

Abb. 1: Ormen Lange Gas Pipeline
(Quelle: Norsk Hydro)

Gasförderung mit Embedded Systemen

Autonome Zustandsüberwachung 1000 m unter dem Meeresspiegel

Die Gasförderung in Norwegens bislang größtem Industrieprojekt erforderte aufgrund extremer Tiefseebedingungen eine permanente Zustandsüberwachung. Ein autonomes Überwachungssystem für die Pipeline analysiert Vibrationen und Wasserparameter und kommuniziert die Ergebnisse über akustische Modems. Ein grafisches Embedded System Design sorgt dabei zusammen mit einem Signalprozessor für genügend Stabilität, Vielseitigkeit, Leistung und Akkulaufzeit.

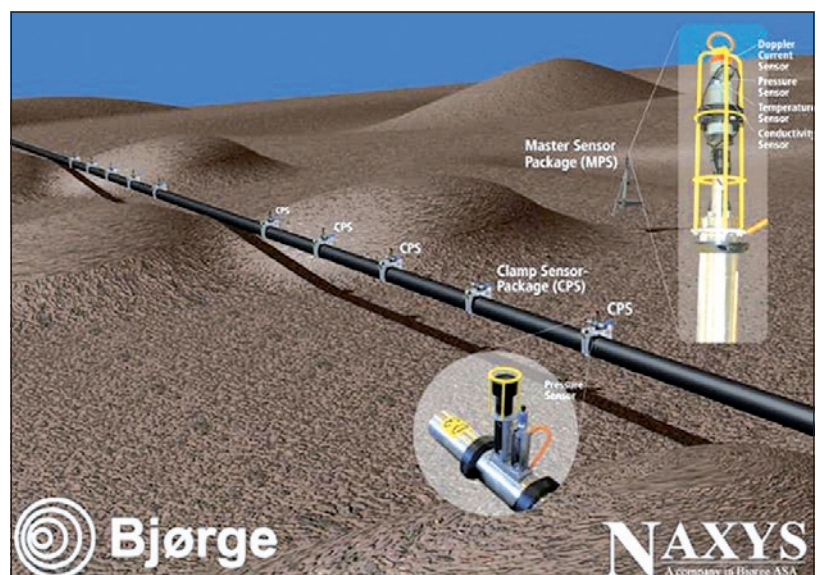


Abb. 2: Standard-Installation auf dem Meeresboden zur Überwachung zweier Abschnitte.
(Quelle: Bjørge AS)

Die Kosten für die Erschließung des Gasfeldes Ormen Lange wurden auf fast 66 Mrd. NOK veranschlagt. Die Förderung wurde 2007 aufgenommen und soll in den kommenden 40 Jahren 20% des britischen Gasbedarfs decken. Das Feld liegt vor der norwegischen Westküste (Abb. 1) und besteht aus 24 unterseeischen Bohrlöchern, verteilt auf vier Unterwasser-

plattformen. Über 120 km lange Pipelines wird das Gas aus Tiefen von bis zu 850 m zur Aufbereitungsanlage auf der Insel Aukra befördert. Das Erdgas strömt von den Unterwasserquellen allein durch den Druck in den Bohrlöchern durch zwei parallel verlaufende 30"-Pipelines an die Oberfläche. Die Verlegung der Pipelines selbst stellt eines der an-

spruchvollsten Projekte dar, die es im Bereich Pipelineverlegung jemals gegeben hat. Hauptsächlich liegt dies an dem schwierigen Gelände und den starken Meeresströmungen.

Die Pipelines verlaufen über die Storegga. Mit einer Länge von über 800 km ist diese Hangrutschung einer der längsten weltweit bekannten Meeresbo-

denabstürze an einem Kontinentalabhang. Über die Jahrtausende hat sich am Fuße der Storegga Geröll angehäuft; die Folge ist ein extrem felsiger und unebener Meeresboden. Aufgrund dieses unebenen Geländes sind mehrere Pipeline-Abschnitte nicht in Kontakt mit dem Meeresboden (Abb. 2) und genau in diesen Bereichen werden infolge starker Meeresströmungen Schwingungen erwartet. Daher forderte die norwegische Regierung eine permanente Zustandsüberwachung. Bjørge AS, Anbieter von Tiefseeinstrumenten, entwickelte zusammen mit den Ingenieursleistungen des Schweizer Unternehmens Schmid Engineering AG ein Langzeitüberwachungssystem mit Standardprodukten.

Überwachungssystem für freischwebende Pipelines

Die technische Lösung ist ein Instrumentennetzwerk (Abb. 2) aus mehreren autonomen, synchronisierten „Clamp Sensor Packages“ (CSP/Vibrationsensoren, Abb. 3) und einem „Master Sensor Package“ (MSP/Masterstation). Das System muss rauer Behandlung durch Schiffskräne und ROVs (Remotely Operated Vehicles = ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge) standhalten. Sobald es sich unter der Wasseroberfläche befindet, ist es extremen Bedingungen ausgesetzt, u.a. erfolgt keine Stromversorgung von außen. Darüber hinaus herrschen niedrige Tempera-

turen, Wasserströmungen und -verschiebungen aufgrund des unebenen Meeresbodens sowie Schwingungen, hervorgerufen durch den Gasstrom innerhalb der Pipeline.

Abgesehen von den harschen Umweltbedingungen lag die Hauptherausforderung dieses Projekts in dem präzisen, synchronisierten Datalogging. Bei Entfernungen von mindestens 100 m zwischen den einzelnen Messknoten durfte die zeitliche Gesamtabweichung 2,5 ms nicht übersteigen. Da alle Messknoten drahtlos arbeiten und Datentransfer sowie Signalgebung akustisch erfolgen, waren bei der Hard- und Softwareentwicklung spezielle Maßnahmen erforderlich, um die notwendige Präzision und ein deterministisches Echtzeitverhalten zu erreichen. Ein weiterer vitaler Designfaktor war die Sicherstellung einer Batterielebensdauer von mindestens sechs Monaten, was durch intelligentes Energiemanagement gelöst wurde. Und schließlich musste die gesamte Elektronik in einem druckfesten Gehäuse untergebracht werden, klein und leicht genug für die Handhabung durch ein ROV.

Die CSPs werden in regelmäßigen Abständen an der Pipeline befestigt (Abb. 2). Ihre Hauptaufgabe ist die Aufzeichnung und Analyse von Schwingungen in alle drei Achsen. Die Mechanik, ausgelegt auf eine Tiefe von bis zu 1.500 m u.d.M., wird von einem ROV mit einer Klemmvorrichtung direkt an der 30"-

Pipeline angebracht. Anschließend wird ein druckfestes Gehäuse (150 bar) mit der integrierten Elektronik über einen Verriegelungsmechanismus aufgesteckt, so dass es später wieder abgenommen werden kann, z.B. für einen Batterieaustausch. Dieser mechanische Aufbau dient sowohl einer einfachen Installation/Deinstallation und sorgt gleichzeitig für hohe Verbindungssteifigkeit. Schließlich sollen Schwingungen weniger mg bei Frequenzen unter 0,1 Hz und Seitwärts- sowie Längsbewegungen zentimetergenau gemessen werden können. Die CSPs werden vom MSP, welches über einen Schiffskran an den Einsatzort gebracht wird, gesteuert und synchronisiert.

Zuverlässiges, redundantes Messnetzwerk

Die Verbindung zwischen den CSPs und dem MSP ist drahtlos und erfolgt über Soundmodems. Das robuste Messschema sorgt für eine sichere Synchronisation der Datenerfassung, auch bei längeren und unvorhergesehenen Verzögerungen des MSP Trigger signals, z.B. aufgrund unterschiedlicher Schallausbreitung. Das Überwachungssystem bietet drei verschiedene Betriebsmodi:

- **Langzeitdatenerfassung:**
Das MSP wacht zu konfigurierbaren Zeitpunkten auf, typischerweise alle 3 Stunden. Die verteilte analoge Datenerfassung (bei 10–20 Hz, für 10–30 Min.) wird durch einen Broadcast an alle CSP-Messknoten ausgelöst. Anschließend beginnt das MSP mit der Aufzeichnung von Wasserparametern wie Strömung, Salzgehalt, Druck und Temperatur. Nach Abschluss der Aufzeichnungen werden die Daten verarbeitet und auf einem Speichermedium abgelegt. Nach der Programmierung des nächsten Weckzeitpunktes (RTC) schalten das MSP und die CSPs auf Standby, bis der

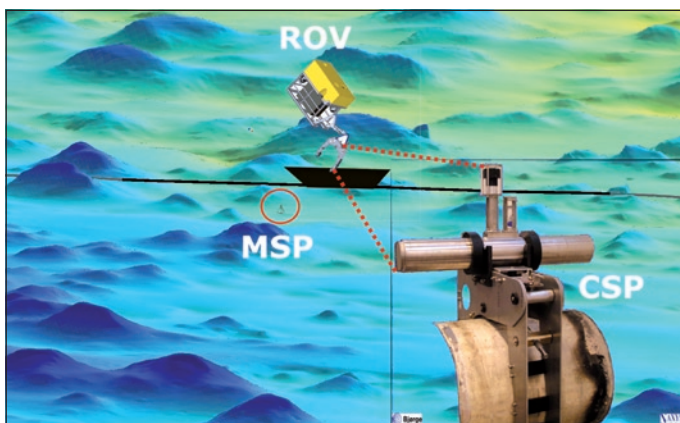


Abb. 3: Druckdichtes Gehäuse mit Elektronik, Batteriepacks, Modem und Antennen auf CSP (Quelle: Bjørge AS)

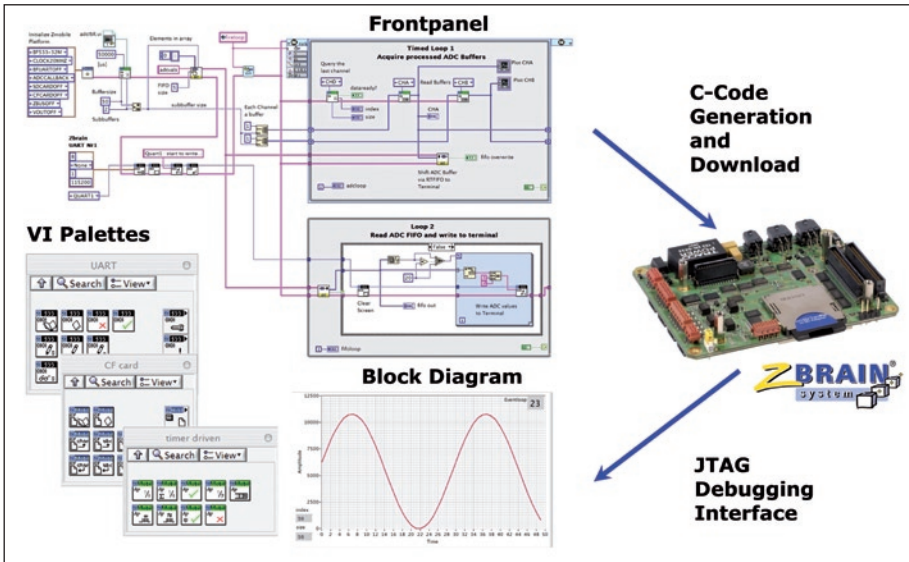


Abb. 4: Das LabView Blockdiagramm der Applikation wird in ausführbaren, echtzeitfähigen Programmcode für Mikroprozessoren übersetzt und ins Flashmemory der Zielhardware geladen.

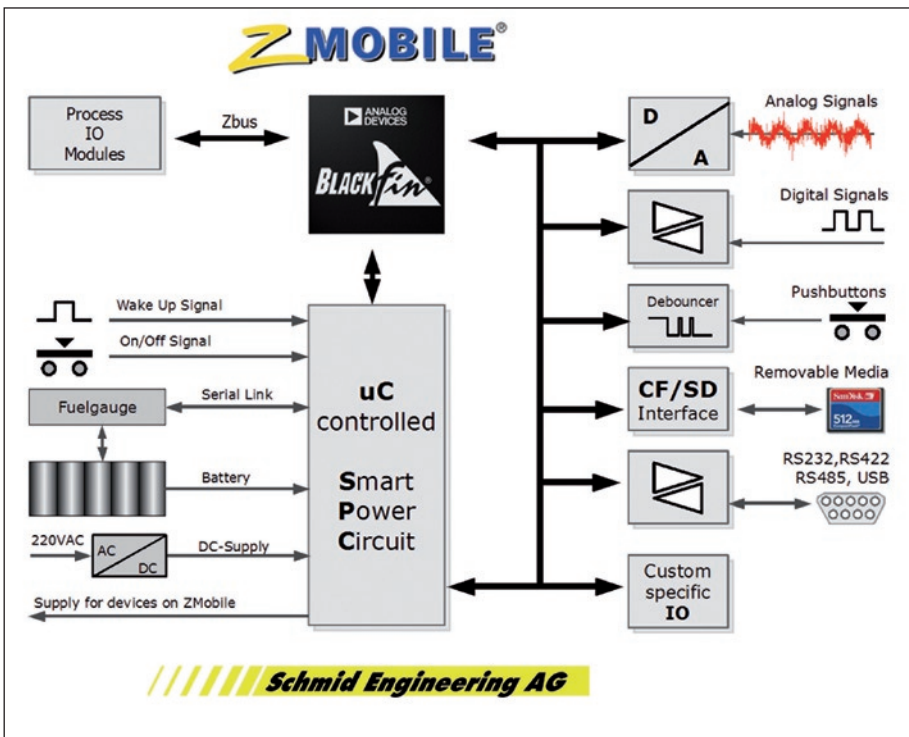


Abb. 5: Die Low-Power Zielhardware ZMobile kombiniert ADI Blackfin Prozessoren mit Mixed Signal IO und Plug-In Einsteckkarten.

Gesamtvorgang wiederholt wird. Diese Methode sorgt für den niedrigsten Energieverbrauch.

- Ereignisüberwachung: Während sich die Messknoten im Tiefschlaf befinden, überwacht eine intelligente Low-Power Mixed-Signal Schaltung kontinuierlich die Einhaltung aller Schwingungs- und Wasserwerte. Beim Überschreiten der Grenzwerte wird der Hauptprozessor geweckt und sendet ein Warnsignal an das MSP. Dieses wiederum initiiert eine neue Messkampagne.
- ROV-Rendezvous: Das Überwachungssystem wird von ferngesteuerten

Unterwasserfahrzeugen installiert und gewartet. Mittels akustischer Kommunikation können alle wichtigen Parameter während dem Betrieb geändert werden; ebenso können geloggte oder Fourier-analyse Daten für spezifizierte Zeiträume simultan zu einem beliebigen Messbetrieb hochgeladen werden. Diese zuverlässige Kommunikationsschnittstelle ist ein Schlüsselement der Embedded System Hard- und Software.

Jede Aktion wird auf Fehler überwacht. Im Fehlerfall wird global ermittelt, ob der Fehler im betreffenden Messknoten

selbst oder in einem der anderen Messknoten aufgetreten ist. Wenn das eigentliche MSP ausfällt, kann jedes CSP zur Aufrechterhaltung des Betriebs seine Funktion übernehmen. Das Pipeline-Überwachungssystem hat eine Lebensdauer von mehreren Jahren und wird jeweils für mindestens 6 Monate am Stück eingesetzt.

Grafischer Code verteilt auf Low-Power Zielhardware

Design und Implementierung auf höchstem Abstraktionsniveau und hohe Prozessorleistung bei niedrigstem Energieverbrauch waren für Bjørge AS Grundvoraussetzungen. Deshalb setzte die Firma auf das „LabView Embedded Module“ (Abb. 4), verteilt auf dem Analog Devices Blackfin Target ZMobile (Abb. 5). Diese Embedded-HW/SW Plattform sorgte für den robusten und multitaskingsicheren Echtzeitbetrieb. Die Zielhardware basiert auf der kompakten Low-Power Plattform ZMobile, welche den Blackfin Prozessor um verschiedene Mixed-Signal Schaltungen und Kommunikationskanäle erweitert. Ein Großteil der Funktionalitäten war bereits in der Standardplattform enthalten. Auf einem maßgefertigten Add-on Board wurden alle noch fehlenden Schaltkreise, Anschlüsse und Schnittstellen bereitgestellt (Abb. 5).

Fazit

Die Öl- und Gasindustrie profitiert jetzt von einer Lösung, welche eine synchronisierte, hochpräzise Datenerfassung zwischen beliebig vielen weit auseinander liegenden Messknoten ermöglicht. Drahtlose, akustische Kommunikation, Messknoten-interne Datenanalyse und -speicherung und ein intelligentes Energie-Managementsystem stellen nun eine kontinuierliche Überwachung und Handhabung kritischer Zustände sowie dynamischer Bewegungen sicher und sorgen für einen extrem niedrigen Stromverbrauch.

Autoren

Marco Schmid, Schmid Engineering
Harald Månun, Bjørge AS

Kontakt

Gerhard Schlicht
CC&I GmbH, Gauting
Tel.: 089/8509718
Fax: 089/8509719
g.schlicht@cciembedded.de
www.cciembedded.de