

# 1.000 Meter unter dem Meer



## Synchronisierte Datenerfassung mit Akustik und autonomen Messknoten

Im norwegischen Gasfeld Ormen Lange kommt ein autonomes Pipelineüberwachungssystem unter extremen Tiefseebedingungen zum Einsatz. Synchronisierte Knoten kommunizieren drahtlos über akustische Modems und analysieren Vibrationen und Wasserparameter. Grafisches Embedded-System-Design sorgt zusammen mit einem Signalprozessor für Stabilität, Vielseitigkeit, Leistung und Akkulaufzeit, die für die Anforderungen an Entwicklungszeit und Qualität benötigt werden.

■ Marco Schmid, Harald Månnum

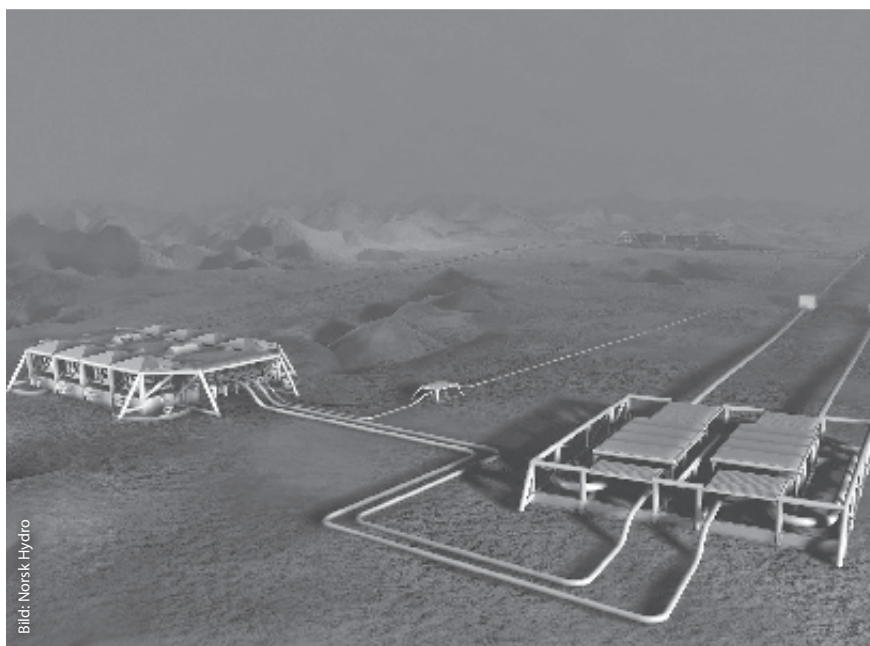


Bild: Norsk Hydro

Die Pipelines des norwegischen Gasfelds Ormen Lange liegen an einem Kontinentalabhang über extrem felsigem Untergrund. Aufgrund des unebenen Geländes sind mehrere Pipelineabschnitte nicht in Kontakt mit dem Meeresboden. Genau in diesen Bereichen sind infolge starker Meeresströmungen Schwingungen möglich. Bjørge AS, ein Anbieter von Tiefseeeinstrumenten, hat für diesen Fall ein Langzeitüberwachungssystem entwickelt. Das Unternehmen setzte dabei auf Standardprodukte und Ingenieursleistungen eines Schweizer Lösungsanbieters. Das System muss rauer Behandlung durch Schiffs-

kräne und ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge (Remotely Operated Vehicles, ROVs) standhalten. Sobald es sich unter der Wasseroberfläche befindet, ist es extremen Bedingungen ausgesetzt, unter anderem erfolgt keine Stromversorgung von außen. Darüber hinaus herrschen niedrige Temperaturen, Wasserströmungen und -verschiebungen aufgrund des unebenen Meeresbodens sowie Schwingungen, hervorgerufen durch den Gastrom innerhalb der Pipeline.

### Überwachungssystem für frei schwebende Pipelines

Die technische Lösung ist ein Instrumentennetzwerk aus mehreren autonomen, synchronisierten Clamp Sensor Packages (Vibrationssensoren, CSP) und einem Master Sensor Package (Masterstation, MSP), das zur Überwachung von Schwingungen an längeren, frei schwebenden Pipelineabschnitten dient.

Abgesehen von den rauen Bedingungen ist die größte Herausforderung das präzise, synchronisierte Datalogging. Bei Entfernungen von mindestens 100 m zwischen den einzelnen Messknoten darf die zeitliche Gesamtabweichung 2,5 Millisekunden nicht übersteigen. Da alle Mess-

knoten drahtlos arbeiten und Datentransfer sowie Signalgebung akustisch erfolgen, waren bei der Hard- und Softwareentwicklung spezielle Maßnahmen erforderlich, um die notwendige Präzision und deterministisches Echtzeitverhalten zu erreichen. Ein weiterer Designfaktor war die Sicherstellung einer Batterielebensdauer von mindestens sechs Monaten, was durch intelligentes Energiemanagement gelöst wurde. Die gesamte Elektronik benötigte außerdem ein druckfestes Gehäuse, klein und leicht genug für die Handhabung durch ein ROV. Die Endlösung weist folgende sechs Schlüsselmerkmale auf:

- ▶ Schwingungsanalyse sowie Überwachung dynamischer und statischer Bewegungen an längeren, frei schwebenden Pipelineabschnitten und loggen von Wasserparametern (Strömungen, Salzgehalt, Druck und Temperatur),
- ▶ Speicherung und mathematische Analyse der erfassten Daten über einen Zeitraum von bis zu sechs Monaten,
- ▶ drahtlose Kommunikation zwischen den Messknoten über akustische Modems,
- ▶ messknoteninterne Fehlerbehandlung und -korrektur für ausfallsicheren, redundanten Betrieb,

#### AUTOREN

##### Marco Schmid

ist Geschäftsführer von Schmid Engineering in Münchwilen, Schweiz

T +41/71/9693590

F +41/71/9693598

marco@schmid-engineering.ch

##### Harald Månnum

ist Senior Engineer bei Bjørge ASA in Bergen, Norwegen

T +47/55/364880

F +47/55/364881

harald.manum@bjorge.no

- ▶ akustische ROV-Schnittstelle für Datentransfer und System-Rekonfiguration sowie
- ▶ Wartungsintervalle von mindestens sechs Monaten.

Die CSPs werden in regelmäßigen Abständen an der Pipeline befestigt. Ihre Hauptaufgabe ist die Aufzeichnung und Analyse von Schwingungen in allen drei Achsen. Die Mechanik, ausgelegt auf eine Tiefe von bis zu 1.500 m, wird von einem ROV mit einer Klemmvorrichtung direkt an der 30-Zoll-Pipeline angebracht (Abbildung 1).

Anschließend wird ein druckfestes Gehäuse (150 Bar) mit der integrierten Elektronik über einen Verriegelungsmechanismus aufgesteckt, so dass es sich später wieder abnehmen lässt (z.B. für Batterieaustausch). Dieser mechatronische Aufbau dient einer einfachen Installation/Deinstallation und sorgt gleichzeitig für hohe Verbindungssteifigkeit. Schließlich sollen geringste Schwingungen bei Frequenzen von unter 0,1 Hz sowie Seitwärts- und Längsbewegungen zentimetergenau gemessen werden können. Die CSPs werden von einer Masterstation (MSP) gesteuert und synchronisiert. Diese wird über einen Schiffskran an den Einsatzort gebracht und mit Hilfe eines ROVs auf dem Meeresboden installiert.

### Akustische Datenübertragung und Langzeit-Datalogging

Die Verbindung zwischen den CSPs und dem MSP ist drahtlos und erfolgt über Soundmodems. Das robuste Messschema sorgt für sichere Synchronisation der Datenerfassung, auch bei längeren und unvorhergesehenen Verzögerungen des MSP-Triggersignals (z.B. aufgrund unterschiedlicher Schallausbreitung). Das Überwachungssystem bietet die drei Betriebsmodi Langzeitdatenerfassung, Ereignisüberwachung und ROV-Rendezvous.

#### Langzeitdatenerfassung

Das MSP wacht in konfigurierbaren Zeitpunkten auf, typischerweise alle drei Stunden. Zu Kompensationszwecken misst es zuerst die Entfernungen zu den einzelnen CSPs. Anschließend erfolgen eine verteilte analoge Datenerfassung und das Datalogging (bei 10 bis 20 Hz, für 10 bis 30 Minuten), ausgelöst durch einen Broadcast an alle CSP-Messknoten. Danach beginnt das MSP mit der Aufzeichnung von Wasserparametern wie Strömung, Salzgehalt, Druck und Temperatur. Nach Abschluss der Auf-

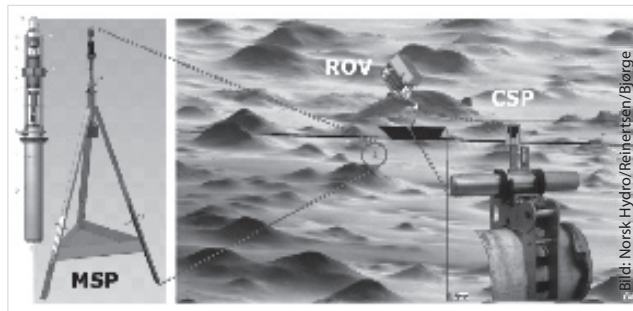


Abb. 1: Installation des Master Sensor Package (MSP) auf dem Meeresboden (links), Befestigung des Clamp Sensor Package (CSP) auf der Pipeline durch ein ROV (rechts)

zeichnungen werden die Daten verarbeitet und auf einem Speichermedium abgelegt. Nach der Programmierung des nächsten Weckzeitpunktes (RTC) schalten das MSP und die CSPs auf Stand-by bis der Gesamtvorgang wiederholt wird. Diese Methode sorgt für sehr niedrigen Energieverbrauch.

#### Ereignisüberwachung

Während sich die Messknoten im Tiefschlaf befinden, überwacht eine intelligente Low-Power-Mixed-Signal-Schaltung kontinuierlich die Einhaltung aller Schwingungs- und Wassergrenzwerte. Der Hauptprozessor wird beim Überschreiten der Limits 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 lassen sich alle wichtigen Parameter im Betrieb ändern; ebenso können geloggte oder Fourier-analyisierte Daten für spezifizierte Zeiträume simultan zu einem beliebigen Messbetrieb hochgeladen werden. Diese zuverlässige Kommunikationsschnittstelle ist ein Schlüsselement der Hard- und Software im Embedded-System.

Jede Aktion wird überwacht. Im Fehlerfall unternimmt der jeweilige Messkno-

ten eine Selbstkorrektur und informiert das gesamte Netzwerk, also die Nachbar-CSPs sowie das MSP, über den neuen Zustand. Auf diese Weise 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.

### Embedded-HW/SX-Plattform garantiert robusten Echtzeitbetrieb

Design und Implementierung auf höchstem Abstraktionsniveau, hohe Prozessorleistung und niedrigster Energieverbrauch waren für Bjørge AS Grundvoraussetzungen. Deshalb setzte die Firma auf Labview Embedded von National Instruments, verteilt auf dem Blackfin-Target Z-Mobile von Analog Devices. Diese Embedded-HW/SW-Plattform wurde vom Schweizer Unternehmen Schmid Engineering geliefert und sorgte für robusten und multitaskingsicheren Echtzeitbetrieb.

Ein synchronisiertes, autonomes System dieser Präzision ist bisher unerreicht und erfordert ein hohes Maß an Ingenieurwissen. Die Leistungsspektren von Labview Embedded, des Realtime-Kernels sowie der Blackfin-Prozessorressourcen wurden komplett ausgeschöpft, da die >

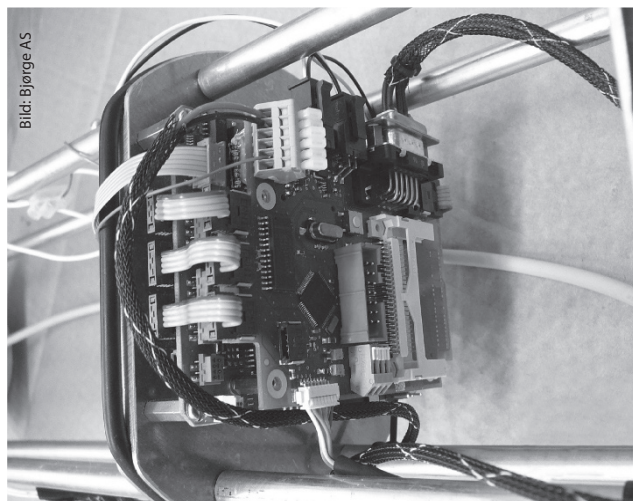


Abb. 2: Druckdichtes Gehäuse mit Elektronik. Nicht sichtbar: Batteriepacks, Modem und Antennen

## → WE DO!

### ALLES AUS EINER HAND!

IMST ist ein unabhängiges Entwicklungshaus für Funksysteme und Mikroelektronik. Konzept, Design, Prototyping und Prüfung von Funklösungen in Hard- und Software.

- Funkentwicklung
- Prototyping
- Serienbegleitung
- Produktzulassung
- CE / EMV-Prüfung
- Produkthärtung



IMST-Prüfzentrum  
 Carl-Friedrich-Gauß-Str. 2  
 D 47475 Kamp-Lintfort  
 T +49 (28 42) 981 - 200  
 F +49 (28 42) 981 - 299  
 E [ps@imst.de](mailto:ps@imst.de)  
 I [www.imst.de](http://www.imst.de)

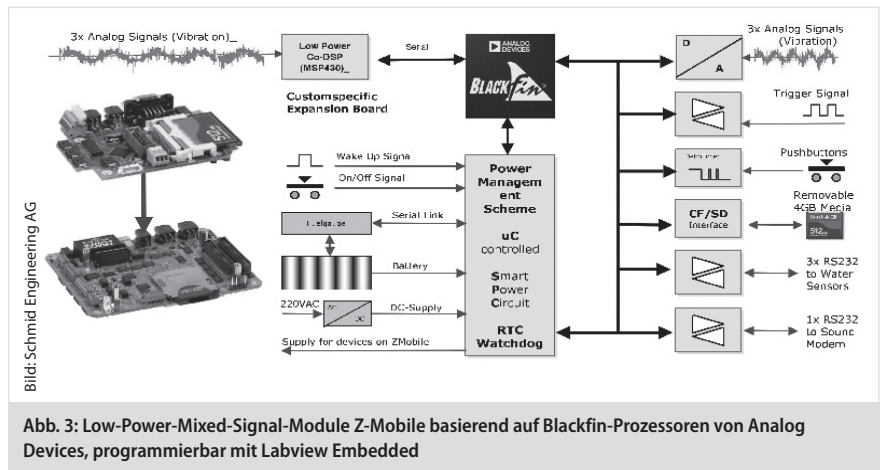


Abb. 3: Low-Power-Mixed-Signal-Module Z-Mobile basierend auf Blackfin-Prozessoren von Analog Devices, programmierbar mit Labview Embedded

Applikation mehrere parallele Programm-schleifen, diverse Interrupts und eine deterministische Programmausführung erforderlich machte.

Der C-Code-Generator erzeugte aus dem grafischen Labview-Diagramm schließlich den Target-Code (circa 50.000 C-Source-Zeilen). Die fertige Anwendung bietet typische Merkmale eines modernen Embedded-Systems:

- ▶ Implementierung von zehn unabhängigen Kernaltasks, einschließlich vier Interrupt-Callbacks, ausgelöst durch Low-Level-Interrupt-Serviceroutinen des Blackfin,
- ▶ Softwaremodularität mit über 100 wiederverwendbaren Submodulen,
- ▶ Datenkommunikation und -synchronisation zwischen den Programmteilen durch fünf Echtzeit-FIFOs, 110 globale Variablen sowie 110 Semaphores,
- ▶ Applikationslogik auf Basis einer klassischen Statemachine mit 16 Programmzuständen,
- ▶ Embedded-System-File-Handler für Konfigurationsdateien und Massendatenspeicherung auf einem Compact-Flash-Medium mit 4 GB,
- ▶ Online-Signalkonditionierung, Min/Max und FFT-Analyse,
- ▶ getriggerte DAQ-Synchronisierung mit  $\mu$ s-Genauigkeit und voller Kompensation von Software-Latenzzeiten und Modem-Signallaufzeiten,
- ▶ intelligentes Energie- und Batteriemangement,
- ▶ kontinuierliches Fehler- und Event-logging mit Timestamps,
- ▶ programmierbare Shutdown-, Wakeup- und Watchdog-Logik,
- ▶ 3-mal simultane Analogkanäle für Dreiaachsen-Beschleunigungssensor,
- ▶ 4-mal asynchrone serielle Schnittstellen zur Aufzeichnung von Wasserströ-

mungen, Salzgehalt des Wassers, Wasserdruck und Wassertemperatur sowie  
 ▶ robuste, drahtlose Kommunikation über ein akustisches Modem.

Die einzelnen CSPs und das MSP sind mit je einem drucksicheren Gehäuse ausgestattet, das die gesamte Elektronik, Batterien, Sensoren und Antennen für die akustischen Soundmodems enthält (Abbildung 2). Alle innen liegenden Bauteile sind mechanisch von den Pipelineschwingungen entkoppelt. Die Embedded-System-Hardware basiert auf dem kompakten Low-Power-Target Z-Mobile, das den Blackfin-Prozessor um verschiedene Mixed-Signal-Schaltungen und Kommunikationskanäle erweitert. Ein Großteil der Funktionen war bereits in der Standardplattform enthalten. Auf einem maßgefertigten Add-on-Board wurden alle noch fehlenden Schaltkreise, Anschlüsse und Schnittstellen bereitgestellt (Abbildung 3).

## Fazit

Die Öl- und Gasindustrie profitiert jetzt von einer Lösung, die synchronisierte, hochpräzise Datenerfassung zwischen weit auseinander liegenden Messknoten ermöglicht. Drahtlose, akustische Kommunikation, messknoteninterne Datenanalyse und -speicherung sowie intelligentes Energiemanagementsystem stellen eine kontinuierliche Überwachung und Handhabung kritischer Zustände sowie dynamischer Bewegungen sicher und sorgen für niedrigen Stromverbrauch. Über akustische Verbindungen werden wichtige Daten an das Ingenieurteam gesendet, womit sich neue Möglichkeiten für synchronisierte, autonome Schwingungsüberwachung ergeben. ■

Weiterführende Infos auf [www.EuE24.net](http://www.EuE24.net)

more @ click **EEK81107**





# Spannende Verbindung

[Redacted text block]



Das Knowledge-Portal für  
Elektronik & Entwicklung  
versorgt Sie aktuell, übersichtlich und  
fokussiert mit dem erforderlichen  
Know-how für Ihre tägliche Arbeit.