

# Der Stahlbetonkühlturm für das Kraftwerk Voitsberg 3

Autor(en): **Cichocki, Bernd**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 47

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74611>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Der Stahlbetonkühlturm für das Kraftwerk Voitsberg 3

Von Bernd Cichocki, Graz

## Einleitung

Im weststeirischen Kohlebergbauggebiet wird gegenwärtig das derzeit *grösste Braunkohlekraftwerk Österreichs* errichtet. Wegen des geringen Wasserdargebotes in diesem Raum ist für den Kühlkreislauf der Kondensationsturbine ein Naturzugkühlturm in Stahlbetonbauweise zu errichten.

Nach österreichischer Judikatur [1] *haftet der Bauunternehmer* auch im Falle beigelegter Planunterlagen für die sach- und fachgemässe Ausführung seiner Bauvorhaben. So mussten auch bei dem nicht alltäglichen Bau der Kühlturmschale die Planunterlagen und die statischen Berechnungen vom Auftragnehmer vor Baubeginn eingehend überprüft werden.

Darüber, sowie über die Baudurchführung im allgemeinen wird nachfolgend berichtet.

## Technische Daten der Kraftwerksanlage

Die erste Ausbaustufe des Kraftwerkes wurde in den Jahren 1938–1941 errichtet und erreichte eine Leistung von 3×20 MW. Die 2. Ausbaustufe mit 65 MW wurde 1956 in Betrieb genommen. Die 3. Ausbaustufe soll nach einer Bauzeit von rd. 40 Monaten im Februar 1983 in Betrieb gehen. Die Hauptauslegungsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

## Projektierung

### Baugrund und Gründung

Die von den Bodengutachtern im Auftrag des Bauherrn durchgeführten Bodenuntersuchungen lieferten im Bereich des Kühlturmes folgendes Ergebnis (Bild 1): Die oberflächennahen Schichten zeigen ein deutliches 4-Schichtsystem in der Reihenfolge

- Auelehm - Auesandschicht
- Quartäre Ablagerungen von Kainach und Gradenbach
- Kohleführende Tertiärmulde Voitsberg - Köflach
- Dolomit - Quarzit - Komplex.

Der Boden wurde als «guter Baugrund» beurteilt. Grundwasserstände:

bei Niedrigwasser: +401,0 bis 402,5 m

höchster gemessener Grundwasserstand: +403,5 m

Auf Grund der gegebenen Anlageverhältnisse sah die Projektierung eine *Flachgründung mit Einzelfundamenten* auf Kote +404,0 vor. Die Schluff-Feinsand-Schicht wurde bis auf den Kieshorizont abgehoben und gegen einen Kiesgründungskörper ausgetauscht (Bild 2). Der unterschiedlichen Beanspruchung entsprechend wurde unter den Stützen der Kühlturmschale eine ringförmige Schüttung aus gebrochenem Kiessand 0/70 mm (Scherfestigkeit bei mitteldichter Lagerung  $\phi' > 40^\circ$ ) eingebaut und auf min.  $M_E = 60$  MN/m<sup>2</sup> verdichtet, während im gering belasteten Beckenbereich innerhalb des Kiesringes eine gleichmässige Schüttung aus lehmigen Sand ausreichend schien.

### Anlagenteile in Stahlbeton

Der Bauauftrag für den Kühlturm umfasst folgende Anlagenteile:

- 28 Schrägstützenpaare in V-Form zur Stützung der Hyperboloidschale
- Unterirdische Zulaufkanäle (Lichtquerschnitt 1,95 × 1,95 m bzw. 1,40 × 1,40 m) und 2 lotrechte Steigschächte zur Wasserverteilung (Lichtquerschnitt 1,40 × 1,40 m).
- Auffangbecken (Ø = 73,7 m, Wandhöhe 2,0 m)
- Auslaufbauwerk
- Überlauf und Restentleerung
- Einbaustützkonstruktion, bestehend aus stabilisierenden Bockstützen und Pendelstützen (in einem quadratischen Raster von 5,2 m Achsabstand über den gesamten Beckenbereich) sowie den Balkenlagen für Wasserverteilungsebene und Kühleinbauebene. Ausführung in Fertigteilen.
- Fertigteilekanäle (Querschnitt 0,8 × 1,6 m bzw. 0,6 × 0,6 m) für die Wasserverteilung
- Tragkonstruktion für die Schallschutzwand (lt. Behördenvorschrift ist ein Schalldämpfer auszuführen, der die Emission um 9 dB mindert).
- Kühlturmschale. Die Hauptabmessungen sind aus Bild 3 zu ersehen. Am oberen Schalenrand ist als Begehungsmöglichkeit ein nach innen auskragender Laufsteg angeordnet, der als zusätzliche Randaussteifung dient.

## Am Kühlturm beteiligte Firmen

### Bauherr:

Österreichische Draukraftwerke AG

### Kühltechnischer Teil:

Fa. Julius Overhoff, Kühlturmbau, Wien

### Techn. Planung:

Balcke-Dürr AG, Ratingen/BRD

### Auftragnehmer:

Arge KW Voitsberg 3, bestehend aus den Firmen:

- Mayreder, Keil, List & Co. Ges.m.b.H.
- Ed. Ast Ges.m.b.H.
- Allgem. Baugesellschaft A. Porr AG
- Negrelli, Bau-AG
- Il-Bau AG
- Universale Hoch- u. Tiefbau AG

### Bodengutachter:

o. Prof. Dr. Chr. Veder, Graz

o. Prof. Dr. H. Seelmeier, Graz

### Betontechnologie:

Staatl. autorisiertes Laboratorium für Betontechnologie u. Bodenprüfung Graz

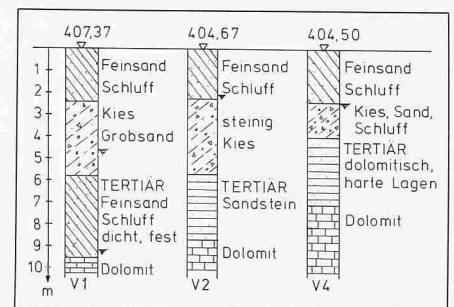


Bild 1. Bohrprofile im Kühlturbereich

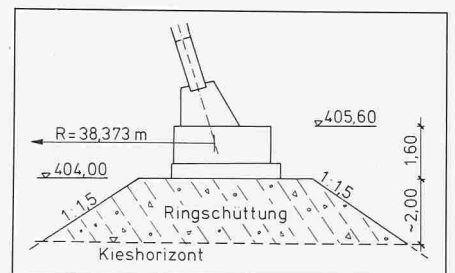


Bild 2. Gründungskörper

Tabelle 1. Technische Daten des Kraftwerks Voitsberg 3

Kraftwerk	
Blockleistung	330 MW
<i>Dampferzeuger in Zwangsdurchlaufsystem:</i>	
Frischdampfmenge	980 t/h
Frischdampfdruck	184 bar
Frischdampftemperatur	535 °C
<i>Kohlestaubfeuerung mit Ölzündfeuerung:</i>	
Mittl. Brennstoffverbrauch	280 t/h
Abgastemperatur	150 °C
<i>Kondensationsturbine:</i>	
Drehzahl	3 000 U/min
Leistung	330 000 kW
<b>Kühlturm (Naturzug-Nasskühler)</b>	
Kühlwassermenge	25 200 m <sup>3</sup> /h
Eintrittstemperatur	29,5 °C <sup>1</sup>
Austrittstemperatur	16,0 °C <sup>1</sup>
Systemhöhe Lufteintritt	5,69 m
Auffangbecken	8 400 m <sup>3</sup>
Rieseleinbauten aus Asbestzement	
<sup>1</sup> Auslegedaten entsprechend einem 4-monatigen Wintereinsatz bei 4,2 °C und 78% relativer Luftfeuchtigkeit	

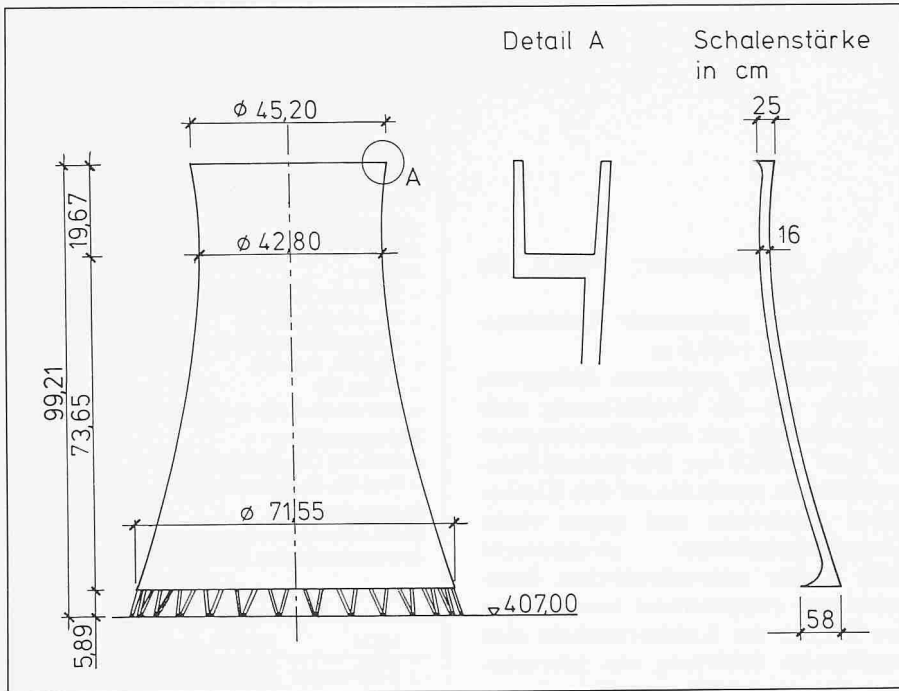


Bild 3. Schalenabmessungen

Festigkeitsklasse	B 300
Grösstkorn	32 mm
Konsistenz (ÖNORM B 4200/10.)	K 2
Ausbreitmass	40 cm
Zementgehalt PZ 275 FA	300 kg/m <sup>3</sup>
W/Z-Faktor	0,61
Zuschlagstoffe	
Rundkorn 0/8 mm	450 kg/m <sup>3</sup>
Kantkorn 0/8 mm	450 kg/m <sup>3</sup>
Rundkorn 8/16 mm	489 kg/m <sup>3</sup>
Rundkorn 16/32 mm	568 kg/m <sup>3</sup>
Sieblinie (ÖNORM B 3304)	im günstigen Bereich
Frischbetonraumgewicht	2440 kg/m <sup>3</sup>

Tabelle 2. Rezeptur des Schalenbetons

Die Vergleichsberechnung wurde mit dem *Finite-Element-Rotationsschalenprogramm* [5] durchgeführt. Die Windlast wurde in einer Fourier-Analyse erfasst, wobei nur die 0. bis 3. Welle berücksichtigt wurden. Die Schnittkräfte aus Erdbebenlast wurden zusätzlich durch [6] überprüft. Die Beulsicherheit wurde nach [7] nachgewiesen.

Die Berechnungsergebnisse der massgebenden Lastfälle Eigengewicht und Wind sowie der Verlauf der Beulsicherheiten sind in Bild 4 dargestellt.

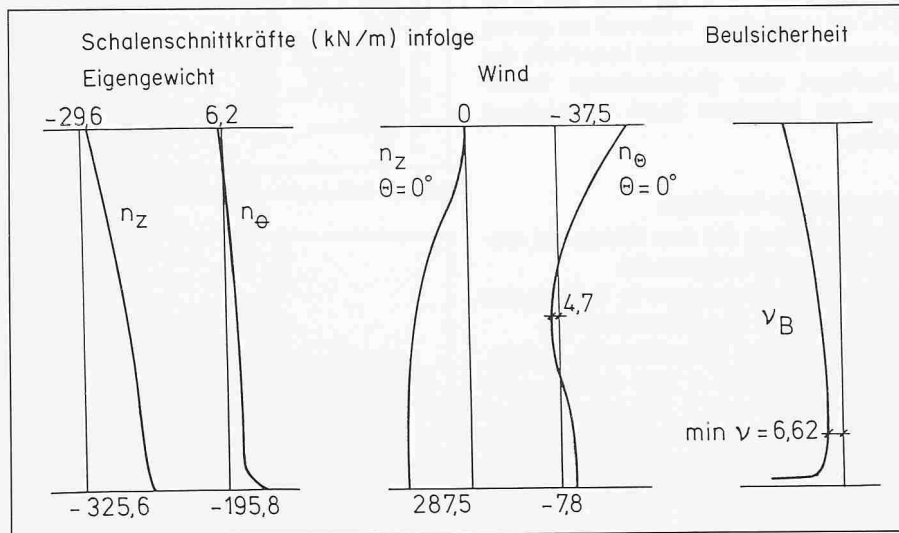


Bild 4. Schalenschnittkräfte und Beulsicherheit

**Statik**

Die vom Bauherrn beigestellten statischen Berechnungen wurden durch unabhängige Vergleichsrechnungen auf Basis von [2], [3] überprüft.

Für die Schale waren folgende Lasten zu berücksichtigen:

- Eigengewicht mit  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Winddruck von aussen nach [2], Zone III (küstenfernes Gebiet) mit dem Rauigkeitsparameter 0,017. Damit ergab sich der maximale Staudruck an der Krone zu  $\max. W = 1,24 \text{ kN/m}^2$ , der maximale Sog unter  $\Theta = \pm 71^\circ$  zu  $\min. W = -1,37 \text{ kN/m}^2$
- Innensog, rotationssymmetrisch und über die Höhe konstant  $S = 0,62 \text{ kN/m}^2$ . Der Innensog ist nur bei der Ermittlung der Beulsicherheit zu berücksichtigen, nicht bei der Bemessung.

- Erdbeben, höchste wahrscheinliche Horizontalbeschleunigung im Baugebiet nach [4]:  $h = 0,025 \text{ g}$ . Als Rechnungswert der Horizontalbeschleunigung wurde  $h = 0,10 \text{ g}$  angenommen.
- Temperatur gemäss [2]:  $T_i = +30^\circ\text{C}$ ,  $T_a = -15^\circ\text{C}$   
Wärmeübergangszahl  $\alpha_i = \alpha_a = 20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   
Wärmeleitfähigkeit für Beton  $\lambda = 2,0 \text{ W/m K}$
- Montagelast. Die maximale Beanspruchung der Schale durch die Klettterüstung wurde mit den folgenden Lastwerten abgeschätzt:  
In der 3,40 m unter der jeweiligen Schalenoberkante liegenden Verankerungsebene in Meridianrichtung:  $p_{||} = 16 \text{ kN/m}$ , senkrecht zur Schale nach innen:  $p_{\perp} = 7,5 \text{ kN/m}$  und ein Stülpmoment nach innen:  $m = 39 \text{ kNm/m}$ .

**Versuche**

Für die Betonarbeiten wurde der *Sonderzement PZ 275 FA* verwendet, bei dem der Flugascheanteil von 23% direkt mitvermahlen wird. Zur Festlegung der Betonrezeptur wurden im Labor überprüft:

- Mahlfeinheit des Zementes
- Endfestigkeit des Betons
- Frostbeständigkeit
- Wassereindringtiefe
- Festigkeitsentwicklung des jungen Betons in Abhängigkeit von der Betontemperatur.
- Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe

Auf Grund der Laborversuche wurde die Rezeptur des Schalenbetons gemäss Tabelle 2 gewählt.

**Wahl der Baustoffe**

**Stahl:**

Rippentorstahl 50

**Beton:**

B 160: als Unterbeton

B 225: für Schrägstützenfundamente  
Auffangbecken, Sohle + Wände  
Steigeschachtfundamente  
Auslaufbauwerk  
Überlauf und Restentleerung

B 300: für Stützensockel der Schrägstützen  
Kühlturmschale  
Zulaufkanäle und Steigeschächte  
Kanäle für die Wasserverteilung

B 400: Schrägstützen, Einbaustützkonstruktion und Tragkonstruktion der Schallschutzwand

**Baudurchführung**

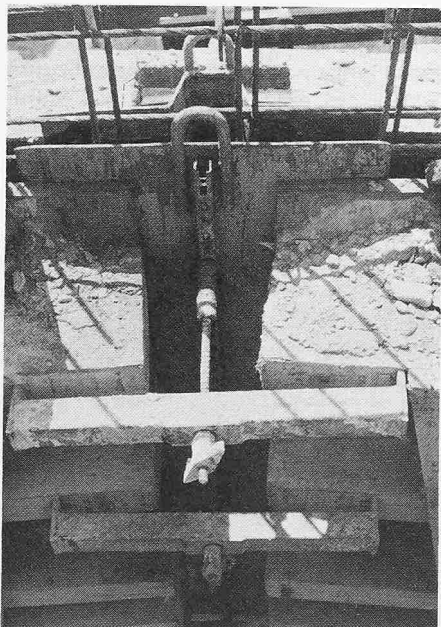
**Bauzeitplan und Baustelleneinrichtung**

Bild 5 zeigt den *Bauzeitplan* für den Kühlturm, der bisher voll eingehalten werden konnte. Endtermin ist der 1.2.82, an dem die Einbaustützkonstruktion für die Montage des kühltchnischen Teiles freizugeben ist. An *Baustelleneinrichtung* stehen im Rahmen der Gesamtbaustelle eine Zimmerei, eine Schlosserei und Mechanikerwerkstätte, sowie die Sozialeinrichtungen (Wohnlager und Kantine) zur Verfügung. Als Hebezeug für den Schalenbau diente ein zentraler Knickauslegerkran, Type Kaiser HBK 100.1 (37 m Ausleger, 108 m Hakenhöhe, ohne Abspannungen). Die übrigen Hubarbeiten erfolgten mit Autokran. Für den Mannschaftstransport zur Klettererrüstung war ein 10-Personen-Aufzug, Type Alimak installiert, der am verfahrbaren Turm eines Turmdrehkranes Liebherr 180 HC montiert war.

**Schalungssystem**

Die Hyperboloidform der dünnen Schale mit ständig veränderten Radien und Schrägneigungen bringt für die *Schalung* und *Rüstung* erhebliche Schwierigkeiten. Das Schalsystem muss in jeder Richtung variabel sein und rasch und mühelos justiert werden können. Am Kühlturm Voitsberg 3 wurde erstmals die Doka-Kühlturmschalung verwendet. Das System bestand aus 36 inneren und 36 äusseren Selbstkletterautomaten Type SK 175, die *ohne Kranhilfe über Zahnstangenwinden* elektromotorisch hochklettern. Die Kletterautomaten tragen 4 Bühnenebenen (Arbeitsbühne, Schalungsbühne, Kletterpodest und Nacharbeitsbühne). Der

Bild 6. Fugenbleche (aussen mit Rippe)



	1980												1981											
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1				
Baustelleneinrichtung																								
Gründungsarbeiten																								
Schrägstützen																								
Unterer Schalenring																								
Kühlturmschale																								
Kühlturmbecken																								
Zulaufkanal, Schächte																								
Auslaufbauwerk																								
Überlauf, Restentleerung																								
Einbaustützkonstruktion																								
Wasserverteilung																								
Schallschutzwand																								

Bild 5. Bauzeitplan

ständig veränderliche Gerüstumfang wird durch *Teleskopbühnen* bewirkt, die den veränderlichen Abstand zwischen den Automaten überbrücken und einseitig über die starren Gerüstbühnen gleiten. Die Verankerung des Gerüsts an der Schalenkrone erfolgt mittels *Spannankern* im 3 Tage alten Beton (erforderliche Betondruckfestigkeit = 6 MN/m<sup>2</sup>).

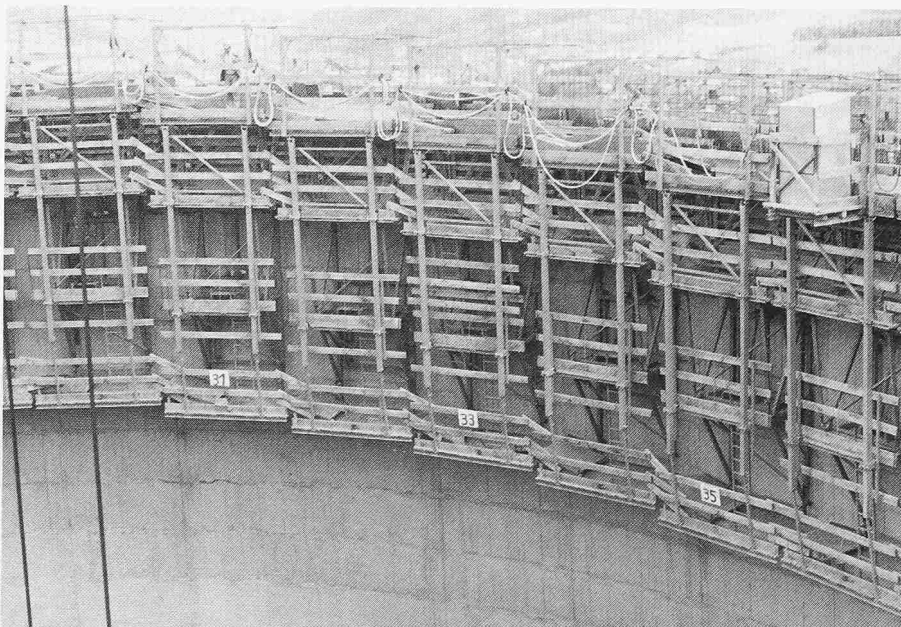
Die *Holzschalung* für dieses Bauwerk bestand aus Grossflächenelementen von 1,66 m Höhe, die im Regelfall die tägliche Herstellung eines Betonringes von 1,51 m Meridianlänge ermöglichten. Die Breite der Schalelemente begann mit 5,85 m und wurde mit abnehmendem Radius nach Erfordernis gekürzt. Die lotrechten Fugen zwischen den Schalelementen wurden durch 50 cm breite *Fugenbleche* geschlossen, die eine stufenlose Längenanpassung bewirkten (Bild 6).

Das aussenseitige Fugenblech bildete zugleich die Schalform für die Windrippen. Die Rauigkeitsannahme der Statik wurde bei 36 Rippen am massgebenden Umfang im unteren Drittelpunkt der Schale durch eine Rippenhöhe von 8 cm verwirklicht.

Die *Grundrissform der Schaltafeln* konnte so gewählt werden, dass trotz der stark unterschiedlichen Krümmungen am unteren Rand und in der Taille die maximale Abweichung der Schalform von der Sollform nur 10 mm betrug.

Die verwendeten Schaltafeln (Dokalit, 28 mm) lieferten bei bis zu 77 Betoniereinsätzen noch gute Sichtbetonoberflächen. Bild 7 zeigt in 4 Phasen das Prinzip der Kletterschalung. Das Hochfahren der Kletterschalung erfolgte in 5 Stufen von 30 cm pro Etappe (Bild 8).

Bild 8. Hochfahren der Kletterschalung





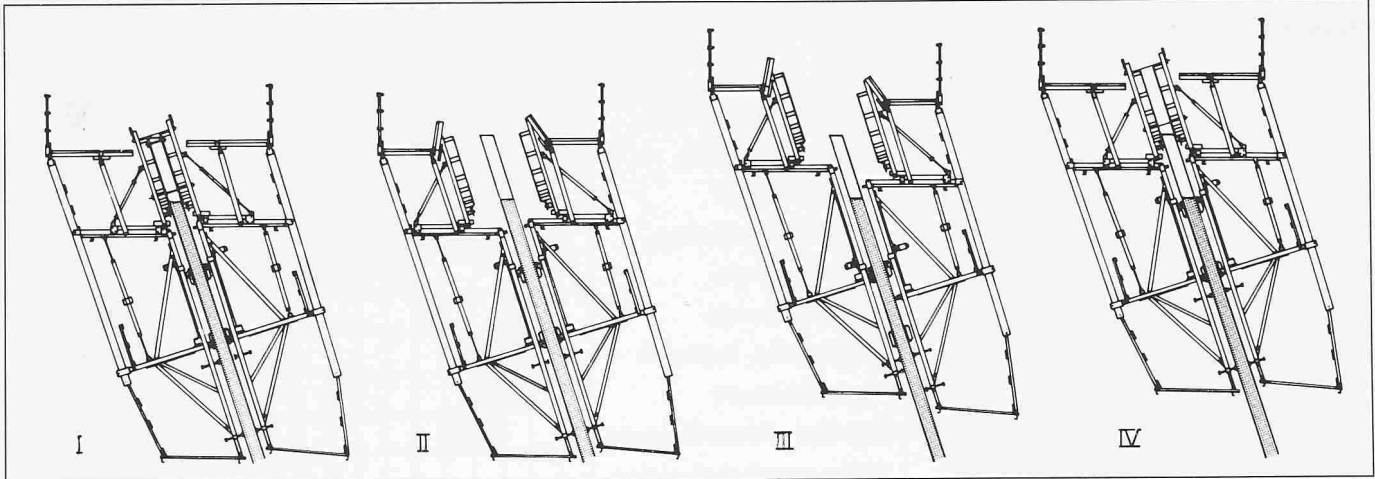


Bild 7. System der Kletterschalung, Phasen I bis IV

### Bau der Schale

Nach Durchführung der Bodenauswechslung und Betonieren der Schrägstützenfundamente wurden die V-Stützen mit Autokran versetzt und mit Spindeln in die richtige Schräglage eingemessen (Bild 9). Danach wurden die konischen *Stützsockel* betoniert, die eine zugfeste Verbindung zwischen Stützen und Fundamentkörpern herstellen.

Für den *unteren Tragring* wurde eine Bodenschalung auf Rüsttischen aufgestellt, als Seitenschalung wurden die Elemente der Kletterschalung verwendet. Die Herstellung erfolgte in 12 Betonierabschnitten (Bild 10).

Der 2. und 3. *Schalering* wurden mit Kletterkonsolen geschalt, die im darunterliegenden Ring verankert waren und mit Autokran in die Aufhängepunkte gehoben wurden. Die Herstellung erfolgte in je 18 Betonierabschnitten. Damit war die *Basis für die Aufhängung der Kletterautomaten* geschaffen, die mit dem Zentralkran auf den unteren Tragring gehoben wurden (Bild 11).

Der weitere Schalenbau erfolgte in Taktarbeit, wobei der im Zeitplan vorausgesetzte *Taktrhythmus von 1 Ring pro Tag* nach 8 Ringen erreicht und bis zum Ende des Kletterbaues beibehalten werden konnte. Durch Rationalisie-

rungsmassnahmen in der Gerüstbedienung und durch Zeitstudien der einzelnen Arbeitsvorgänge konnte jener Arbeitsablauf zeitlich festgelegt werden, der hierfür notwendig war. Bild 12 zeigt den planlichen Ablauf der hintereinander, am Umfang versetzt, auszuführenden Tätigkeiten

- Ausschalen
- Klettern
- Einschalen, Einmessen
- Betonieren
- Bewehren des nächsten Ringes
- Nacharbeiten.

Es wurde mit *Transportbeton* gearbeitet, die Einbringung erfolgte mittels *Zentralkran* mit 1 m<sup>3</sup>-Seitenentleerern (Bild 13). Die tägliche Betonierleistung lag zwischen 32 und 57 m<sup>3</sup>, die Schalfläche zwischen 403 und 653 m<sup>2</sup>.

Etwas problematisch waren die *Ausschalfristen in der kalten Jahreszeit* am Beginn des Kletterbaues. Nach Zeitplan lagen die Erhärtszeiten bei 9 bis 10 Stunden, wobei die Lufttemperatur in den Nachtstunden oft erheblich unter 0 °C lag. Zur Gewährleistung der «Kampffestigkeit» für das Ausschalen der Grossschalttafeln wurden folgende Massnahmen durchgeführt:

- Zugschlagstoffe und Anmachwasser wurden aufgeheizt, sodass die Einbautemperatur des Betons 20 °C betrug.

- Die Aussentemperatur wurde über einen Datensreiber aufgezeichnet.

- Im letzten in den Ring eingebrachten Beton wurde ein Temperaturfühler eingebaut, der den Verlauf der Abbinde-temperatur über den Datensreiber aufzeichnete.

- Der Abbinde-temperaturverlauf in Verbindung mit der Aussentemperatur wurde mit den Laborversuchen über die temperaturabhängige Entwicklung der Frühfestigkeit verglichen. Als Entscheidungshilfe diente das Diagramm Bild 14.

- Für jeden Ring wurde ausser den obligaten normgemässen Probewürfeln noch ein Würfel in Holzschalung gegossen und auf der Kletterrüstung gelagert. Vor dem Ausschalen wurde an diesem Würfel die Druckfestigkeit mit einem Rückprallhammer (Messbereich 2,5 bis 8 MN/m<sup>2</sup>) kontrolliert.

War die erforderliche Festigkeit nicht gesichert, so musste der Arbeitsablauf um die zusätzliche Erhärtszeit verschoben werden.

Die *horizontalen Arbeitsfugen* wurden aufgeraut und vor dem nächsten Betonvorgang mit Druckluft abgeblasen und angefeuchtet. Die *lotrechte Arbeitsfuge* am jeweiligen Betonierbeginn wurde mit einem kammartigen Stahlblech abgeschalt, das vor dem Ring-

Bild 9. Montage der V-Stützen

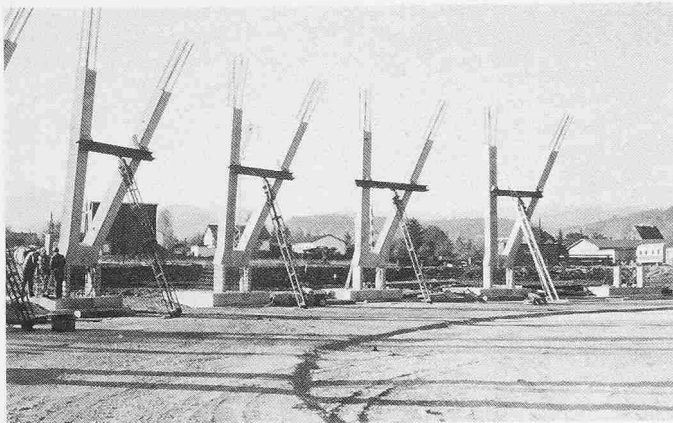
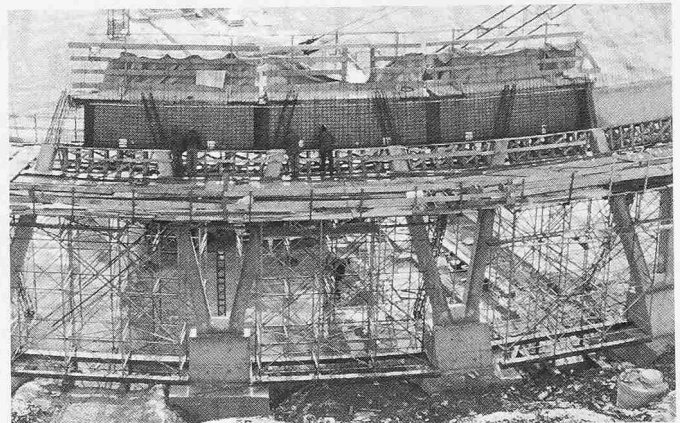


Bild 10. Rüstung des unteren Tragringes



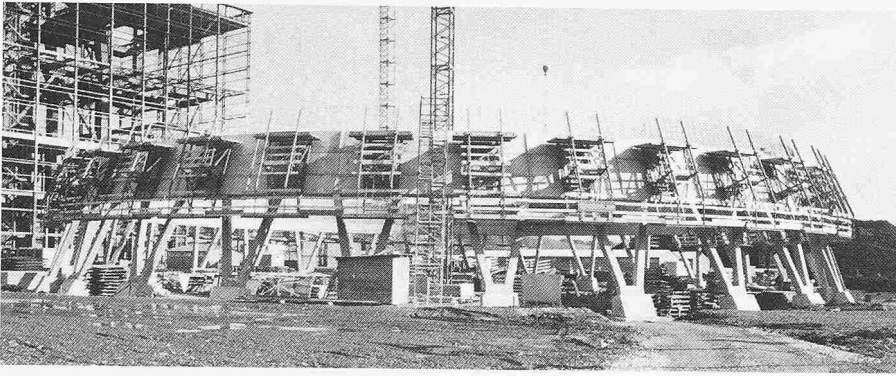


Bild 11. Montage der Kletterrüstung

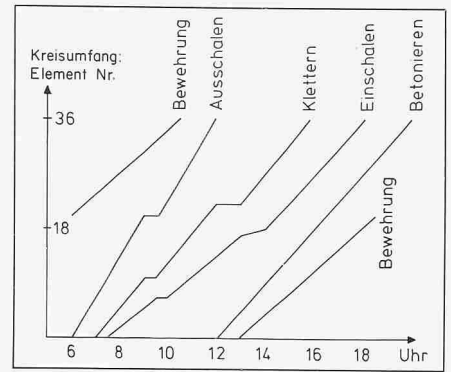


Bild 12. Taktablaufschema (1 Arbeitstag)



Bild 13. Einbringen von Beton

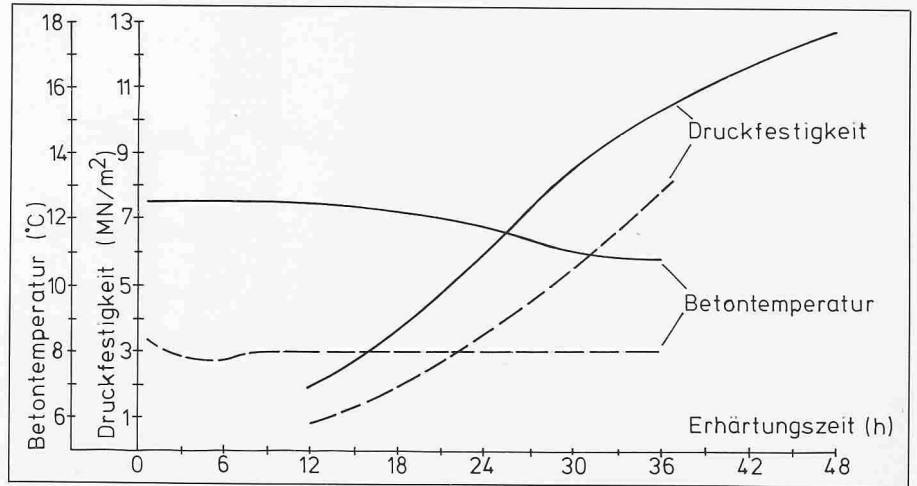
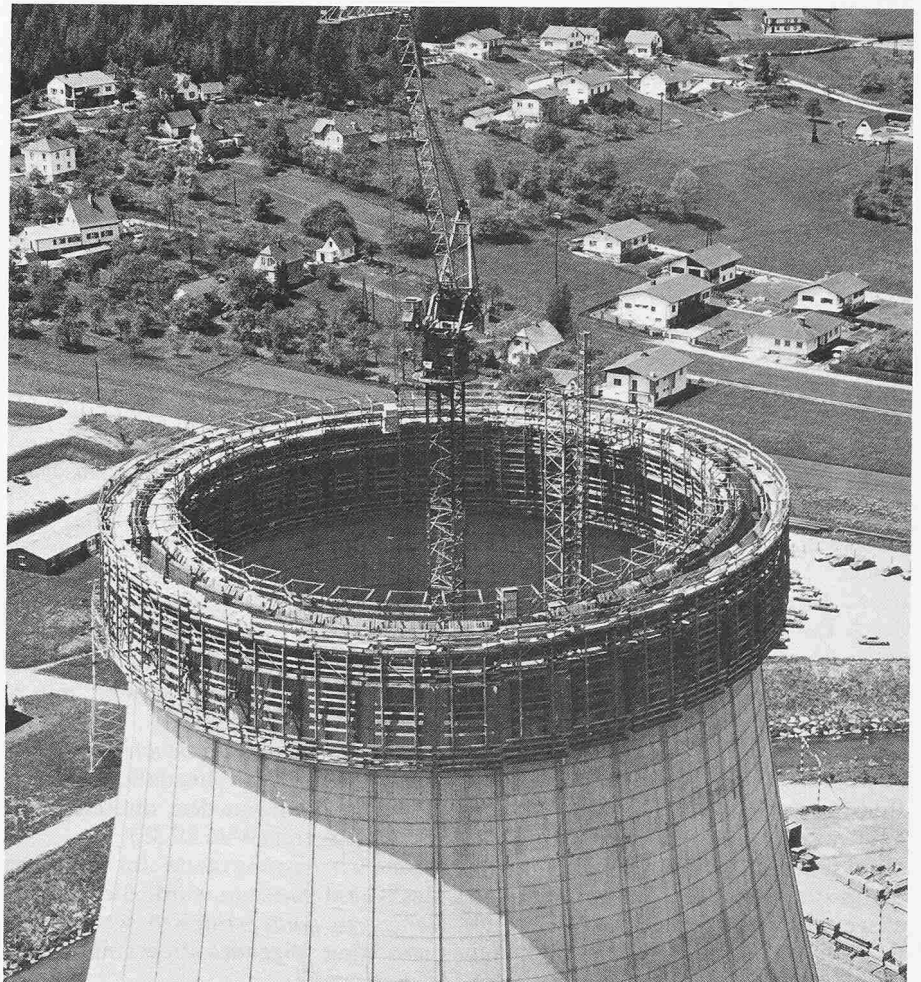


Bild 14. Versuchskurven für Betonfrühfestigkeit

Bild 16 (rechts). Kletterbauzustand im 47. Ringabschnitt

Bild 15. Kammartiges Stahlblech für lotrechte Arbeitsfuge





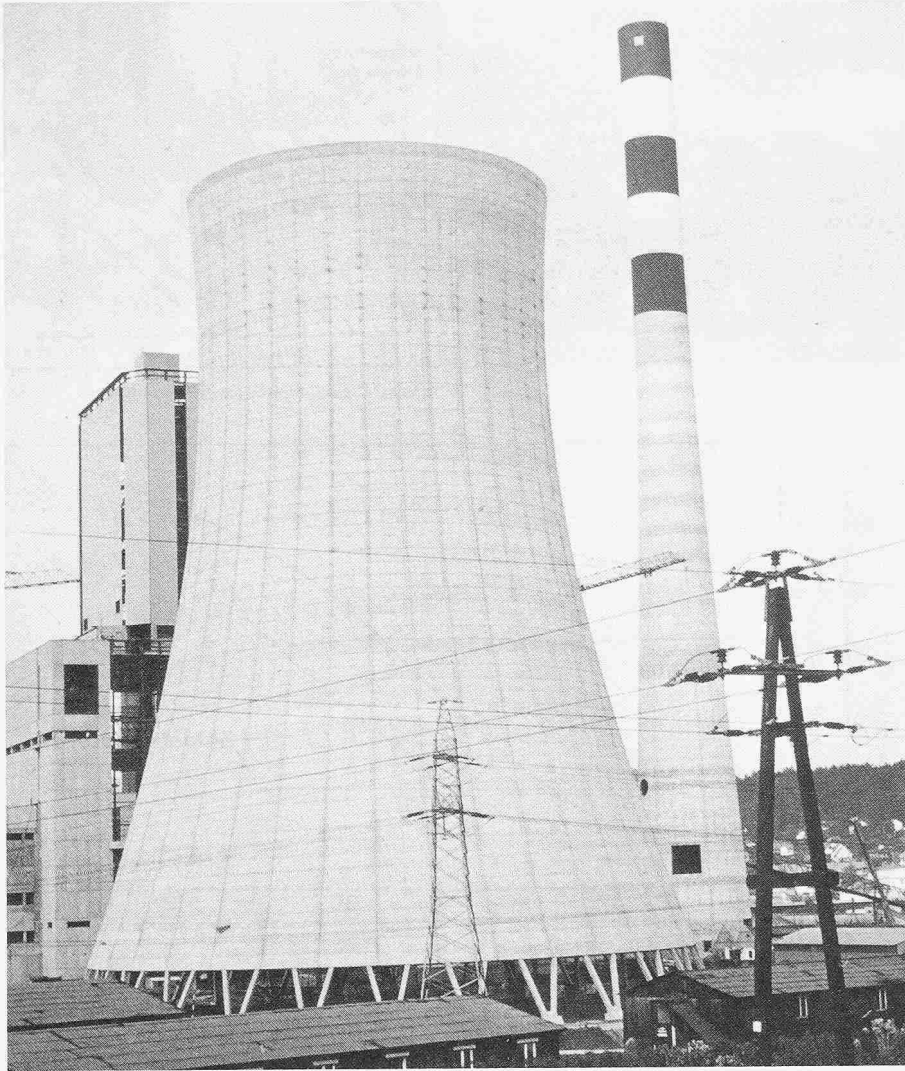


Bild 18. Kühlturmschale nach Fertigstellung

schluss entfernt wurde (Bild 15). Der Beton des Ringanfanges war dabei soweit steif, dass er standfest blieb, jedoch weich genug, um bei Rütteln des Frischbetons am Ringende mit diesem eine satte Verbindung einzugehen. Die Betonverdichtung erfolgte mit 50 mm Tauchrüttlern. Auf die Betonoberflächen wurde ein *Verdunstungsschutz* Marke Antisol E versprüht.

Die *Bewehrung* in Form eines 2-lagigen annähernd quadratischen Netzes wurde nach dem Betonieren für den nächsten Ringabschnitt an Ort und Stelle gestrickt. Die Meridianbewehrung lief über 2 Bauabschnitte, sodass jeweils jedes 2. Eisen gestossen wurde. Der korrekte Abstand der Netze wurde durch Distanzbügel und S-Haken sichergestellt. Die für den Korrosionsschutz geforderte Überdeckung von 3 cm wurde durch Plastikabstandhalter gesichert.

Bild 16 zeigt den Bauzustand im 47. der 64 Ringabschnitte. Nach 62 Regelabschnitten ist die Kühlturmkrone durch die *Ausbildung des oberen Umganges* ausgesteift. Seine Herstellung (63. und 64. Ring) erfolgte in Quadranten, wobei die Kletterrüstung in modifizierter

Form verwendet wurde. Die Innenaufbauten wurden hochgefahren, die Arbeitsbühnen und die Schalungen demontiert und die Bodenschalung der Kragplatte auf den Schalungsbühnen aufgeständert (Bild 17). Mit dem Betonieren der Brüstungswände war der Schalenbau beendet und die Kletterrüstung konnte demontiert und mit dem Zentralkran zu Boden gefahren werden.

Die fertiggestellte Kühlturmschale zeigt Bild 18.

#### Vermessung

Die maximale Schalenabweichung von der theoretischen Sollform ist *vertraglich* mit  $\pm 50$  mm *fixiert*, die Abweichung der Tangentialebene in jedem Punkt der Schalenfläche wird mit  $\pm 1,5\%$  toleriert.

Die *Überwachung der Schalengeometrie* erfolgte mit einem Theodolit (Wild T 2) in Verbindung mit dem optischen Distanzmessgerät (Wild DI 3S).

Vom Vermessungsstand im Zentrum des Kühlturmes aus wurde die *Schaleninnenseite polar vermessen*, wobei in jedem Ring folgendes Programm eingehalten wurde:

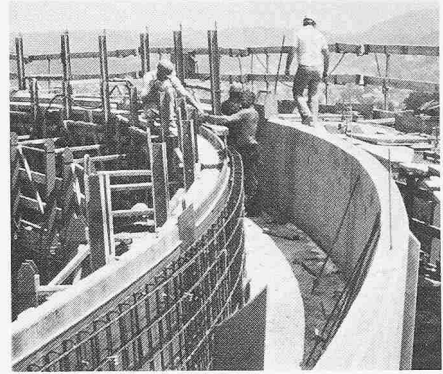


Bild 17. Schalung des oberen Umganges

- Kontrolle der Mitte des Schalungselementes im Grundriss (zur Vermeidung eines Schraubwuchses)
- Einstellung eines markierten Punktes der Schalungsmitte auf den korrekten Radius
- Kontrolle der Messpunkthöhe
- Kontrolle, ob die Sehne des Schalelementes auf den Messradius senkrecht steht.

Jedes 2. Schalungselement wurde genau eingemessen, die dazwischenliegenden Elemente wurden den Enden der eingemessenen Elemente angepasst. Die Schalung wurde um Schwindverformung und Gerüstverformung aus Betonierlast *überhöht*. Der markierte Messpunkt der Schalungseinstellung wurde nach dem Betonieren, Ausschalen und Hochklettern am nächsten Tag auf seine Richtigkeit überprüft.

Jeder 10. Ring wurde vom Vermessungsteam des Bauherrn in unabhängiger Vermessung kontrolliert. Die *maximale Abweichung* im Regelkletterbau lag bei 28 mm.

#### Literatur

- [1] Allgem. bürgerliches Gesetzbuch ABGB §§ 1299 ff.
- [2] Bautechnik bei Kühltürmen, Teil 2, Bautechnische Richtlinien - BTR - VGB - Kraftwerkstechnik GMBH, Essen
- [3] Krätzig, W.B./e.a.: «Naturzugkühltürme aus Stahlbeton - Derzeitiger Stand und Entwicklungsmöglichkeiten». Beton- und Stahlbetonbau 1978, S. 37, S. 66 ff
- [4] Amtsauskunft der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, gültig für den Raum Köflach - Voitsberg
- [5] Griessnig, H.: «Beitrag zur Stabilitätsberechnung beliebiger Rotationsschalen mit Hilfe der Methode der finiten Elemente». Diss. TU Graz, 1977
- [6] Cetmeli, E.: «Zur statischen Berechnung der hyperbolischen Kühltürme infolge Erdbebenlasten». Bauingenieur 1975, S. 417
- [7] Mungan, J.: «Experimentelle Beuluntersuchungen und Stabilitätsnachweise für Kühlturmschalen». KIB H.29/30, Essen 1977.

Adresse des Verfassers: Dipl.-Ing. Dr. techn. B. Ci-chocki, Arge Kraftwerk Voitsberg 3, Postfach 24, A-8570 Voitsberg.