



Geotechnische und geodätische Messungen zur Überwachung und Steuerung eines großen Rohstofflagers auf breiig-weichem Schwemmland in Südamerika

Christian Moormann,
Andreas Glockner

Teil 1

1 Einleitung

Auf einem rund 8 km² großen Baufeld, einem Schwemmland in der Bucht von Sepetiba, 60 km südlich von Rio de Janeiro errichtet die ThyssenKrupp AG derzeit mit einem Investitionsvolumen von rund 4,5 Mrd. € ein neues, großes Stahlwerk mit zwei Hochöfen. Die tiefreichenden bindigen Sedimentböden breiiger bis weicher Konsistenz und ein in Höhe der Geländeoberfläche liegender Grundwasserspiegel sind für Anforderungen der Schwerindustrie denkbar ungünstig. Für das ‚Stock Yard‘ genannte Rohstofflager, ausgedehnte Lagerflächen für Kohle und Erz, bei denen hohe Flächenlasten von bis zu 340 kN/m² direkt neben verformungssensiblen Kranbahnen auftreten (Bild 1), wurden daher umfangreiche Baugrundverbesserungsmaßnahmen mittels Vertikaldräns, Rüttelstopfverdichtung und geotextilmantelten Sand- und Schottersäulen konzipiert und durch gekoppelte numerische Berechnungen optimiert, die durch instrumentierte Testfelder verifiziert und fortgeschrieben wurden. Integraler Bestandteil des Bemessungskonzeptes aber auch des Betriebskonzeptes dieses Rohstofflagers ist



Bild 1: Erzlager mit Stacker/Reclaimer (Europoort Rotterdam)

die Anwendung der Beobachtungsmethode, also die messtechnische Überwachung der Verformungen und der Spannungen in den breiig-weichen Tonböden unter den raschen und variablen Auf- und Abhaltungsvorgängen. Das Lagerhaltungskonzept wird in Abhängigkeit von den gemessenen Spannungs- und Verformungsgrößen gesteuert werden, da bei der technisch-wirtschaftlich optimierten Bemessung der Baugrundverbesserungen Konsolidierungsvorgänge und der zeitvariante Zuwachs der Scherfestigkeiten infolge von Konsolidierungsprozessen berücksichtigt wurden.

Unter schwierigsten Randbedingungen wurde daher ein Messkonzept entwickelt und implementiert, das das vollumfängliche online-Monitoring des Rohstofflagers erlaubt. Der rund 2,5 Mio. € teure Einbau der Messinstrumente, des Aufbaus des Datalogging inklusive funkgesteuerter Datenübertragung und internetbasierter Visualisierungsplattform ist zwischenzeitlich zu etwa 80 % abgeschlossen.

2 TK CSA Siderúrgica do Atlântico – ein Jahrhundertprojekt

Als Schlüsselprojekt beim Ausbau ihrer Kapazitäten zur Stahlproduktion errichtet die ThyssenKrupp AG derzeit im Bundesstaat Rio de Janeiro, Brasilien, ein neues integriertes Hüttenwerk mit einer Jahresproduktion von 5 Mio. t Rohstahlbrammen. Das Baufeld liegt 50 km westlich der Millionenmetropole Rio de Janeiro auf einem rund 2.000 m mal 4.500 m großen Baufeld an der Bucht von Sepetiba (Bild 3). Das Hüttenwerk gliedert sich bezüglich seiner Hauptkomponenten in eine Kokerei, eine Sinteranlage, zwei Hochöfen, das Stahlwerk, ein Kraftwerk, große Rohstofflagerflächen sowie umfangreiche Infrastrukturmaßnahmen, zu denen u. a. ein eigener Tiefseehafen und eine Eisenbahnstrecke für Eisenerzzüge zählen (Bild 2). Für ThyssenKrupp ist das neue Hüttenwerk ein Jahrhundertprojekt, dessen Realisierung maßgeblich durch die besonders schwierigen geotechnischen Randbedingungen beeinflusst wird (Glockner et al. 2008).

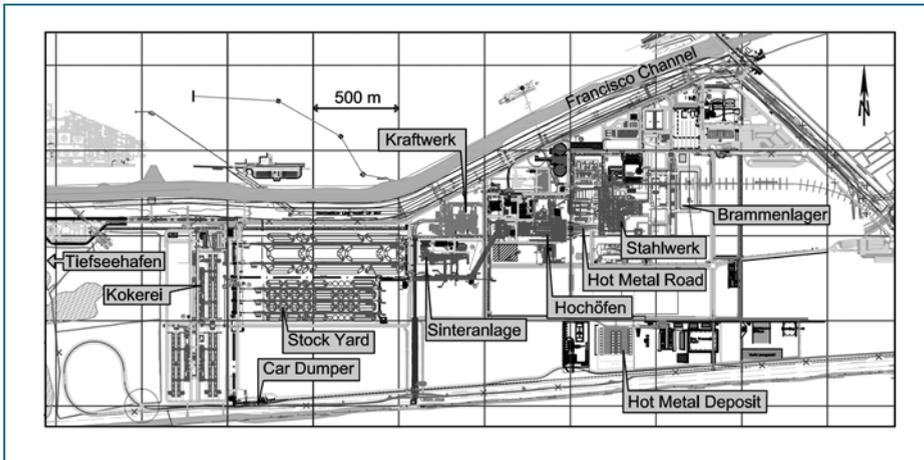


Bild 2: Layout (Ausschnitt) des neuen Hüttenwerks TK CSA Siderúrgica do Atlântico



Bild 3: Baufeld des neuen Hüttenwerks TK CSA Siderúrgica do Atlântico (11/2009)

Das von zwei Flussläufen begrenzte, nur 0-2 m über dem Meeresspiegel liegende Bau- und Lagerfeld war im Ausgangszustand ein Sumpf- und Grasland, dessen Baugrundverhältnisse, tieferreichende bindige fluviale Sedimente und ein in Höhe der Geländeoberfläche liegender Grundwasserspiegel, äußerst ungünstig sind und die daher hohe Anforderungen an die geotechnischen Konzepte für Gründungen, Baugruben und die Vorbereitung von Lager- und Verkehrsflächen stellten.

3 Baugrundsituation

Die Baugrundsituation in der Bucht von Sepetiba ist geprägt durch mächtige fluviatile und fluvio-marine quartäre Sedimente, die als unregelmäßige Wechselfolge von Sanden, Schluffen und Tonen, fluviatilen Kiesen und jüngeren Mangroven-Sedimenten abgelagert wurden.

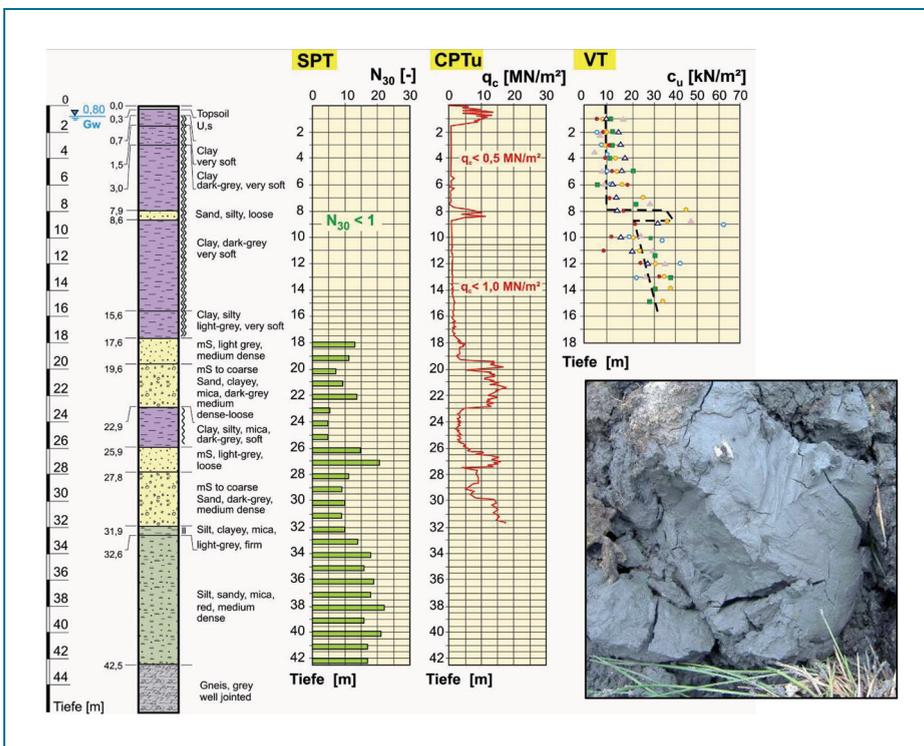


Bild 4: Typische Baugrundaufschlüsse im Bereich des Stock Yards (Rohstofflager).

Tab. 1: Bodenkennwerte Oberer Ton (Mittelwerte) im Bereich Stock Yard.

Oberer Ton:	Bereich bis ca.	-8 m	-15 m
Klassifizierung		CE, CH, MH, OH	
natürlicher Wassergehalt [%]	w_n	95	
Fließgrenze [%]	w_L	112	
Glühverlust [%]	V_{gl}	5 – 15	
Porengehalt [-]	e_0	1,5 – 3,5	1,2 – 3,0
totale Dichte [t/m^3]	ρ	1,4	1,5
Kompressionsbeiwert [-]	C_c	0,4 – 1,8	0,3 – 1,5
Steifemodul [MN/m^2]	$E_{s,E}$	0,2 – 0,5	1,0–2,5
Kriechbeiwert [-]	C_α	0,03 – 0,07	0,02 – 0,06
Zähigkeitsindex [-]	$I_v = C_\alpha/C_c$	0,04 – 0,06	
Konsolid.beiwert, vertikal [m^2/s]	c_v	$2 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-8}$	
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m^2]	c_u	5 – 15	20 – 60
innerer Reibungswinkel [°]	φ'	25	25
effektive Kohäsion [kN/m^2]	c'	0 – 5	5 – 10

Sie werden in 30 m bis 50 m Tiefe unterlagert vom präkambrischen Festgestein, das sich im Wesentlichen aus Plutoniten (Granit), Metamorphiten (Gneis) und vulkanischen Intrusionen (Trachyte und Basalte) zusammensetzt und das je nach Ausgangsgestein auf den oberen 1 m bis 5 m verwittert ist (Machado et al. 2000).

Am Standort des neuen Hüttenwerks lassen sich die quaritären Sedimente (Bild 4) weitgehend gliedern in einen 12 m bis 15 m, lokal auch über 17 m mächtigen Oberen Ton vorwiegend breiiger und weicher Konsistenz, der meist erhöhte organische Anteile besitzt. In den Oberen Ton ist verbreitet zwischen 6 m und 9 m unter Gelände eine geringmächtige, schluffige Sandlage eingelagert. Unterlagert wird der Obere Ton von einer ersten, meist 4 m bis 10 m mächtigen, eng gestuften Mittel- bis Grobsandlage mitteldichter bis dichter Lagerung, auf die in der Regel wieder eine bindige Zwischenschicht, der Untere Ton, mit einer meist steifen Konsistenz in einer Schichtdicke von 2 m bis 8 m folgt. Zur Tiefe hin überwiegen dann bis zur Festgesteinsoberfläche zunehmend dicht gelagerte, feinkornarme, teils kiesige Sande mit eingeschalteten Schlufflagen.

Das Grundwasser steht überwiegend in Höhe der ursprünglichen Geländeoberfläche an, wobei es im Baugrund überwiegend in den Sanden mit einer entsprechenden, auch durch Tidevorgänge beeinflussten Druckhöhe zirkuliert. Bei heftigen Regenfällen und hohen Grundwasserständen wird das Gelände bereichsweise überflutet.

Die Baugrunderkundung basierte auf einer großen Zahl von handgetriebenen SPT-Aufschlüssen, CPTu-Versuchen und Flügelsondierungen im Feld, sowie Klassifizierungsversuchen und einigen Oedometer- und Triaxial-Versuchen im Labor.

Im Ausgangszustand war das Baufeld bedingt durch die breiig-weichen Oberen Tone und den hohen Grundwasserstand nicht befahrbar und nur eingeschränkt begehbar. Es wurden daher rund 3,5 Mio. m^3 Sand, der im Rahmen von Nassbaggerarbeiten für den Bau des neuen Tiefseehafens

in der Bucht von Sepetiba gewonnen wurde, flächig in einer Mächtigkeit von 1,5 m bis 2,0 m aufgespült. Nach Abfluss des Meerwassers stand eine weitestgehend mitteldicht gelagerte Sandschicht als Bau- und Arbeitsebene zur Verfügung.

Da der ausgeprägt plastische Obere Ton für alle baulichen Maßnahmen von maßgebender Bedeutung ist, sollen dessen bodenmechanischen Eigenschaften näher betrachtet werden. Tabelle 1 fasst die abgeleiteten Kennwerte für die Rohstofflagerflächen („Stock Yard“), aufgeteilt in einen oberen Bereich (oberhalb der eingeschalteten Sandlage, d. h. 0 m bis 6-9 m Tiefe) und einen unteren Bereich, zusammen. Aufbauend auf den Ergebnissen der Oedometer- und CPTu-Versuche ist der Obere Ton weitgehend normalkonsolidiert; der Steifemodul für Erstbelastung kann spannungsabhängig mit dem Ansatz $E_{s,E} = (1+e_0) \cdot 2,3/C_c \cdot \sigma'_v$ abgeschätzt werden zu $E_{s,E} [MN/m^2] = 0,1 + 0,06 \cdot t$ mit t: Tiefe in [m]. Die undrained Scherfestigkeit im oberen, kritischen Bereich des Oberen Tons war mit $c_u = 5 kN/m^2$ und $15 kN/m^2$ sehr gering.

Teil 2 erscheint in Heft 10/2010

Anschriften der Verfasser:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN MOORMANN
IGS · Institut für Geotechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 35 · 70569 Stuttgart
Tel.: 0711/685-64237, Fax: 0711/685-62439
christian.moormann@igs.uni-stuttgart.de
zuvor: SMOLTZYK & Partner GmbH

Dr.-Ing. ANDREAS GLOCKNER
Uhde GmbH
Friedrich-Uhde-Straße 15 · 44141 Dortmund
Tel.: 0231/547-0, Fax: 0231/547-3032
andreas.glockner@thyssenkrupp.com