

# tis

Tiefbau  
Ingenieurbau  
Straßenbau

# 10

Oktober  
2002

Organ der **GSTT**

**bau|||verlag**  
BertelsmannSpringer



Baumaschinen

**Motoren- und  
Antriebstechnik**

GSTT-Schwerpunkt

**Lasersystem mit  
Schlauchwasserwaage**

Tunnelbau

**Tunnelbau  
in Deutschland**

Neue Wege in der Lage- und Höhenkontrolle von Rohrvortrieben

# „Lasersystem mit Schlauchwasserwaage“

Frank Schwarzer, Wesel

Das System SDV-LSW der Schwarzer GmbH vereinigt zwei erprobte Verfahren zur Lage- und Richtungsbestimmung im Rohrvortrieb und Microtunnelling. Das System nutzt zum einen den gerichteten Laserstrahl zur Bestimmung der Lage und zum anderen die patentierte elektronische Schlauchwasserwaage zur Ermittlung der absoluten Höhe.

Vorab einige grundsätzliche Darlegungen zur Verdeutlichung der Problematik. Für die Lagevermessung ist

der Laser schon seit langer Zeit das Mittel der Wahl, um gerade Vortriebe einfach, sicher und kostengünstig zu navigieren.

## Laservermessung

Ein Laser wird hierbei in der Startgrube so ausgerichtet, dass seine Richtung und seine Neigung der aufzufahrenden Solltrasse entsprechen.

Die Position der Maschine im Verhältnis zur Sollachse kann dann entweder auf einem manuellen Target in der Maschine abgelesen werden (nur bei begehbaren Vortrieben), oder alternativ kann ein aktives elektronisches Target verwendet werden.

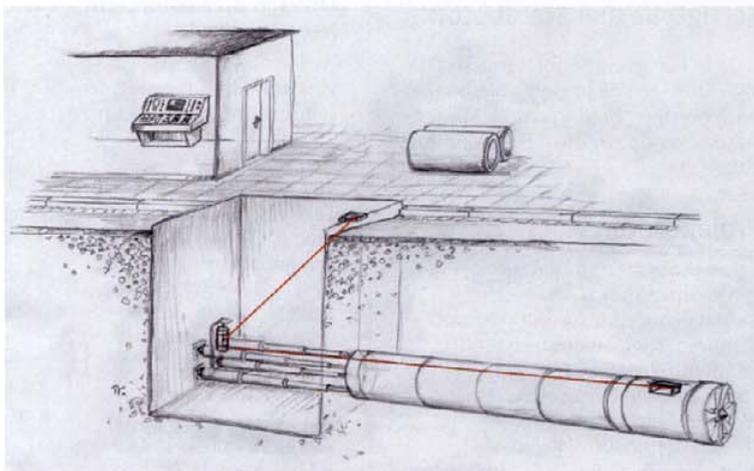
Beim elektronischen Target durchdringt der Laserstrahl als Erstes eine transparente Ebene an der Frontseite des Targets, um dann an der Rückwand des Targets projiziert zu werden.

Die Auswertung dieser beiden Punkte – Durchdringungspunkt und Auftreffpunkt – mittels Digitaltechnik ermöglicht eine hochgenaue Angabe über die Position und den Richtungswinkel des Laserstrahls. Die so gewonnenen Informationen können auf einem Computer visualisiert und für weitere Berechnungen verwendet werden.

Insbesondere der fortschreitenden Entwicklung der Lasertechnologie hin zu qualitativ hochwertigen, fokussierbaren Lasern ist es zu verdanken, dass heute auch lange Haltungen bis zu 500 m mithilfe der Laservermessung aufgeföhren werden können. Hierbei gibt es jedoch eine Einschränkung, auf welche die Qualität des verwendeten Lasers nur bedingt bis gar keinen Einfluss hat, nämlich die Ablenkung des Laserstrahls bei seinem Weg von der Pressgrube hin zur Maschine. Diese Ablenkung des Laserstrahls, welche man auch als „Refraktion“ bezeichnet, findet in erster Linie in der Höhe statt. Wesentliche Faktoren für diese Refraktion sind: Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Qualität der Atmosphäre im Rohrstrang.

Da der Laserstrahl beim Durchgang durch den Rohrstrang verschiedene Luftschichten durchdringen muss, wird er entsprechend den Gegebenheiten jeweils zum dichteren Medium hin gebrochen. Da die Luftschichten im zumeist kreisrunden Rohrquerschnitt in der Regel horizontal gelagert sind, findet dieser Prozess hauptsächlich in der Vertikalen statt, betrifft also im Wesentlichen die Höhenvermessung.

In einzelnen Fällen ist hiervon auch die Lage betroffen, z. B. wenn



1 Schematische Darstellung der Laservermessung

sich im Maschinenrohr seitlich ein Hydraulikmotor befindet, welchen der Laserstrahl passieren muss. Oder wenn es bei Vortrieben mit Lorenförderung zu Luftverwirbelungen im Rohrstrang durch das Hindurchziehen der Lore kommt. Da diese Effekte jedoch eher selten auftreten, soll hierauf nicht weiter eingegangen werden.

Die Refraktion des Laserstrahls in der Höhe kann je nach Durchmesser und Umgebungsbedingungen auf einer Länge von 400 m durchaus bis zu 8 cm Abweichung oder mehr führen.

Die Abweichungen des Lasers auf den ersten Metern von der Pressgrube in Richtung Maschine haben hierbei erfahrungsgemäß einen großen Anteil. Das Stahlbetonrohr, welches unter Umständen mehrere Tage in der Sonne gelegen hat oder starkem Frost ausgesetzt war und nun in der Pressgrube vorgelegt wird, erzeugt in seinem Inneren eine Atmosphäre wie in einem Backofen oder respektive einem Eisschrank, durch den der Laserstrahl hindurch muss. Der einmal an dieser Stelle abgelenkte Strahl wird nun in seinem Verlauf durch verschiedene Luftschichten noch mehrfach gebrochen. Der Punkt, an welchem der Laserstrahl letztendlich auf das Target trifft, ist nicht mehr unbedingt signifikant nutzbar für die Steuerung des Vortriebs in der Höhe.

### SDV-LSW

Die höhengenaue Ausführung der Rohrvortriebsarbeiten ist jedoch in der Regel, mehr noch als die Lagegenauigkeit, Grundvoraussetzung für die mängelfreie Abnahme der Arbeiten durch den Auftraggeber. Die Einhaltung des geplanten Sollgefälles ist Voraussetzung für die hydraulische Funktionsfähigkeit der aufgefahrenen Haltung.

Um dem Problem der Laserablenkung Abhilfe zu schaffen, wurde von der Schwarzer GmbH das System SDV-LSW entwickelt.

Die Schwarzer GmbH verfügt in den Bereichen der Vermessung von Rohrvortrieben und in der Entwicklung und dem Betrieb von Vermessungs- und Datenerfassungssystemen



2 Abbildung Lasertarget mit Höhensensor

men für den Rohrvortrieb über eine langjährige Erfahrung.

Die Produktpalette beinhaltet bisher verschiedenste Systemlösungen zur Navigation von, vor allem, gekrümmten Rohrvortrieben.

Aufbauend auf der bereits aus den Systemen SAS22 und SDV13 bekannten und langjährig bewährten Systemarchitektur, wurde das System SDV-LSW entwickelt.

Das System vereint – dies ist einzigartig – alle Vorteile eines Lasersystems mit denen der elektronischen Schlauchwasserwaage, basierend auf dem Funktionsprinzip der Differenzdruckmessung.

Vorab beschriebene refraktionsbedingte Probleme in der Höhenermittlung der Vortriebsmaschine gehören somit der Vergangenheit an.

Das im SDV-LSW integrierte aktive Target sowie die hochwertige Schlauchwasserwaage bieten die Möglichkeit, die Vortriebsmaschine in der Startbaugrube direkt in Bezug zum gerichteten Laserstrahl einzurichten. Der gesamte Vortrieb wird so mithilfe der Laserreferenz und der elektronischen Schlauchwasserwaage zuverlässig gesteuert.

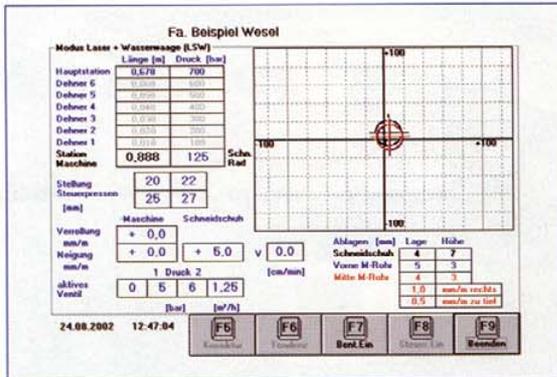
Das Prinzip der Nutzung von Lasertechnologie wird in Bereichen wie dem Bergbau und dem Tunnelbau bereits seit Jahrzehnten erfolgreich genutzt.

Die elektronische Schlauchwasserwaage ist ebenfalls in den letzten Jahren zu einem bewährten Werkzeug in der täglichen Anwendung im Rohrvortrieb geworden und aus diesem Anwendungsbereich nicht mehr wegzudenken.

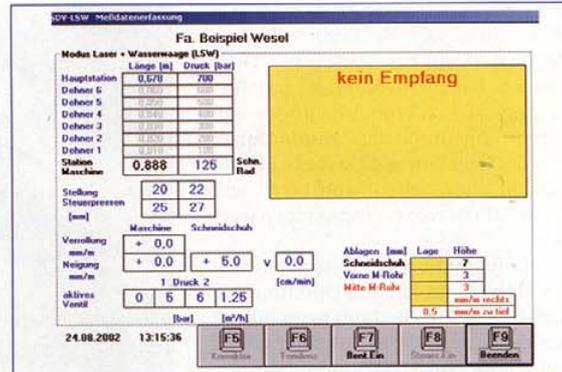
Das System SDV-LSW arbeitet für die Ermittlung der Höhe mit zwei unabhängig voneinander wirkenden Systemen. Das Höhenergebnis der elektronischen Schlauchwasserwaage wird permanent ermittelt und mit dem Wert des aktiven Targets verglichen. Der Wert der elektronischen Schlauchwasserwaage ist hierbei jedoch führend. Der Höhenwert des aktiven Targets wird nur redundant, kontrollierend genutzt.

Sollten die beiden Ergebnisse voneinander abweichen, sodass somit refraktionsbedingte Probleme oder ein Ausfall oder eine Störung von einem





3 Abbildung des Navigationsbildschirms



4 Abbildung Systembildschirm bei Ausfall des Lasersignals (Foto u. Abbildungen: Schwarzer GmbH)

der beiden Systeme zu vermuten sind, warnt das System den Anwender mit einer entsprechenden Meldung.

Der Schwellenwert dieser Fehlermeldung kann im System frei gewählt werden. Er variiert je nach Durchmesser, Länge und dem aufzufahrendem Sollgefälle.

Nach Prüfung des Sachverhaltes kann dann entweder bis zur Behebung des jeweiligen Problems auf die Nutzung nur eines der beiden Systeme umgeschaltet werden, oder der Schwellenwert wird so hoch gesetzt, dass die Fehlermeldung nicht mehr auftritt. Letzteres ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn zweifelsfrei per Nivellement nachgewiesen wurde, dass die Ergebnisse des Lasers falsch und die der elektronischen Schlauchwasserwaage richtig sind.

Die SDV-LSW Systemsoftware steuert den Ablauf eines Messvorganges und visualisiert auf der Basis der von den Sensoren ermittelten Messwerte die Lage und die Position des Arbeitsrohres der Vortriebsmaschine. Ein Soll-Ist-Vergleich wird unmittelbar vorgenommen.

Die benutzerfreundliche Bedienoberfläche orientiert sich bei der grafischen Darstellung an den Gewohnheiten des Baustellenpersonals (Gittertafel).

Die Software arbeitet unter MS-Windows NT 4.0.

Die Lage der Maschine wird räumlich dargestellt. Auch die Verrollung findet in der grafischen Darstellung Beachtung. Sämtliche Messdaten und

manuelle Eingaben werden automatisch gespeichert, sodass eine Dokumentation des gesamten Vortriebsverlaufes gewährleistet ist.

Das Messprinzip der elektronischen Schlauchwasserwaage basiert auf dem Verfahren der Differenzdruckmessung zwischen einem fest montierten Referenzmodul in der Startbaugrube und einem beweglichen Höhensensor, welcher mit der Vortriebsmaschine fest verbunden ist. Der absolute Höhenunterschied ergibt sich aus den Faktoren Druck, Dichte und Temperatur, welche ermittelt und in der Systemsoftware ausgewertet werden. Die Genauigkeit des Ergebnisses liegt je nach Messbereich der eingesetzten Sensoren zwischen 2–4 mm und ist auf Strecken > 200 m somit das genaueste Verfahren zur Höhenbestimmung. Die Haltungslänge hat auf die Messgenauigkeit keinen Einfluss. Theoretisch kann diese unendlich lang sein. Die längste mit der Schlauchwasserwaage vermessene Strecke betrug bisher 1,4 km. Die Genauigkeit des Systems erfüllte selbst bei dieser langen Haltungslänge alle Erwartungen.

Ein weiterer erheblicher Vorteil, welcher sich durch die Nutzung der elektronischen Schlauchwasserwaage ergibt, ist die ständige Verfügbarkeit der Höhenvermessung. Selbst wenn der Laser ausfällt oder die Sichtgasse blockiert ist, bleibt die Höhenvermessung und somit auch die Aufzeichnung der Vortriebsdaten erhalten.

Das System kann selbstverständ-

lich auch ohne elektronische Schlauchwasserwaage betrieben werden und gleicht dann in seiner Wirkungsweise konventionellen marktüblichen Systemen.

Durch die nach dem Baukastenprinzip angelegte Systemarchitektur kann das System jederzeit um eine automatische Bentonitsteuerung und eine Tunnelsprechanlage ergänzt werden.

Auch ein Austausch des Lasertargets durch einen Kreiselkompass ist jederzeit möglich. Diese Option kann z. B. dann genutzt werden, wenn der Laser auch in der Lage Probleme zeigt, wenn die Haltung länger als 450 bis 500 m ist oder wenn sich an eine Gerade eine Kurve anschließt.

Alle Möglichkeiten derzeitiger Systemtechnik sind somit wahlweise frei verfügbar und können entsprechend der individuellen Aufgabenstellung eingesetzt werden oder auch im laufenden Vortrieb kurzfristig ergänzt werden.

Das System ist die logische Konsequenz in der Weiterentwicklung der Systemtechnik und wird hoffentlich in der Zukunft dazu beitragen, dass dem Maschinenfahrer die Hilfen an die Hand geben werden, die er so dringend zur Bewältigung seiner komplexen Tätigkeit benötigt.

tis