

Torben Rogge

# Neubau eines Weißzuckersilos in Nykøbing / Dänemark

## Construction of a white sugar silo in Nykøbing / Denmark

Im Jahr 2009 hat die Nordic Sugar S/A die Planung und Errichtung eines 60 000-t-Weißzuckersilos für den Standort Nykøbing in Dänemark in Auftrag gegeben. Diese Maßnahme wurde erforderlich, da die Produktionskapazitäten die Lagermöglichkeiten dort deutlich überschritten.

Die begrenzte Bauhöhe und -fläche sowie die Vermeidung von Entmischungen des Zuckers bei der Silobefüllung erforderten neue Lösungen zur effizienten Silonutzung.

Das Silo mit einem Füllgrad von 97,5 % wurde in nur neun Monaten Bauzeit errichtet.

**Stichwörter:** Siloneubau, Nykøbing, Nordic Sugar

In 2009, Nordic Sugar commissioned the design and construction of a 60,000-tonne white sugar silo for its Danish Nykøbing factory. This was made necessary because the production capacity clearly exceeded storage possibilities.

Limitations of height and footprint, as well as avoidance of the disintegration of the sugar as the silo is filled, required new solutions for efficient silo utilization.

The silo, with a 97.5% utilization level, was built in nine months.

**Key words:** Silo construction, Nykøbing, Nordic Sugar

### 1 Aufgabenstellung

#### 1.1 Besonderheiten

Die Nordic Sugar S/A gehört seit dem Jahr 2009 zur Nordzucker AG, Braunschweig. Bedient werden die skandinavischen und baltischen Märkte bei einem jährlichen Umsatz von 5 Mrd. DKK (ca. 675 Mio. Euro). Nordic Sugar beschäftigt ca. 1450 Mitarbeiter an 13 Standorten in 7 Ländern.

Für die Kampagne 2010 sollte am dänischen Standort Nykøbing ein Weißzucker-Lagersilo mit einem Fassungsvermögen von 60 000 t geplant, errichtet und in Betrieb genommen werden (Abb. 1). Besonders zu berücksichtigen waren:

- die eingeschränkte Bauhöhe, da die Zuckerfabrik am Stadtrand von Nykøbing liegt;
- die geringe zur Verfügung stehende Grundfläche zwischen bestehenden Gebäuden;
- die geologischen Besonderheiten der Bodenverhältnisse und des hohen Grundwasserspiegels, da das Fabrikgelände auf einer Halbinsel in der Ostsee liegt (Abb. 2);
- die Vermeidung von Entmischungen der Zuckerkristalle beim Befüllen und Entleeren des Silos;
- eine energieeffiziente Zuckerconditionierung;
- beheizte Außenwände;
- ein zentraler Abzugskanal;
- der Einsatz einer Restentleerungsschnecke
- HACCP-gerechte Ausführung der Fördertechnik und des Gebäudes sowie
- eine Silo-Konstruktion, die Bewegungen zwischen Silokörper und Dach zulässt.

Aufgrund der geologischen Verhältnisse und Wechselwirkungen mit benachbarten Gebäuden, brachte sich das Ingenieursteam des Kunden bereits in der Planungsphase sehr

intensiv in das Projekt ein. Ebenso galt es, die langjährige Silobau-Erfahrung des Ingenieurstabs des Bauherrn in baulicher und anlagentechnischer Hinsicht zu nutzen.



Abb. 1: 60 000-t-Zuckersilo-Neubau





Abb. 2: Werksgelände in Nyköping

## 1.2 Planungsphase

Am Beginn der Planungsphase stand die Herausforderung, ein Silo zu entwerfen, dass die vorgegebene Bauhöhe von maximal 60,00 m über dem Meeresspiegel nicht überschreitet. Weiterhin konnte der maximale Außendurchmesser aufgrund bestehender umliegender Gebäude nur bei 45 m liegen. Schnell wurde klar, dass durch die eingeschränkten Baumaße eine besonders effiziente Ausnutzung des Silovolumens erreicht werden musste.

Hierfür boten die üblichen Spitzkegel- oder Kuppeldächer jedoch keine geeignete Lösung. Auch die bisher häufig genutzte Einfülltechnik mit zentralem Einwurf oder Drehrohrverteilern musste neu überdacht werden.

Zudem sollte das häufig auftretende Problem der Kristall-Entmischung beim Befüllen/Entleeren des Silos weitestgehend vermieden oder – besser – sogar ausgeschlossen werden: Eine neue Lösung musste gefunden werden!

## 1.3 Silobefüllung

Die Lösung besteht in der Nutzung einer Einfülltechnik, wie sie ähnlich in Kuppeldach-Silos mit Innen- und Außenkammer genutzt wird. Die neue Lösung sieht ein Kegelstumpf-Dach vor (Abb. 3). Auf diesem Kegelstumpf ist der Silodom errich-

tet, in dem die Fördertechnik aus dem Becherwerks- und Treppenturm sowie der Bandbrücke endet.

Der schräg angeordnete Muldengurtförderer in der Bandbrücke wirft dabei in der Mitte des Silodoms auf ein langsam horizontal rotierendes Förderband ab. Dieses befüllt am Rand des Silodoms das Silo gleichmäßig umlaufend. Hierzu wurde entlang der Silodom-Rahmenkonstruktion ein Gitter-Schlitzkanal mit Gummiabdeckung vorgesehen. Bei dieser Art der Befüllung wird der Zucker deutlich besser im Silo verteilt, wodurch sich eine gute Durchmischung ergibt.



Abb. 3: Zuckerkegel im Silo – Füllung mit 57 000 t



Bei Erreichen des maximalen Füllstandes über die Randeinfüllung kann die Abgabe über das Rotationsband auf zentralen Einwurf ins Silo umgestellt werden. Damit kann dann der in der Mitte des Silos entstandene Zuckertrichter nahezu vollständig ausgefüllt werden.

Durch diese Maßnahmen ergibt sich ein rechnerischer Gesamtnutzungsgrad des Silovolumens von 97,5 %.

#### 1.4 Siloentleerung

Für den Austrag aus dem Silo wurde ein zentraler Abzugstrichter gewählt. Durch diesen wird über eine nachgeschaltete Dosierschnecke der Zucker aus dem Silo ausgetragen. Durch den zentralen Abzug und den dadurch für gewöhnlich entstehenden Kernfluss im Silo wird der Zucker erneut vermischelt und somit in gleichmäßigerer Verteilung ausgetragen.

Der nachfolgende Transport zur Verpackung erfolgt über ein zentrales Abzugsband, das unter dem gesamten Silo entlang läuft. Über dem Förderband sind im Siloboden zusätzliche Abzugstrichter eingesetzt, die eine gleichmäßige weitere Entleerung des Silos ermöglichen.

Die gleichmäßige Entleerung ist für die Statik des Silos unerlässlich, um eine Ovalisierung des Silokörpers zu vermeiden. Diese würde zu Verformungen und evtl. sogar zu Beschädigungen im Dach führen.

Ist das Silo über die Trichter weitestgehend geleert, können über die eingebaute Restentleerungsschnecke (Abb. 4) die verbleibenden Restmengen ausgetragen werden (Abb. 5). Hierzu wird die über den Trichtern „geparkte“ und damit schon annähernd vollständig von Zucker befreite Resträumschnecke lang-

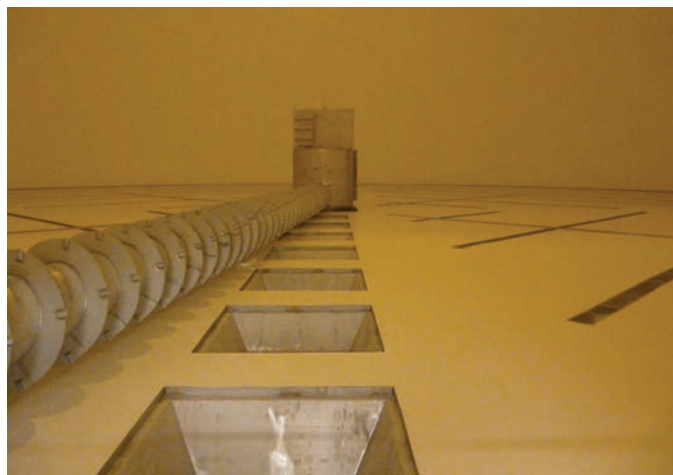


Abb. 4: Restentleerungsschnecke

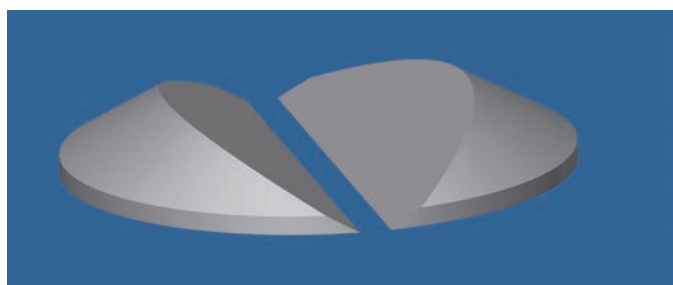


Abb. 5: Simulierte Restzuckermenge nach Abzug über die einzelnen Trichter

sam in den verbleibenden Zuckerberg gefahren. Sie fördert den Zucker zum zentralen Auslauftrichter, der diesen wieder über die Dosierschnecke auf den Muldengurtförderer abgibt. Durch permanente Überwachung des Drehmoments der Schnecke wird eine Überlastung, zum Beispiel durch abbrechende Zuckerklumpen, verhindert. Die kontinuierliche Drehzahlüberwachung sorgt in Verbindung mit den Füllstandsmeldern im zentralen Abzugstrichter für einen gleichmäßigen Produktstrom.

#### 1.5 Konditionierung

Zur Konditionierung des Zuckers, der mit vergleichsweise hoher Temperatur (ca. 45 °C) eingelagert wird, wurde ein Konditioniersystem vorgesehen. Für eine gleichmäßige Durchlüftung und Konditionierung des Zuckers wurden im Siloboden Zuluftkanäle mit vier zentralen Einspeisungen eingeplant. Über diese, in den Siloboden eingelassenen Kanäle, wird die Konditionierluft über die gesamte Grundfläche verteilt (Abb. 6).

Durch ein spezielles System aus Lochblechen und Filtermaterialien wird verhindert, dass sich die Kanäle mit Zucker füllen. Es ermöglicht auch die gleichmäßige Luftverteilung im Produkt während der ersten Tage der Befüllung, in denen der Siloboden nur teilweise mit Zucker bedeckt ist. Dies hätte ohne entsprechende Maßnahmen zur Folge, dass die Luft – dem Weg des geringsten Widerstands folgend – am Zucker vorbeiströmt.

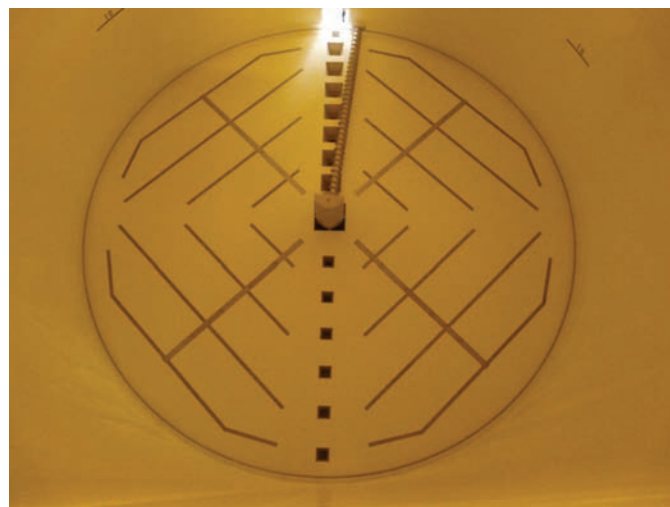


Abb. 6: Anordnung der Belüftungskanäle im Siloboden

Die eingeblasene Luft durchströmt den Zucker annähernd laminar und wird am Silodom wieder abgesaugt. Während dieser Phase wird der Zucker gekühlt und getrocknet. Die abgezogene Luft wird gefiltert, entfeuchtet, teilweise gegen Frischluft ausgetauscht und wieder zurück ins Silo geleitet.

Das System ist so ausgelegt, dass die Luftkonditionierung möglichst energieeffizient erfolgt. Dazu wird die Luftfeuchte und die Temperatur im Silo kontinuierlich überwacht. Die Messwerte ergeben im Vergleich zu Luftfeuchte und Temperatur der Außenluft die Menge der zuzuführenden Frischluft. Mittels Steuerungstechnik wird verhindert, dass über einen längeren Zeitraum nur im Umluftbetrieb gefahren wird, um die Bildung von Buttersäure im Silo zu vermeiden.

Die ergänzende elektrische Silomantelheizung sorgt insbesondere in kalten Monaten oder bei einseitigen Windverhältnissen für eine gleichmäßige Temperatur des Silozylinders. So werden Wärmebrücken und das so genannte Anbacken von Zucker an den Außenwänden aufgrund von Kondensatbildung vermieden.

## 2 Hygienemaßnahmen

Um den Hygieneanforderungen Rechnung zu tragen, wurden umfangreiche Maßnahmen ergriffen. Diese bestanden aus dem Einsatz lebensmittelechter Materialien für alle mit dem Zucker in Berührung kommenden Bauteile. Hierbei sind zunächst die reinen Förderelemente zu nennen, die in Edelstahl und leicht zu reinigen ausgeführt wurden. Weiterhin wurden alle Gurtmaterialien in weichmacherfreier und lebensmittelechter Ausführung eingesetzt.

Alle Profile für Traggestelle sowie für den Stahlbau wurden weitestgehend mit offenen, leicht zu reinigenden Profilen erstellt. Generell wurden Hohlräume im Bau vermieden, um die Ansiedlung von Schädlingen zu verhindern. Hierzu wurden insbesondere auch alle Rohrführungen für elektrische Leitungen jeweils an den Enden abgedichtet.

Ebenso wurde für die Innenbeschichtung des Silos eine spezielle, lebensmittelechte Kunstharzmischung gewählt.

Für die Reinigung des neu entstandenen Silos mit Elevator-turm, Bandbrücken und Betriebsgebäude wurde die bestehende zentrale Fußbodenstaubsauganlage erweitert. Durch zentrale Anordnung der entsprechenden Absaugstellen ist

gewährleistet, dass alle Bereiche, in denen sich Produkt ablagern kann, gut gereinigt werden können.

Zum Schutz vor Staub-Explosionen wurde die Anlagentechnik gemäß den Empfehlungen der Zucker-Berufsgenossenschaft ausgelegt. Hierzu zählen die Staubabsaugung und der Einsatz entsprechend ausgerüsteter Melder und Sensoren. Zudem wurde durch eine Risikoanalyse eine Zonierung einzelner Gebäudebereiche vorgenommen. Diese wurde dann z.B. durch die Gebäudeelektrik derart berücksichtigt, dass – auch zur Kosteneinsparung – keine Schalter oder Leuchten in den besonders gefährdeten Bereichen eingesetzt sind.

## 3 Umsetzung

Durch enge Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, Generalunternehmer und Anlagenplaner konnte schon nach nur viermonatiger Planungsphase im Januar 2010 mit den Erdarbeiten für den zentralen Austragskanal des Silos begonnen werden.

Nach Fertigstellung der Silo-Bodenplatte Anfang April konnte bis Mitte Mai dann der Gleitbau des Silokörpers und des angeschlossenen Elevator- und Treppenturms fertiggestellt werden (Abb. 7). Wenige Wochen später wurden im Abzugskanal und Elevator-turm die ersten Fördertechnikelemente montiert.

Um die Montage der Anlagentechnik, insbesondere im Silo-turm, effizient zu gestalten, wurde diese in enger Abstimmung mit dem Bau teilweise parallel ausgeführt. So konnten einzelne Arbeitsschritte beider Gewerke gleichzeitig oder in kurzer Aufeinanderfolge realisiert werden.

Zum zügigen Fortgang der Arbeiten hat neben dem modularen Aufbau der Anlagentechnik auch das Bauen mit Beton-Fertigteilen, zum Beispiel im Siloturm, beigetragen. So konnten im Wechsel immer die Anlagenteile der beiden Becherwerke und die Ebenen aus Beton-Fertigteilen eingebracht werden.

Besondere Sorgfalt galt auch der Dachkonstruktion. Um einer Beschädigung des Dachs bei leichten Verformungen des Silozylinders entgegenzuwirken, wurde das Dach mit einer speziellen Konstruktion gleitend auf dem Zylinder aufgelegt. Die Befestigung erfolgte lediglich am Elevator-turm als Festlager. Zudem wurde die gegebenenfalls auftretende Ovalisierung des Silokörpers von vornherein in die Berechnungen mit einbezogen und in der Konstruktion berücksichtigt.

Die Dachkonstruktion selbst wurde aus Holzleimbändern errichtet. Diese wurden zwischen dem auf dem Silozylinder umlaufenden Stahl-Zugring und dem Druckring des Silodoms frei gespannt (Abb. 8). Um dies zu erreichen, wurde zunächst ein Schwerlastgerüst in der Mitte des Silos aufgebaut, um den Druckring des Silodoms zu tragen. Anschließend wurden die in Sandwichbauweise vorgefertigten Dachelemente aufgelegt und befestigt. Durch die Bauweise der vorgefertigten Dachelemente war das Dach bereits mit Verlegen der letzten Platte geschlossen und regendicht.

Parallel zur abschließenden Dachabdichtung konnten dann bereits der Stahlbau und die Außenfassade des Silodoms errichtet werden.

Nicht zu unterschätzen ist neben der Abdichtung auch die Gründung des Silos. Neben den Vorgaben zum Setzungsverhalten durch den Bauherrn (max. 5 cm) mussten auch die Nähe zur Ostsee und der hohe Grundwasserspiegel berücksichtigt



Abb. 7: Silokörper nach Fertigstellung des Gleitbaus





Abb. 8: Dachkonstruktion mit Druckring am Silodom

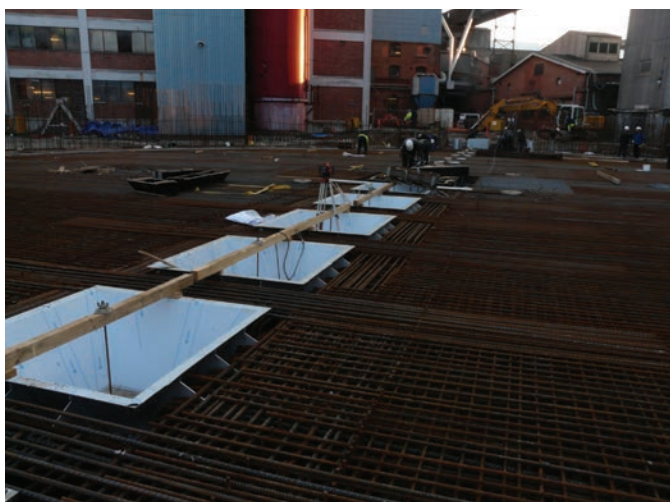


Abb. 9: Einbau der Abzugstrichter

werden: Nyköping liegt auf der 514 km<sup>2</sup> großen Insel Falster in der Ostsee. Aufgrund dieser Anforderungen wurde für das Silo mit dem angrenzenden Siloturm und dem Betriebsgebäude eine Flachgründung auf einer 80 cm starken Beton-Bodenplatte mit Ringfundament gewählt.

In diese mussten bereits zu Beginn die bis zu 1,60 m × 1,60 m großen Abzugstrichter aus Edelstahl integriert werden (Abb. 9). Auch die 4 Zuluftleitungen für die spätere Zuckerkonditionierung wurden schon in diesem frühen Stadium des Baus eingebracht. Somit war bereits in den ersten Schritten des Bauvorhabens eine enge Verknüpfung und Abstimmung zwischen Anlagentechnik und Baugewerken erforderlich.

#### 4 Zusammenfassung

Aufgrund des engen zeitlichen Rahmens zwischen Planungsbeginn und Inbetriebnahme von nur gut 12 Monaten war

von Anfang an eine sehr gute und enge Abstimmung zwischen Bauherrn, Generalunternehmer und der Anlagenplanung erforderlich.

Es galt, in kürzester Zeit die bestehende Vorplanung, die durch den Anlagenplaner bereits erstellt war, in eine Detailplanung umzusetzen, mit dem Bauherrn und seinen umfangreichen Erfahrungen und dem Bauplaner abzustimmen und schlussendlich umzusetzen.

Durch das gute Zusammenspiel aller Beteiligten konnte so das größte Bauvorhaben der Nordzuckergruppe nach seiner Ausschreibung im August 2009 mit einer tatsächlichen Bauzeit von nur 9 Monaten und der Berücksichtigung aller Wünsche und Bedürfnisse des Bauherrn fristgerecht zum 15. Oktober 2010 abgeschlossen werden.

Nach der ersten Befüllung und sukzessiven Entleerung stellten sich Setzungen im erwarteten Rahmen ein. Die Ovalisierung des Silos betrug maximal 70–110 mm. Die Anlagentechnik, insbesondere die Silokonditionierung, erfüllte die gestellten Vorgaben.

#### Construction d'un nouveau silo à sucre blanc à Nyköping/Danemark (Résumé)

En 2009, la Nordic Sugar S/A a commandé la planification et l'érection d'un silo à sucre blanc d'une capacité de 60 000 t pour Nyköping. Cette décision a été rendue nécessaire étant donné que les capacités de production y dépassaient sensiblement les possibilités de stockage. La hauteur limitée de la construction et des superficies ainsi que l'évitement des émissions de poussières de sucre lors du remplissage exigeaient des solutions nouvelles pour une utilisation efficace du silo. Ce silo, avec un taux de remplissage de 97,5 % a été érigé en seulement neuf mois de construction.

#### Construcción de un silo para azúcar blanco en Nyköping/Dinamarca (Resumen)

La compañía Nordic Sugar S/A encomendó en el año 2009 la planificación y construcción de un silo para azúcar blanco de una capacidad de 60 000 t para Nyköping. Esta medida fue necesaria puesto que se producía mucho más de lo que se podía almacenar. La altura y la superficie de la construcción del silo y la evitación de la separación de los cristales de azúcar al llenar el silo requirieron soluciones nuevas para la utilización eficaz del silo. En solamente nueve meses se construyó este silo con un grado de relleno de 97,5 %.

Eingegangen am 3. Juni

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. *Torben Rogge*, I.K.B. Industrieplanung GmbH, Nachtigallenstraße 15, 57589 Pracht, Deutschland; e-Mail: info@IKB-Planung.com