

InnovaRig – ein wissenschaftliches Labor für die Tiefbohrtechnik

Bernhard Prevedel

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

InnovaRig is a novel drill rig design with a wealth of innovative features for scientific drilling as well as industrial applications at highest standards of modern drilling technology. With its modular and containerized design it offers minimum turn-around time at reduced transportation logistics and a small environmental footprint, ideal for drilling locations in densely populated areas. Innovations have further been made in the areas of noise protection, energy saving and rig automation which reduces manpower as well as operational cost to a minimum. InnovaRig has already completed seven geothermal projects in sedimentary rocks in Germany and is currently planned to be mobilized to its first geothermal research drilling project in 5 km deep crystalline rocks.



InnovaRig wurde im Auftrag des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ in den Jahren 2005 bis 2007 von der Bietergemeinschaft aus den Firmen H. Angers Söhne Bohr- und Brunnenbau GmbH und Herrenknecht-Vertical GmbH entwickelt und gebaut, die zur Realisierung dieses Projekts die GeoForschungsBohrGesellschaft GmbH (GFBG) gründeten. Ziel dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhabens war, ein Bohranlagenkonzept zu verwirklichen, das den Ansprüchen zukünftigen wissenschaftlichen Bohrens gerecht wird. Die damaligen Projektvorgaben waren: Leichtbauweise mit hoher Mobilität und reduziertem Bohrplatzbedarf, Flexibilität bei der Umstellung von Vollbohr- auf wissenschaftliche Kernbohrverfahren, höchstmöglicher Automatisierungsgrad und dadurch reduzierte Personalbesetzung, geringe Stillstandszeiten sowie niedrigere Bohrkosten und höchster Sicherheitsstandard bei minimalen Emissionswerten zum Schutz der Belegschaft und der Umwelt.

Die Bohranlage mit der internen Werksbezeichnung Boo2 wurde im Rahmen eines feierlichen Akts im Mai 2007 am Betriebsplatz der Herrenknecht AG in Schwanau als zweite ihrer Serie an das GFZ übergeben. Sie galt mit ihrer damaligen Hakenregellast von 350t, später nachgerüstet auf 410t, als die Oberklasse in der Kategorie der mittelschweren Landbohranlagen (Tab. 1).

Das Konzept

Auf den ersten Blick unterscheidet sich dieser Bohranlagentyp von den bisher gekannten klassischen Tiefbohranlagen durch einen voll hydraulischen Antrieb und, daraus hervorgehend, einem Zweizylinderhebwerk, das in der Lage ist, 2-Stangenzüge bis zu 22 m Länge zu ziehen. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist der hydraulische Gestängemanipulator, der die Gestängezüge nicht im Turm abstellt, sondern auf das Gestängelager ablegt und von dort auch wieder aufnimmt. Diese Besonderheiten waren die Basis für eine Reihe von Innovationen an diesem Bautyp wie nachfolgend dargestellt.

Ein durch Containerisierung realisierter Unterbau mit darin verbauten Aggregaten gewährleistet, zusammen mit dem Wegfallen des Gestängeabstellens im Turm, eine deutlich reduzierte Flächenpressung und erfordert dadurch lediglich ein verkleinertes Bohranlagenfundament. Die peripheren Aggregate der Bohranlage können dabei in flexibler Form um den Unterbau arrangiert werden, was die Bohrplatzanforderung weiter reduziert. Dieses auf Standardcontainergröße konzipierte Bohranlagenkonzept

Tab. 1: Spezifikation der InnovaRig-Betriebsparameter nach Herstellerangaben (Binder, 2008)

Tab. 1: Top level operational performance data of InnovaRig according to manufacturer specifications

Teufenkapazität – depth capacity	5500 m
Reguläre Hakenlast – regular hook load	410 t
Kraftdrehkopf UPM, Drehmoment – top drive rpm and torque, max.	220 rpm, 75 000 Nm
Installierte Antriebsenergie, elektrisch – installed electrical power	4000 kW
Masthöhe und Anlagengewicht – mast height and rig weight	52 m, 370 t

vereinfacht deutlich die Transportlogistik und verkürzt so die Mobilisierung und Montage von InnovaRig auf der Bohrstelle.

Der hydraulische Antrieb aller Aggregate im Mast- und Unterbaubereich (darunter fallen die stärksten Verbraucher, wie Hebewerk und Kraftdrehkopf) bietet die höchst mögliche Energieverteilungsflexibilität bei maximaler Energieeffizienz (Abb. 1). Durch dieses Energiekonzept wird die Vorhaltung von lediglich 4 MW an installierter elektrischer Leistung für den maximalen Energieabruf ermöglicht, was einer vergleichbaren Leistung von nur einem halben ICE-3 Zug von rund 100 m Länge entspricht.

InnovaRig kann durch einen Netzparallelbetrieb entweder von außen durch das öffentliche Stromnetz oder durch eigene Dieselgeneratoren mit Energie versorgt werden. Je nach den lokalen Anforderungen, Energiepreisen oder Notbetriebssituationen ist auch eine beliebige Kombination von beiden Energieversorgungsformen möglich. Computergesteuerte Prozesse im Mittelspannungskontrollraum überwachen kontinuierlich den Energieverbrauch und schalten bei Bedarf die Dieselgeneratoren automatisch zu. Auf diese Weise kann der Spitzenbedarf der Anlage sicher abgedeckt werden, ohne das Stromnetz mit Spannungseinbrüchen oder zu hoher Blindleistung zu belasten. Durch die Vernetzung aller Bauelemente über das anlageneigene Datennetzwerk und der zentralen Steuerung durch den Bohranlagen-Kontrollrechner erreicht InnovaRig einen sehr hohen Stand an Prozessautomatisierung, der in dieser Form einzigartig für Landbohranlagen und nur vergleichbar mit fest installierten und überschweren, schwimmenden Meeresbohranlagen ist. Bis zu 5000 verschiedene Sensor-, Maschinen- oder Bohrdaten können vom zentralen Steuerleitsystem im 250 ms-Takt erfasst, prozessiert und archiviert werden. Die gezielt gekapselten oder in Container verbauten Anlagenaggregate sowie die Auswahl des hydraulischen Antriebs und des neuartigen Gestängema-

Links: InnovaRig auf einer geothermalen Bohrlokation in Bayern (Foto: B. Prevedel, GFZ)

Left: InnovaRig on a geo-thermal drilling location in Germany



Kontakt: B. Prevedel
(bernhard.prevedel@gfz-potsdam.de)



Abb. 1: Hydraulisch angetriebener Topdrive des Typs HV TD 350H am tiefsten Punkt des Masts im Hebewerk hängend. Eine Kombination von starren Hydraulikleitungen und flexiblen Hochdruckschläuchen versorgen die hydraulischen Antriebsmotore (rote Bauteile). Die blauen Bauteile am Bildrand stellen die Hebewerkzylinder dar. (Foto: A. Jurczyk, GFZ)

Fig. 1: Hydraulic top drive of the model HV TD 350H in lowest draw-work position in the mast. A combination of hydraulic hard piping and high pressure hoses supply the energy to the 4 hydraulic drive motors (red components). The blue cylinders at the edge of the picture represent the hydraulic cylinders of the draw works.

nipulators resultieren in einem herausragend schallreduzierten Bohrbetrieb, mit gemessenen Maximalwerten von < 55 dB(A) am Bohrplatzrand, weshalb InnovaRig auch als „Flüsterbohranlage“ bezeichnet wird. Diese reduzierten Emissionswerte werden bis heute von keiner anderen Bohranlage in dieser Kategorie auch nur ansatzweise erreicht. InnovaRig ist somit die erste Bohranlage, die in unmittelbarer Nachbarschaft zu Wohngebieten eine Tiefbohrung ohne Beeinträchtigung von Anwohnern und Umwelt durchführen kann.

Die Ausstattung

Das GFZ beauftragte zu Projektbeginn ausdrücklich die Entwicklung einer wissenschaftlichen Bohranlage, die den zukünftigen Anforderungen des wissenschaftlichen Bohrens im Helmholtz-Programm „Geosystem: Erde im Wandel“ gerecht werden kann und darüber hinaus von den technischen Leistungsanforderungen in der Lage sein soll, mit klassischen Rotarybohranlagen im Wettbewerb für kommerzielle Bohrprojekte konkurrieren zu können (Wohlgemuth et al., 2007).

Aus diesem Grund wurde InnovaRig so konzipiert, dass sie ohne lange Umrüstzeiten jederzeit vom klassischen Vollbohr-

verfahren auf ein Kernbohren wechseln kann und zurück. Diese Funktionalität wird in erster Line durch den breiten Arbeitsbereich des hydraulisch angetriebenen Kraftdrehkopfs und das Pipehandlingsystem gewährleistet, das jederzeit auf zwei am Gestängelager vorgehaltene Bohrstränge zurückgreifen kann. Für diesen Betriebsfall ist die Anlage auch mit einer speziellen Kernpumpe und einer Kernwinde mit 7000 m Seil ausgerüstet, um die Bohrkerne durch das Kerngestänge mit einer Fahrgeschwindigkeit von bis zu 50 m/min. bergen zu können.

Die Bohranlage kann weiterhin im Unterbau mit einem speziellen Auslaufrichter ausgestattet werden, der zur Installation von Sensoren für die Gasanalytik der Bohrspülung benötigt wird. Hochempfindliche Gasbestimmungen während des Bohrens haben in vergangenen wissenschaftlichen Bohrprojekten mehrfach bewiesen, dass mit dieser Analytik hochwertige wissenschaftliche Daten gewonnen werden können. InnovaRig ist mit Werkzeugen und Bauteilen ausgerüstet, die das zügige Wechseln vom Bohr- zum Messbetrieb mit am Kabel ins Bohrloch eingefahrenen Sonden sicherstellen kann. Schnell durchgeführte Messungen oder Probenahmen während des Bohrfortgangs sind eine wichtige Grundlage für die Erhebung reproduzierbarer wissenschaftlicher Daten und Interpretationen.

Alle Daten an der Bohranlage werden zentral erfasst, archiviert und über Internet oder eine Satellitenkommunikation weitergegeben. Darunter fallen nicht nur die anlagenspezifischen Maschinendaten, sondern auch die Bohrparameter aus dem Bohrbetrieb und alle Meßdaten von installierten Sensoren und Laborgeräte der Wissenschaft. Zur Bohrüberwachung sind für die Bohrmannschaft auch Videokameras im Mast und auf der Arbeitsbühne installiert.

Der Betrieb

Nach Auslieferung von InnovaRig in Mai 2007 folgte der erste operative Testbetrieb am Herrenknecht Betriebsplatz in Schwanaun und ab November des selben Jahres die erste Reifepfung in einer 4,5 km tiefen Geothermiebohrung in den oberjurassischen Karbonaten in Bayern. Diese erste von InnovaRig fertiggestellte Bohrung konnte erfolgreich und plangemäß nach dreieinhalb Monaten Bohrzeit funktionsbereit übergeben werden. Es folgten zwei weitere erfolgreich durchgeführte 5km tiefe Bohrungen in Bayern und Norddeutschland, bis letztlich die Bohranlage nach der Endabnahme im Sommer 2010 dem jetzigen Betreiber übergeben werden konnte. Unter der Betriebsführung von H. Angers Söhne Bohr- und Brunnenbau GmbH wurden in der Folge bis Juni 2013 vier weitere anspruchsvolle und tiefe Geothermiebohrungen in Bayern durchgeführt. Diese Bohrungen waren gekennzeichnet durch hohe Ablenkungen von 55 Grad Neigung bis teilweise in die Horizontale, sowie mehrfache Probleme durch ein Festwerden des Meißels im Bohrloch, Gaszuflüssen und totalen Spülungsverlusten in den Jura-Karbonaten. Diese Herausforderungen hat InnovaRig immer mit Bravour gemeistert.

Das Ergebnis

Die Schlußfolgerung aus fünfeinhalb Jahren Betrieb der InnovaRig war, neben den nachfolgend vorgestellten operativen Höhepunkten, die grundlegende Erkenntnis, dass die Bohrleistungen dieser Bohranlage in jedem Fall vergleichbar oder auch besser als die von dreizügigen Ölfeldanlagen ist, und dass sich die Reparaturanfälligkeit nach wie erwartet anfänglich hohen Werten bei einem Industriestandard von unter 5 % einpendelte (Abb. 2). Hauptgrund für diese positive Entwicklung war ein vom Hersteller detailliert ausgearbeiteter, IT-unterstützter Wartungs- und Serviceplan sowie die genaue Umsetzung des selben im Feldeinsatz.

Gegenüber herkömmlichen Diesel- oder dieselektrischen Bohranlagen konnte der hydraulische Antrieb dieses Bautyps auch seine Energieeffizienz beweisen. Der durchschnittliche Tagesstromverbrauch der elektrisch betriebenen InnovaRig liegt bei etwa 19,2 MWh, was einen um 30% geringeren Verbrauch im Vergleich zu herkömmlichen dieselektrischen Rotarybohranlagen darstellt. Solche vergleichbaren Anlagen verbrauchen im Dieseltreibbetrieb durchschnittlich 4000 bis 5000 l pro Bohrtag.

Der Transport der Bohrstangen zum Gestängelager kann wahlweise im manuellen, automatischen oder halbautomatischen Betriebsprogramm erfolgen. Die Ein- und Ausbauzeiten in Semi-Automatikmodus und mit einer über die Jahre gut eingespielten Bohrmannschaft liegen bei 500 m/h und darüber (Abb. 3). Diese Leistung liegt im Spitzenfeld von heute verfügbaren modernen dreizügigen Öl- und Gasbohranlagen und ist um das fünffache schneller als die von vergleichbaren Super-Single-Anlagen.

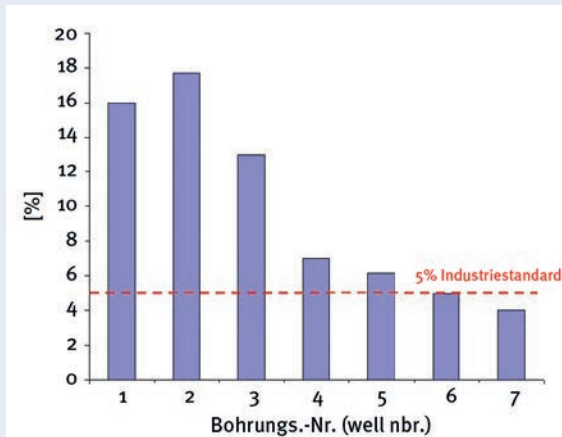


Abb. 2: Entwicklung der Reparaturstatistik des Prototypen Boo2 hin zur seriengereiften InnovaRig über sieben Geothermie-Bohrprojekte, in Prozent von Reparaturstunden pro gesamter Anlageneinsatzstunden

Fig. 2: The evolution from the prototype Boo2 to a mature rig over an operation time of 5 ½ years and 7 geothermal wells by the example of repair time as a percentage of total rig time

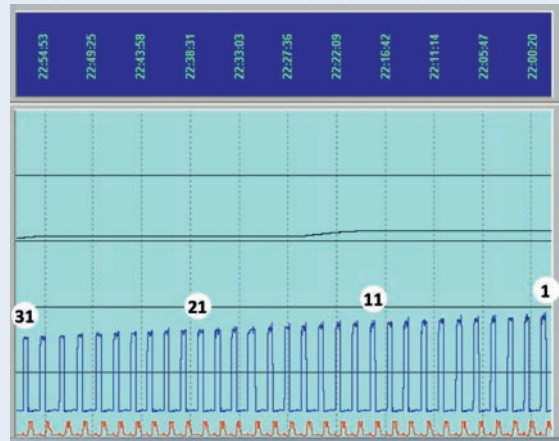


Abb. 3: Hakenlasten während einer Gestängeausbauphase bei rund 2500 m im verrohrten Bohrloch. Im dargestellten 1-Stundenfenster konnten im semi-automatischen Programmodus 31 Züge á 18 m konstant ausgebaut werden, was einer Ausbaugeschwindigkeit von 550 m/h entspricht.

Fig. 3: Hook-load over time pulling drill pipe in cased hole in semi-automatic pipe handling mode at approx. 2500 m depth. The 1 hour window confirms 31 stands of doubles (18 m) tripped out from the hole, equivalent to a tripping speed of 550 m/h.

Das flexible Energiemanagementsystem von InnovaRig ist letztlich die Grundlage für die effizienten Reparaturen von Bohrlochavarien und die Durchführung von außerplanmäßigen Arbeiten im Bohrloch. Darunter fielen bis heute eine 1 km lange Casing-Drilling Sektion mit 13 3/8"-Futterrohren, Fräsarbeiten von im Bohrloch verbliebenen Bohrgestänge und Futterrohren, sowie das unterbalanzierte Bohren mit Stickstoff-aufgeladenen Bohrspülungen zur Gewährleistung des Bohrkleinaustrags aus horizontalen Bohrlochsektionen. Auch für diese Sonderarbeiten ist InnovaRig bestens aufgestellt.

Danksagung

Die Entwicklung der wissenschaftlichen Tiefbohranlage wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, stellvertretend für das damals zuständige BMBF, gefördert. Das GFZ finanzierte InnovaRig mit Mitteln der Helmholtz-Gemeinschaft für Großinvestitionsmaßnahmen. Unser Dank gilt auch dem Hersteller Herrenknecht-Vertical GmbH für den Einsatz bei der schnellen Behebung von anfänglich technischen und operativen Problemen, sowie dem Betreiber H. Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbau GmbH für die zuverlässige Wartung und Instandhaltung, sowie den bis heute unfallfreien und sicheren Betrieb von InnovaRig.

Literatur

- Binder, J., Ruder, M. (2008): Bohrtechnik - Entwicklung einer neuen Bohranlagentechnik für tiefe Geothermie. - Erdöl Erdgas Kohle, 124, 11, 482 – 484.
 Wohlgemuth, L., Harms, U., Binder, J. (2007): InnovaRig – The New Scientific Land Drilling Facility. - Scientific Drilling, 5, 67-69. DOI: <http://doi.org/10.2204/iodp.sd.5.12.2007>