

Batam-Tonton-Schrägseilbrücke: Brückenbau in Indonesien

Autor(en): **Lengweiler, Roy / Lurati, Franco / Voumand, Jean-Marc**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **116 (1998)**

Heft 33/34

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79555>

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.

Roy Lengweiler, Franco Lurati, Jean-Marc Voumard

Batam-Tonton-Schrägseilbrücke

Brückenbau in Indonesien

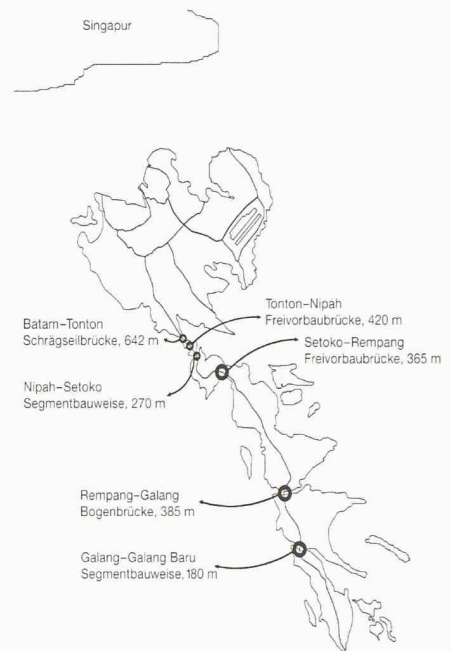
Indonesien ist entschlossen, in naher Zukunft umfangreiche Infrastrukturprojekte zu realisieren. Mit den mehr als 13 000 Inseln steht der Grossbrückenbau naturgemäss im Zentrum solcher Projekte, wie z.B. desjenigen, die nur 30 km von Singapur entfernten Barelang-Inseln mit sechs Brücken zu verbinden. Die Hauptbrücke bildet die vierspurige Batam-Tonton-Schrägseilbrücke mit einer Hauptspannweite von 350 m. An der Realisierung waren Schweizer Ingenieure massgeblich beteiligt.

Die Batam-Tonton-Schrägseilbrücke ist die erste und bedeutendste der sechs Brücken des Barelang-Projekts in Indonesien. Die industriell nutzbare Fläche der Hauptinsel Batam wird dadurch nahezu verdreifacht und wird somit rund 50% grösser als der 30 km entfernte Stadtstaat Singapur. Die Nähe zu Singapur macht Batam und die neu erschlossenen Inseln zu einem attraktiven Standpunkt für leichte Industrie und Tourismus. Die sechs grundsätzlich verschiedenen Brückentypen, die vom Institut of Technology Bandung bestimmt und vorbemessen wurden, sollten der indonesischen Bauindustrie Gelegenheit bieten, Erfahrung im modernen Brückenbau zu sammeln. Dies im Hinblick auf die weiteren geplanten Inselverbindungen innerhalb der mehr als 13 000 Inseln zählenden Republik und als Vorbereitung auf die kommende Globalisierung und damit offene internationale Konkurrenz. Ende 1993 wurde das zu einer internationalen Bau-gruppe gehörende technische Büro in der Schweiz beauftragt, die Bauzustände und

den Endzustand der Struktur zu kontrollieren und die Baumethode, die Baumspannkraft, die Spannreihenfolge und das Überhöhungsprofil des Fahrbahnträgers zu bestimmen. Im weiteren wurden das Konzept des Freivorbaugerüsts und die statische Bemessung mit sämtlichen Fabrikationsplänen in der Schweiz erarbeitet. Angesichts der umfangreichen Ausführungsarbeiten, neben der Schrägseilbrücke auch für drei weitere Brücken des Projekts, war es notwendig, auf der Baustelle ein technisches Büro zu etablieren, um während der zweieinhalb Jahre Bauzeit die technische Arbeitsvorbereitung, das Überprüfen von alternativen Baumethoden und Optimieren von Bauabläufen, die Kontrolle der Geometrie sowie das Lösen technischer Probleme direkt vor Ort zu ermöglichen.

Beschreibung des Projekts

Die 642 m lange Brücke mit 350 m Hauptspannweite verbindet die Hauptinsel Batam mit der Insel Tonton. Die beiden A-förmigen Pylone haben eine Gesamthöhe von 118 m und ragen rund 90 m über den 22 m breiten, vierspurigen Fahrbahnträger. Der Fahrbahnträger aus Ort beton besteht aus zwei 2 m hohen Randträgern, den Querträgern in Abständen von 4 m und der darübergespannten Fahrbahnplatte. Die Schrägseile sind zwischen Pylonen und Fahrbahnträger in zwei Ebenen fächerförmig angeordnet und in Abständen entsprechend der Segmentlänge von 12 m in den Randträgern verankert. Die zwei letzten Schrägseilpaare in den Seitenspannweiten sind direkt in den massiven Widerlagern extern verankert. Der



1
Barelang-Projekt, Indonesien, mit sechs Brücken

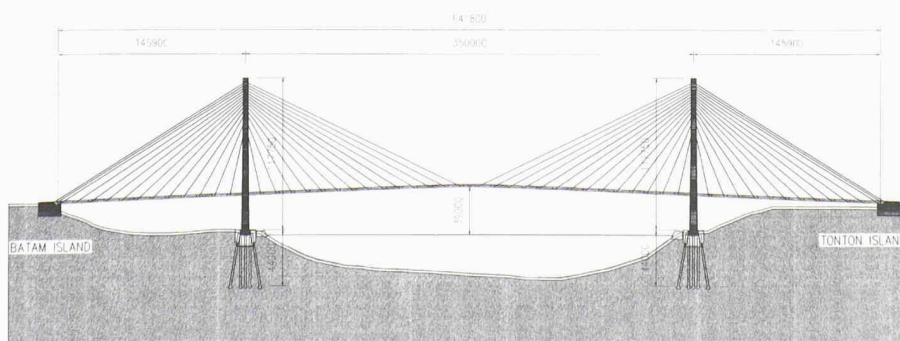
Fahrbahnträger ist im Bereich der Pylone freihängend und seitlich gegen die Pylonbeine mit Gleitlagern geführt, um Wind- und Erdbebenlasten abzutragen. Bei beiden Widerlagern ist das Deck seitlich und vertikal für positive und negative Reaktionen gehalten. Für die Lagerung in Längsrichtung wurden Neopren-Pufferlager eingebaut, die bei Erdbebenlasten ab einer Längsverschiebung von max. 100 mm aktiviert werden.

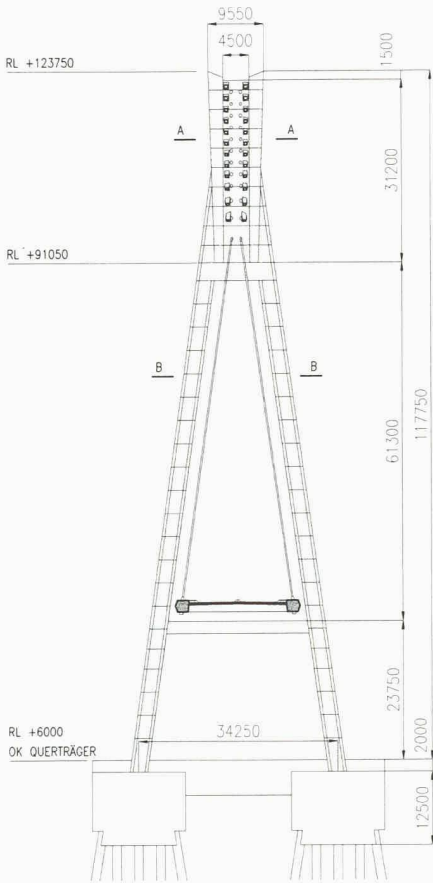
Pylone

Jedes der Pylonbeine ist auf 30 Ortbetonpfählen mit je 1,5 m Durchmesser gegründet. Die Spitzenpfähle geben in rund 40 m Tiefe die Last auf den Fels ab. Die Pfahlbankette sind massive Betonkörper und gegenseitig mit einem Querträger verbunden, der die Funktion eines Zugbands übernimmt. Die Hauptabmessungen der Pylone sind in Bild 3 gezeigt. Die Pylonbeine mit variablem Hohlkastenquerschnitt sind mit Querträgern unter dem Fahrbahnträger sowie unterhalb des Pylonkopfs zu einem Rahmentragwerk verbunden. Ursprünglich war der Pylonkopf in Stahlbauweise vorgesehen. Die Analyse der Brücke in den Bauzuständen zeigte jedoch, dass eine wesentliche Verstärkung unabdingbar war, gerade auch um dem Endzustand zu genügen. Der Hauptunternehmer schlug die Alternative in Ort beton vor, die aufgrund der örtlichen Bedingungen wirtschaftlicher und einfacher zu realisieren war. Die geeigneten Pylonbeine wurden mit je zwei unabhängigen Kletterschalungen in 21 Segmenten zu 4 m

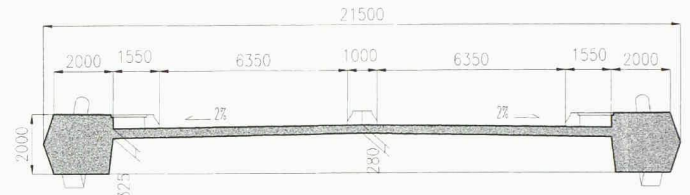
2

Längsschnitt. Massangaben in Millimetern





3
Querschnitt durch Pylon (links) und Fahrbahn (rechts)



Länge betoniert, die dann für den Pylonkopf auf Höhe des oberen Querträgers zu einer Einheit verbunden wurden. Der Querträger unter dem Deck wurde auf einem Lehrgerüst betoniert und mit den Pylonbeinen verbunden, nachdem die Kletterschalungen rund drei Segmente darüber fortgeschritten waren. Die Pylonbeine wurden in den verschiedenen Bau-

zuständen mit temporären Stahlabstützungen in vier verschiedenen Höhen mit hydraulischen Pressen auf die in der statischen Bauzustandsanalyse vorgängig bestimmte Kraft gegenseitig abgestützt, um die Biegemomente infolge Wind und Eigengewicht sowie die resultierenden Deformationen zu reduzieren. Die ästhetisch ansprechende Formgebung der Pylonköpfe erforderte aufwendige Modifikationen an der Schalung für die obersten zehn Segmente. Die Ankerplatten und die Führungsrohre für die Schrägseilverankerungen wurden in einer Stahl-Hilfsstruktur vorgängig auf dem Boden montiert und inklusive Armierungskorb als 4 m lange vorgefabrizierte Einheiten mit den Turmdrehkränen in die Kletterschalung gehoben.

Fahrbahnträger

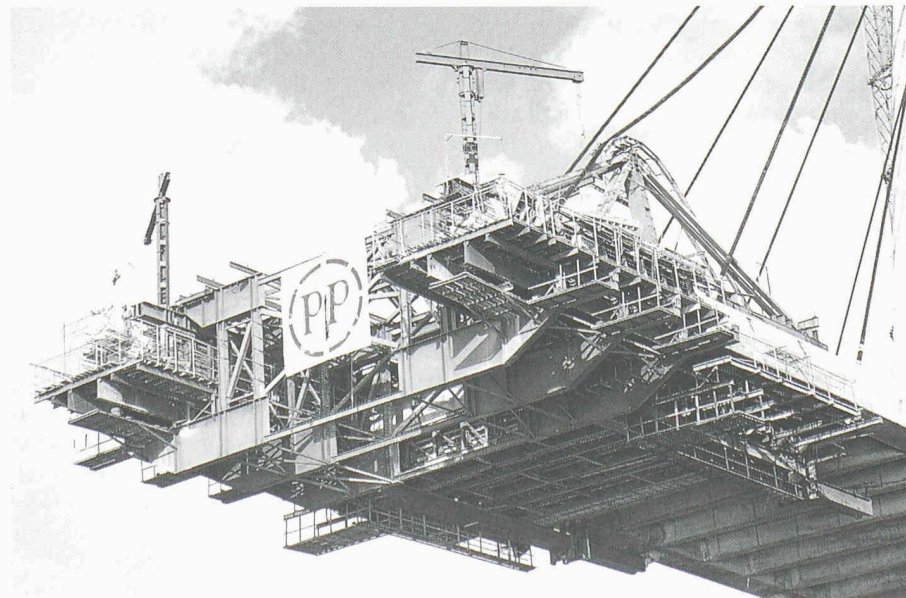
Die ersten 28 m des Fahrbahnträgers im Pylonbereich wurden auf einem Lehrgerüst betoniert. Das gleiche Lehrgerüst wurde dann für das Betonieren der Seitenspannweiten verwendet. Die Hauptspannweite hingegen wurde im für weitgespannte Schrägseilbrücken typischem Freivorbau konstruiert. Die 12 m langen Segmente mit einem Betonvolumen von 190 m³ wurden in zwei Betonieretappen mit einem 320 Tonnen schweren Freivorbauergüst hergestellt. Die zwei Randträger

wurden mit der vorderen Schalung in freier Auskragung, die Querträger und die Fahrbahnplatte hingegen erst nach der Installation der nächsten Schrägseile in den auskragenden Randträgern und nach dem Verschieben des Gerüsts auf dem hinteren Teil des Vorbauwagens betoniert.

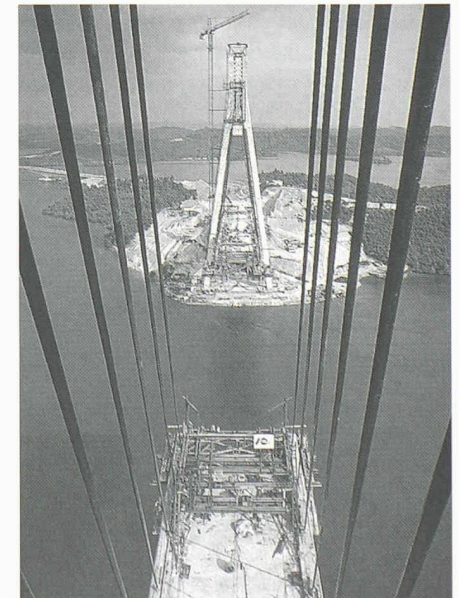
Schrägseile

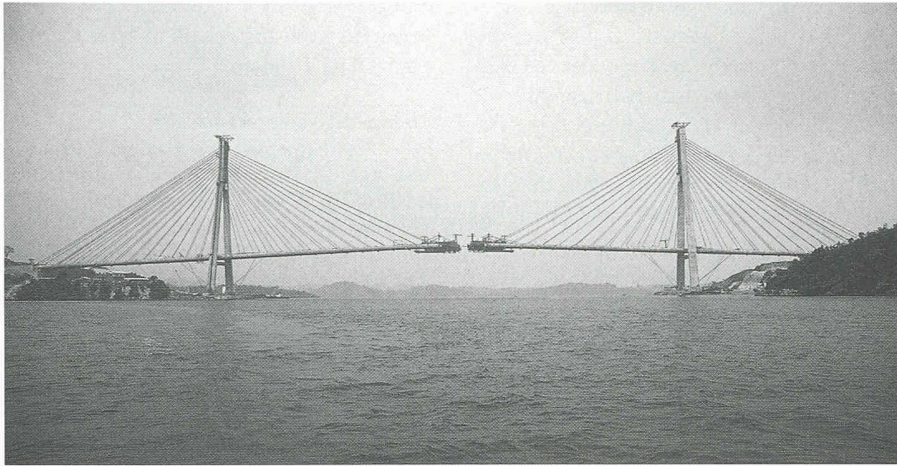
Insgesamt wurden rund 1000 Tonnen Litzen-Schrägseile eingebaut. Die total 112 Kabel variieren zwischen 61 und 187 m Länge und bestehen aus 31 bis 91 0,6"-Litzen. Die grössten Kabel, die im Widerlager extern verankert sind, haben eine garantierte Bruchkraft von rund 24 000 kN. Das verwendete System erlaubt das Installieren und Ersetzen einzelner Litzen, da jede Litze unabhängig über die ganze Länge in einem HDPE-Röhrchen geführt ist. Dies bringt den Vorteil, dass das Auswechseln eines Kabels keinen Verkehrsunterbruch zur Folge hat. Es erwies sich als vorteilhaft, die Kabel voll vorzufabrikieren. Die zwischen 5 und 20 Tonnen schweren Kabel wurden hinter den Widerlagern Batam und Tonton hergestellt und mit Hilfe eines provisorischen Hängkabels auf das Deck geleitet. Mit einer 15-Tonnen-Winde, die auf jedem Pylon zur Verfügung stand, und einem Hilfsattel wurde dann zuerst das Pylonende installiert und an-

4
Freivorbauergüst



5
Sicht vom Pylonkopf





6

Die Brücke kurz vor dem Zusammenschluss der beiden Freivorbauten

schliessend das Deckende mit einer hydraulischen Zugvorrichtung eingezogen.

Statische Analyse der Bauzustände

Die an den entsprechenden Bauzuständen gerechnete Überlagerung der zahlreichen Lastfälle ergibt grosse Ausgabedateien für Schnittkräfte, Spannungen und Verformungen. Die Bauzustandsberechnung einer Schrägseilbrücke erfordert deshalb die Verwendung eines Programms mit einer einfachen und klaren Datenverwaltung. Weitere Merkmale der verwendeten Software sind die Modellierung der Vorspannung, die Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen, die Eingabe von Lagerungsänderungen während des Baus als Lastfälle und die Definition von sogenannten Teilquerschnitten entsprechend dem geplanten Betoniervorgang. Als statisches Modell wurde ein dreidimensionales Stabtragwerk gewählt. Die Aufgaben der statischen Analyse waren:

- Bestimmen des optimalen Spannvorgangs für die Schrägkabel
- Berechnen der Überhöhungskurven
- Spannungs- und Tragfähigkeitsnachweis für jede beliebige Bauphase unter Berücksichtigung von Wind-, Erdbeben-, temporären Baulasten und Eigengewichtstoleranzen

Zur Bestimmung der optimalen Spannkraft und Spannreihenfolge der Schrägseile waren folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Einhalten der vorgegebenen zulässigen Spannungen in der Struktur. Im vorliegenden Falle wurden die Stahlspannungen in der Bauphase am gerissen gerechneten Betonquerschnitt auf 160 MPa beschränkt.
- Minimieren der Nachreglierung von möglichst wenigen Schrägseilen nach

Bauende, um im Fahrbahnträger und den Pylonen die vom planenden Ingenieur vorgegebene Schnittkraftverteilung zu erzielen.

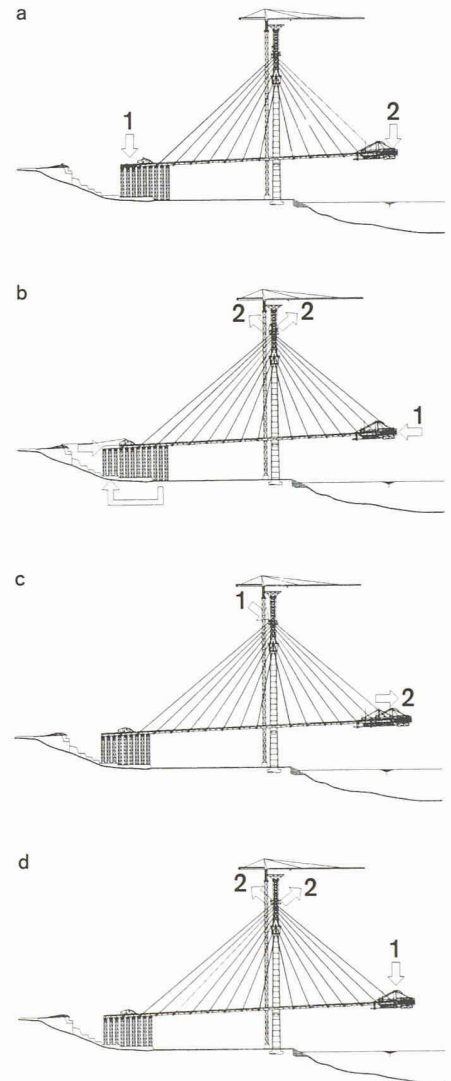
- Begrenzen der maximalen Seilkraft auf 56% der garantierten Bruchkraft während der Bauphasen
- Begrenzen der Seilkräfte auf 40% der garantierten Bruchkraft unter permanenten Lasten.

War der optimale Spannvorgang einmal bestimmt, konnten die Überhöhungskurve und die Kontrolllinien für jeden beliebigen Bauabschnitt aus den aufsummierten Deformationen einfach bestimmt werden. Die Schrägseile wurden auf die gewählte Kraft mit einer Mehrlitzenpresse (Genauigkeit 2%) unter gleichzeitiger Kontrolle der Geometrie (± 40 mm) gespannt.

Geometriekontrolle

Es war eine wichtige Aufgabe, die Deck- und Pylongeometrie in jedem Bauabschnitt und für jeden wichtigen Bauvorgang (Betonieren, Spannen der Schrägseile und Verschieben des Gerüsts) mit den theoretisch gerechneten Kontrolllinien zu vergleichen. Dies erlaubte, zusammen mit den bekannten Spannkraften in den Schrägseilen und der Gewichtskontrolle basierend auf den betonierten Abmessungen, die Ursachen von Abweichungen schnell festzustellen und entsprechende Korrekturen auszuführen.

Die Vermessung der Kontrollpunkte fand jeweils systematisch vor Sonnenaufgang jeden Morgen statt, um temperaturabhängige Deformationen auszuschliessen. Zu jeder Vermessung gehörte ein sogenannter Lastenplan mit eingezeichneten und geschätzten Gewichten für Material und Geräte auf dem Deck. Die gemessenen und theoretischen Kontrolllinien wurden dann mit einem speziell entwickelten Programm graphisch dargestellt. Der vi-



7

Phasen des typischen Bauablaufs von oben nach unten:

- a) Betonieren von Segment
 - 1: Seitenspannweite
 - 2: Längsträger Hauptspannweite
- b) 1: Vorspannen Träger
 - 2: Installation und Spannen Schrägseile
- c) 1: Entspannen des zweitletzten Schrägseiles
 - 2: Verschieben des Freivorbauengerüsts
- d) 1: Betonieren Querträger und Platte in Hauptspannweite
 - 2: Nachspannen des letzten Schrägseiles

suelle Vergleich erlaubte eine rasche Aussage, ob allfällig geometrische Abweichungen in einem lokalen oder einem grösseren Deckbereich auftraten. Eine lokale Abweichung wurde im Normalfall durch eine Korrektur der Voreinstellung des Gerüsts in der nächsten Betonieretappe ausgeglichen. Abweichungen über einen grösseren Bereich traten während des Baus zweimal auf und wurden durch eine Zwischenregulierung mehrerer Kabelpaare auskorrigiert.

Die Voreinstellung des Gerüsts erfolgte anhand einer durch die Kontroll-

punkte auf dem vorhergehenden Segment gegebenen Referenzlinie. Dies erlaubte es, bei jeder Tageszeit die Voreinstellung des Gerüsts mit den berechneten Voreinstellwerten aufgrund der an diesem Tage frühmorgens bestimmten Kontrolllinie auszuführen.

Schlussbemerkung

Der Bau einer Schrägseilbrücke im Freivorbau stellt hohe Anforderungen an Ingenieure und Unternehmer, da die Bean-

spruchungen im Bauzustand weit kritischer sind als im Endzustand. Die Bestimmung der Baumethode, die statische Überprüfung der zahlreichen Bauzustände, die Bestimmung der Kabelkräfte und die Berechnung der Überhöhungskurven erfordern umfangreiche Studien vor dem eigentlichen Bau. Die Ausführung benötigt intensive Begleitung, Überwachung und Unterstützung von Ingenieuren.

Das Beispiel der Batam-Tontonschrägseilbrücke zeigt, dass Schweizer Ingenieurwissen auch heute international gefragt und durchaus konkurrenzfähig ist

und soll Schweizer Ingenieure ermutigen, vermehrt auch ausserhalb unserer Landesgrenzen zu arbeiten.

Adresse der Verfasser:

Jean-Marc Voumard, dipl. Bauing. ETH SIA, VSL-Technical Centre Europe, Bernstrasse 9, 3421 Lyssach, Roy Lengweiler, dipl. Bauing. ETH SIA, Batam-Island, VSL-Indonesia, Franco Lurati, dipl. Bauing. ETH SIA, VSL-Technical Centre Europe, Bernstrasse 9, 3421 Lyssach (jetzige Adresse: Grignoli Muttoni Partner, Via Somaini 9, 6900 Lugano)

Michael Birkle, Klaus Nieth, Volker Tropf, Karlsruhe

Sanierung von Altlasten

Mikrobiologische Sanierung von ölverunreinigten Industriestandorten

Durch eine mikrobiologische In-situ-Sanierung konnte ölverunreinigter Boden unter einer Produktionshalle ohne Produktionsausfall saniert werden.

Mit Hilfe von kombinierten Belüftungs- und Infiltrationssonden wurden die natürlich im Boden vorkommenden ölabbauenden Organismen mit Sauerstoff und Nährstoffsalzen versorgt und zum Schadstoffabbau angeregt. Das kontaminierte Grundwasser wurde über ein Skimmersystem, Ölabscheider und Nassaktivkohlefilter gereinigt.

Schadensfallbeschreibung

Unter einer Produktionshalle eines metallverarbeitenden Betriebes, der Präzisionsteile für den Fahrzeugbau produziert, wurden bis ungefähr 3,5 m Tiefe starke Verunreinigungen mit Schmierölen festgestellt. Die horizontale Ausdehnung der Verunreinigung betrug rund 800 m². Die Konzentrationen schwankten von 530 bis 35 000 mg Mineralölkohlenwasserstoffe pro kg. Insgesamt ergab sich damit eine zu beseitigende Schadstoffmenge von etwa 15 bis 25 t Mineralölen. Der Standort liegt innerhalb einer Talaue, der Untergrund besteht bis etwa 6 m Tiefe aus sandigen und kiesigen Flussablagerungen mit mehr oder weniger hohem Anteil an Schluff. Im ersten Tiefenmeter wurde unterhalb des Betonbodens der Produktionshalle zum Teil Bauschutt angetroffen. Ab etwa 6 m Tiefe

folgt Festgestein (Buntsandstein). Der Flurabstand des Grundwassers lag bei etwa 3,2 m. Der Durchlässigkeitsbeiwert des Lockergesteinsgrundwasserleiters betrug 3×10^{-4} m/s.

Die Ölverunreinigung war bereits ins Grundwasser vorgedrungen. Die Breite der Ausbreitungsfahne des Öls im Grundwasser quer zur Fliessrichtung erreichte etwa 14 m. Bei Mittel- und Niedrigwasser des benachbarten Flusses trat an dessen Uferböschung zeitweise Öl in Phase aus (Bild 1).

Herkömmliche Bodensanierungsverfahren, die mit einer grossflächigen Öffnung des Hallenbodens bzw. Auskoffierung des kontaminierten Untergrundmaterials verbunden sind, wären für das betroffene mittelständische Unternehmen aufgrund des langen Produktionsausfalls nicht tragbar gewesen. Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber und der Fachbehörde wurde daher ein mikrobiologisches In-situ-Verfahren eingesetzt, durch das der ölverunreinigte Untergrund ohne Erdbewegung gereinigt werden kann.

Die natürlich im Boden vorkommenden Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) sollten dazu angeregt werden, das im Boden vorhandene Öl verstärkt als kohlenstoffhaltige Nahrungsquelle zu nutzen und dadurch die Kontamination zu beseitigen.

Mikrobiologische Voruntersuchungen

In vorab durchgeführten Laborversuchen konnte bestätigt werden, dass die

relativ hochmolekularen Schmieröle (langkettige Kohlenwasserstoffe; $>C_{20}$) durch die natürliche Mikroorganismenpopulation zu Wasser und Kohlendioxid abgebaut werden. In weiterführenden Versuchen an Bodensäulen aus dem Schadensbereich wurde untersucht, welche Sauerstoff- und Nährstoffmengen und welcher pH-Wert erforderlich sind, um die ölabbauenden Organismen zur schnelleren Vermehrung und höherer Abbauleistung anzuregen.

Nach Beendigung der Vorversuche war ein Erfolg der geplanten Sanierungsmassnahme abzusehen. Der Sanierungsvorschlag wurde daraufhin sowohl vom Auftraggeber als auch von der zuständigen Fachbehörde akzeptiert.

Dem Auftraggeber war bekannt, dass die In-situ-Sanierung zwar insgesamt niedrigere Kosten, dafür aber einen Zeitaufwand von mehreren Jahren erfordern würde.

Mikrobiologische In-situ-Sanierung ohne Produktionsstopp

Mit Hilfe von 30 kombinierten Belüftungs-Infiltrationssonden wurden kontinuierlich Sauerstoff sowie im monatlichen Abstand eine belüftete Nährstoff-Pufferlösung in den Untergrund eingebracht. Durch die Kombination von Belüftungs- und Infiltrationssonden konnte der Eingriff in den bestehenden Hallenboden auf ein Minimum reduziert werden (Bild 2).

Die Verbindungsleitungen von den Vorratsbehältern mit der Nährstoff-Pufferlösung und die luftführenden PE-Schläuche zu den Belüftungs-Infiltrationssonden wurden im Betonboden in aufgefästen und wieder verschlossenen Schlitzen verlegt. Die zur Belüftung erforderliche ölfreie Pressluft wurde mit Hilfe