Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 10 (1976)

Rubrik: Theme IVb: Foundation structures for tall buildings

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IVb

Structures des fondations pour les maisons hautes

Fundationen für Hochhäuser

Foundation Structures for Tall Buildings

Leere Seite
Blank page
Page vide

Zur Gründung hoher Stahlbetontürme

Foundation of High-Rise Reinforced Concrete Towers

Fondations de tours en béton armé

JÖRG SCHLAICH
Prof. Dr.-Ing.
Universität Stuttgart
Stuttgart, BRD

ULRICH OTTO
Dipl.-Ing.
Leonhardt und Andrä, Beratende Ingenieure
Stuttgart, BRD

1. Einflüsse auf den Entwurf der Gründung

Bei der Entscheidung für die hinsichtlich der Qualität und Wirtschaftlichkeit günstigste Gründung eines hohen Stahlbetonturms spielt der Baugrund die ausschlaggebende Rolle: die Tiefe ab der er ausreichend tragfähig ist, seine bodenmechanischen Kennwerte und die Grundwasserverhältnisse. Entscheidend können aber auch die funktionellen Anforderungen sein, die an den Turm gestellt werden. So sind bei einem Fernmeldeturm mit Richtfunkverkehr viel schärfere Bedingungen hinsichtlich möglicher Fundamentverdrehungen unter Windlasten und ungleichmäßiger Setzungen einzuhalten als bei einem reinen Aussichtsturm. Ebenso kann der Nutzraumbedarf am Fuß des Turmes die Gründung entscheidend beeinflussen.

2. Die verschiedenen Gründungskörper und ihr Tragverhalten

Die Lasten eines typischen zylindrischen Turmschaftes können entweder über eine Kreisplatte (Fig. 1 - 3) oder einen Kreisring (Fig. 4 - 10) auf den Baugrund übertragen werden. Liegt der tragfähige Baugrund sehr tief und/oder das Grundwasser sehr hoch, wird meist eine Pfahlgründung gewählt.

2.1 Vergleich von Kreisplatte und Kreisring

Wegen seiner großen Kernweite ist beim Kreisring das Verhältnis zwischen den wechselnden ungleichmäßigen Bodenpressungen infolge Windlasten und den ständigen gleichmäßigen Bodenpressungen infolge Eigengewicht immer sehr viel kleiner als bei einer entsprechenden Kreisplatte. Die Folge ist, daß bei der Platte im Gegensatz zum Kreisring die Gefahr von ungleichmäßigen Setzungen und damit einer ungewollten Schrägstellung des Turmes besteht. Die größeren Setzungen im Randbereich der Platte können dazu führen, daß die Platte im Laufe der Zeit auf dem Mittelbereich "reitet". Daraus resultieren größere Auslenkungen des Turmes infolge Wind und eine Abminderung der Gesamtstandsicherheit über zusätzliche Momente II. Ordnung. Das Tragverhalten einer Kreisplatte kann im Sinne des Fundamentringes verbessert werden, indem man im Mittelbereich der Fundamentplatte in die Bodenfuge eine weiche Zwischenschicht einlegt (Fig. 2), die gerade in der Lage ist, das Betoniergewicht der Platte zu tragen, sich aber den Lasten des Turmes entzieht. Ihre Dicke richtet sich nach der Größe der zu erwartenden Setzungen. Die Schnittkräfte in der Platte steigen dabei allerdings entsprechend der Größe der Fläche, die sich nicht an der Lastabtragung beteiligt.

2.2 Die Kreisplatte:

Hier wird der Turmschaft zweckmäßig direkt mit der Platte biegesteif verbunden. Der Außendurchmesser $D_a = 2b$ der Platte wird durch die erforderliche Grundbruchsicherheit und ihre Dicke durch die stark von der Größe der Auskragung (b-a) abhängigen Plattenschnittkräfte bestimmt (Fig. 1). Der auskragende Bereich der Platte wird häufig nach außen verjüngt. Mit $h_b/h_a < 1$ werden die Biegemomente an der Einspannstelle zwar größer als bei einer Platte mit konstanter Plattendicke; sie nehmen zum Rand hin aber sehr viel schneller ab.

2.3 Der Kreisring:

In der Regel ist der Durchmesser des Schaftes am Fuß viel kleiner als der des Kreisrings, so daß zwischen beiden ein Übergangstragwerk erforderlich wird. Nur in Ausnahmefällen, etwa bei anstehendem Fels, der eine direkte Verankerung mit vorgespannten Felsankern erlaubt (Fig. 15), oder bei Verwendung dauerkorrosionsgeschützter Erdanker ist es möglich, den Schaft direkt an das Kreisringfundament anzuschließen.

Für das Übergangstragwerk zwischen Turmschaft und Fundamentring gibt es verschiedene konstruktive Möglichkeiten:

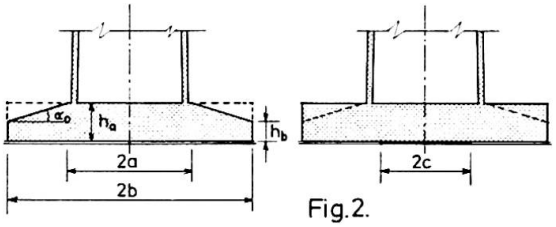
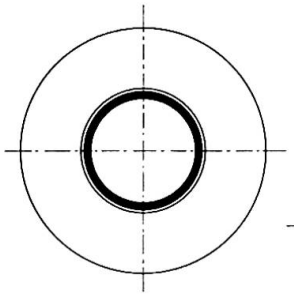
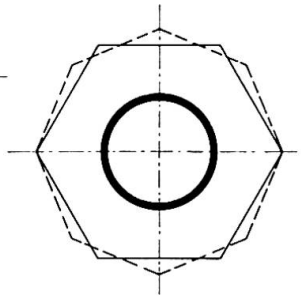
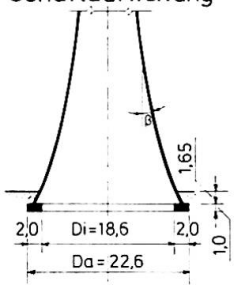
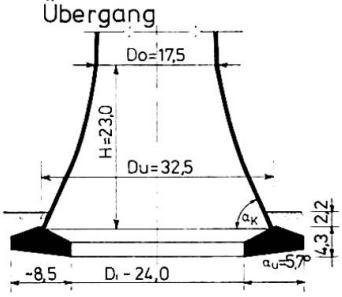
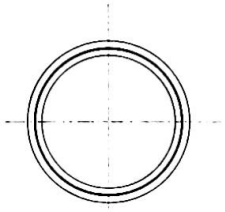
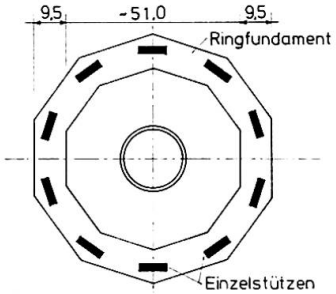
- die kontinuierliche Aufweitung des Schaftes (Fig. 4)
- sehr steile Kegelschalen oder doppelt gekrümmte Schalen (Fig. 5)
- steile bis flache Kegelschalen mit einer Druckplatte oder einem Druckring am Anschluß zum Turmschaft (Fig. 7, 8, 9, 10).

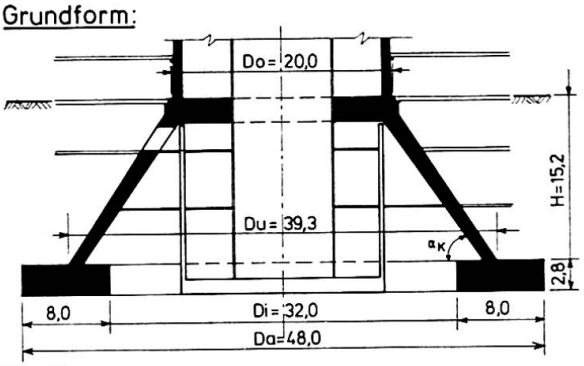
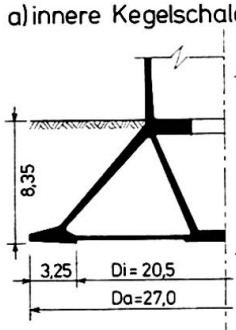
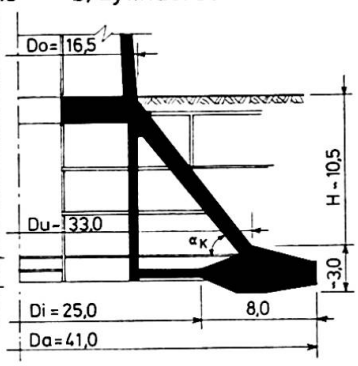
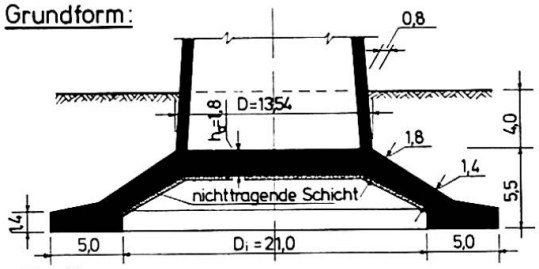
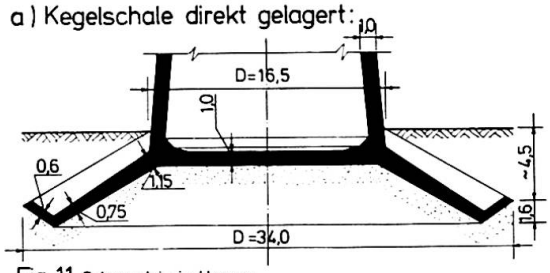
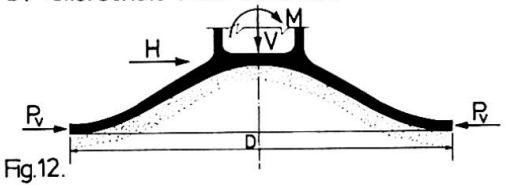
Mit abnehmender Schalenneigung werden die Schalenschnittkräfte größer. Ebenso steigen die Druckkräfte in der Druckplatte bzw. dem Druckring und die Zugkräfte im Fundamentring. Um auch unter dem für die Bemessung meist maßgebenden antimetrischen Lastfall Wind einen überwiegenden Membranspannungszustand zu gewährleisten und die Verformungen klein zu halten, wurden die Kegelschalen früher oft durch entgegengesetzt geneigte Kegelschalen oder durch Zylinderschalen ausgesteift. Dabei wurde der Turmschaft bis zur Gründungssohle verlängert und durch eine Kreisringscheibe mit dem Fundamentring und der Kegelschale zu einem ringförmigen Hohlkasten verbunden (Fig. 8, 9). Es zeigte sich jedoch, daß es wirtschaftlicher ist, die Kegelschalen auch für die antimetrischen Lasten zu dimensionieren und auf die zusätzliche Aussteifung zu verzichten. Bei sehr flach geneigten und deshalb dicken Kegelschalen steigen die dem Tragverhalten der Platte zuzuordnenden Biegemomente gegenüber den Normalkräften stark an (Fig. 10).

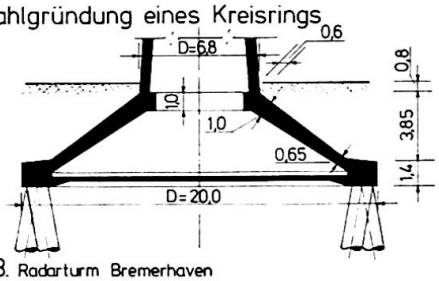
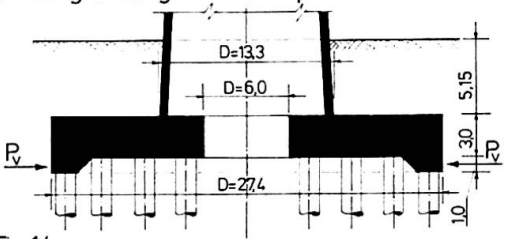
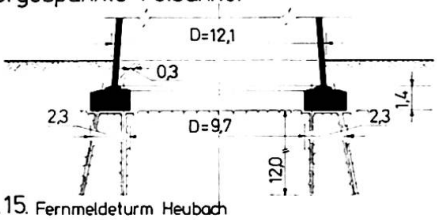
Die Fundamentringe werden normalerweise in einer kompakten Form ausgebildet, um die Querbiegung klein zu halten. Wegen der hohen Ringzugkräfte wird meist eine Vorspannung gewählt, die gewährleistet, daß Fundamentring und unterer Teil des Übergangstragwerks unter maximalem Wind im ungerissenen Zustand bleiben und die Verformungen damit klein gehalten werden. Weiter werden dadurch konstruktive Probleme wie z.B. an den Übergreifungsstößen von schlaffer Bewehrung vermieden und mit dem rissefreien Beton ein sehr guter Korrosionsschutz der Bewehrung erzielt, was vor allem bei (aggressivem) Grundwasser wichtig ist.

Um die Größe der erforderlichen Vorspannkräfte zu reduzieren, wurde bei einigen Türmen die Fundamentsohle nach innen geneigt (Fig. 5). Auf diese Weise können bei Fels die Ringzugkräfte stark reduziert werden. Bei normalem Baugrund ist diese Maßnahme dagegen problematisch. Man kann damit zwar einen Teil der nach außen gerichteten Horizontalkräfte direkt in den Boden ableiten. Voraussetzung dafür ist aber, daß sich unterhalb der Fundamentsohle keine horizontale Gleitfuge einstellt, auf der der darüberliegende Erdkeil zusammen mit dem Fundamentring gleiten kann. Bei rolligem Baugrund ist diese Gefahr normalerweise auszuschließen. Für die Gesamtstandsicherheit des Bauwerks ist aber die nach außen gerichtete Lasteintragung in den Baugrund in jedem Fall von Nachteil, da dadurch die Grundbruchsicherheit vermindert wird.

3. Gründungsarten

	3.1. Kreisplatten	3.2. Kreisringe
Formen	Grundform: -mit $h_a=h_b=h$ -mit $h_b/h_a<1$ Varianten: a) nichttragende Schicht mit D=2c  Fig.2. b) polygonaler Grundriss  Fig.1.  Fig.3.	Grundform: kontinuierliche Schaftaufweitung Varianten: a) sehr steile Schale als Übergang   Fig. 5. Fernsehturm Berlin-O. b) Sonderfall: Schaftauflösung in Einzelstützen, polygonaler Ring  Fig. 4. Fernsehturm Donnersberg  Fig. 6. Fernsehturm Moskau
Tragverhalten, Konstruktion	Plattenmomente steigen mit Auskragung (b-a). Bei Abnahme der Plattenstärke nach außen ($h_b/h_a < 1$) Vergrößerung der Momente im Innenbereich, aber stärkere Abminderung zum Rand hin als bei $h_b/h_a = 1$. Wegen kleiner Kernweite hohe relative Wechselspannungen unter Windlast in der Sohlfuge, Gefahr des "Reitens". Bei Einbau einer nichttragenden Schicht Sohldruckverteilung ähnlich wie bei Kreisring. Vorspannung nur sinnvoll bei großer Auskragung und $b/a \geq 2,5$, wenn schlaffe Bewehrung allein viele Bewehrungslagen erfordert und dadurch, wegen des steilen Momentengradienten, Gefahr des Verbundversagens besteht.	Tragverhalten siehe 2.3. Ringvorspannung: meist mit Einzelspanngliedern, über 1/3 bis 1/2 des Ringumfangs geführt, von außen liegenden Lisenen gespannt. Damit verbundene Nachteile (lange gerade Spanngliedenden, Einleitung von Einzelumlenkkräften) durch Verwendung von kontinuierlich umlaufenden Spanngliedern mit Zwischenverankerungen vermeidbar. Andere Vorspannung durch radial aufgeweitete außen liegende konzentrierte Spannkabel mit nachträglichem Verbund (Faßreifenprinzip). Bei polygonaler Ringform mit Schaft auf Einzelstützen: Zusatzbiegung in Umfangsrichtung.
Herstellung	Sehr einfach und billig herstellbar auch bei Einbau einer nichttragenden Schicht mit D = 2c in der Sohlfuge. Polygonale Form: einfachere Schalung und Bewehrungsführung. Geneigte Oberseite: ohne Zusatzkosten herstellbar wenn $\alpha_0 \leq 20^\circ$.	Fundamentringherstellung einfach und billig mit geringeren Aushubmassen als bei der Platte. Schräglage der Fundamentsohle bei geringer Neigung einfach herstellbar. Übergangskonstruktion (doppelt gekrümmt) mit $\beta > 5^\circ$ erfordert sehr aufwendige Schalung.

	3.3 Kreisring mit steiler Kegelschale und Druckplatte	3.4. Kreisring mit flacher Kegelschale und Druckplatte
Formen	Grundform:  Fig. 7. Fernmeldeturm Frankfurt Varianten mit Aussteifungen: a) innere Kegelschale b) Zylinderschale  Fig. 8. Fernsehturm Stuttgart  Fig. 9. Fernmeldeturm Hamburg	Grundform:  Fig. 10. Fernmeldeturm Kiel Varianten: a) Kegelschale direkt gelagert:  Fig. 11. Schornstein in Ungarn b) Tellerschale nach Havelka:  Fig.12.
Tragverhalten, Konstruktion	Tragverhalten des Übergangstragwerks siehe 2.3. Kegelschalenneigung: 40-60° Druckplatte i.a. durch Treppenhaus bzw. Aufzugsschacht durchbrochen, entsprechend große Plattenstärke erforderlich. Durchbrüche durch Kegelschale möglichst nicht nahe der Druckplatte wegen großer Momente. Innere Schalenaussteifungen für antimetrische Lasten ("ringförmiger Hohlkasten") nach a) bzw. b) beteiligen sich nur zu 25-30% an der Lastabtragung. Vorspannung des Fundamentrings wie 3.2.	Schalenneigung ≤ 30°; Tragverhalten und Sohldruckverteilung der Grundform ähnlich wie bei steiler Kegelschale (3.3), jedoch Zunahme der Druckkräfte in der oberen Platte, der Ringzugkräfte und Biegemomente. Varianten a) bzw. b) direkt gelagert ohne nichttragende Schicht. Dadurch Übergang zur Platte hinsichtlich Sohldruckverteilung. Randverstärkung und Radialrippen bei a) zeigen Schwierigkeiten bei Übertragung von Vorschlag b) in die Wirklichkeit. Variante b) daher nur bei mäßigen Höhen und Auskragungsverhältnissen realisierbar. Dann jedoch Kreisplatte (3.1) einfacher.
Herstellung	Herstellung der Grundform einfacher als kontinuierliche Aufweitung (Fig.4) und sehr steile Schale (Fig.5). Herstellung eines "ringförmigen Hohlkastens" wesentlich komplizierter, wobei Lösung Fig.9 mit dem Ziel der Vereinfachung von Fig.8 entstand.	Herstellung ist ähnlich einfach wie bei Kreisplatte (3.1), da gegen Boden betoniert werden kann. Im Schalenbereich ist Nackenschalung aber meist unvermeidbar. Herstellung der Rippen in Fig.11 sehr aufwendig.

3.5. Tiefgründungen	
Formen	**Tragverhalten, Konstruktion**
a) Pfahlgründung eines Kreisrings  Fig. 13. Radarturm Bremerhaven b) Pfahlgründung einer Kreisplatte  Fig. 14 Fernmeldeturm Mannheim c) Vorgespannte Felsanker  Fig. 15. Fernmeldeturm Heubach	Pfahlgründungen: bei sehr tief anstehendem Baugrund und/oder sehr hohem Grundwasserstand. Tragverhalten von a) entspricht dem von 3.3 mit elastischer Bettung entsprechend Pfahllängen und Baugrund. Lösung b) entspricht der elastisch gelagerten Kreisplatte (3.1) mit Vorspannung. Felsanker; dauerkorrosionsgeschützte Erdanker (c): Aktivierung des anstehenden Felsmaterials für die Standsicherheit. Dadurch Fundamentringdurchmesser nicht größer als Schaftdurchmesser. Ähnliche Lösung möglich bei rolligem Baugrund mit dauerkorrosionsgeschützten Erdankern.
	Herstellung
	Pfahlgründungen: Lösung b) einfacher herstellbar als a), wenn wie dort ein aufwendiges Übergangstragwerk entsprechend 3.3 erforderlich ist, um die Pfähle unterzubringen. Felsanker; Erdanker: bei hoch anstehendem Fels bzw. gutem rolligem Baugrund sinnvoll und wirtschaftlich.

4. Wirtschaftlichkeitsvergleiche

4.1 Gründung bei geringem Nutzraumbedarf im Fundamentbereich

Für diese Gründung kommen bei gutem Baugrund Kreisplatten (nach 3.1) und Kreisringe mit flacher Kegelschale und Druckplatte (nach 3.4) in Frage:

Für den FMT Kiel (Fig. 10) wurde zum Vergleich ein Kreisplattenfundament (nach 3.1) berechnet. In Tab. I werden Abmessungen, Beton- und Stahlmengen einander gegenübergestellt:

	auf O.K. Fundament M [Mpm]	N [Mp]	D_a= 2b [m]	D_i= 2a [m]	2c [m]	h_a [m]	h_b [m]	Bn 350 [m^3]	St 145/160 [t]	St III b [t]	Ideeller Stahlbedarf St III b [t]
Flache Kegelschale (3.4.)	43800	10900	31,0	13,54	21,0	1,8	(1,4)	1435	52	130	310 *
Kreisplatte (3.1.)					12,75	4,0	2,0	2345	–	390	390

Tab. I * Spannstahl im Verhältnis der β_s-Werte umgerechnet

Beton und von rd. 80 t Bewehrungsstahl. Eingespart werden bei der Platte 2 m Aushubtiefe und die Nackenschalung, die zusammen aber den hohen Mehrverbrauch an Beton und Stahl nicht aufwiegen können.

4.2 Gründung bei hohem Nutzraumbedarf im Fundamentbereich

Für diese Gründung kommen bei gutem Baugrund Kreisringe mit aufgeweitetem Schaft (nach 3.2) und Kreisringe mit steiler Kegelschale (mit und ohne Aussteifung) und Druckplatte (nach 3.3) in Frage.

Hier stehen zum Vergleich die Fundamentmassen ausgeführter Türme mit ähnlichen Abmessungen zur Verfügung (Tab. II), so daß Tendenzen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Lösungen ablesbar sind.

		Kreisring mit sehr steiler Schale (3.2.)	Kreisring mit steiler Kegelschale und Druckplatte (3.3)	
		Fernsehturm Berlin-Ost (Fig.5)	Fernmeldeturm Frankfurt/M. (Fig.7)	Fernmeldeturm Hamburg (Fig.9)
auf O.K. Fund.	M [Mpm]	rd. 135500	175000	95000
	N [Mp]	rd. 22000	27500	20500
Fund. ring	D_a [m]	rd. 41	48	41
	D_i [m]	rd. 24	32	25
Übergangs tragwerk	D_u [m]	32,5	39,3	rd. 33
	D_o [m]	17,5	20	16,5
	H [m]	rd. 23	15,2	rd. 10,5
	α_k [°]	rd. 66	56	52
Gründungstiefe [m]		rd. 6,5	rd. 18	rd. 13,5
Beton [m^3]		B450: 2730	Bn 450: 5300	B300/B450: 3930
Spannstahl [t]		St 140/160: rd. 35	St 145/160: 92	St 125/140: 58
BSt III [t]		rd. 490	rd. 335	rd. 395
Ideeller Stahlbedarf BSt III [t]		rd. 605	rd. 650	rd. 570

Tab. II

Der Vergleich zeigt, daß die Hamburger Lösung, berücksichtigt man ihre geringeren äußeren Schnittgrößen, den größten Verbrauch an Stahl und Beton hat. Die Berliner und die Frankfurter Lösung liegen im Materialverbrauch und im Nutzraumangebot nahe beieinander. Beim Vergleich ist aber zusätzlich folgendes zu berücksichtigen:

- die geringe Gründungstiefe des Berliner Turms und die deshalb höheren Erdauflasten bei den Türmen Frankfurt/M. und Hamburg
- die hohen Zusatzlasten bei den Türmen Frankfurt/M. und Hamburg aus den anschließenden Basisgebäuden
- die aufwendigere Herstellung der 23 m hohen Hyperboloidschale von Berlin gegenüber der einfacheren Herstellung der niedrigeren Kegel- und Zylinderschalen von Hamburg und Frankfurt/M.

5. Empfehlungen für die Anwendung der verschiedenen Gründungsarten

Bei Türmen mit geringem Nutzraumbedarf im unteren Bereich ist die Fundamentausbildung mit flacher Kegelschale (nach 3.4) dem Kreisplattenfundament (nach 3.1) wirtschaftlich überlegen. Voraussetzung dafür ist, daß die Platte mit einer nichttragenden Schicht im Innenbereich versehen wird, um eine ähnliche Sohldruckverteilung wie beim Kreisring zu erreichen.

Bei Türmen mit hohem Nutzraumbedarf im unteren Bereich sind die Lösung mit Kreisringfundament und langem Schaftübergangsstück (nach 3.2) und die Kegelschalenlösung ohne innere Aussteifung (nach 3.3) ungefähr als gleichwertig anzusehen. Bei der Entscheidung zwischen oberirdischer Aufweitung und unterirdischer Kegelschale spielen ästhetische Gesichtspunkte mit, die bisher in den meisten Fällen zugunsten der Kegelschalenlösung den Ausschlag gaben.

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitend wird auf die den Entwurf von Turmgründungen beeinflussenden Faktoren hingewiesen. Die in Frage kommenden Gründungsarten und ihr Tragverhalten werden erläutert. Anhand von Materialverbrauchswerten ausgeführter Turmgründungen werden Wirtschaftlichkeitsvergleiche angestellt und Empfehlungen für die Anwendung der verschiedenen Gründungsarten gegeben.

SUMMARY

The factors governing the design of tower foundations are discussed. Types of suitable foundations and their load bearing behaviour are described. With the help of the quantities of steel and concrete of some actually built foundations their efficiency is compared and design criteria for the different types of foundations are proposed.

RESUME

Les facteurs exerçant une influence sur le dimensionnement des fondations des tours sont discutés. Les divers types de fondations et leur comportement sont décrits. Les quantités de matériaux utilisées pour les fondations de tours effectivement réalisées permettent de faire des comparaisons de rentabilité et des recommendations concernant l'emploi des différents types de fondations.

Leere Seite
Blank page
Page vide