Die Aluminiumhütte in Dubai: die Bauarbeiten

Autor(en): **Stoecklin, F. / Wackernagel, A. / Buchli, Ch. / Przedpelski, St.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 19

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74484

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

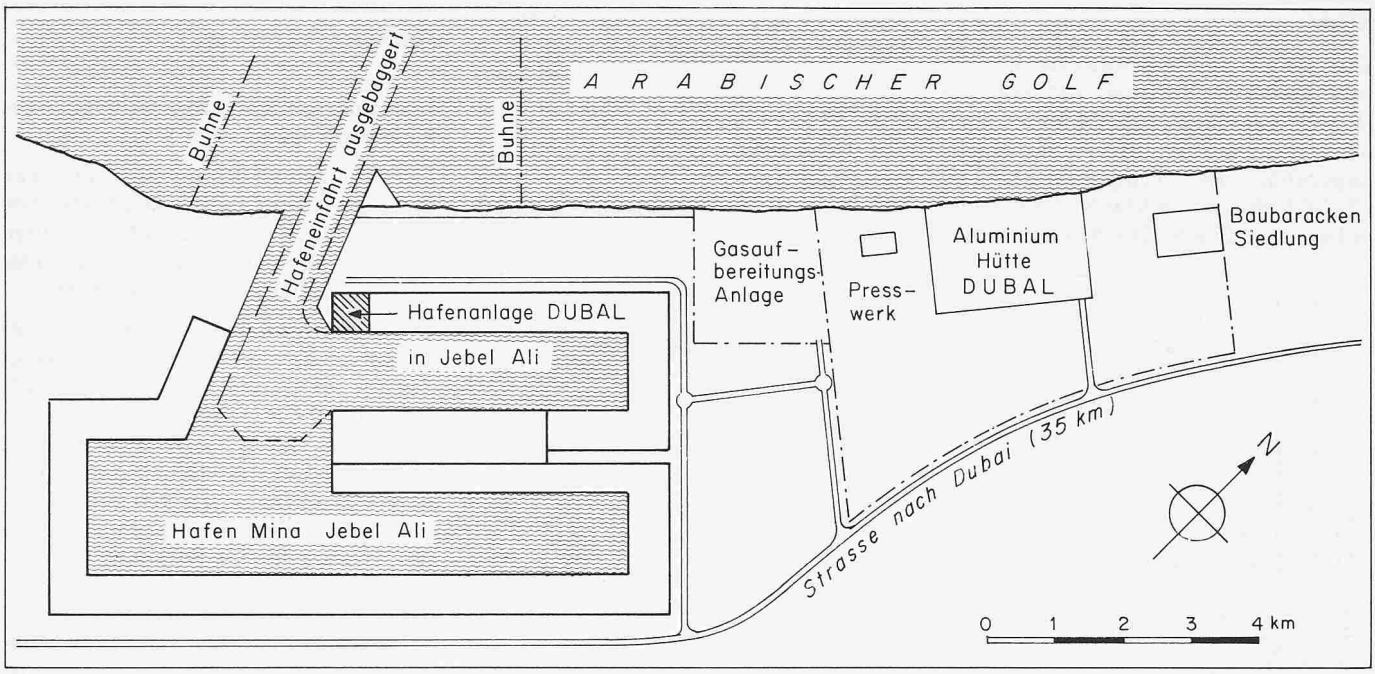


Bild 2. Das Industriegebiet von Jebel Ali

Die Bauarbeiten

Von F. Stoecklin, A. Wackernagel, Ch. Buchli und St. Przedpelski, Basel

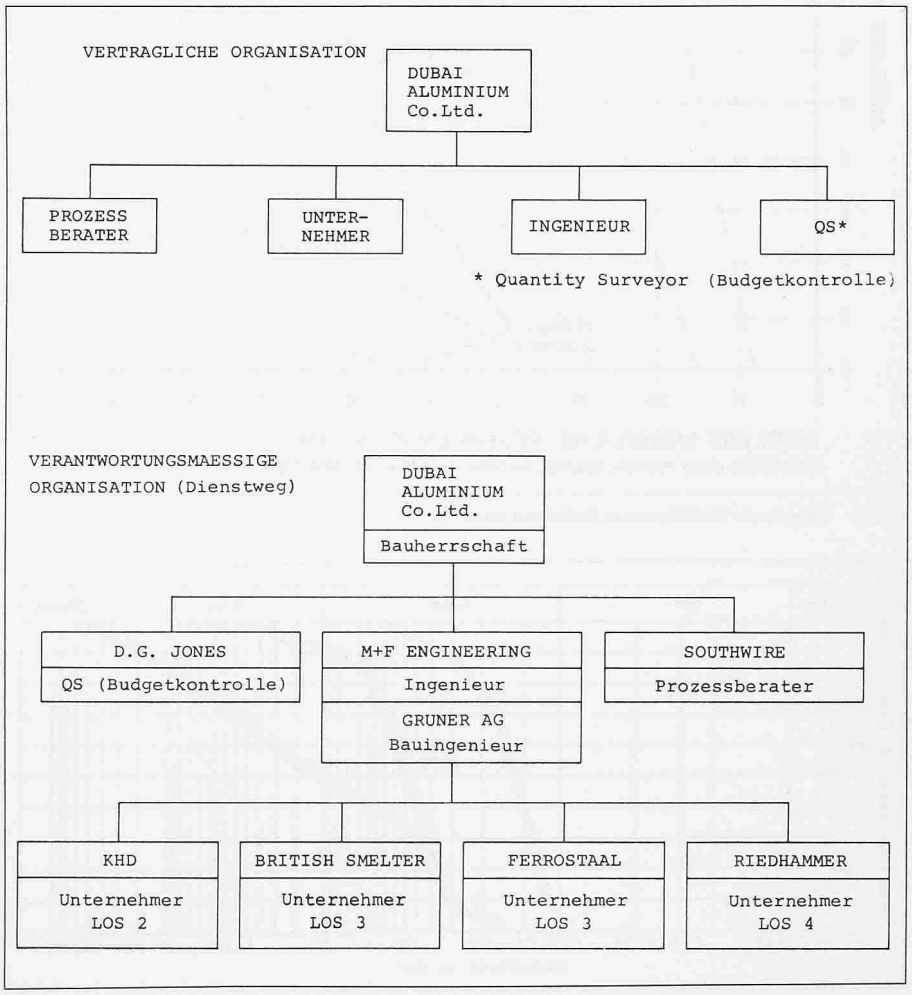
Geologie und Klima

Geologie

Die Aluminiumhütte DUBAL befindet sich auf einem *flachen Küstenstreifen* von ungefähr 3 km Länge, zwischen der Hauptstrasse von Dubai nach Abu-Dhabi und dem Arabischen Golf, 34 km südwestlich von Dubai.

Das Gelände besteht aus einem 500–600 m breiten Landstreifen aus *Dünensand*. Ein flaches Plateau von 5,0 m Höhe über dem Meeresspiegel erstreckt sich parallel zur Küste und der dahinter tiefer liegenden *‹Sabkha›-Kruste* von 300 mm Stärke über dem siltigen Sand über dem 1,0 m tiefen Grundwasserspiegel.

Geologisch besteht der Untergrund aus *äolischen Sanden*. Die Körner bestehen mineralogisch vorwiegend aus Karbonat. Die Sande sind *stark gips- und salzhaltig* und verschieden dicht gelagert. Unter den Sanden befindet sich in einer Tiefe von 9,5–12,5 m die Oberfläche des anstehenden Felses. Es handelt sich um Formationen, die lithologisch als Sandsteine, Siltsteine, Mergel und Konglomerate beschrieben werden können. In einer Tiefe von rund 4,50 m unter der Geländeoberfläche befindet sich der *Grundwasserspiegel*. Das Grundwasser im Bereich der Baustelle weist die gleiche Salzhaltigkeit auf wie das Meerwasser im arabischen Golf.



Organigramm

Klima

Das Klima ist ausserordentlich *heiss und feucht* im Sommer und *mild* im Winter. Für ungefähr 4 Monate – von Dezember bis Ende März – ist es sehr angenehm mit Temperaturen von 10–20° Celsius. Von Mai bis Oktober ist es heiss und feucht. Die heissesten Monate sind Juli, August und September mit max. Temperaturen von 48° C an der Küste und einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 90 Prozent.

Die klimatischen Verhältnisse *im Vergleich zur Schweiz* (Basel) werden für die Periode 1978 in einem Diagramm erläutert (Bild 3).

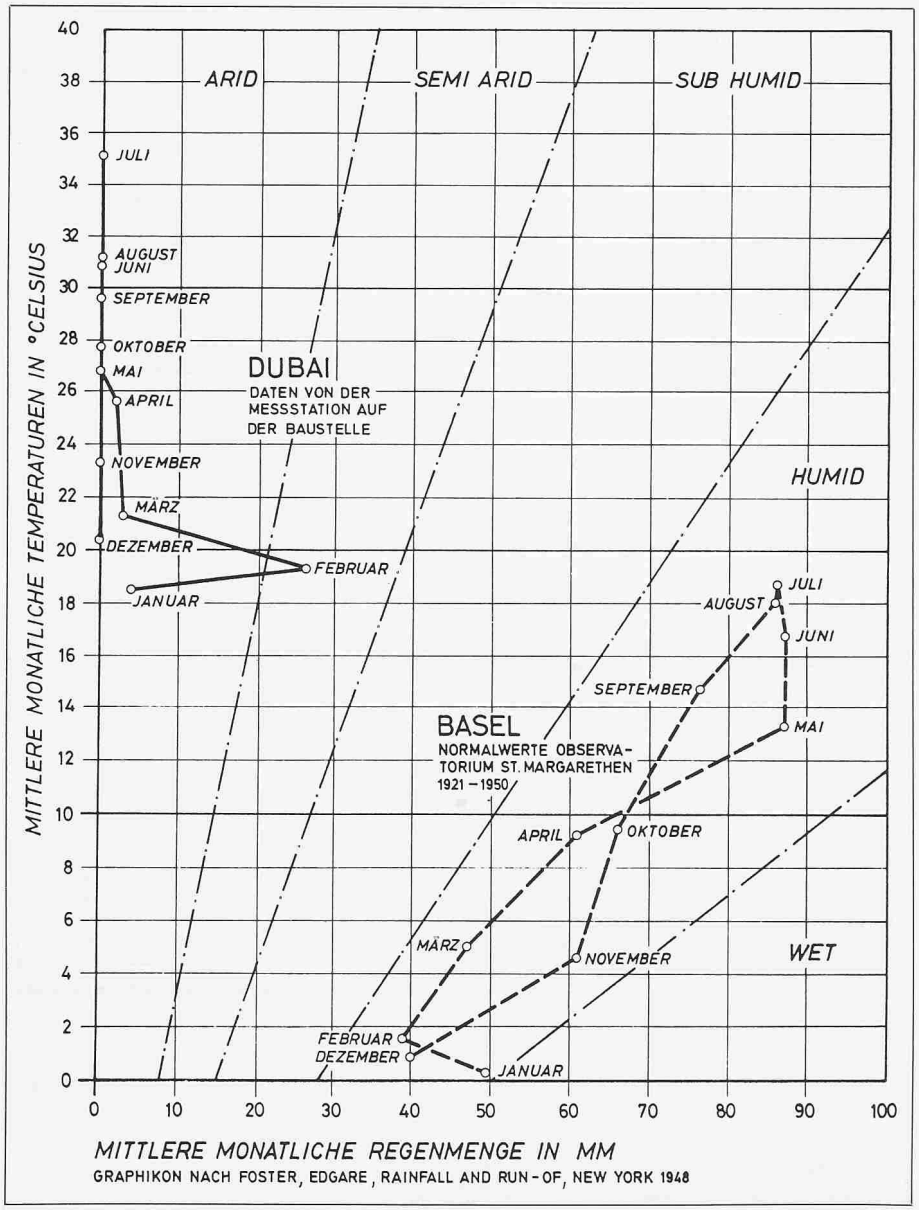


Bild 3. Klimatische Verhältnisse in Dubai und Basel (1978)

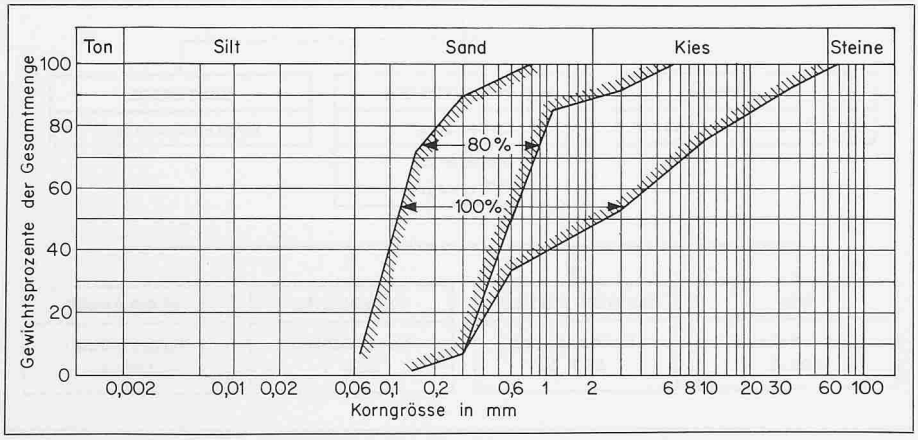


Bild 4. Kornverteilung der Sande

Bodenverhältnisse

Bodenmechanische Eigenschaften des äolischen Sandes

Der Streubereich für die *Kornverteilung* der Sande ist in Bild 4 dargestellt. Die Kornverteilung der meisten Proben liegt zwischen 0,1 und 1,0 mm. Der mittlere Reibungswinkel beträgt 36°.

Die *Lagerungsdichte* wurde mittels *Rammsondierungen* untersucht. Dabei wurde ein Rammbär von 1,59 kN (159 kg) bei einer Fallhöhe von 600 mm verwendet. Die Spitze der Sonde betrug 31,67 cm². Gezählt wurden die Schläge für ein Eindringen von 300 mm. Die so ermittelte Schlagzahl entspricht in etwa der Schlagzahl des Standard-Penetrations-Testes. Die Resultate wurden mit der Arbeit von *Gibbs und Holtz* (1957) beurteilt und für die Verhältnisse der Baustelle ausgewertet (Bild 5). Die Rammsondierungen liessen erwarten, dass die relative Lagerungsdichte nur 60% und noch weniger betragen würde (Bild 6).

Ebenfalls durchgeführte *Plattenversuche* mit kleinen Lastplatten (∅ 450 mm) liessen stellenweise eine hohe Zusammendrückbarkeit erkennen. Von insgesamt 23 durchgeführten Plattenversuchen ergaben 3 Versuche einen Zusammendrückmodul von weniger als 100 kg/cm². Es ergab sich daher die Notwendigkeit, die ganze Baustelle mittels Rammsondierungen abzutasten und die *Ergebnisse* mit der Zusammendrückbarkeit der Sande zu *korrelieren*.

In der Folge wurden im Bereich aller wichtigen Objekte eine Serie Rammsondierungen durchgeführt. Eine Stelle, wo die relative Dichte durchwegs nur wenig über 60% lag, wurde für einen *Gross-Belastungsversuch* ausgewählt. Eine betonierte Platte (3,0 × 3,0 m) wurde bis zu einer Maximallast von 275 kN/m² (2,75 kg/cm²) belastet. Die grösste Einsenkung der Platte unter dieser Maximallast betrug lediglich 12 mm (Bild 7). Dies würde einem Zusammendrückmodul von rund 65 000 kN/m² (650 kg/cm²) entsprechen. Obwohl also die relative Dichte an dieser Stelle bei 60% liegt, ist die Struktur des Sandes verhältnismässig starr.

Die systematisch ausgeführten Rammsondierungen zeigten eine ziemlich *regelmässige Lagerung* des Sandes parallel zur Küste in einem Streifen von rund 400 m Breite. *Landseitig* von diesem Streifen konnten aber Bereiche ausgeschieden werden, wo die Schlagzahl stark zurückging und der Sand nahezu die *lockerste Lagerungsdichte* einnahm. Das bedeutet, dass die relative Dichte nahe bei null Prozent lag. Die lockere Lagerung war jedoch nicht erratisch,

sondern war auf *definierbare* Bereiche beschränkt.

Chemische Eigenschaften des Bodens

Die chemischen Eigenschaften des Sandes mussten genau erfasst werden, insbesondere der *Sulfat- und Chloridgehalt*. Die Werte sind die folgenden:

Sulfat (SO_3) 0,32–0,46%
Chlorid (Cl) 0,11–0,51%

Gemäss allgemeiner Erfahrung gilt ein Boden mit mehr als 0,20 Prozent Sulfatgehalt als *betonaggressiv*.

Die chemischen Eigenschaften des Grundwassers können wie folgt charakterisiert werden:

Sulfat (SO_3) 2920– 6420 mg/l
Chlorid (Cl) 23850–36350 mg/l

Diese Werte sind von der gleichen Grössenordnung wie diejenigen des Meerwassers im Arabischen Golf. Die Gesamt-Salinität in dieser Region ist *höher* als im Atlantischen Ozean. Gemäss allgemeiner Praxis gilt Wasser mit einem Sulfatgehalt von mehr als 1500 mg/l als stark betonaggressiv. Es ergaben sich *Folgerungen* für die Fundierungsarten der verschiedenen Objekte.

Fundierungsaufgaben

Allgemeines

Der grösste Teil der Gebäude wurde mittels Einzelfundamenten *flach fundiert*, namentlich

- Elektrolysehallen mit Einzelfundamenten bis 3,80 m Breite
- Ofenhalle für die Anodenherstellung mit Einzelfundamenten bis 6,0 m Breite
- Giesserei mit Einzelfundamenten bis 4,0 m Breite
- Werkstatt-Gebäude und Lagerhallen mit Einzelfundamenten bis 4,0 m Breite.

Dabei wurden Bodenpressungen von normalerweise 160 kN/m² bis 220 kN/m² zugelassen (1,6 kg/cm² bis 2,2 kg/cm²). Die Vorschriften beschränkten sich für Flachgründungen in bezug auf die Gesamtsetzungen auf 25 mm und die differentiellen Setzungen auf 15 mm.

Abnahmekriterien für die Fundamente

Auf Grund der Ergebnisse des Grossbelastungsversuches wurden Kriterien für die *Abnahme des Baugrundes* unter den Fundamenten mit statischer Beanspruchung aufgestellt. *Erstens* sollte die Schlagzahl, die mit dem *Rammversuch* bestimmt wurde, ein Minimum erfüllen, das mit einer Staffel-Linie in Abhängigkeit der Tiefe festgelegt wurde. Diese Staffel-Linie entspricht einer relativen Dichte von mindestens 60% (Bild 8). Als Rammversuch wurde der in England übliche «Dynamic cone penetration test» verwendet (Fallgewicht W = 1,59 kN, Spitzenquerschnitt A = 3167 mm², Eindringung 300 mm, Fallhöhe 600 mm). Als *zweites* Kriterium wurden auf dem Planum *Plattenversuche* vorgeschrieben. Dabei sollte die Setzung einer Platte von 450 mm Durchmesser unter der Gebrauchslast des jeweiligen Fundamentes weniger als 8 mm betragen.

Als *Alternative* wurden jedoch aus Gründen der Einfachheit auf dem Planum meist *Raumgewichts-Bestimmungen* durchgeführt. Dabei wurde ein Verdichtungsgrad von 95% verlangt. Es konnte gezeigt werden, dass damit die Setzungsbedingung abgedeckt war.

Schutz der Fundamente gegen chemische und mechanische Angriffe

Die Fundamente waren gegen die *chemische Aggressivität* des Baugrundes und des Grundwassers zu schützen. Die

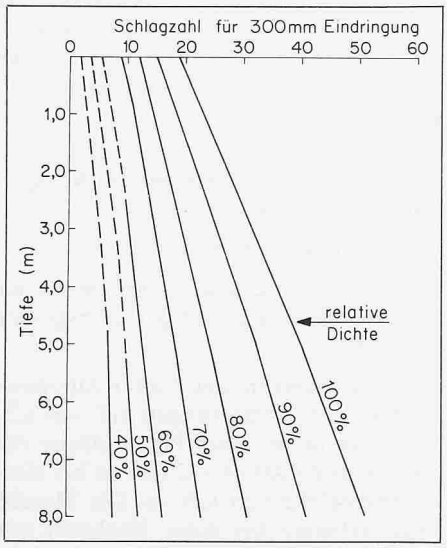


Bild 5. Zusammenhang zwischen Rammwiderstand und relativer Dichte nach Gibbs und Holtz (1957)

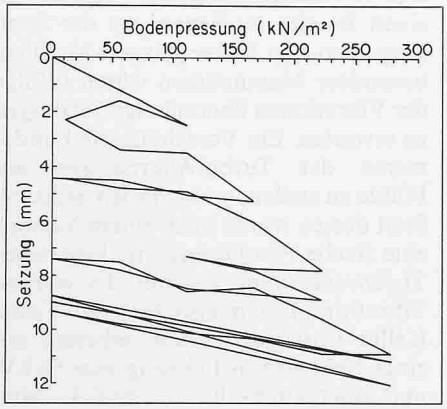


Bild 7. Grossbelastungsversuch: Last-Setzungsdiagramm

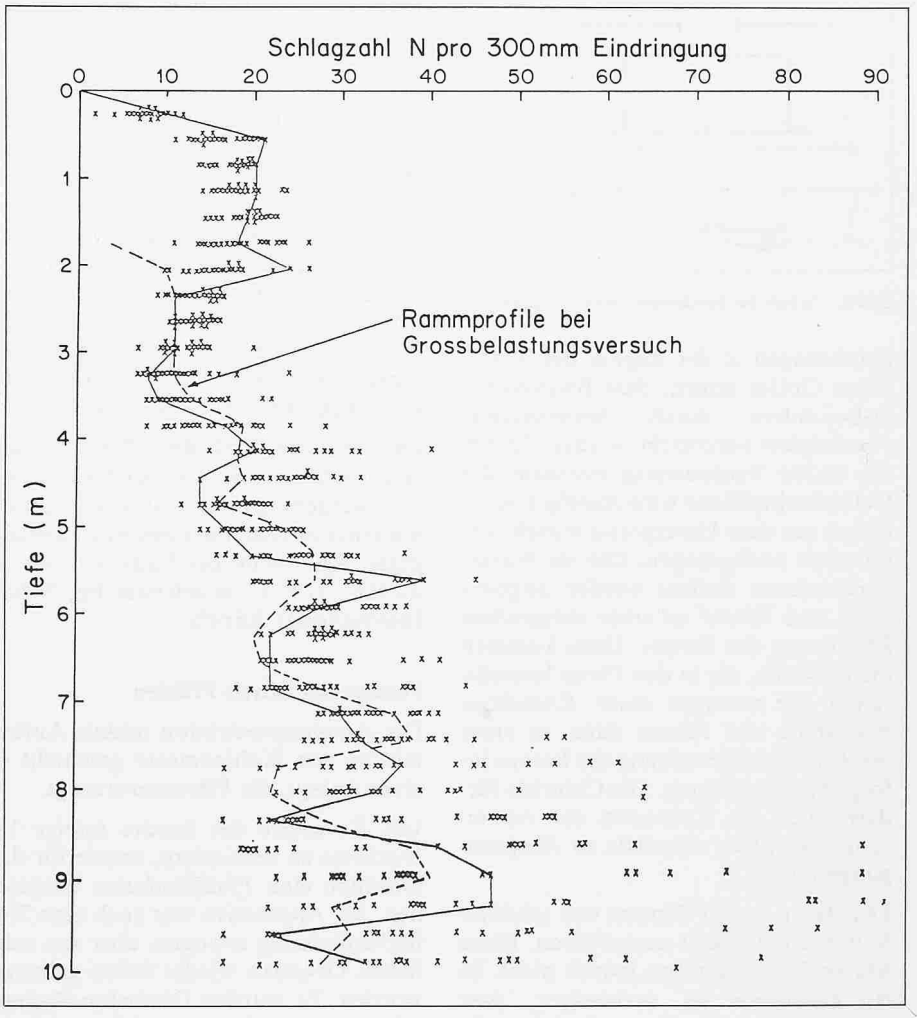


Bild 6. Streubereich der Rammsondierungen

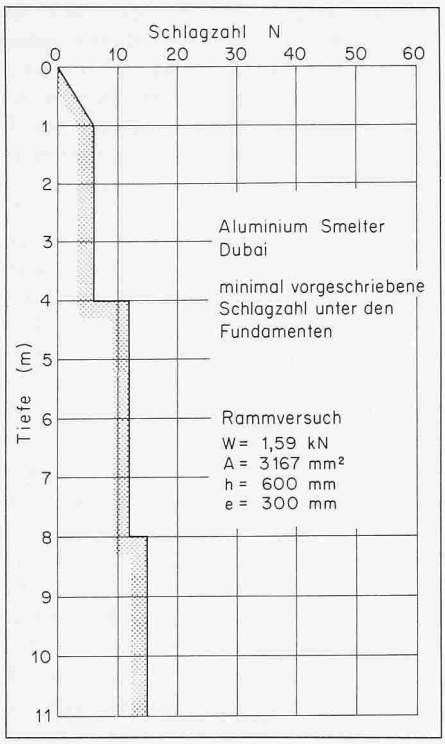


Bild 8. Abnahmekriterien für Fundamente

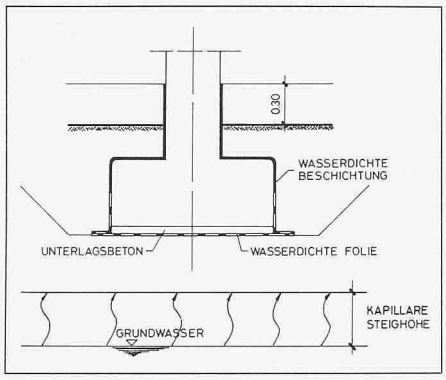


Bild 9. Schutz der Fundamente mittels «tanking»

Erfahrungen in der Region des Arabischen Golfes zeigen, dass Bauschäden insbesondere durch *hochsteigende Feuchtigkeit* verursacht werden. Durch die starke Verdunstung oberhalb der Geländeoberfläche wird ständig Feuchtigkeit aus dem Untergrund mittels Kapillarität hochgezogen. Die im Wasser vorhandenen Sulfate werden angereichert und führen zu einer chemischen Zerstörung des Betons. Dazu kommen die Chloride, die in den Poren kristallisieren. Sie erzeugen einen *Kristallisationsdruck* und führen dann zu einer *mechanischen* Zerstörung des Betons infolge Sprengwirkung. Die Chloride fördern auch die Korrosion der Armierungseisen, was ebenfalls zu Absprengungen führt.

Der Beton ist mit Zement von erhöhter Sulfatbeständigkeit auszuführen. Diese Massnahmen genügen jedoch nicht. Es ist zusätzlich zu verhindern, dass Feuchtigkeit in den Beton eindringt. Zu diesem Zwecke werden alle Fundamente mit *Kunststoff-Folien* eingepackt oder mit einer wasserdichten Beschichtung versehen. Diese Massnahme, die im englischen Sprachgebiet *‹tanking›* genannt wird, hat sich nunmehr bei den wichtigen Bauten im Gebiet des Arabischen Golfes allgemein durchgesetzt (Bild 9).

Schutz der Fundamente gegen Dampfdruck

Auf Grund von Messungen an bestehenden Anlagen wurde festgestellt, dass sich die Betonplatten in den Gruben unter den Elektrolysezellen auf 140° C erhitzen. Der kapillare Wasserspiegel des Grundwassers liegt 1,40–2,10 m unter dieser Platte. Es entsteht ein Wärmefluss in den Untergrund hinunter. Es muss daher erwartet werden, dass die 100°-Isotherme nahezu 2,0 m unter der Platte verläuft, was zur *Verdampfung des Kapillarwassers* führt.

Während der Dampf von 100° C einen Dampfdruck von einer Atmosphäre aufweist, steigt der Dampfdruck bei 120°C bereits auf rund zwei Atmosphären. Es war daher zu prüfen, ob der Dampf gefahrlos entweichen könne.

Es ist *schwierig,* die durch den Wärmefluss (Bild 10) erzeugte *Dampfmenge zu schätzen.* Wenn aber angenommen wird, dass die gesamte Energie des Wärmeflusses in Dampf umgesetzt wird, zeigt es sich, dass mittels Diffusion nur ein Bruchteil der produzierten Dampfmenge durch den Untergrund abgeführt werden kann. Es müsste mit dem Auftreten von Dampfdruck unter den Fundamentplatten gerechnet werden. Es wurde also im Mittelteil der Platte eine *Sickerkiespackung* angeordnet. Der Mittelteil ist als unarmierte Platte ausgeführt, die mit *Dampfentlastungslöchern* versehen ist, sodass der Dampf gefahrlos entweichen kann.

Der seitliche Teil der Platte ist als eigentliches *Fundament der Elektrolysezelle* ausgebildet. Er wurde von unten mit einer *hitzebeständigen Beschichtung* gegen Aggression geschützt (Conservado-HP, 120° C hitzebeständig, SIKA International, Zürich).

Fundierung mittels Pfählen

Die Anodenproduktion mittels Aufbereitung von Kohlenmasse geschieht in einer Anlage, die *Vibration* erzeugt.

Um *Setzungen* des Sandes *infolge Vibrationen* zu verhindern, wurde für das Gebäude eine *Pfahlfundation* vorgesehen. Als Alternative war auch eine Tiefenverdichtung erwogen, aber aus zeitlichen Gründen wieder fallen gelassen worden. Es wurden Ortsbeton-Rammpfähle von ∅ 520 mm und 8,0 m Länge vom *Typ Franki* gewählt.

Die Pfähle kommen in das *Grundwasser* zu stehen. Sie sind daher in stärkerem Masse der Gefahr einer Zerstörung durch hochsteigende Feuchtigkeit ausgesetzt. Eine Art, die Pfähle zu schützen, ist das sogenannte *‹sleeving›,* was bedeutet, die Pfähle im oberen Bereich durch eine wasserdichte Hülle zu schützen, um die Verdunstung zu verhindern. Der Unternehmer schlug vor, die Zwiebel aus reinem Kiessand auszuführen und den Pfahlbeton vollständig mit einer *nylonverstärkten PVC-Membrane* zu umhüllen (Bild 11).

Es war vorauszusehen, dass diese Hülle *bei den Bauarbeiten verletzt* werden könnte. Um aufsteigende Feuchtigkeit zu verhindern, wurde daher vorgeschrieben, den Pfahlkopf mit einer Schicht aus wasserdichtem *Epoxid-Mörtel* abzudecken.
Die Pfähle wurden ausgeführt und *erfüllten* die Anforderungen bezüglich *Tragfähigkeit.* Es war jedoch schwierig, den Beton gut zu verdichten, ohne die Hülle in Mitleidenschaft zu ziehen. Durch Ausgraben eines Pfahles wurde festgestellt, dass die *Hülle an mehreren Stellen verletzt* worden war. Die Pfahlfundierung kann somit nicht als vollständig gelungen angesehen werden. Es wurde von weiteren Pfahlgründungen abgesehen. Für *andere Bauwerke,* die auf lockerem Baugrund stehen oder dynamischen Belastungen unterworfen sind, wurde die *Tiefenverdichtung* vorgezogen.

Fundierung mittels Tiefenverdichtung des Baugrundes

Fundierung des Kraftwerkes

Der thermische *Kraftwerkskomplex* hat eine installierte Leistung von insgesamt 515 MW.

Die *Fundamente* der Turbo-Alternatoren weisen Abmessungen auf von 6,35 × 32,40 m bei einer Plattenstärke von 3,0 m und 4,00 m × 21,80 m bei einer Plattenstärke von 1,20 m. Die Maschinen arbeiten bei einer Drehzahl von 3000 U/Min.

Der Kraftwerkskomplex kommt in einen Bereich zu liegen, wo der Sand ausgesprochen *locker* gelagert ist. Ohne besondere Massnahmen wären infolge der Vibrationen übermässige Setzungen zu erwarten. Ein Vorschlag, die Fundamente der Turbo-Alternatoren auf Pfähle zu stellen, wurde fallen gelassen. Statt dessen wurde nach einem Versuch eine flache Fundierung mit *Vibrations-Tiefenverdichtung* gewählt. Es wurden Vibrations-Tiefenverdichter der Firma Keller verwendet. Diese arbeiten mit einer elektrischen Leistung von 50 kW und einer Drehzahl von 3000 U/Min. Sie erzeugen auf den Untergrund eine horizontale Beschleunigung von 34 *g*.

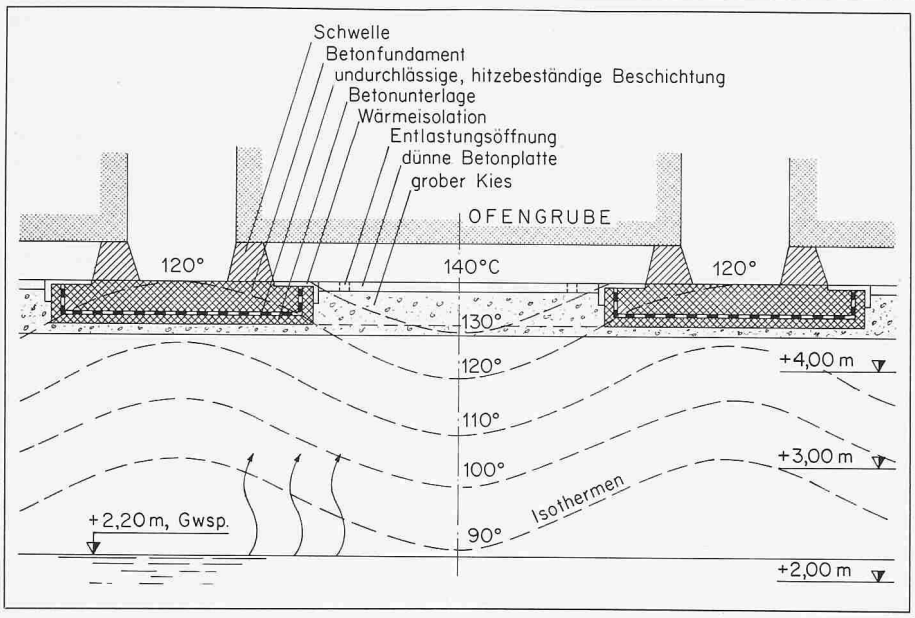


Bild 10. Schutz der Fundamente gegen Dampfdruck

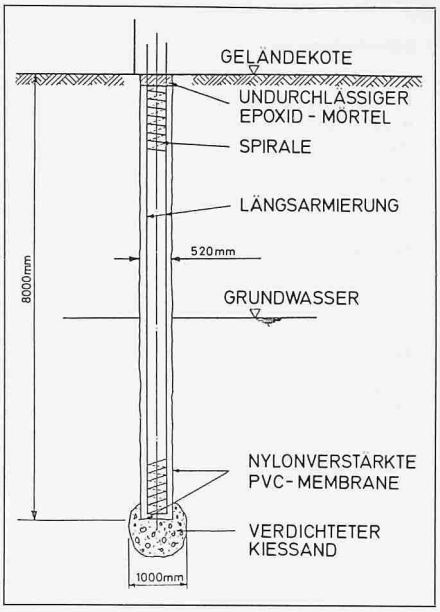


Bild 11. Ortsbeton-Rammpfähle

Zur Vibrations-Tiefenverdichtung wird ein sogenanntes *Rütteldruckgerät* verwendet. Dieses besteht aus einem länglichen Rüttelkörper, in den mit Unwuchten versehene, lotrecht stehende Wellen eingebaut sind, die mit Elektromotoren angetrieben werden. Der Rüttler wird in vertikaler Lage in den Baugrund mittels eines *Wasserstrahls* eingespült, der an der Rüttlerspitze austritt. Sodann wird der Rüttler gestartet und solange in Betrieb gehalten, bis das Ampèremeter einen *wachsenden Strombedarf* anzeigt. Damit ist die Verdichtung *beendet*. Der an der Geländeoberfläche entstehende *Trichter* wird *mit Sand gefüllt*. Durch den Bauvorgang der dynamischen Verdichtung wird eine *stärkere* Beanspruchung des Baugrundes erzeugt, *als später* beim Betrieb des Kraftwerkes auftreten wird, sodass dann keinesfalls mit zusätzlichen Setzungen zu rechnen sein wird.

Für *je 3 m²* der Geländeoberfläche wurde ein Verdichtungspunkt angeordnet. Dabei gelang es, den ursprünglich losen Sand auf eine relative *Dichte von über 80%* zu verdichten. Der *dynamische Zusammendrückungsmodul*, der im Labor bestimmt wurde, betrug 300–400 000 kN/m² (3–4000 kg/cm²) Die ermittelten *Eigenfrequenzen* der Fundamente für Vertikalschwingungen, Drehschwingungen und Kippschwingungen lagen stark unter der Erregerfrequenz. Das Kriterium für genügende *Massendämpfung* war ebenfalls erfüllt.

Fundierung der Tonerde-Silos

Im Hafen waren zwei *Tonerde-Silos* zu erstellen. Diese haben ein Gesamtgewicht von je 39 000 Tonnen, einen Durchmesser von 35 Metern und eine

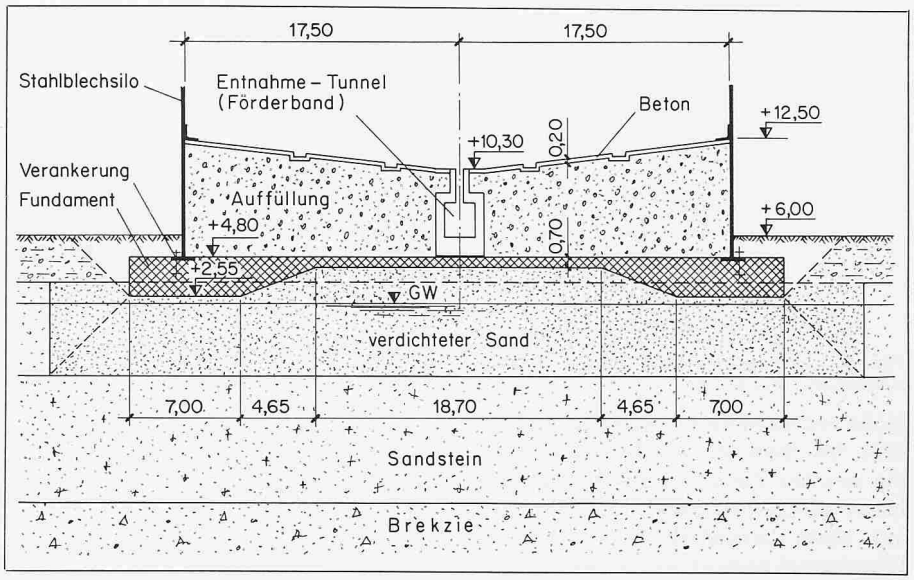


Bild 12. Plattengründung für Tonerde-Silo (30 000 t)

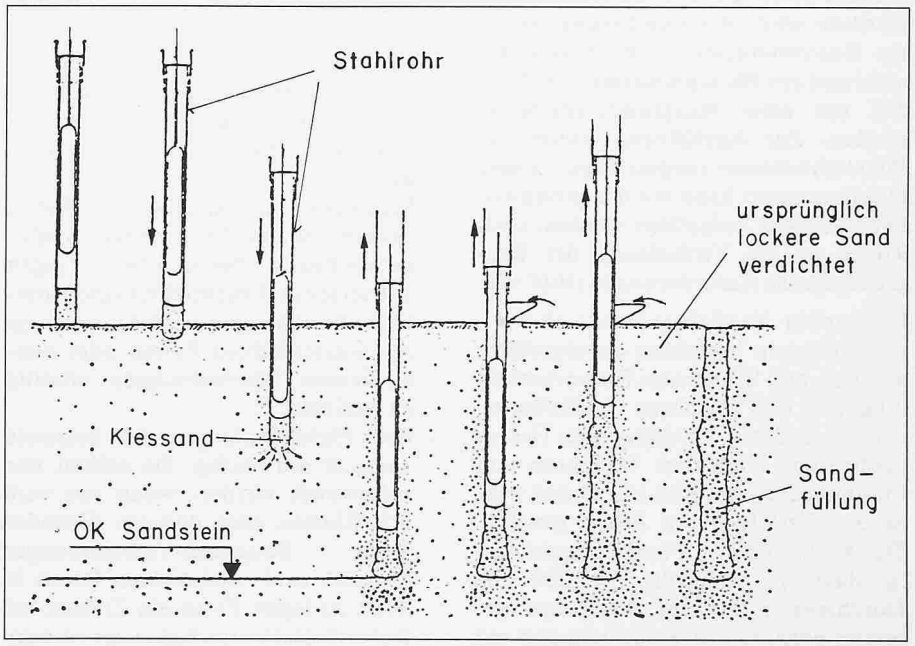


Bild 13. Verdrängungs-Tiefenverdichtung mit Franki-Verfahren

Literaturhinweise

Hoffmann R., Muhs H.: «Die mechanische Verfestigung sandigen und kiesigen Baugrundes». Die Bautechnik, Heft 33/36, 1944

Rodin S., Corbett B.O., Sherwood D.E., Thorburn S.: State-of-the-art Report. European Symposium on Penetration Testing, June 1974

Gibbs H.J., Holtz W.G.: «Research on determining density of sands by spoon penetration testing». Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. London, 1957

Fookes P.G., Collis L.: «Problems in the Middle East». Concrete, July 1975

Fookes P.G., Collis L.: «Aggregates and the Middle East». Concrete, November 1975

Fookes P.G., Collis L.: «Cracking and the Middle East». Concrete, February 1976

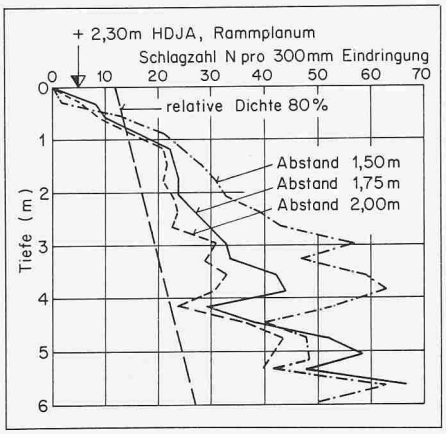


Bild 14. Versuche mit Verdrängungs-Tiefenverdichten unter Tonerde-Silo

Höhe von 40 Metern. Der Baugrund besteht bis hinunter zur Felsoberfläche, die in einer Tiefe von 9,0 m liegt, aus *locker gelagertem Sand*. Der Silo wird aus Stahl hergestellt und auf einer Eisenbetonkonstruktion fundiert. Die Stahlbauer schreiben vor, dass eine Gesamtsetzung von 50 mm und eine differentielle Setzung von 25 mm nicht überschritten wird. Als Fundierung wurde ein *Kastenfundament*, ein *Ringfundament* und ein *Plattenfundament* verbunden mit einer Baugrundverdichtung studiert. Zur Ausführung wurde das *Plattenfundament* vorgeschlagen. Diese Fundierungsart kann mit der geringsten Betonkubatur ausgeführt werden, stellt jedoch an die Verdichtung des Baugrundes hohe Anforderungen (Bild 12).

Es wurden Verdichtungsversuche mit verschiedenen Verfahren durchgeführt, nämlich mit Vibrations-Tiefenverdichtung nach den Verfahren von Keller einerseits und mit Verdrängungs-Tiefenverdichtung nach dem Verfahren von Franki anderseits (Bild 13). Dabei wurde das *Verfahren von Franki* gewählt. Das Verfahren von Franki besteht darin, dass ein Stahlrohr von 520 mm Durchmesser in den Baugrund gerammt wird. Dieses Rohr ist unten mit einem *Pfropfen aus Kiessand* durch Verkeilung verschlossen. Der Rammbär fällt auf diesen Pfropfen und zieht das Rohr in die Tiefe. Wenn die gewünschte Tiefe erreicht ist, wird der Pfropfen herausgeschlagen und mit der Befestigung des Baugrundes begonnen, indem unter ständigem *Nachfüllen von Sand* das Rohr unter Fortsetzung der Rammarbeit langsam gezogen wird. Dabei entsteht durch Verdrängung eine Verdichtung des Baugrundes. Auf Grund der Versuche wurde ein gegenseitiger *Abstand der Verdichtungspunkte* von 2,0 m gewählt (Bild 14).

Es zeigt sich, dass eine relative Dichte von über 80% leicht erreicht werden kann. Die *Verdichtung* über eine Fläche von gegen 3000 m² wurde *mit Erfolg* ausgeführt. Die Prognose lautet auf eine Gesamtsetzung von 40 mm, wobei ein Anteil von 21 mm auf die verdichtete, 6,0 Meter starke Deckschicht und ein Anteil von 19 mm auf den Felsuntergrund entfällt. Diese Setzungen wurden bei der ersten Füllung des Silos durch *Nivellement* überprüft.

Zusammenfassung

Bei den Bauaufgaben am Arabischen Golf mussten die Fundierungsmöglichkeiten *grundsätzlich abgeklärt* werden. Es können nunmehr folgende *generelle Regeln* für die Fundierung in den *äolischen Wüstensanden* gegeben werden.

- Der Sand soll mittels *Rammsondierungen* auf seine Lagerungsdichten geprüft werden.
- Bei relativer Lagerungsdichte von *über 60%* können *Einzelfundamente* mit Bodenpressungen von 1,0–2,0 kg/cm² erstellt werden.
- Bei relativer Lagerungsdichte von *weniger als 60%* sind entweder die Bodenpressungen stark zu *vermindern* oder es ist eine *Pfahlgründung* bzw. *Baugrundverbesserung* vorzusehen.
- Baugrundverbesserungen können mittels *Vibrations-Tiefenverdichtung* oder mittels *Verdrängungs-Tiefenverdichtung* wirtschaftlich erreicht werden.
- Sämtliche Fundamente aus Beton sind mit einem *Zement hoher Sulfatbeständigkeit* herzustellen. Gegen aufsteigende Feuchtigkeit sind sämtliche Fundamente mittels *‹tanking›* mit wasserdichten Folien oder wasserdichten Beschichtungen allseitig zu schützen.
- Bei *Pfahlgründungen* ist äusserste *Vorsicht* notwendig. Sie sollten nur angewandt werden, wenn aus wirtschaftlichen oder anderen Gründen keine Baugrund-Verbesserungen möglich sind. Auf dichten Beton ist Wert zu legen. Es ist ein Zement mit hoher Sulfatbeständigkeit zu verwenden. Der Pfahl ist gegen hochsteigende Feuchtigkeit mittels *‹sleeving›* zu schützen.
  Dabei ist es vorzuziehen, nur den oberen Teil des Pfahles, wo die Verdunstung auftritt, abzudichten. Der Pfahlkopf selbst kann mit einem wasserdichten Kunststoffmörtel abgedichtet werden.

Diese Regeln wurden bei der Beurteilung der Fundierungen der Bauten für die Aluminiumhütte DUBAL konsequent beachtet. Es kann erwartet werden, dass sich die getroffenen Massnahmen in den kommenden Jahrzehnten bewähren werden.

Baugrundvorbereitung und Planierungsarbeiten

Die Fundierung der Bauwerke auf der Dünenlandschaft erforderte *grössere Erdbewegungsarbeiten* (Abtrag und Auftrag) im Umfang von etwa 3 Mio. Kubikmetern. Auf der Kote +5,25 m HDJA wurde mit dem Einsatz von Scrapern T.C. 24 ein *Planum* erstellt, womit die Höhenlage der gesamten Werkanlage und Strassen festgelegt wurde. HDJA bedeutet Halcrow Datum Jebel Ali und ist als Horizont auf die Seekarte von Port Rashid, Dubai bezogen. ±0,00 m entspricht dem *niedrigsten Niederwasserspiegel*.
In dieser Phase der Vorbereitung wurden *eingehende Baugrunduntersuchungen* an Ort und Stelle, im Labor in Dubai und an der EMPA durchgeführt. Sie bildeten *Grundlage für die Aufüllarbeiten* mit Dünensand. Einbau und Verdichtung wurden folgendermassen festgelegt:

Bild 15. Planierungsarbeiten

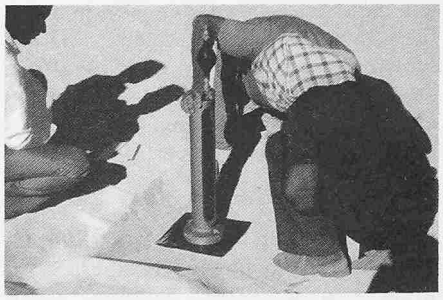


Bild 16. Raumgewichtsbestimmung im Feld

Dünensand:
min. Proctor Standard Verdichtung 95% (Bild 16)

Raumgewicht min. 17,0 kN/m³

Verdichtung mit Scrapern T.C. 24, min. 10 Passen

Einbau in Schichten von 30–50 cm

Natürlicher Wassergehalt, trockene Verdichtung.

Als *internes Strassennetz,* welches der Erschliessung der Baustelle und dem Bauverkehr diente, wurden sogenannte *«Sabkha-Strassen»* erstellt (Bild 15). Die Lage der Baustrassen entspricht dem zukünftigen Strassennetz. Sabkha, eingebaut als Belag von 15 cm Stärke, besteht aus feinem Sand aus Kalk und Gips mit hohem Gehalt an Sulfaten und Chloriden. Die Korngrösse liegt zwischen 0,08–6 mm. In *trockenem* Zustand wird Sabkha sehr *hart* und *tragfähig,* während es im *nassen* Zustand *kohäsionslos* ist. Das Material kann im Baustellenbereich gewonnen werden.

Die Baugrundvorbereitung wurde zur Hauptsache im Jahre 1976 *vor den eigentlichen Bauarbeiten* durchgeführt und abgeschlossen.

Tiefbauarbeiten

Allgemeines

Für die Bauarbeiten waren im wesentlichen zwei englische Unternehmer verantwortlich: *George Wimpey Intl.* für die Baulose 2, 3, 4, 5, 6 und 9, und *Costain Intl.* für die Baulose 7 und 8. Beide Bauunternehmer arbeiteten jedoch mit den gleichen Unterlagen, sodass ein *einheitlicher Standard* gewährleistet war. Das Verhältnis Aufsichtspersonal (meist Europäer) zu Arbeiter (meist Pakistani und Inder) bewegte sich zwischen 1:10 und 1:15, wobei die Arbeiterzahl zeitweise 3000 überschritt.

90% der Bauarbeiten wurden *innerhalb von 2½ Jahren* erledigt. In dieser Zeit wurden 220 000 m³ armierter Beton gegossen, 25 000 Tonnen Stahl errichtet, 180 000 m² Fassadenverkleidungen montiert und 60 000 m² Strassen und Plätze gebaut. Die Kosten für die Bauarbeiten allein betrugen rund 350 Mio US $.

Praktisch *alle Baumaterialien* mussten *von Übersee* importiert werden. Auch der Zement kam vorerst von Afrika. Erst in der zweiten Hälfte des Projekts konnte lokal produzierter Zement verwendet werden. *Kies und Sand* mussten über mehr als *200 km per Lastwagen* von den Kiesebenen westlich der omanischen Gebirge durch die Wüste herbeigeschafft werden. *Baustahl* kam grösstenteils *aus England* und *Deutschland,* während *Armierungsstahl* von *Quatar, Spanien, Japan* und *England* importiert wurden.

Die *vertragliche Situation* war insofern einmalig, als das ganze Werk praktisch auf Grund von «letters of intent» erstellt wurde. Da *Projektierung und Bau* mehr oder weniger *gleichzeitig* starteten, konnten die Unternehmer erst nach Abschluss der Arbeiten einen Preis zu den einzelnen Positionen setzen. Trotzdem konnten die *Gesamtkosten* in einem *vernünftigen Rahmen* gehalten werden und Nachforderungen und Preisdiskussionen beschränkten sich auf ein heutzutage nicht alltägliches *Minimum.*

Bau- und Montageprogramm

Ähnlich offen wie die vertragliche Situation war auch die Frage des *Bauprogrammes.* Die einzige Verpflichtung des Generalunternehmers bestand darin, das Werk innerhalb von *221 Wochen fertig* zu stellen. Trotzdem erhielten die Bauunternehmer infolge festgelegtem Montagebeginn der elektromechanischen Teile recht bald einzelne *Zwischentermine,* die sich relativ eng um die Wochen 90 bis 130 konzentrierten. Das erforderte den *schlagartigen Aufbau* einer grossen Organisation und nach kurzer Zeit einen fast ebenso *raschen Abbau.* Einzig im Baulos 5 (Reduction Plant) und im Baulos 4 (Kraftwerk) konnte infolge repetitiver Arbeiten ein einigermassen normaler Bauablauf vorprogrammiert und auch durchgehalten werden.

Baustelleninstallationen

Das Baugelände lag in einem neu zu erschliessenden Niemandsland, rund 35 km von der nächsten Siedlung (Dubai) entfernt. Der Unternehmer entschloss sich, auf dem Baugelände selber je ein *Arbeitscamp* und ein vorfabriziertes *Containercamp* für Angestellte zu erstellen. Ein temporäres *Dieselgeneratorkraftwerk* (14 Einheiten à 500 kW) versorgte die Baustelle und die Camps über ein provisorisches Netz mit Elektrizität. Die *Wasserversorgung* erfolgte vorerst mit Tankern, später durch eine von der Stadt her gelegte Leitung und in der Endphase des Projektes durch die werkeigene Meerwasserentsalzungsanlage. Der Wasserverbrauch war gewaltig und bewegte sich schon bald einmal in der Grössenordnung von 1500 m³ pro Tag. Die Schmutzwasserentsorgung aus den Camps wurde über eine *Kläranlage* (Kapazität von 600 m³ pro Tag) geleitet, die später ins Kanalisationssystem der Fabrik integriert wurde.

Für die Sub-Unternehmer wurden zu beiden Seiten des 1,3 × 0,7 km grossen Fabrikgeländes *Installations- und Lägerplätze* bereit gestellt, die insgesamt rund 500 000 m² ausmachten. Die grosszügigen Platzverhältnisse und die strikte Trennung von Lagerplätzen und Baustelle bewährten sich, da oft mehrere Schiffsladungen von Material und Maschinen innert kürzester Zeit eintrafen und ordentlich gelagert werden mussten.

Die Bauunternehmer installierten neben den üblichen Anlagen für Unterhalt, Eisenbiegerei, Schreinerei, Vorfabrikationsanlage etc. auch drei Betonanlagen (Totalkapazität von 140 m³ pro Stunde), die allerdings nur selten voll ausgenützt waren.

Auf ein Baustellenlabor für Materialprüfung konnte verzichtet werden, da der eine der Unternehmer in Dubai bereits eine voll ausgerüstete und bewährte Organisation besass. Hingegen wurde im Hinblick auf die vielfältigen Aufgaben und Probleme der mechanischen Installationen ein separates, modernes *metallurgisches Laboratorium* auf der Baustelle eingerichtet.

Qualitätsüberwachung

Durch das Eintreffen und Verarbeiten von Materialien aus aller Herren Länder, aber auch speziell infolge der äusserst aggressiven klimatischen Verhältnisse wurde eine *über Erwarten grosse* Organisation zur *Qualitätskontrolle* unumgänglich.

Beim *Beton* wurden vor allem der Chlorid- und Sulfatgehalt der Zuschlagsstoffe streng kontrolliert. Während der heissen Sommerperiode kamen spezielle «Heisswetter-Massnahmen» zur Anwendung, welche die Betontemperatur auf 38° C begrenzten und die Oberflächenaustrocknung verhinderten.

Sehr strenge Massstäbe wurden bei der Vorbereitung der *Armierungsstähle* angelegt. Schon bald einmal erwies sich die systematische Sandstrahlung kurz vor dem Verlegen oder sogar in den Schalungen selbst als einzige Methode, um die Chloride vom Stahl zu entfernen. Wo die so gereinigten Armierungen nicht innert 48 Stunden einbetoniert werden konnten, wurden sie mit einer Schutzschicht aus Zement-Schlämme bedeckt.

Ein nur schwer zu meisterndes Problem stellte das Aufbringen eines dem feuchtheissen marinen Klima widerstehenden *Korrosionsschutzes* auf die *Stahlkonstruktionen.* Die in Europa angefertigten und für den Schiffstransport vorbestrichenen Bauteile wiesen bei Ankunft auf der Baustelle bereits beträchtliche Beschädigungen auf. Innert kürzester Zeit setzte an diesen Stellen infolge der äusserst aggressiven Atmosphäre die

Korrosion ein, sodass zum Zeitpunkt der Montage bereits eine grossflächige Freilegung des blanken Stahles und die Neuaufbringung der Schutzschichten notwendig wurden. Was unter europäischen Bedingungen eine nicht ungewöhnliche Malerarbeit darstellen würde, war hier im aggressiven Küstenklima und mit ausschliesslich ungelernten Arbeitern ein Unterfangen, das besondere Anstrengungen erforderte. Dass schliesslich trotzdem ein *akzeptables Ergebnis* resultierte, war vor allem einem *aufwendigen Inspektionssystem* und oft mehrfachem Nacharbeiten zuzuschreiben. Für künftige Grossprojekte in diesem Raum wäre es zumindest prüfenswert, ob nicht doch dem Verschiffen von rohem Stahl und dem vollständigen Reinigen und Bestreichen auf der Baustelle der Vorzug zu geben wäre.

Vorfabrikation

Da praktisch alle *Hochbauten in Stahl* gebaut wurden, beschränkten sich die Betonarbeiten im Wesentlichen auf Fundamente, Bodenbeläge, ein Wasserreservoir und unterirdische Bauten wie Tunnels für Kabel und Leitungen etc. Die *Vorfabrikation* konzentrierte sich weitgehend auf *kleinere Bauteile* wie Schächte, Kanalabdeckungen, Randsteine etc. Das einzige grössere Programm beinhaltete das Giessen von 480 etwa 9,2 Tonnen schweren Elementen für den *seitlichen Anschluss* der Ofenhallen. *Vorspannung* kam bei diesem Projekt *überhaupt nicht* zur Anwendung, da die Korrosion zu gefährlich schien.

Baudurchführung

Nachdem das *Baugelände* auf eine einheitliche Kote von +5.9 m.ü.M. ausgeebnet worden war, konnten die Unternehmer mit den Fundationsarbeiten

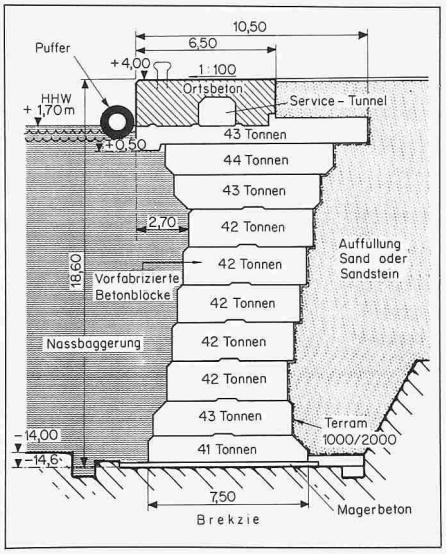


Bild 17. Hafen von Jebel Ali. Querschnitt der Quaimauer

beginnen. Die normale Bauweise mit *Einzelfundamenten* bot im sehr gleichmässigen Dünensand keine Schwierigkeiten. Die Spezialarbeiten (Bodenverdichtung mit Vibrokompaktion, Ortsbetonpfähle) erforderten diverse Vor- und Belastungsversuche, aber die Ausführung erfolgte problemlos. Eine grössere Grundwasserabsenkung (*2 Stufen Wellpoints*) war im Bereich der *Meerwasserfassung* für die Entsalzungsanlage notwendig, wo der Aushub bis 6 m unter den Meeresspiegel entfernt werden musste. Auch diese Arbeit konnte mit vernünftigem Aufwand zu Ende geführt werden.

Eine ebenfalls recht anspruchsvolle Aufgabe war das Erstellen von zwei bis auf die Kote −18 m reichenden Schächten für die *Stempel der vertikalen Stranggussmaschinen* in der Giesserei. Es zeigte sich, dass das Schlagen von Spundwänden in den küstennahen Sanden sehr schwierig ist, und in der Folge waren umfangreiche Massnahmen nötig, um aufgeplatzte Spundwandschlösser oder abgewanderte Einzelbohlen abzudichten.

Wenn auch das Projekt für die Bauunternehmer technisch keine ungewöhnlichen Schwierigkeiten bot, so waren es vielmehr das *sehr gedrängte Bauprogramm*, die grosse Anzahl von Bauten, die alle *gleichzeitig* in Angriff zu neh-

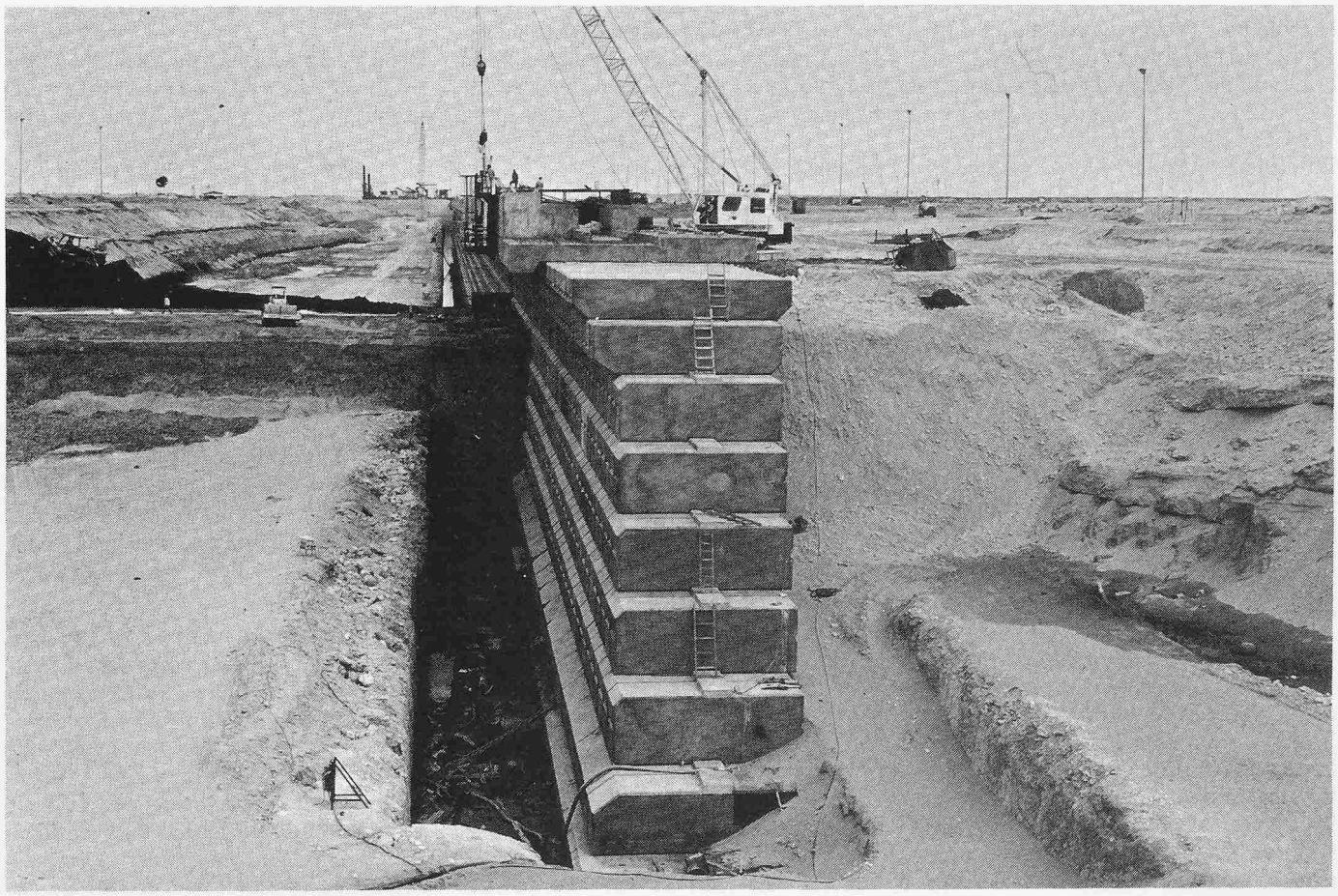


Bild 18. Hafenmauer Jebel Ali. Total 1,5 Mio. m³ Beton

men waren, und vor allem die *klimatischen* Verhältnisse, die doch sehr hohe Anforderungen stellten. Die Manager mussten bald einmal einsehen, dass es unwirtschaftlich und eher sinnlos war, in den heissen Sommermonaten einen vollen Arbeitstag durchziehen zu wollen. So wurden vor allem die *frühen Morgenstunden* und die *späteren Nachmittags- und Abendstunden* maximal ausgenützt. Nachtarbeit wurde aus Sicherheitsgründen vermieden. Beide Bauunternehmer *mechanisierten* die Arbeitsvorgänge so weit als möglich. Zeitweise standen bis zu 50 mobile Kräne im Einsatz. Nur ein einziger fester Turmdrehkran wurde verwendet. Der Beton wurde mit Trommelmischer-Fahrzeugen transportiert und mit Betonpumpen eingebracht. Betonszusatzmittel waren *die Regel*, insbesondere erwiesen sich Verflüssiger und Abbindeverzögerer als unerlässlich. Der rasche Baufortschritt erlaubte es nicht, Schalungen möglichst lange stehen zu lassen. Die resultierende Betonaustrocknung wurde durch das Aufbringen von *«curing-spray»* erfolgreich verzögert.

Die *Oberflächenwasser-Entsorgung* erwies sich schon zu Beginn der Bauzeit als *sehr dringend*. Obwohl die jährlichen Niederschläge im Mittel um 30–35 mm betragen und nur in den Monaten Dezember bis April auftreten, können die Regenintensitäten tropische Ausmasse annehmen und in kürzester Zeit zu Überschwemmungen führen. Ein vertikales Versickern findet nicht statt, da die Salze im Küstensand mit der Bodenfeuchtigkeit eine wasserdichte Schicht bilden. Das *Strassensystem für die Bauphase* und die Lagerplätze waren mit dem lokal vorhandenen Sabkha geschüttet worden. Feucht eingewalzt ergibt sich eine sehr gute, tragfähige Fahrbahn, aber bei Regenfällen verwandeln sich diese Strassen in unpassierbare Schlammfelder.

Das *permanente Strassensystem* wurde erst in der zweiten Hälfte des Projektes in Angriff genommen, nachdem alle Infrastruktur-Leitungen verlegt waren. Bei den *Asphaltstrassen* wurde auf die Erfahrung der seit längerer Zeit lokal tätigen *Spezialfirma* aufgebaut, denn bekanntlich können die in Europa bewährten Rezepturen im heissen Klima des Mittleren Ostens nicht verwendet werden. Trotz intensivem Schwerverkehr bewährte sich die 250 mm starke Asphaltdecke bisher gut. Kurven und Plätze, wo starker Gabelstaplerverkehr zu erwarten war, wurden allerdings mit einer 210 mm starken, netzarmierten *Betondecke* versehen.

Eine Baustelle für sich bildete die rund 3,5 km entfernte *Hafenanlage*. Die Quaimauer wurde von Consultant Halcrow Middle East (Sir William Halcrow and Partners, London) projektiert und durch den Mina Jebel Ali Unternehmer in *trockener Bauweise* gebaut. Als Besonderheiten sind die *Ausmasse der Mauer* und die *Herstellung in Vorfabrikation* hervorzuheben (Bild 17 und 18). Die Hinterfüllung wurde im hydraulischen Verfahren eingeschwemmt. Diese Auffüllungen wiesen unterschiedliche Schichten auf und waren für die Fundation der grossen 30 000 t Alumia Silos ungeeignet. Für die Untergrundbehandlung mit Vibrokompaktion mussten sie vollständig ausgehoben werden. Setzungsmessungen an den bisher mehrfach voll belasteten Silos zeigten, dass sich diese Massnahme gelohnt hat. Der neue Industriehafen «Jebel Ali» wurde offiziell *im Februar 1979* beim Besuch der Königin Elisabeth II. von Grossbritannien *eröffnet*.

Stahlbau

Allgemeines

Die gesamte Fertigung des *Stahlbaues* für die *Ofenhallen* und das *Kraftwerk* wurde durch die englische *Condor Southern Ltd.*, Winchester/England, hergestellt. Für Giesserei, Lagerhäuser, Werkstätten wurde der Stahl von *Redpath Dorman Long Ltd.*, Middlesbourgh/England, fabriziert. Die *Silos* und *Transportanlagen* in Stahl für die Verladeanlagen im Hafen wurden durch die *Ferrostaal* teilweise in Ägypten fabriziert und per Schiff von *Alexandrien* nach *Dubai* transportiert. Die Stahlkonstruktionen für die Bauten der Anodenanlage inkl. Brennofenanlage wurden durch ein *deutsches Konsortium KHD*, Köln, fabriziert, geliefert und montiert. Der gesamte *Lieferumfang* betrug *23 600 Tonnen*.

Die *Montage* der gesamten Stahlkonstruktionen *englischer* Herkunft wurde durch *Cleveland Bridge* in Dubai durchgeführt. Die *Montage* der *deutschen* Lieferung geschah durch *Indumont* und *Salzgitter* (Bild 19 und 20). Die *Montage* der Silos und Transportanlagen im Hafen erfolgte durch *Ferrostaal*, Essen/Deutschland (Bild 21).

Teilweise entstanden durch den Transport, Aus- und Umlad erhebliche *Beschädigungen* des Korrosionsschutzes. Diese Schäden erforderten grössere nachträgliche Ausbesserungsarbeiten, bevor die Montage durchgeführt werden konnte.

Durch die klimatischen Verhältnisse während der Montage (hohe Temperatur bis zu 48° C und hohe Luftfeuchtigkeit von 95%) wurde das Aufbringen des Deckanstrichs *stark erschwert*.

Technische Angaben

Die *Berechnungen* der Konstruktionen wurden zur Hauptsache nach *British Standard* und *DIN-Normen* durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden als Grundlage für die statischen Berechnungen spezielle *«General Specification»* erstellt, unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse:

1. *Temperaturschwankungen* für die Tragwerke, die der Sonnenbestrahlung ausgesetzt wurden, sind folgendermassen vorgeschrieben worden:
   - für Stahlbeton 30° ± 25° C
   - für Stahl 30° ± 30° C

   Als erforderliche *Temperaturgefälle* wurde für die Bemessung der Tragwerke ein durchschnittlicher Wert von 15° C gewählt.
2. Der Einfluss von *ungleichmässigen Setzungen* der Fundamente auf die besonders empfindlichen mechanischen Installationen wurde bei Stahlkonstruktionen mit Differenzen von 15 mm berücksichtigt.
3. Für Ermittlung des *Staudruckes infolge Windwirkung* wurde eine Windgeschwindigkeit von 45 m/sec zugrunde gelegt (162 km/Std.).
4. *Erdbebenwirkung* auf die Tragwerke wurde auf Grund der empirischen Ermittlungen vom International Seismological Centre mit horizontaler Beschleunigung von 0.05 *g* berücksichtigt, was einer Intensität V in der Mercalli-Skala entspricht. Vertikale Beschleunigung wurde nur für Berechnung der Tragwerke im Kraftwerk angenommen. Für alle Lastfälle mit Erdbebenlasten wurden *Erhöhungen der zulässigen Spannungen* wie folgt eingesetzt:
   - für Stahlkonstruktionen 50%
   - für Stahlbeton-Betonspannungen 35%
   - für Stahlbeton-Stahlspannungen 25 %
5. *Dynamische* Belastungen und Auswirkungen vom Betrieb der Krane und Maschinen wurden gemäss den Angaben von Lieferanten berücksichtigt.
6. Für die Stahlkonstruktionen im allgemeinen wurden folgende *Stahlqualitäten* verwendet:
   - 43 A für Profilstahl der englischen Herkunft
   - St 37 für Profilstahl aus deutschen Lieferungen

   Spezielle Stahlqualitäten wurden nur ausnahmsweise für Tragwerke, die dem regulären Schwerverkehr der Krane ausgesetzt sind, verwendet. Dementsprechend wurde bei der Bemessung einer Ermüdung der Stähle Rechnung getragen.

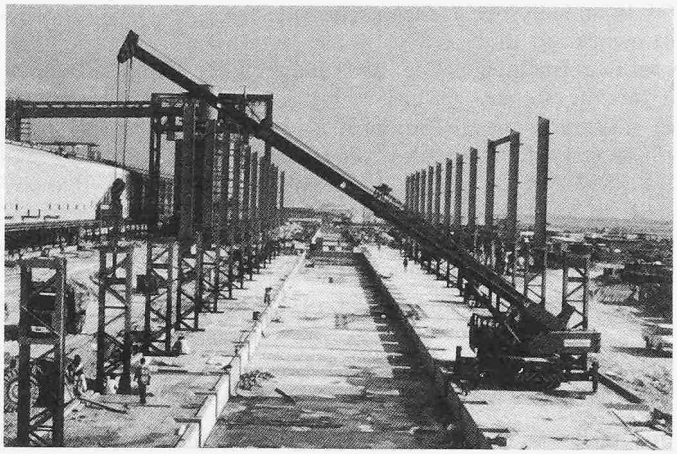


Bild 19. Ansicht der Ofenhalle während Stahlmontage

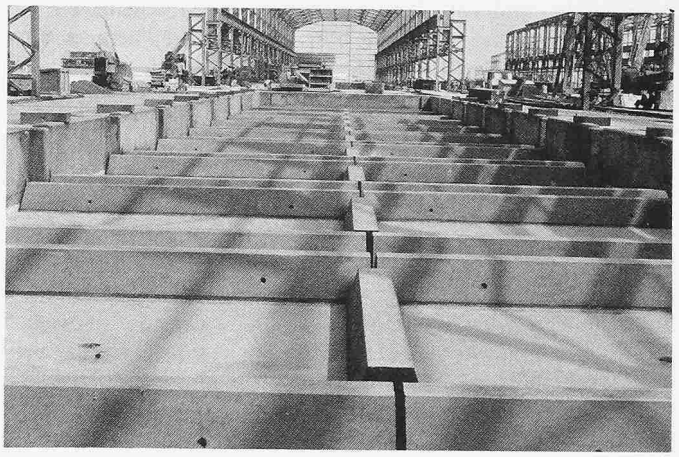


Bild 20. Ofenhalle. Auflagerträger für Öfen

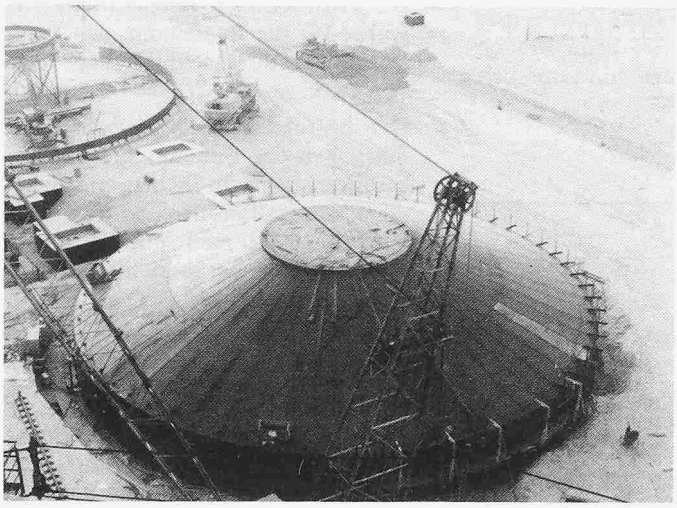


Bild 21. Tonerde-Silo (30 000 t) während des Baues

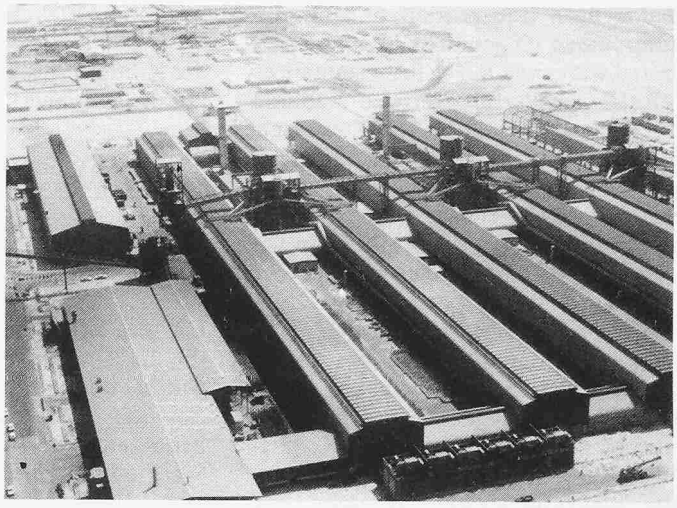


Bild 22. Ofenhallen-Fertigstellung. Bauzustand

Korrosionsschutz

Man versuchte in Dubai, aus den *Erfahrungen* der Aluminium-Hütte in *Bahrain* (ALBA) zu profitieren, welche 1969–72 unter ähnlichen klimatischen Verhältnissen gebaut worden war. Aus Kostengründen wäre das Erstellen einer Werkstätte auf der Baustelle günstiger gewesen – klimatisiert mit allen notwendigen automatischen Einrichtungen wie Sandstrahlen und automatischen Spritzanlagen, Werkbänken etc. für eine Total-Tonnage von rd. 22 000 t Stahl. Auf Grund der *schwierigen klimatischen Verhältnisse,* hohe Feuchtigkeit der Luft (85%) und Bau der Anlage am Meer (Arabischer Golf), Salzsprühwasser sowie Sandgemisch der Luft, und der langen Zeitperiode, welche die Ausführung eines qualitativen Korrosionsschutzes erlaubt hätte, wurde entschieden, den *Korrosionsschutz* mit Ausnahme des Deckanstriches in den Werkstätten *in Europa* durchzuführen.

Vom Unternehmer wurde eine *vierjährige Garantie* für den Korrosionsschutz verlangt. Leider wurde durch unsachgemässe Behandlung während des Ein- und Umladens in den Häfen von Dubai und durch Transport und Ablad auf der Baustelle der aufgebrachte Korrosionsschutz teilweise erheblich beschädigt, sodass die Ausbesserungsarbeiten auf der Baustelle einen neuen Korrosionsschutz zur Folge hatten. Intensive Kontrollen in der Werkstätte in Europa und auf der Baustelle in Dubai waren deshalb notwendig. Durch die EMPA in Zürich wurden die verschiedenen Anstrichmaterialien und Anstrichsysteme und deren Verhalten eingehend untersucht.

Spezifizierter Korrosionsschutz:

- Alle Stahlkonstruktionen
  Sandstrahlen min. SA. 2.5, B.S. 4232
  Blast Primer
- Werkstattanstriche
  2 Grundanstriche 100 µ
  Zinkstaubanstriche
  (2 Komponenten epoxy zinc phosphate high build)
  1 Zwischenanstrich 45 µ
  (1 Komponenten epoxy ester)
- Deckanstrich auf Baustelle 45 µ
  (1 Komponenten epoxy ester)
- Nominale Filmstärke Anstrich 190 µ
- Minimale Filmstärke Anstrich 175 µ

Es wird in Dubai nicht zu vermeiden sein, dass *jährlich Nachbehandlungen* des Korrosionsschutzes in diesem Mikroklima notwendig werden. Eine besondere werkeigene Unterhaltsgruppe wird diese Arbeiten besorgen.

Statische Systeme der wichtigsten Bauten

Ofenhallen und Kathodenreparatur-Werkstatt:

Der Normalquerschnitt des Stahltragwerks wurde als *Rahmen* mit Spannweite 20 m und Höhe 15 m (Ofenhallen, Bild 26) beziehungsweise Spannweite 30 m und Höhe 17 m (Kathodenreparatur-Werkstatt) ausgebildet. Die *Rahmenstützen* werden im unteren Teil bis zum Kranbahnträger als *Fachwerke* verstärkt, um die grossen Horizontalkräfte der Krane aufzunehmen. In *Längsrichtung* wurde die Standsicherheit der langen Halle mit *Windverbänden* gesichert. Die Belastungen aus 3 Portalkranen mit Tragkraft 15 t/30 t und 110 t wurden in der Berechnung der Ofenhallen für die Stahlkonstruktion berücksichtigt. 1 Portalkran mit 30 t und 1 Malb-Portalkran mit 100 t Nutzlast sind für das Pot Repair Building eingesetzt worden.

Anoden-Brennofenhalle

Die Tragkonstruktion in Querrichtung besteht im *oberen Teil* aus *Stahlrahmen*, deren eine Stütze fest, die andere einseitig verschiebbar auf den *unteren Fachwerkstützen* aufgelagert wurde (Bild 28). Auf diese Weise wurden die *Zwängungen* infolge der starken Temperaturschwankungen wesentlich *reduziert*. Zwei Schwerlastkräne à 25 t Hakenlast wurden bei der Bemessung berücksichtigt. Die Auflagerstützen für Kranbalken wurden als *Fachwerkkonsolen* in den Fundamenten voll eingespannt. Die 220 m lange Halle ist in Längsrichtung mit Windverbänden ausgesteift.

Tonerde-Silos

Die Tonerde-Silos haben einen Durchmesser von 35 m und eine Wandhöhe von 40 m. Das *Kuppeldach* liegt auf einem *Ringträger*. Das Lagerungsvermögen beträgt 30 000 t Tonerde.
Die Stahlkonstruktion der Zylinderschale wurde mit *variabler Blechstärke* (7–27 mm) dimensioniert und im Ringfundament mit 120 Schwerlast-Ankerbolzen *verankert*.

Die *Montage* der Zylinderschale wurde nach einem speziellen Drehverfahren durchgeführt. Zuerst wurde das tiefste Ringsegment montiert und auf dem Fundament befestigt. Die Blechoberkante wurde *spiralförmig* zugeschnitten und mit einer Rollendrehvorrichtung versehen. Die einzelnen Segmente des Zylinders wurden dann unten durch eine *automatische Anlage* zusammengeschweisst und schrittweise *hochgedreht*, angefangen beim oberen Ringsegment mit der Kuppel. Diese Montagemethode hat sich als sehr leistungsfähig erwiesen.

Hochbau

Allgemeines

Die gesamte *Projektierung des Hochbaus* wurde durch den eigenen *Architektenstab* des Generalunternehmens nach den Richtlinien der Prozess-Berater durchgeführt. Vor der Detailprojektierung wurde für die Gebäude, Büros, Labors, Aufenthaltsräume, Duschen etc. ein *detaillierter Baubeschrieb* für Materialien, Klimatisierung, Versorgung und Entsorgung erstellt, welche durch den beratenden Ingenieur genehmigt werden mussten und als Grundlage für die Projektierung und Ausführung dienten. Im weiteren wurden duch den Generalplaner ein *Funktionsbeschrieb* sowie *architektonische Richtlinien* als Grundlage für die Projektierung festgelegt. Diese umfassten den gesamten Innenausbau, Sanitär, Elektrisch, Klimatisierung. (Normen und Richtlinien nach *British Standards*, B.S.) Gemäss den Gepflogenheiten in den Arabischen Ländern wurden in fast allen Gebäuden eine Teeküche eingerichtet, ebenso dreierlei Typen von Toiletten.

Sämtliche *Materialien* und Installationen wurden aus dem Ausland *importiert*, grösstenteils aus England. Für den Innenausbau wurde sehr viel Kunststoff verwendet (PVC/Epoxidharze für Büros und Laborgebäude). Entsprechend den klimatischen Verhältnissen (mittlere Jahrestemperatur von 25° C) ist es nicht notwendig, die Büroräume zu heizen; die Klimaanlage für die Kühlung erfordert jedoch erhebliche Energiemengen.

Sämtliche Fabrikhallen wurden ausschliesslich mit dünnen Metallblechen (0,6–0,7 mm), mit einer Galbestos-Haut aufgeklebt (*Robertson Galbestos*, Cladding), verkleidet und ergeben ein gefälliges Aussehen der gesamten Fabrikanlage (Bild 22). Spezielles Augenmerk wurde auf die *natürliche Lüftung* gerichtet, indem natürliche Robertson Ventilatoren auf die Dächer montiert wurden.

Tabelle 1. Meerwasserentsalzung

Wasserverbrauchsmengen	US Gall/Tag	m³/Tag
Produktion		
Meerwasserentsalzungsanlage	30 000 000	114 000
Verbrauch		
Dubal, Aluminiumhütte	500 000	1 900
Tagesverbrauch, domestic demand	350 000	1 300
Feuerlöschreserve	250 000	950
Wasserversorgungs Authority Dubai	29 500 000	112 000
Reservoir «Jebel Ali» Inhalt	30 000 000	114 000

Technische Angaben

- Total Fassadenverkleidungen Robertson Sheets 200 000 m²
- Fabrikhallen, Grundfläche über 600 m² 29 Stk.
- Kleinere Gebäude, Grundfläche bis 600 m² 110 Stk.
- Hauptsilos 16 Stk.

Wasserversorgung

Für die Wasserversorgung der Alu Hütte und für die «Water Authority Dubai» wurde eine grosse *Meerwasserentsalzungsanlage* erstellt. Die notwendige Energie zur Verdampfung wird durch die *Abwärme* des Kraftwerkes geliefert. Der Grossteil des aufbereiteten Trinkwassers geht in das *öffentliche Wasserversorgungsnetz von Dubai*. Für die Alu Hütte wird über eine Messstation das aufbereitete Wasser durch eine *Ringleitung* von ∅ 200 mm an die Verbrauchsstellen geliefert. Durch eine Pumpstation mit Bypass in Verbindung mit 2 unterirdischen Reservoirs, von total 2270 m³/Tag (600 000 US Gall) wird die notwendige Druckerhöhung von ungefähr 65 PSI (4,48 bar) für eine Wassermenge von 700 Gall/min (2,65 m³/min) gewährleistet.

Adresse der Verfasser: *F. Stoecklin*, Bauing. HTL, *A. Wackernagel*, dipl. Bauing. ETH, *Ch. Buchli*, dipl. Bauing. ETH und *St. Przedpelski*, dipl. Bauing. PW, c/o Gruner AG, Ingenieurunternehmung, Gellertstr. 55, 4020 Basel

Bild 31. Ansicht der DUBAL-Verlade-Anlagen im Hafen Jebel Ali

Bild 24. Gesamtansicht der Alu Hütte