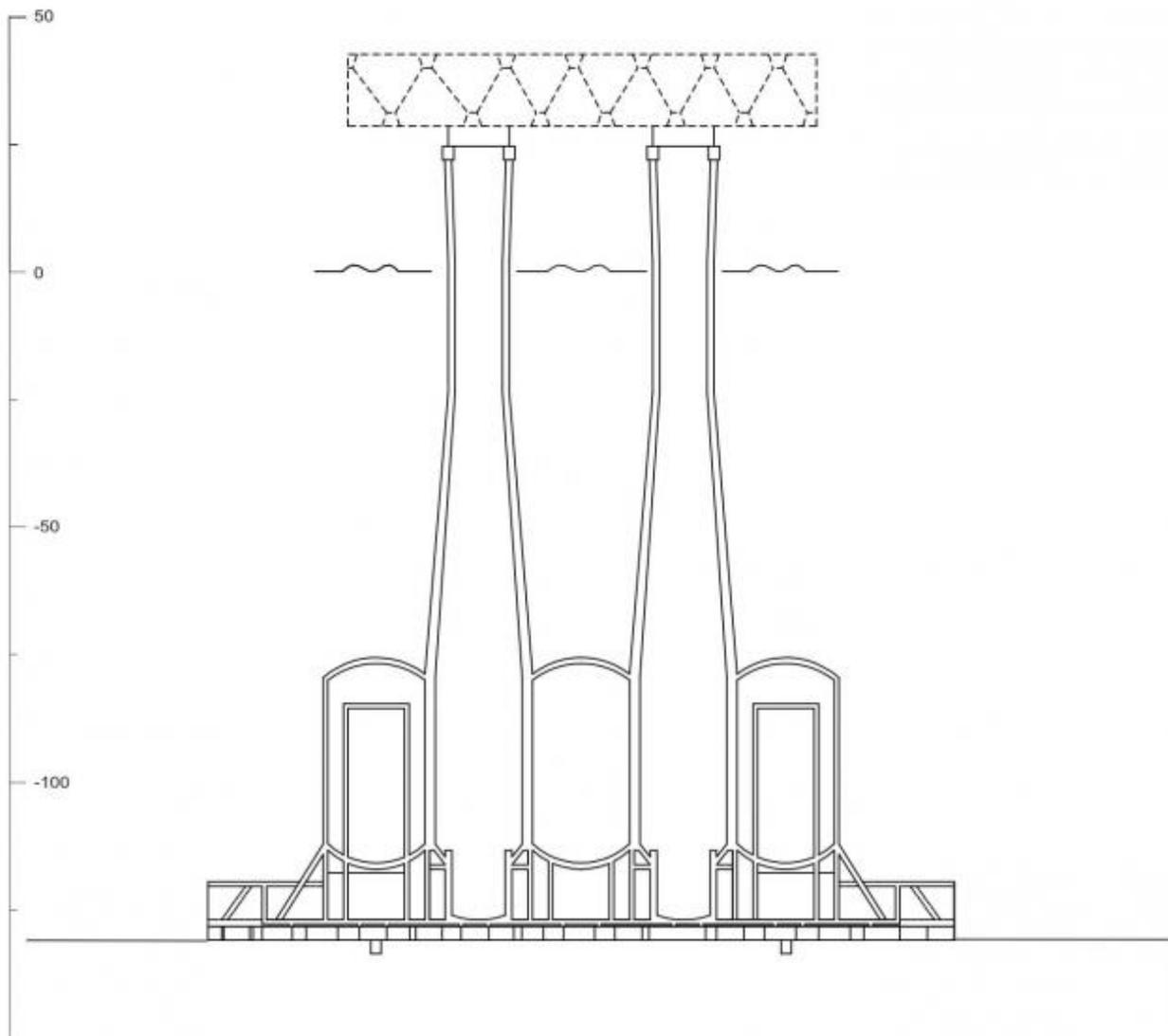


Abbildung 61: Offshore Plattformträger (Tragkonstruktion ohne Transfer Deck, Stratford B, mit 173,80 m Schafthöhe, Wandstärken 0,60 – 1,30 m bei 13,20 – 25,20 m Durchmesser, errichtet in Stavanger, Norwegen) nach Gervik [45]

## 7. Sonderbauten



Abbildung 62:  
Tower  
Flughafen  
Leipzig

Weitere turmartige Bauwerke finden sich in zahlreichen technischen Bereichen. Sie sind in den Bauordnungen unter Sonderbauten zusammengefasst. Singuläre Bauaufgaben (Fallturm der Universität Bremen, Aufzugsvorrichtungsturm in Rottweil, u.a.), Schlauchtürme und Übungstürme der Feuerwehren zeigen keine gattungsbildenden Merkmale.

Bauten hoher Komplexität (z. B. Hochöfen, Chemieanlagen) sind oftmals Gerüste zur Aufnahme technischer Installationen.

Gasometer sind den Behälterbauten zuzuordnen und ähnlich den frühen Wassertürmen mit Hüllflächen umschlossen. Das teleskopartige oder sonstige Innenleben ist heute in der Regel entfernt. Der Torso steht dann als außergewöhnlicher Ausstellungsraum (Oberhausen, Leipzig) zur Verfügung.

Eine signifikante funktionale Gruppe stellen Überwachungs- und Beobachtungstürme dar. Vom Stellwerk (oftmals als schlankes Bauwerk zwischen Gleisfeldern eingefügt) bis zum turmartigen Schleusenwärterhaus sind auch sie oftmals Historie. Nicht so der Flughafentower (Abbildung 62). Mit hoch liegendem Betriebsgeschoss, Überwachungsraum (Landeankunft, Platzgeschehen), Radar- und Funktechnik ist er dem Fernmeldeturm artverwandt. Die Bauhöhen reichen von geringer Höhe (Kriterium Platzüberblick) bis zu ca. 80 m Höhe.

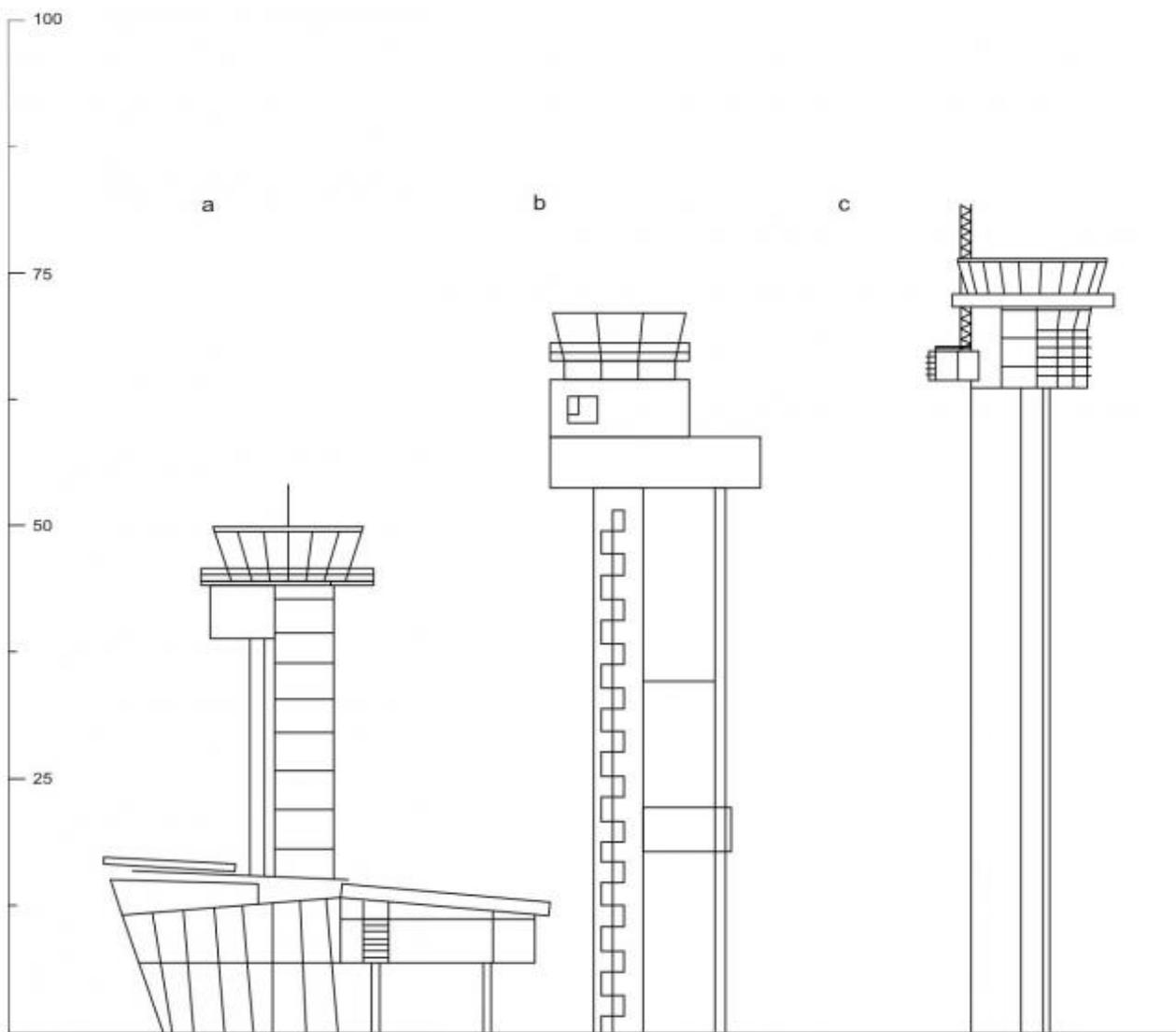


Abbildung 63: Flughafentower a. Tower Flughafen Nürnberg, ca. 50 m Höhe; b. Tower Flughafen Leipzig-Halle, 73 m Höhe; c. Tower Flughafen Oslo Gardermoen, 80 m Höhe;

Einen Sonderfall turmartiger Bauwerke stellen die Anlauftürme der Sprungsschanzen dar. Sie resultieren aus dem steilen Anlaufwinkel moderner Groß- und Flugschanzen, welche bei einer Gesamtabwicklungslänge der Schanzenanlagen von 300 – 400 m keine topographische Einbettung mehr finden (Abbildung 65). In Einzelfällen (Lathi, Finnland) ist darüber hinaus der Aufsprungbereich oberhalb des theoretischen Landepunktes aufgeständert (Abbildung 66).

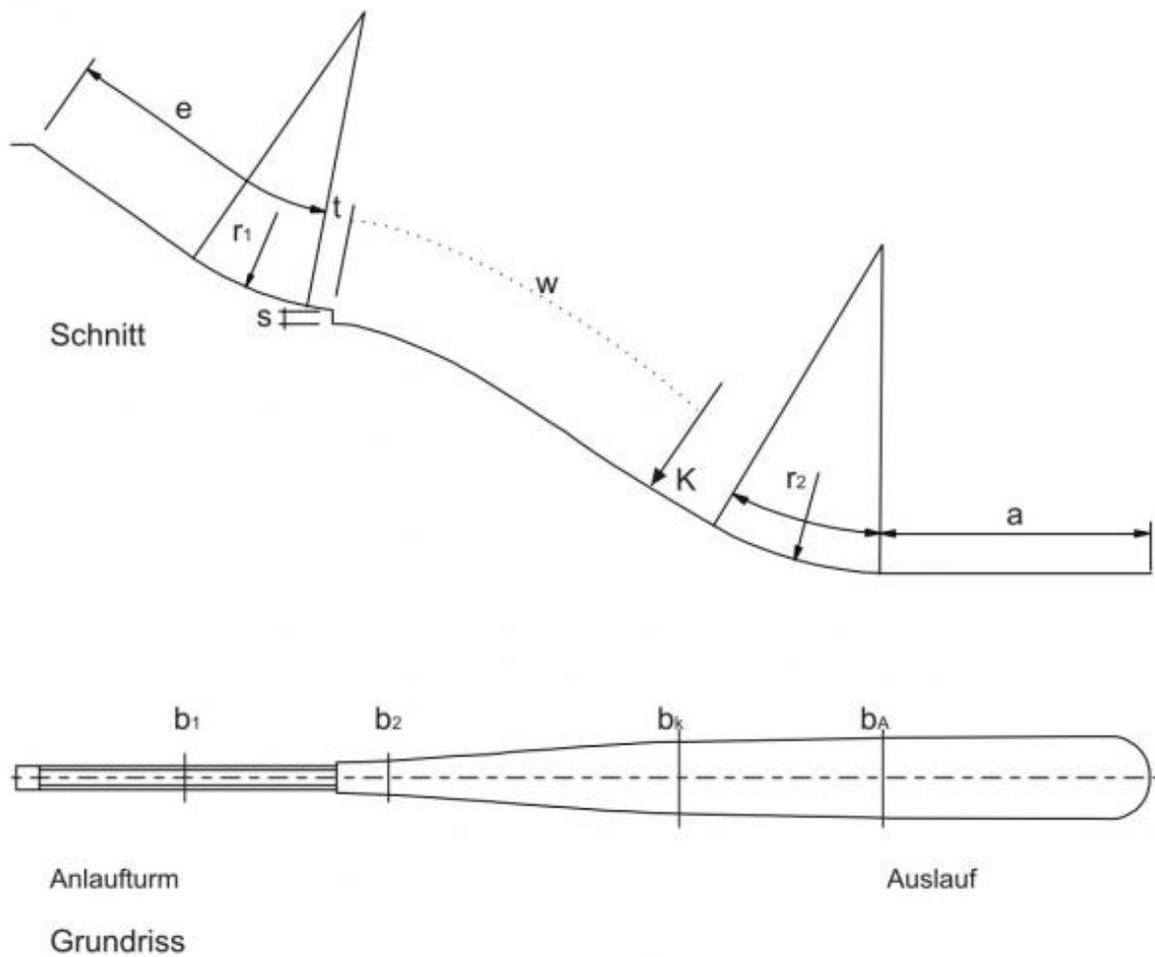


Abbildung 64: Gradiente nach Regelwerk der FIS [46] e Anlaufbahn, t Schanzentisch, w nominelle Größe der Schanze, k Konstruktionspunkt, a Auslauf, b Breite



Abbildung 65:

Lathi, Finn-land  
(Normal-, Groß- und  
Flugschanze)

Kletterten früher die Springer die Schräge des Anlaufturmes hinauf, ist heute die Anordnung von Aufzügen (Lifte, Kabinenhöhe ca. 2,80 – 3,00 m!), Schanzentechnik (elektrohydraulische Antriebe), Kältetechnik und die Anordnung von Medientechnik und Aufwärmraum am Schanzenkopf entwurfsbestimmend (Abbildungen 66 und 67).



Abbildung 66: Innsbruck,  
Österreich, Bergiselschanze nach

Umbau 2000 – 2001



Abbildung 67: Willingen, Deutschland, derzeit größtes Schanzenbauwerk im Ski-springen (FIS-Weltcup)

Die Bauweise ähnelt Brückenpylonen mit angelegtem Fahrbahntrog unter Vermeidung von nachteiligem Schwingungsverhalten (Abgleich mit der Eigenfrequenz erforderlich) und möglichst unter Verzicht auf Bauwerksfugen im gesamten Anlaufbereich.

Weiteres Entwurfskriterium ist der Einstiegsbereich, welcher

seitlich der parallel geführten Anlaufspur gefordert ist.



Abbildung 68: Erasmusbrücke, Rotterdam,  
1990 – 96

In den Darstellungen turmartiger Bauwerke [37] werden oftmals Brückenpylone aufgeführt. Sie sind Wesensbestandteil von Brückenbauwerken. Hinsichtlich der Wahrnehmung und Bedeutung im Gesamtsystem gehen sie über ihre dienende Funktion hinaus und werden in zahlreichen Beispielen zum Gestalt bestimmenden turmartigen Bauwerk (vgl. Betonkalender 2004, Bd. 1). Sie stehen in Schlankheit und Bauhöhe den zuvor gezeigten Turmbauweisen nicht nach.

Sie gewinnen ihre glaubwürdige Gestalt aus der Funktion (Einleitung von Seilkräften, punktuelle Unterstützung etc.). Als stadt- und landschaftsbestimmende Bauwerke neigen auch sie zur Individualisierung (vgl. Fernsehtürme) in der Formensprache und zu zeichenhafter Symbolik (vgl. Erasmusbrücke, Rotterdam, Abbildung 68); neue Kanalbrücke, Utrecht u. a.). Dadurch verlieren sie etwas von der archaischen Kraft und Darstellung der inneren Logik (vgl. Ganterbücke, Simplonpass von Chr. Menn), die leistungsfähigen, turmartigen Tragsystemen innewohnen sollte.

- [Handbuch](#)
- [Typologien von Industriedenkmalen](#)
  - [Brückenbauwerke](#)
    - [About a Scientifically Tenable Basis of Long-Span Structures](#)
    - [Run down in Chronological Order](#)
  - [Turmbauwerke](#)
    - [Einleitung und Abgrenzung](#)
    - [Anfänge und typologische Basis turmartiger Bauwerke](#)
    - [Turmartige Bauten der handwerklich-baukulturellen Tradition](#)
    - [Aufbruch und ingenieurtechnische Leistungen der Neuzeit](#)
    - [Betrachtung hinsichtlich Form, Materialität und Funktion](#)
    - [Wehr-, Tor- und Schutztürme](#)
    - [Aussichtstürme, Denkmale, Zeichen und Skulpturen](#)
    - [Technische Türme](#)
    - [Quellenverzeichnis](#)
  - [Werkssiedlungen | Company Towns](#)
- [Zur Geschichte der Industriedenkmalpflege](#)
- [Denkmalstatus erlangen und erhalten](#)
  - [Denkmalrecht: Grundbegriffe und Grundsätze](#)

- Denkmalstatus erlangen oder aller Anfang ist schwer: Wie kommt ein Industriedenkmal auf die Welt?
- Leitvorstellungen im Umgang mit dem Denkmal
- Städtebauliche Denkmalpflege / Industrielle Kultur-Landschaft
- Umnutzung von Denkmal-Arealen
- Prozess und Management
  - Die Beteiligten („Stakeholder“)
  - Wege zur Entscheidungsfindung
  - Konsensherstellung mit den zukünftig Beteiligten
  - Nachnutzungsüberlegungen
  - Zielbestimmung
  - Projektmanagement bei Unbestimmtheit und Komplexität
  - Erstinvestition – Folgekosten – Pflegeplan
    - Erstinvestition
    - Folgekosten
    - Pflegeplan
  - Finanzierung der Erhaltung von Industriedenkmalern
  - Conservation: who, what & why?
  - Welterbestätten und die Einbeziehung städtischer/regionaler Planung beim Umgang mit dem Industriedenkmal
  - Zur Relevanz des Städtebaus von Industriedenkmalen
- Stillgelegte Industrieanlagen zugänglich machen
  - Pflichtprogramm: Was muss auf jeden Fall getan werden?
  - Welche Regelwerke sind relevant?
  - Überprüfung der Standsicherheit von Bauwerken – Vorgehensweise
  - Weitere Hinweise und Empfehlungen: Welche Aspekte sind zusätzlich zu berücksichtigen?
  - Steuerungsmöglichkeiten bei der aktiven Planung von Verlust
- Erkunden, Dokumentieren, Planen
  - Bestandserfassung, Dokumentation und

## Visualisierung

- Methoden der Bauaufnahme
- Digitale Bestandserfassung
- Zustandsuntersuchungen an Bauwerken
- Dokumentation mit Webapplikation (Web-App)
- Zum Umgang mit Gefahrstoffen im Industriedenkmal
- Denkmalpflegerische Untersuchungen
- Historische Recherche und Baugeschichtliche Forschung
- Laboruntersuchungen – Analysen
- Dokumentation der getroffenen Maßnahmen
- Erfassung, Sanierung und Betrieb der Kanalisation
  - Bestandserfassung
  - Zustandserfassung
    - Baulicher Zustand
    - Hydraulischer Zustand
    - Abschließende zusammenfassende Bewertung
  - Sanierung
  - Kanalbetrieb
- Anerkannte Regeln der Technik | Gesetze, Normen, Richtlinien
  - Normen des CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“
  - WTA-Merkblätter
  - VDI-Richtlinien
  - Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB/B)
  - Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI
- Werkzeugkasten
  - Reinigungsmethoden
  - Korrosionsschutz
    - Korrosion und restauratorischer Korrosionsschutz
  - Asbest
  - Musterbaustelle

- Schutzkonstruktionen zur Erhaltung wetterexponierter Anlagenteile
  - Kostenvergleich: Konservierung oder Schutzdach?
  - Schutzkonstruktionen – Begriffsbestimmung und Fallbeispiele
- Alte Stähle
- Industriefenster
- To work or not to work – die Reaktivierung von Maschinen im Industriedenkmal
- Webcasts – Risk Management for Collections on Display and in Storage
- Umsetzung: Ausschreibungen und Zeitplan
  - Erstellen von Leistungsverzeichnissen
    - Leistungspositionen
    - Software für die Ausschreibung
  - Ausschreibungsverfahren
    - Präqualifikation
    - Vergabearten
  - Zeitplan
    - Muster Zeitplanung
    - Software für die Zeitplanung
- Bauunterhaltung und -pflege
  - Pflegeplan
  - Arbeit mit Ehrenamtlichen
- Nachnutzung / Umnutzung / Adaptive Reuse
  - Adaptive Reuse
  - Umnutzung und Adaptive Reuse: Grundsätze der Praxis
  - Forschung zur Umnutzung: typische Konflikte und Vermittlungsmöglichkeiten
  - Kokerei Zollverein Gestaltungskonzept
- Fallballspiele
  - Kokerei Zollverein
  - Maschinenhalle Zollern II/IV
  - Henrichshütte Hattingen: Schwadenturm
  - Henrichenburg: Schiffshebewerk (SHW)

- [Landschaftspark Duisburg Nord](#)
- [Kokerei Hansa](#)
- [Weltkulturerbe Völklinger Hütte](#)
- [Musée Les Mineurs Wendel](#)
- [Erfahrungen mit einem besonderen Oldtimer](#)
- [U-Bahnwagen](#)
- [Wettbewerbe / Welterbe](#)
- [Konferenzen, Verbände, Arbeitsgruppen und Literatur](#)
  - [TICCIH](#)
  - [Arbeitsgruppe Industriedenkmalpflege](#)
  - [ICOMOS](#)
  - [BIG STUFF](#)
  - [Literatur](#)
  - [BCIN, the Bibliographic Database](#)
  - [montan.dok](#)
- [English version or other languages](#)
- [Ressourcen](#)
  - [Preventive conservation guidelines for collections](#)
  - [Caring for outdoor objects](#)
  - [Unlocking Sound and Image Heritage](#)
- [TEst Seite](#)

[← Aussichtstürme, Denkmale, Zeichen und Skulpturen  
Quellenverzeichnis →](#)