

Flexibles Navigationssystem für den Bau von Ver- und Entsorgungstunneln

Steuerungstechnik ■ Bei der Vermessung im Bereich des Rohrvortriebs wurden in den letzten Jahren deutliche Fortschritte erzielt. Auf Basis der langjährigen Projekterfahrungen hat Herrenknecht das modular aufgebaute Universal Navigation System (U.N.S.) entwickelt. Mit ihm steht dem Anlagenbetreiber ein System zur Verfügung, das im Baukastenprinzip auf spezielle Projekterfordernisse wie Kurvenfahrten oder Langstreckenvortriebe erweitert werden kann. Das faseroptische Kreissystem (HGO) ermöglicht die Lagebestimmung der Vortriebsmaschine auch während des Vortriebs.

In der Geschichte der Tunnelvermessung, insbesondere im Bereich des Rohrvortriebs, gab es in den letzten 25 Jahren enorme Veränderungen. Immer komplexer werdende Projekte mit Kurven- und Langstreckenvortrieben erfordern höchste Präzision und eine ständige Weiterentwicklung der Mess- und Navigationstechnik. Anfang der 80er-Jahre standen herkömmliche Theodoliten zur Verfügung, deren Einsatz je nach Gegebenheiten weitere Hilfskonstruktionen notwendig machte. Die spätere Einführung der elektronischen Zieltafel war ein großer Fortschritt. Anfänglich war diese jedoch noch relativ teuer und konnte aufgrund des hohen Platzbedarfes nicht in kleinen Maschinen (< DN 500) eingebaut werden. Für diesen Durchmesserbereich waren nur Zieltafeln ohne die wichtige Gierwinkelberechnung verfügbar. Dies führte zu häufigen und zum Teil sehr heftigen Steuerbewegungen. Ein weiterer Nachteil dieser Geräte war die relativ geringe Datenübertragungsrate, welche eine Aktualisierung der ermittelten Werte nur alle zehn Sekunden erlaubte.

Im Auftrag der Herrenknecht AG hat die GeneSys Elektronik GmbH Anfang der 90er-Jahre die Entwicklung der ELS-Zieltafel angestoßen (ELS = Electronic Laser System). Mit dem neuen, laser-gestützten System gelangen die Ermittlung des Gierwinkels sowie die Bestimmung der Lage der Maschine mit einer Übertragung in Echtzeit. Allerdings war es zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich, die steigende Anzahl von

Kurven- und Langstreckenvortrieben ohne Hilfskonstruktionen im Tunnel zu navigieren. Die wachsenden Anforderungen an Tunneltrassen in Bezug auf Genauigkeit, Länge und Verlauf machten hier weitere Entwicklungen notwendig (Abb. 1). Auf Einbauten wie Spiegel oder Lasertheodolit in den Produktrohren wollte man in der Zukunft verzichten. Deshalb erhielt Genesys Mitte der 90er-Jahre den Auftrag, ein Navigationssystem zu entwickeln, das ohne optische Hilfen ein sicheres Navi-

gieren, besonders der „kleinen“ Vortriebsmaschinen, erlaubt. Die Lösung war der unter „Northstar24“ bekannte Nordsucher. Die Lagemessung wird bei Stillstand der Maschine durchgeführt. Der Vortrieb muss also in regelmäßigen Abständen unterbrochen werden. Während des Vortriebs wird die Lage der Maschine mittels Koppelnavigation bestimmt. Dieses bewährte System ist auch heute noch unter dem Namen HGM (Herrenknecht Gyro Mechanic) im Einsatz.



Abb. 1 Moderne Mess- und Steuertechnik ermöglicht die hochgenaue Steuerung beim Tunnelbau.

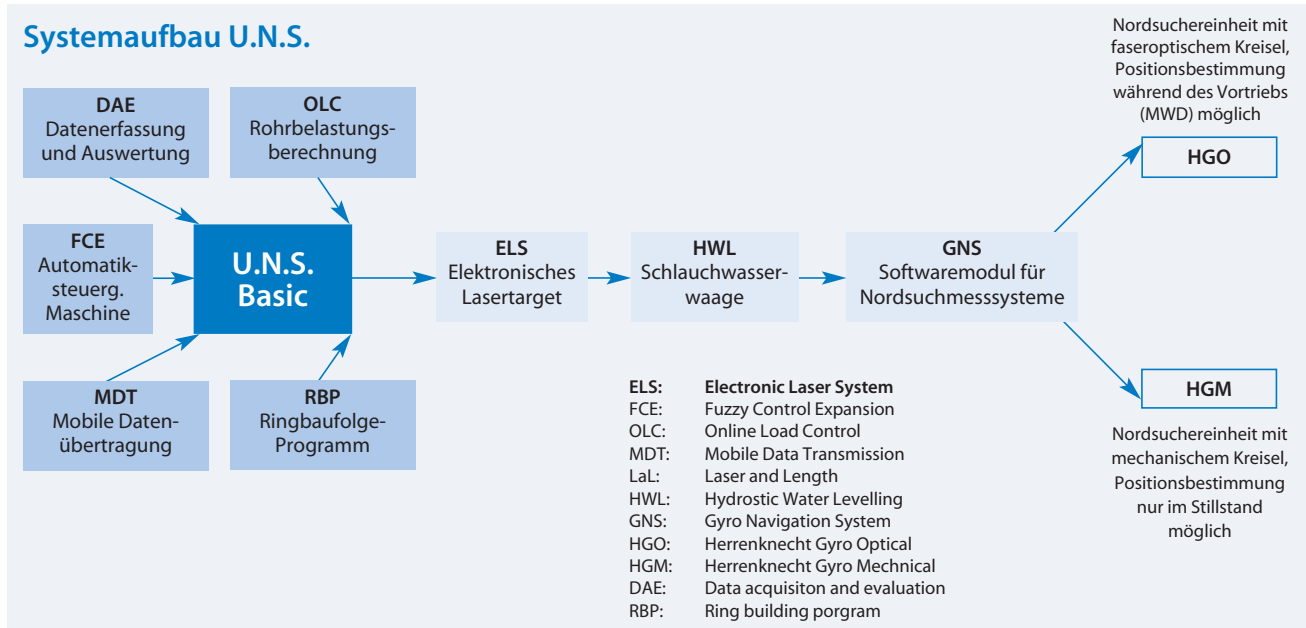


Abb. 2 Module des U.N.S. im Überblick

U.N.S.: zeitgemäßes Baukastenprinzip

Mit dem Ziel, ein universell einsetzbares Navigationssystem für den Bau von Ver- und Entsorgungstunnel zu schaffen, haben Ingenieure der Herrenknecht AG in Zusammenarbeit mit GeneSys das „U.N.S.“ (Universal Navigation System) entwickelt. Die modulare Bauweise des Systems eröffnet Bauunternehmen und Anwendern ein breites Einsatzspektrum in Tunnelbauprojekten, unabhängig von Tunneldurchmesser, Länge und Verlauf der Trasse, für alle Maschinenarten, Abbauverfahren und Ausbauvarianten. Mit U.N.S. steht dem Anlagenbetreiber ein Basismodul zur Verfügung, welches je nach Projekterfordernissen nach dem Baukastenprinzip erweitert werden kann. Einzelne Module können jederzeit integriert oder ausgetauscht werden. Die Verwendung einheitlicher Halterungen und Steckverbindungen ermöglicht eine mühelose Umstellung, ohne den Einsatz von Fachpersonal (Abb. 2+3).

Neben höchsten Ansprüchen an Messgenauigkeit und Verfügbarkeit des Systems steht die Bedienerfreundlichkeit im Vordergrund. Das U.N.S. bietet eine einfache und übersichtliche Benutzeroberfläche und Visualisierung der relevanten Vortriebsdaten (Abb. 4). Eine komfortable Bedienung mittels Touch-

screen erleichtert den Einstieg in die neue Technik. Ergänzende Kommentare in Textform können über eine Tastatur eingegeben werden. Das System bietet eine umfassende Sprachauswahl per Knopfdruck. Bereits das Basismodul des U.N.S. ermöglicht die Protokollierung nach Vorgabe der DWA-A 125, GW 304.

U.N.S.-Basismodul mit ELS

Kern des U.N.S. ist das sogenannte Basismodul, ein Softwarepaket, an das unterschiedliche Module zur Steuerung und Überwachung des Tunnelvortriebs angeschlossen werden können. Das Basismodul in Verbindung mit dem herkömmlichen ELS ermöglicht das Auffahren klassischer, gerader Tunneltrassen bis ca. 200 Meter Länge.

Schlauchwasserwaage HWL

Ab einer Tunnelänge von ca. 200 Metern entstehen durch verschiedene Luftzonen im Tunnel Refraktionen, welche den

Laserstrahl ablenken und somit die Bestimmung der Höhenlage erschweren. Mit der Option HWL (Hydrostatic Water Levelling) wird das U.N.S. um eine hochgenaue Schlauchwasserwaage ergänzt, welche die Bestimmung der Höhenlage der Tunnelvortriebsmaschine übernimmt.

Gyro Navigation System (GNS)

Bei längeren oder kurvigen Tunneltrassen, wo mittels Laser weder die horizontale noch die vertikale Lage der Vortriebsmaschine bestimmt werden kann, kommt das GNS (Gyro Navigation System) zum Einsatz. Das GNS stellt das Softwaremodul für den Einsatz von Messsystemen mit Nordsucher dar. Es ist die Basis sowohl für den neuen faseroptischen Kreisel (HGO) als auch für die oben beschriebene, herkömmliche Nordsuchereinheit mit mechanischem Kreisel (HGM), die der Lagermittlung bei Stillstand der Maschine dient.



Abb. 3 Auswahl der Module im Überblick



Abb. 4 Benutzeroberfläche des U.N.S.



Abb. 7 Installierte Doppelmessfuge im Tunnel

lisiert. Somit werden Überbelastungen der Vortriebsrohe vermieden, bevor kritische Grenzwerte überhaupt erreicht bzw. überschritten sind (Abb. 6+7).

Datenerfassung u. Auswertung (DAE)

Mit dem Erweiterungsmodul DAE (Data Acquisition and Evaluation) können kundenspezifische Protokolle und Auswertungen erstellt werden (Abb. 8). Das System erfasst nicht nur alle Navigationsparameter, sondern auch alle in der Vortriebsmaschine erfassten Werte wie z. B. Vorpressekräfte, Durchflussraten etc. Die Daten können direkt im Programm ausgewertet oder z. B. in MS Excel exportiert und dort bearbeitet werden. Ein wichtiger Anwendungsbereich ist die Erstellung von Schichtreporten.

Mobile Datenübertragung (MDT)

Diese Protokolle oder Auswertungen können mittels MDT (Mobile Data Transmission) auf jeden beliebigen Rechner übertragen werden. Durch ausgeklügelte Technik ist es weiterhin möglich, sich direkt auf dem Leitreechner einzuloggen, um die Abläufe auf der Baustelle aus der Ferne zu beobachten und eventuelle Hilfestellung zu gewährleisten. Sollte es einmal zu einem Defekt kommen, kann mittels Fernwartung direkt auf die Anlage zugegriffen werden. Mit einem speziell entwickelten Router kann das System alle gängigen Telekommunikationsnetze (DSL, GSM, GPRS, oder UMTS) nutzen, um dem Kunden zeitnah eine Lösung zu bieten.

Sollte es außerhalb von Ballungsgebieten vorkommen, dass keines der Netze zur Verfügung steht, kann der Router auch über eine Satellitenverbindung betrieben werden.

Ringbauprogramm (RBP)

Im Bereich Segment Lining kann das U.N.S. um das RBP-Modul ergänzt werden. Angepasst an den Trassenverlauf schlägt das System den idealen, als nächstes zu bauenden Ring vor. Bei der Berechnung der idealen Ringposition werden u. a. die Schildschwanzluft, die Maschinenposition und die Position des letzten Ringes berücksichtigt. Eine ausführliche Protokollierung dokumentiert jeden eingebauten Ring und die dazugehörige Maschinenposition. Außerdem ermöglicht das RBP eine Vorausberechnung der Ringe anhand einer theoretischen Korrekturfahrt der Tunnelbaumaschine. Alle Eingabeparameter (Ringparameter, Maschinenparameter, Trassenführung etc.) können vor Projektbeginn individuell eingegeben werden.

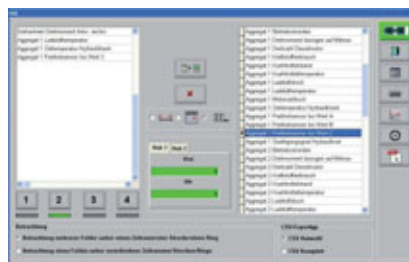


Abb. 8 Benutzeroberfläche des DAE



Abb. 9 AVN1000 Direct Pipe mit integriertem HGO in der Startgrube in Worms

U.N.S.: Einsatz in der Praxis

Das aktuell entwickelte HGO-Kreiselsystem, eines der zentralen Bausteine von U.N.S., ist seit Einführung im Jahr 2007 in über 40 Anlagen weltweit im Einsatz. Mit der Technologie konnten bereits weit über 35.000 Meter Tunnel mit den schwierigsten Trassenverläufen zielsicher aufgeföhren werden. Im österreichischen Zillertal verlegte eine AVN 1600 unter Einsatz des HGO einen 830 Meter langen Rohrstrang im Fels. In einer Raumkurve hatte die Anlage im Berg einen Höhenunterschied von 96 m zu bewältigen. Bei diesem Projekt war der Einsatz des faseroptischen Kreisels erste Wahl, weil es galt, Maschinenstillstände, auch für Messzwecke, zu vermeiden. Ein Stillstand, verursacht beispielsweise durch einen Messvorgang per mechanischem Kreiselsystem, hätte bei dieser extremen Steigung zur Folge, dass der Wasserkreislauf komplett heruntergeföhren werden müsste. Ein derartiger Stillstand und Neustart der Anlage stellt einen enormen Zeitaufwand dar. Als weitere Module des U.N.S. kamen hier das Fugenwegmesssystem (OLC), das DAE zur Datenerfassung und Auswertung sowie deren mobile Übertragung (MDT) im Zusammenspiel zum Einsatz.

Auch im Bereich Direct Pipe® kommt das HGO-System zum Einsatz. Das neue Verfahren Direct Pipe® kombiniert Vorteile der etablierten Verlegeverfahren Microtunneling und Horizontalbohrtechnik (HDD) und eröffnet damit neue

Anwendungspotenziale im Pipelinebau. In einem einzigen, kontinuierlichen Arbeitsschritt wird das erforderliche Bohrloch erstellt und ein vorgefertigter Rohrstrang grabenlos verlegt. Mit einer Hublänge von fünf Metern schiebt der Pipe-Thruster den Rohrstrang in die Erde. Einer der Vorteile von Direct Pipe® ist das zielsichere Navigieren der Maschine, möglichst ohne Kontrollvermessung. Die kontinuierliche Lage-messung per faseroptischem Kreisel liefert äußerst präzise Messergebnisse und ermöglicht dadurch einen effizienten Vortrieb, der kaum durch Stillstandszeiten zur Kontrollvermessung unterbrochen werden muss. Im kleinen, nicht begehbaren Durchmesserbereich kommt das HGO-System nicht nur bei Direct Pipe® zum Einsatz, sondern überall dort, wo herkömmliche Navigationstechnik an ihre Grenzen stößt (Abb. 9). Das U.N.S. hat seine Leistungsfähigkeit bei verschiedensten Projekten, darunter auch beim Segmental Lining und Hartgesteinsvortriebe, unter Beweis gestellt (Tab. 1).

Fazit

Mit dem universell einsetzbaren Navigationssystem U.N.S. kann auf unterschiedliche Projektanforderungen hinsichtlich Trassenverlauf und Länge individuell und kurzfristig reagiert werden. Es steht immer eine passende Navigationslösung parat (Tab. 2). Der modulare Aufbau des Systems ermöglicht jederzeit die Integration oder der Austausch einzelner Module. So kann ein Vortrieb bspw. mit der ELS-Ziel-tafel begonnen, und diese zu einem bestimmten Punkt, zum Beispiel vor Ein-tritt in eine Kurve, gegen den HGO aus-getauscht werden. Sollte es dennoch vorkommen, dass bei einem Vortrieb zusätzlich zu den standardisierten U.N.S.-Modulen weitere Funktionalitäten erforderlich sind, kann auch eine individuelle Lösung erarbeitet werden.

Abbildungen: Herrenknecht AG

Maschine	Vortrieb	Haltung	Herausforderung	Ort / Land
AVN1000	Direct Pipe	464 m	Vertikalkurve	Deutschland
MHSM1 (Ø 3.000)	Rohrvortrieb	600 m	Horizontalkurve	Deutschland
AVN1600	Rohrvortrieb	640 m	S-Kurve horizontal	Deutschland
AVN1600	Rohrvortrieb	830 m	Raumkurve (h=96 m)	Österreich
EPB3000	Segment Lining	2.300 m	Kurve horiz. (r=200 m)	Frankreich
EPB2400	Rohrvortrieb	1.290 m	Vertikalkurve	Indien
EPB2400	Rib & Lagging	1.666 m	Kurve horiz. (r=152 m)	USA
AVN1500	Rohrvortrieb	700 m	Vertikalkurve	Brasilien
AVN2400	Rohrvortrieb	550 m	Hartgesteinsvortrieb	Qatar

Tabelle 1 Auszug Referenzprojekte mit U.N.S., Modul HGO

Lösung			
U.N.S. Ø < 800 mm	ELS ++	ELS-HWL ++	GNS (+)
Ø > 800 mm	++	++	++
Trassenverlauf Kurz, gerade < 200 m	++	+	(+)
Gerade Strecke < 400 m	(+)	++	+
Gerade Strecke > 400 m	-	(+)	++
Kurvenfahrt	-	-	++
Steigung	-	-	++
++ empfohlen, + geeignet, (+) bedingt geeignet, - nicht geeignet			

Tabelle 2 Auswahl-tabelle U.N.S.-Module

Autoren:

Stefan Pabst
Leitung Elektrokonstruktion
und Vermessungstechnik
Herrenknecht AG
Schlehenweg 2
77963 Schwanau
Tel.: 07824 302-321
Fax: 07824 302-6530

E-Mail: pabst.stefan@herrenknecht.de
Internet: www.herrenknecht.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Zimmermann
GeneSys Elektronik GmbH

In der Spöck 10
77656 Offenburg
Tel.: 0781 969279-33
Fax: 0781 969279-11

E-Mail: zimmermann@genesys-offenburg.de
Internet: www.genesys-offenburg.de



Gerätebau · Gerätevertrieb
Dorfstr. 31
D-40882 Ratingen
Tel. +49/2102/528158
Info@feltes-gmbh.de
www.feltes-gmbh.de

**Lasten heben?
Kein Problem!**

mit dem klappbaren
Aluminium-Leichtbau-
Portalkran-System



Drei Modelle von 2,10 m bis 4 m Höhe
bis 1.500 kg

Besuchen Sie uns

**Bauma München
Halle A1 Stand 410**

Ideale Hilfe beim Ziehen
von Pumpen bei Wartungs-
und Reparaturarbeiten

