

Offshore-Bauten in Norwegen: Reisebericht aus Stavanger

Autor(en): **Wilk, Willy**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 47

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74898>

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.

Offshore-Bauten in Norwegen

Reisebericht aus Stavanger

Von Willy Wilk, Wildegg

Stavanger

Die Organisatoren des 9. FIP-Kongresses boten den Interessenten fünf verschiedene Nachkongress-Reisen zur Auswahl an. Zwei davon, mit erster Station in Stavanger (Bild 1), dem Hauptstützpunkt der Nordsee-Ölexploration Norwegens, waren für all jene Kongress-Teilnehmer, die sich im Lande der Wikinger die imponierend hoch entwickelte Stahlbeton-/Spannbeton-technik beim Bau von Erdöl-Bohrstationen für die Nordsee («Offshore concrete platforms») zeigen lassen wollten. Um es vorwegzunehmen: Der Aufenthalt in Stavanger war ausgezeichnet organisiert, die zur Verfügung stehende Zeit, ohne überladenes Programm, vorbildlich genutzt. Obwohl der Besuchs-

tag ein Samstag war, stellte sich eine ausreichend grosse Zahl bestqualifizierter Fachleute für die technischen Führungen zur Verfügung.

Stavanger selbst, mit 85 000 Einwohnern die viertgrösste Stadt Norwegens, ist nicht eine junge Siedlung oder gar ein riesiger Bauplatz, die erst mit dem Nordsee-Ölboom zu Bedeutung gelangte, vielmehr eine *alte Fischer-, See- und Handelsstadt*. Für ihre nicht unbedeutende kulturelle und merkantile Vergangenheit zeugen der Dom im anglo-normannischen Stil mit gotischem Chor, im Jahre 1300 vollendet, und die einzige der mittelalterlichen Kirchen Norwegens, die ihre ursprünglichen Linien bewahrt hat, aber auch das alte Stavanger mit engen, winkligen Gassen und malerischen weissgetünchten Häu-

sern aus dem Ende des 17. und dem 18. Jahrhundert. Ausserhalb der Altstadt stehen grosse Herrenhäuser aus dem 18. und 19. Jahrhundert, ehemals im Besitz wohlhabender Kaufleute und Reeder.

Seit Stavanger, ab etwa 1970, zum Stützpunkt norwegischer Aktivitäten in der Erdöl-Exploration geworden ist, spürt man natürlich heute überall auch die Geschäftigkeit und Dynamik, die zur Bewältigung solch herausfordernder Aufgaben wie eben die Erschließung potentieller Erdölfelder weitab vom Festland in offener See notwendig sind.

Offshore-Plattformen in Beton

Im britischen und norwegischen Sektor der Nordsee wurden bis dato 14 Plattformen in Beton installiert. Davon wurden 8 durch das Konsortium *Norwegian Contractors (NC)* gebaut, das als Arbeitsgemeinschaft die drei bedeutendsten General- und Ingenieurunternehmen Norwegens verbindet (Thor Furuholmen A/S; A/S Høyer-Ellefsen; F. Selmer A/S).

NC entwickelte ab 1971 das *Condeep-Konzept* für Beton-Plattformen, abgestellt auf dem norwegischen Kontinentalsockel. Bis heute sind Tiefen zwischen 70 bis 150 m unter dem Meeresspiegel erreicht worden. Man rechnet damit, dass mit diesen bisher gebauten

Bild 1. Ölfelder der Nordsee. Stavanger als Zentrum norwegischer Offshore-Technik (Quelle: Spektrum der Wissenschaft, Juni 1982)

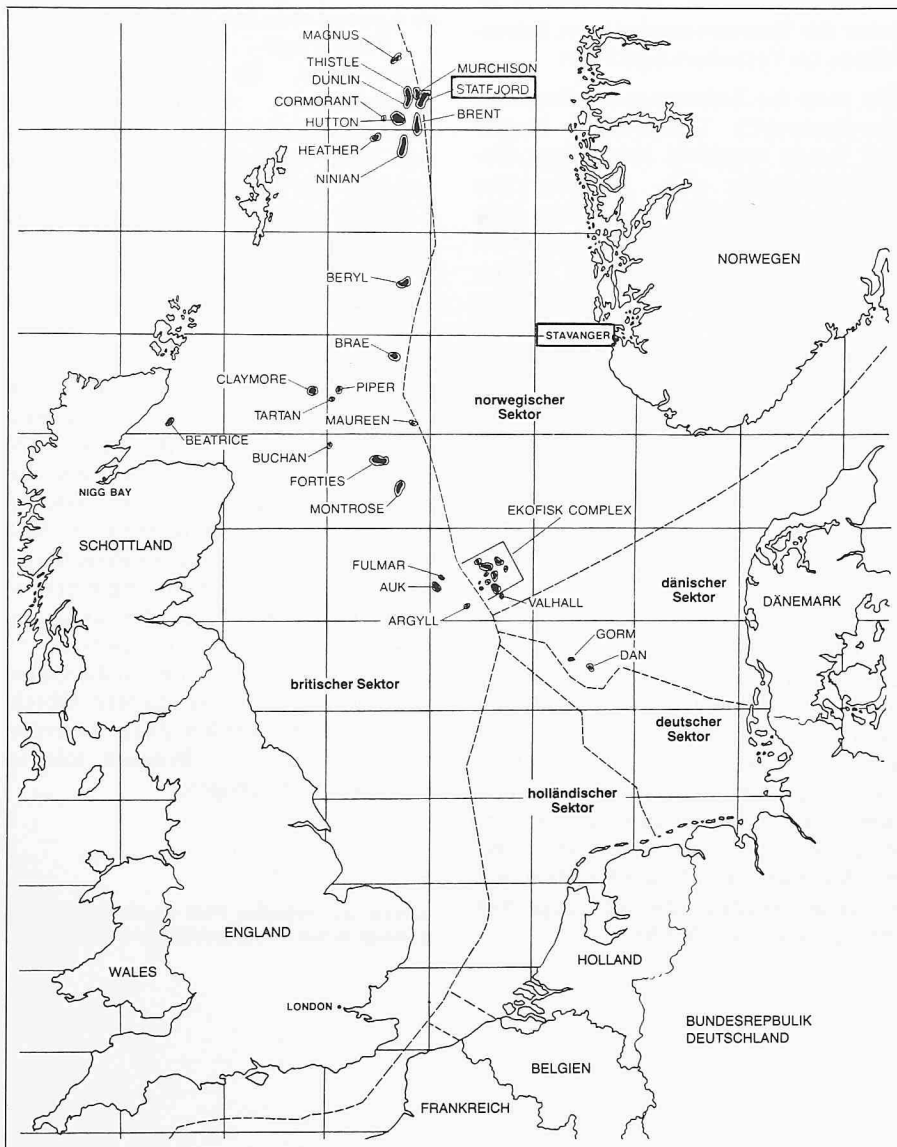
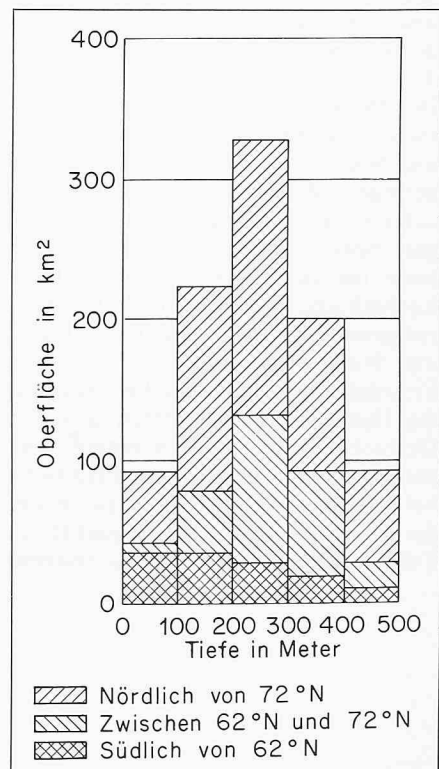


Bild 2. Häufigkeitsverteilung der Wassertiefen über dem norwegischen Kontinentalsockel (nach K. Eriksen, Nordisk Betong, 2-4: 1982)



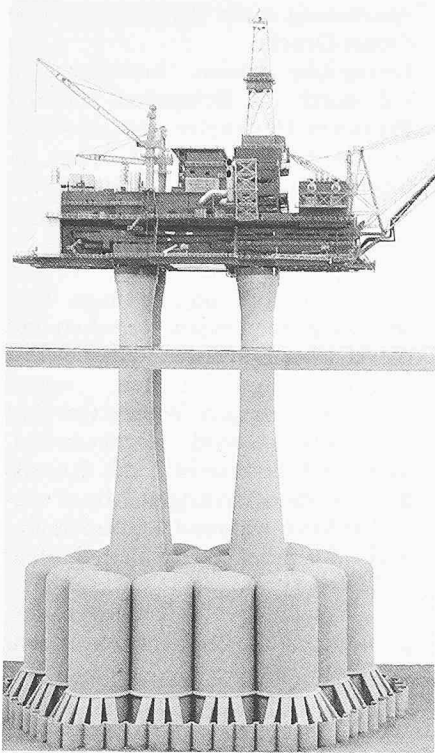


Bild 3. Condeep-Konzept für Statfjord B. Schwerkraft-Plattform mit Flachfundation, Betonschäften und Aufbaute

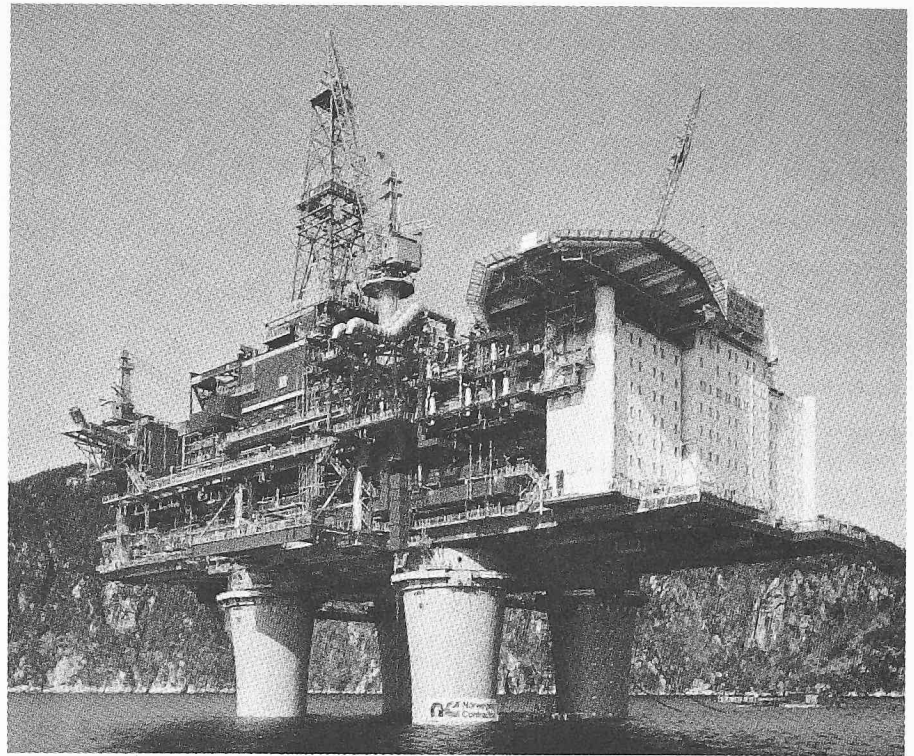


Bild 4. Aufbaute der Condeep-Plattform

Strukturen Fundationstiefen bis höchstens 200 m ab Meeresspiegel erreichbar werden. Weil aber in der Häufigkeitsverteilung der Wassertiefen über dem norwegischen Kontinentalsockel die Spanne 200 bis 300 m dominiert (Bild 2), geht es für die unmittelbare Zukunft beim Bau von Ölplattformen in der Nordsee darum, das dafür geeignete Tiefwasser-Konzept zu entwickeln. Mit wenigen Ausnahmen besteht die Funktion solcher Plattformen nicht nur im Erbohren des Rohöls, sondern sie sind gleichzeitig auch riesige Stapelbehälter.

Das Condeep-Konzept

Konstruktionsformen

Die Umweltbedingungen erfordern von diesen Betonstrukturen die Berücksichtigung von Fundationstiefen bis 200 m ab Meeresspiegel und von Wellenhöhen bis zu 31 m bei Windgeschwindigkeiten von 50 m/s. Die Condeep-Strukturen zeichnen sich aus durch einen aufgelösten riesigen Caisson (aufgelöst in eine Vielzahl bis zu 24 zylindrischer, gegeneinander abge-

schlossener Zellen) als Fundament und durch bis zu vier hohlzylindrische und konische Betonschäfte (Bild 3) zur Aufnahme der bis zu 50 000 t schweren eigentlichen Plattform in Stahl (Bild 4).

Je nach der später zu übernehmenden Funktion (vom einschäftigen Offshore-Schiffbeladungs-Terminal bis zum vier-schäftigen kombinierten Bohr- und Stapelturm) sowie der Fundationstiefe ab Meeresspiegel bietet das Condeep-Konzept bis zum schwimmenden (für Wassertiefen zwischen 140 bis max. 500 m) verschiedene Plattfortmtypen an (Bild 5).

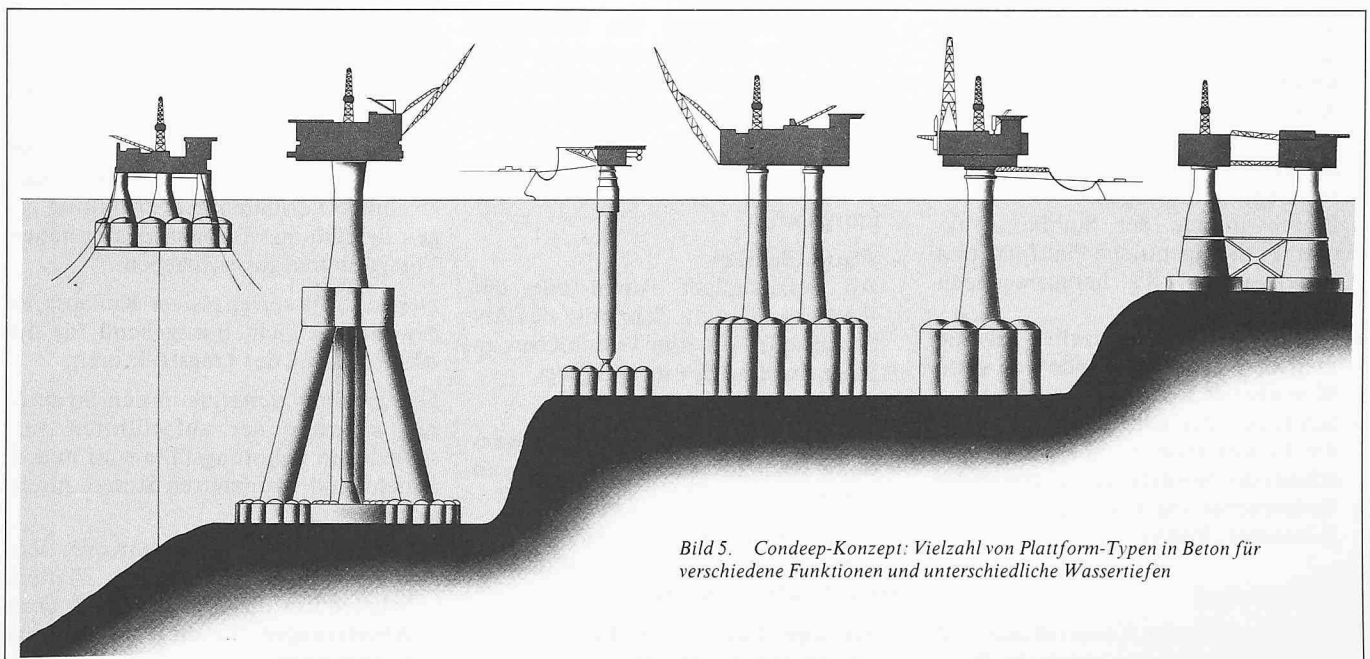


Bild 5. Condeep-Konzept: Vielzahl von Plattform-Typen in Beton für verschiedene Funktionen und unterschiedliche Wassertiefen



Bild 6. Die fertige Bohrplattform wird über 400 km Distanz zum Ölfeld geschleppt

Bauvorgang

Der *Bauvorgang* läuft in folgenden Phasen ab:

- Bau des vielzelligen Caissons im Trockendock
- Fluten des Docks und Ausschwimmen des Caissons an eine geeignete Tiefwasserstelle im Stavangerfjord
- Hochziehen der Betonschäfte (Bohr- und Stapelschäfte) in Gleitschalungen so, dass entsprechend der Zunahme an Schafthöhe der gesamte untere Strukturteil abgesenkt wird (Ausbalancieren durch Belasten der Caissonzellen)
- Absenken der gesamten Struktur, bis die Köpfe der fertig betonierten Schäfte noch rund 7 m über den Meeresspiegel herausragen.
- Einschwimmen der Stahlkonstruktion für die eigentliche Plattform und Absenken auf die herausragenden Betonschäfte.
- Entlasten der Caissonzellen, bis die Plattform eine freie Höhe von rund 30 m über dem Meeresspiegel hat.
- Schleppen der ganzen Plattform an die Einsatzstelle im nördlichen Abschnitt der Nordsee, Distanzen in der Grössenordnung von 400 und mehr Kilometer (Bild 6).

Zur Bemessung

Bei der Analyse der Konstruktion und deren Bemessung sind sämtliche Bau-

Transport- und Betriebsbedingungen einer Plattform im Verlaufe ihrer Lebensdauer zu berücksichtigen. Ihre Lebensdauer, üblicherweise zu 30 Jahren angenommen, wird durch fünf Phasen geprägt:

- *Phase «Konstruktion»*
Berücksichtigung der Konstruktionsbedingungen, Bauzustände im Trockendock und im schwimmenden Zustand.
- *Phase «Transport»*
Lastfälle während des Transports (der Teile oder der gesamten Konstruktion) aus dem Trockendock und vertäuen auf See in geschützter Lage.
- *Phase «Installation»*
Einbau der Plattform am Bestimmungsort.
- *Phase «Betrieb»*
Ab vollständiger Ausrüstung der Plattform bis zum Zeitpunkt des Abbruchs oder bis zum Verschieben an einen anderen Bestimmungsort.
- *Phase «Rehabilitation»*
Alle Vorgänge zur Wiederverwendung der Plattform an einer anderen Stelle.

Im Verlaufe dieser verschiedenen Lebensphasen sind für die Struktur folgende Lastfälle wichtig:

- Ständige Lasten wie Eigengewicht der tragenden Strukturen und der

Ausrüstung sowie äusserer hydrostatischer Druck.

- Bewegliche Lasten, hervorgerufen z.B. durch die Belegschaft auf der Plattform, Helikopter, gestapelte Güter (Öl, Nahrungsmittel), Stösse infolge Vertäuerung. Diese Lasten können statischer, dynamischer oder ermüdender Natur sein.
- Lasten, hervorgerufen durch Verformungen der Struktur infolge Vorspannung, Schwinden, Kriechen und thermischer Einflüsse.
- Umweltbedingte Lasten wegen Wind, Strömungen, Wellen (im Fall «Wellenlast» wird angenommen, dass die Charakteristik des Sturms, der im hundertjährigen Mittel einmal auftritt, während 6 Stunden einwirkt mit einer maximalen Wellenhöhe von 31 m).
- Zufällige Lasten aus Erdbeben, Explosionen, Schiffskollisionen, fallenden Objekten.

Die Bodenreaktionen, hervorgerufen durch diese angeführten Lastfälle, sind natürlich mit zu berücksichtigen.

Die tragenden Strukturen werden auf Traglast (TL), Gebrauchsfähigkeit (GF), Ermüdung (E) und progressiven Kollaps (K) untersucht.

Gewöhnlich bestimmt die *Traglast-Analyse* die Dicke der Wände und den Gehalt an schlaffer Bewehrung. In der Untersuchung auf Gebrauchsfähigkeit kann aber das Kriterium auf Rissebeschränkung auch einen höheren Bewehrungsgehalt erfordern, als die TL-Analyse ergibt.

Der *Vorspanngrad* wird durch das Kriterium bestimmt, dass keine Membranzugspannungen im Gebrauchszustand auftreten sollen, auch unter extremer Belastung durch Wellen nicht.

Die Untersuchung auf Ermüdung wurde für den Plattfortyp für eine Wassertiefe von 300 m nach dem Gesetz von Miner durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass Ermüdungseffekte aus Wellenbelastung irrelevant sind. Der hauptsächlich Grund für das ausgezeichnete Verhalten der Strukturen gegen Ermüdung wird dem relativ hohen Vorspanngrad zugeschrieben.

Der Lastfall «progressiver Kollaps» ist gewöhnlich nicht massgebend für die Abmessungen der Tragstrukturen.

Die *Spannungsanalyse* in den Strukturen aufgrund der aufgeführten verschiedenen Belastungsfälle wird in drei zunehmend verfeinerten Stufen durchgeführt.

- Grobanalyse an Hand einfacher Modelle wie Balken, Stützen, Platten, Schalen usw., hauptsächlich um erste Abmessungen für die Tragelemente zu gewinnen.

- Rechnergestützte Analysen räumlicher Rahmensysteme. Die Wechselwirkung Betonstruktur/Baugrund wird durch Einführung linear-elastischer Federn zur Simulation der Baugrund-Steifigkeit berücksichtigt.
- Finite Element-Analyse der komplexeren Tragwerksbereiche (z.B. Anschlüsse der Betonschäfte an die Caissonzellen).

In den Condeep-Strukturen erhalten folgende Bereiche auch eine Spannbe-
wehrung:

- die Fundamentplatten,
- die Ringe, welche den Übergang von den Wänden der Caissonzellen zu den sie überwölbenden Domen bilden,
- die hohen Schäfte mit vornehmlich vertikalen Spannmitgliedern.

Dass schweizerische Technologie gerade hier bei ausländischen, derart anspruchsvollen Projekten gefragt und auch wettbewerbsfähig ist, freut den Schweizer Besucher natürlich besonders. In den beiden jüngsten Beton-Plattformen *Statfjord B* und *Statfjord C* sind VSL-Spannkabel mit Bruchlasten von 3740 kN verwendet worden, insgesamt mehr als 1700 Tonnen Spannstahl für eine Plattform.

Zur Betontechnologie

Die Anforderungen an Beton für Plattformen in der Nordsee entsprechen denjenigen, wie sie in den «FIP-Recommendations for the Design and Construction of Concrete Sea Structures, 3. ed. FIP, London 1977» zusammengestellt sind:

- Geeignete Zuschlagstoffe
- Hohe Druckfestigkeit (min. 40 N/mm²)
- *W/Z*-Wert < 0,45 resp. 0,40 für den Bereich der Sprühwasserzone
- Mindestzementgehalt von 360 kg/m³ (für 20 mm Durchmesser des Grösstkorns der Aggregate)
- Hinreichende Verarbeitbarkeit für vollständige Verdichtung an jeder Stelle
- Mindest-Betonüberdeckung der Bewehrung von 50 mm
- Risse- und Fugfreiheit

Für die neueren Condeep-Plattformen wurden die Anforderungen teilweise noch wesentlich erhöht, resp. zusätzliche geschaffen wie:

- Steigerung der 28-Tage-Würfeldruckfestigkeit auf 60 N/mm² bei gleichzeitiger Forderung auf
- einen Mindestluftporengehalt von 4 Vol.-% (Abstandsfaktor < 0,20 mm).
- Noch bessere Verarbeitbarkeit wegen noch höherer Bewehrungsgehalte (rund 600 kg Stahl/m³ Beton).
- Mindestüberdeckung der Spannmitglieder mit Beton von 100 mm.

Jahr	Zement [kg/m ³]		Sand (0-5 mm)		Zusatzmittel		Slump [mm]	28-Tage-Würfeldruckfestigkeit [N/mm ²]
	SP 30	SP 30-4A	Natürlicher	Aufbereitet	LP	PA (B)		
1971-77	430 bis 450		x		x		80-120	55
1978-80		400 bis 450	x			x	150-200	65
1980 bis dato		380 bis 440		x		x	~ 200	62
				x		x	~ 200	75

LP = Lignosulphonate PA (B) = Superverflüssiger

Tabelle 1. Betonrezepturen Stavanger 1971-81

Tabelle 2. Einfluss der verflüssigenden Zusatzmittel auf den Anmachwasserbedarf und damit auf die Druckfestigkeit von Beton (nach Moksnes J., Nordisk-Betong, 2-4/1982)

Zusatzmittel	Druckfestigkeit	Wasseranspruch
Keine	100%	100%
Lignosulphonate LP	110%	94%
Superverflüssiger PA(B)	120-125%	88%

Für die zurzeit im Bau befindliche Plattform *Statfjord C* wird der Beton nach folgendem Rezept aufbereitet:

Zementgehalt	380 kg/m ³
Sand 0-5 mm	55 Gewichtsprozent
Gebrochene Zuschlagstoffe 5-20 mm	45 Gewichtsprozent
<i>W/Z</i> -Wert	0,42
Slump	220 mm
Superverflüssiger	2,5% der Anmachwassermenge

Die Entwicklung in den Betonrezepturen für die Condeep-Strukturen der vergangenen zehn Jahre zeigt Tabelle 1.

Auffallend sind dabei:

- Grösstkorn-Durchmesser der Zuschlagstoffe von lediglich 20 mm
- Hoher prozentualer Sandanteil am Gesamtgemenge (> 50%)
- Niedriger *W/Z*-Wert bei gleichzeitig bester Verarbeitbarkeit ohne Entmischungsneigung dank der Verwendung leistungsfähiger Superverflüssiger (Tab. 2)
- Erreichen hoher Würfeldruckfestigkeiten ($\beta_{w28} > 60$ N/mm²), obwohl Mindestluftporengehalte von ≥ 4 Vol.-% gefordert sind! (Um stabile Luftporen in einem Beton mit Superverflüssiger zu gewährleisten, ist eine etwas modifizierte Sequenz in der Zugabe der einzelnen Komponenten im Mischprozess zu empfehlen: Die Zugabe des Superverflüssigers erfolge zuletzt und zeitlich deutlich verzögert!)

Aus Tabelle 1 entnimmt man auch eine Entwicklung des Zements. Der zurzeit verwendete Typ SP 30-4A entspricht in seiner Mahlfineinheit etwa dem

schweizerischen hochwertigen Portland-Zement (HPC) mit einem relativ geringen C₃A-Gehalt, setzt damit nur moderiert Hydrationswärme frei.

Qualitätsüberwachung

Vielfalt und Komplexität der Ansprüche an derartige Tragwerke erfordern zwingend eine permanente und äusserst strenge Überwachung der Qualität angelieferter und hergestellter Werkstoffe.

Für die Condeep-Konzepte besteht für jede Baustelle eine eigens und permanent für die Einhaltung der Qualitätskriterien zuständige *Kontroll-Equipe*. Dies wird mit ein Grund dafür sein, dass die Häufigkeitsverteilung der Betondruckfestigkeiten ausgezeichnet der Normalverteilung entspricht.

Plattformen aus Beton in der Nordsee bevorzugt

Wie in allen andern industriellen Sektoren hängt auch im Bereich der Erdöl-/Erdgas-Plattformen der Marktanteil, den sich Betonkonstrukturen sichern können, von ihrer wirtschaftlichen und technischen Wettbewerbsfähigkeit ab. Um den Stellenwert der Erstellungskosten einer Plattform in den gesamtwirtschaftlichen Überlegungen der Bauherrin richtig einschätzen zu können, muss man sich bewusst sein, dass diese lediglich 10-20% der Gesamtkosten einer Bohrstation betragen!

Bild 7 gibt die Kostenentwicklung von Stahl- resp. Betonplattformen in der Nordsee ab 1973. Daraus lässt sich für die Betonkonzeption eine relativ erhöhte Wettbewerbsfähigkeit ablesen. Aber

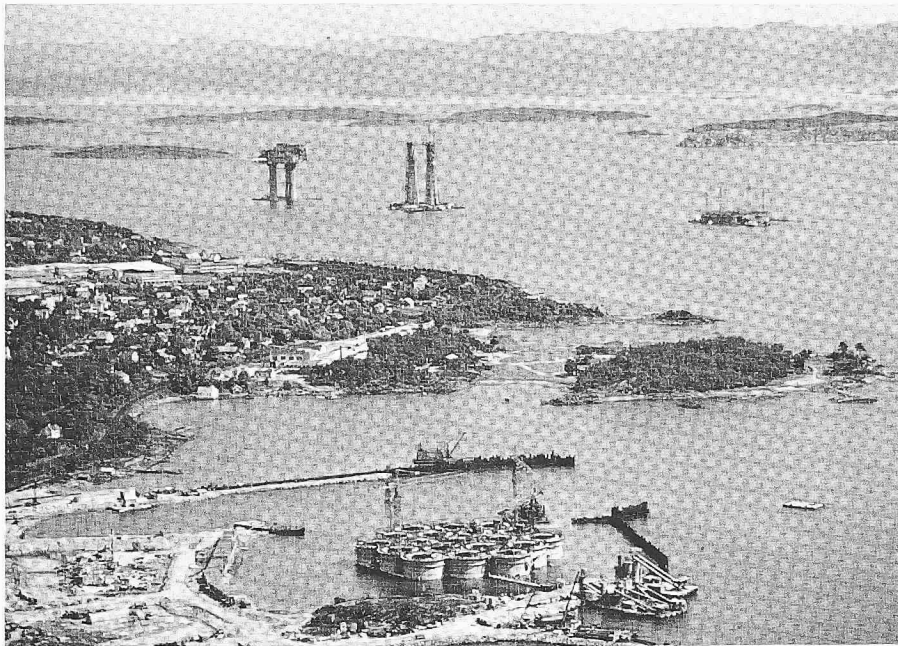


Bild 8. Stavanger. Herstellung der Caissons in Trockendocks (hier geflutet). Vor der Küste werden die Caissons geschlossen, die Betonschäfte hochgezogen und mit den Aufbauten versehen

für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit technischer Systeme sind es ja nicht die Erstellungskosten allein, die relevant sind. Von gleicher Bedeutung sind die operationell bedingten und die für periodische Inspektionen sowie Unterhaltsarbeiten erforderlichen Aufwendungen. Nach den Erfahrungen von Norwegian Contractors dominieren in vielen Fällen diese Kosten die Wahl eines Plattform-Systems.

Wichtige Evaluationsfaktoren sind dabei:

- Häufigkeit von Inspektions- und Unterhaltsaktionen
- Risikograd für Unbrauchbarwerden der Struktur bei zufälligen Lastfällen (Erdbeben, Schiffskollisionen, Explosionen usw.)
- Widerstandsvermögen gegen Ermüdung.

Es scheint, dass unter diesen Kriterien die Betonbauweise für Offshore-Platt-

formen gegenüber Stahl im Vorteil ist. Die Norwegian Contractors bringen es auf die Kurzformel:

«Beton bedeutet:
Weniger Ermüdung + weniger Korrosion = weniger Unterhalt.»

Stavanger als Zentrum norwegischer Offshore-Technik

Stavanger bietet eine ganze Reihe *bedeutsamer Vorzüge* wie:

- Günstige geographische Lage in Südwest-Norwegen mit verhältnismässig vorteilhaften klimatischen Bedingungen
- Gute Erschliessung zu Land, Wasser und aus der Luft
- Die Infrastruktur und die Lage der Stadt vor 1970 war ausbaufähig genug und in der Lage, im Zeitraum

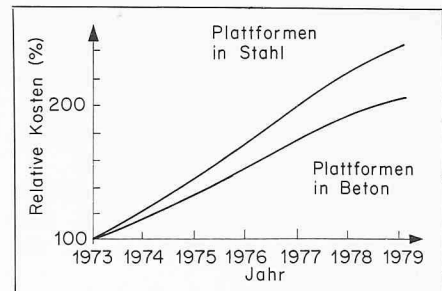


Bild 7. Kostenentwicklung für Stahl- bzw. Betonplattformen in der Nordsee (nach K. Eriksen, Nordisk Betong, 2-4: 1982)

einer Dekade die Verdoppelung der Einwohnerzahl zu verkraften.

- Die Topographie der Küsten und Schelfgebiete rund um Stavanger sind hervorragend geeignet für die eben beschriebenen technischen Grossprojekte: Genügend flache Küstengebiete ermöglichen grossflächige Baugruben für Trockendocks. In unmittelbarer Küstennähe befinden sich aber auch die notwendigen Tiefwassergebiete (Bild 8).

Die Nachkongress-Reise nach Stavanger hat in hervorragender Weise Einblick in hochkomplexe, anspruchsvolle Bauingenieur-Aufgaben mit zahlreichen Anregungen auch für bescheideneren Projektaufgaben unter nichtmaritimen Bedingungen gegeben. Dem Berichterstatter ist aber aufgefallen, wie sehr solche Problemstellungen der Spitzentechnologie anregend auf eine ganze Generation wirken, und zwar auf allen Stufen und allen damit zusammenhängenden Tätigkeitsgebieten. Was unsere norwegischen Kollegen im vergangenen Jahrzehnt im Sektor Stahlbeton geleistet haben, verdient unsere Aufmerksamkeit und unseren Respekt.

Adresse des Verfassers: W. Wilk, dipl. Bau-Ing. ETH, Direktor der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie, 5103 Wildegg.

SIA-Mitteilungen

Beschäftigungslage in den Ingenieur- und Architekturbüros

Erhebung Oktober 1982

Erstmals seit 1978 weisen alle erhobenen Elemente eindeutig einen negativen Trend auf. Innert einem halben Jahr hat sich die wirtschaftliche Lage im Planungs- und Projektierungssektor spürbar verschlechtert. Wenn auch kein eigentlicher Einbruch zu verzeichnen ist, so hat sich die in diesem Jahr feststellbare rückläufige Tendenz im 3. Quartal 1982 verstärkt. Leicht optimistisch kann einzig die Beurteilung der Beschäftigungsaussichten stimmen; sie ist nicht so schlecht ausgefallen wie zu befürchten war.

Übereinstimmend wird der *Auftragseingang* von allen Fachrichtungen deutlich rückläufig beurteilt. Je 44% der antwortenden Büros

verzeichnen einen gleichbleibenden bzw. geringeren Eingang an Aufträgen als im Vorquartal. Die Sparmassnahmen der öffentlichen Hand machen sich vor allem bei Architekturbüros mit einem signifikanten Rückgang der Aufträge für öffentliche Bauten bemerkbar. Verzeichneten im Juli 21% der antwortenden Architekten eine Zunahme der Aufträge, so sind es jetzt noch 9%. Dagegen ergab sich eine leichte Zunahme der Auslandaufträge bei den Bauingenieuren.

Der *Auftragsbestand* nimmt eindeutig ab. Er sank auf 91% des Vorquartals. Der *Arbeitsvorrat* in Monaten ging in allen Sparten zurück, am deutlichsten bei den Bauingenieuren, und zwar von 8,8 auf 7,3 Monate.