



Datum Dezember 2010

Dr. Peter Eschenbacher
Gesellschafter

Angergraben 4
D-85250 Altomünster
Tel. +49-(0)8254 / 99 69 57
Fax +49-(0)8254 / 99 69 56

www.symbols-and-numbers.com
pe@symbols-and-numbers.com

Schulungsangebote: Steuerung und Überwachung von Pipelines

Pipelineanlagen umfassen zwar nur relativ wenige Elemente wie Rohre, Schieber und Pumpen, aber wegen ihrer enormen Ausdehnung von mehreren hundert Kilometern entziehen sie sich unserem alltäglichen Erfahrungshorizont. Sie zu bedienen, Meldungen des Leitsystems zu verstehen und richtig zu interpretieren oder gar in kritischen Situationen richtig zu reagieren, muss daher erlernt werden und bedarf eines breiten Hintergrundwissens.

Symbols and Numbers hat ein Schulungsprogramm zusammengestellt, das sich an das Bedienpersonal von Pipelineanlagen richtet, und in detaillierterer Form auch an deren Leitungspersonal. Interessant ist es sicher auch für Anbieter von Prozesssteuerungen, die mit der Hydraulik und Überwachung einer Pipeline weniger vertraut sind und diese Leistungen zukaufen.

Den Lehrgängen liegt eine fünfjährige Erfahrung in der Entwicklung, der Konfiguration, dem Test und der Schulung über Pipeline-Prozessleitsystemen zugrunde.

Alle behandelten physikalischen Phänomene werden an einem Prozess-Simulator demonstriert und visualisiert. An einer exemplarischen Pipeline können adäquate Reaktionen auf kritische Situationen erlernt werden.

Die Schulungen sind in erster Linie als Inhouse-Schulungen konzipiert, so dass auf die Belange einer spezifischen Pipeline intensiv eingegangen werden kann.

Es werden Schulungen über die folgenden Themenschwerpunkte angeboten:

- (1) Das hydraulische Profil
- (2) Physikalische Grundlagen von Rohrströmungen (umfasst auch das hydraulische Profil)
- (3) Elementare Bedienoperationen
- (4) Sicherheitseinrichtungen und Beherrschung kritischer Situationen
- (5) Leckerkennung
- (6) Materialermüdung und Lebensdauerabschätzung
- (7) Optimale Fahrweisen

Die Schulungen sind voneinander völlig unabhängig, lediglich die zweite schließt die erste vollständig ein.



(1) Das hydraulische Profil

Das hydraulische Profil stellt den Verlauf des Drucks bzw. der Druckhöhe sowie des Durchflusses und anderer physikalischer Größen über die gesamten Pipeline dar.

Es wird fortwährend aktualisiert und zeigt damit, wie sich der hydraulische Zustand der Anlage entwickelt. Beispielsweise lässt sich sehr gut erkennen wie eine Druckwelle die Pipeline durchläuft und abschätzen, wann und in welcher Stärke sie bestimmte kritische Punkte erreicht.

Das hydraulische Profil bildet somit die zentrale Grundlage für Eingriffe des Operators. Aus dem hydraulischen Profil kann er den Zustand der Anlage schnell und sicher interpretieren und daraus geeignete Aktionen und Reaktionen ableiten.

Das hydraulische Profil zeigt nicht nur gemessene Daten an, sondern erhält seine Informationen aus einer mitlaufenden Online-Simulation, die nach physikalischen Gesetzen den Zustand der Anlage zwischen den Mess-Stationen ermittelt.

Der Lehrgang zeigt, wie die dargestellten Kurven zustande kommen, was sie aussagen und wie sie zu interpretieren sind.

- *Physikalische Eigenschaften von Rohölen*
(Kompressibilität und Viskosität)
- *Beziehung zwischen Druck und Druckhöhe*
(Einflüsse der Gravitationskraft, Druckverhältnisse bei Stillstand der Leitung)
- *Physikalische Eigenschaften der Pipeline*
(Festigkeit, MAOP-Linie und Querschnittsänderung)
- *Einfluss der Rohrreibung auf den Druckverlauf*
(Strömungswiderstand, Energieverlust, Druckprofil bei stationärer Strömung)
- *Temperaturverlauf*
(Wärmetransport, Reibungswärme und Wärmeverluste)
- *Dichte und Fluss*
(Konvertierung von Normgrößen und Betriebsgrößen, Bestimmung der Durchfluss-Linie)
- *Berechnung der aktuellen Viskosität*
- *Instationäre Strömung*
(Entstehung, Ausbreitung und Reflexion von Druckwellen)
- *Slackline-Strömung*
(Ausgasung und Kavitation bei geringem Druck)



(2) *Physikalische Grundlagen von Rohrströmungen*

Ohne Kenntnis der physikalischen Grundlagen bleibt eine Interpretation des hydraulischen Profils unvollständig. Insbesondere die Betriebsleitung sollte in der Lage sein, auch ungewöhnliche Situationen zu analysieren. Hierzu ist das Wissen um die mathematischen Modelle erforderlich, die der Berechnung des hydraulischen Profils zugrunde liegen.

Die Themen über das hydraulische Profil werden nochmals aufgegriffen und die physikalischen Zusammenhänge detailliert erläutert:

- *Einleitung: Darstellung des hydraulischen Profils*
 - Physikalischer Zustand entlang der Strecke
 - Zweck und Nutzen
 - Zusammenspiel zwischen Online-Simulation und hydraulischem Profil
- *Physikalische Eigenschaften von Rohölen und Produkten*
 - Zustandsbeschreibung durch Druck und Temperatur
 - Kompressibilität unter Druck
 - Volumenexpansion bei Temperaturerhöhung
 - Normdichte und Betriebsdichte
 - Viskosität und ihre Abhängigkeit von der Temperatur
- *Physikalische Eigenschaften des Pipelinerohres*
 - Festigkeit und MAOP (maximum allowed operational pressure)
 - Querschnittsänderung durch Druck und Temperatur
- *Druck und Druckhöhe*
 - Druckverhältnisse bei Stillstand der Leitung
 - Gravitationskraft und Luftdruck
 - Einflüsse des Höhenprofils, der Dichte und der Temperatur
 - Die MAOH-Linie (maximum allowed operational pressure head)
 - Kalibrierung der Druckmesser
- *Rohrreibung*
 - Strömungswiderstand und Rohrreibungszahl
 - Glatte und raue Rohre
 - Innere Reibung und Rohrrauigkeit
 - Rohrkrümmungen und Querschnittsänderungen
 - Druckabfall und Energieverlust
- *Physikalische Gesetze für stationäre Rohrströmungen*
 - Druckprofil bei stationärer Strömung
- *Größen für Menge und Fluss*
 - Größen für die Mengemessung: Betriebsvolumen, Normvolumen, Masse
 - Größen für die Flussmessung: Betriebsvolumenstrom, Normvolumenstrom, Massestrom
 - Umrechnung der Größen über die Dichte



- *Durchfluss-Linie*
 - Bestimmung der Durchfluss-Linie
 - Kalibrierung der Durchfluss-Linie
 - Anpassung der Rohrreibung bzw. der Rohrrauigkeit
- *Batchverfolgung und Molchverfolgung*
 - Geschwindigkeit von Batch und Molch
- *Druckwellenausbreitung*
 - Entstehung von Druckwellen
 - Physikalische Gesetze für instationäre Rohrströmungen
 - Ausbreitung der Druckwellen
 - Reflexionen
 - Druckprofil bei instationärer Strömung
- *Pumpen*
 - Pumpen- und Anlagenkennlinie: Förderhöhe und Durchfluss
 - Energieverbrauch und Wirkungsgrad
 - Start- und Stoppverhalten
- *Ventile*
 - Ventilkennlinie: Druckabfall und Durchfluss
 - Strömungswiderstand
 - Energieverlust
- *Temperaturmodell*
 - Transport durch Flüssigkeitsbewegung
 - Reibungswärme und Verpumpungswärme
 - Wärmeaustausch mit der Umgebung
 - Messung und Modellrechnung
 - Anpassung des Wärmeaustauschs
- *Slackline*
 - Ausgasung bei Unterschreitung des Dampfdrucks
 - Kavitation: Gefahr für die Pipeline
 - Gerinneströmung



(3) Elementare Bedienoperationen

So einfach manche Bedienoperation wie das Starten einer Pumpe erscheinen mag, so komplex sind die Vorgänge, die damit verbunden sind. Die Kenntnis der Wirkungen einer Operation ist entscheidend für ein verantwortliches und zielgerichtetes Handeln.

Entsprechend genau und ausführlich werden daher die Auswirkungen der tagtäglich ausgeführten Operationen behandelt. Damit wird das Verständnis geschaffen, auch in schwierigen Situationen schnell und adäquat reagieren zu können, ohne dass sich die Einzelaktionen gegenseitig negativ verstärken.

Es werden elementare Operationen behandelt:

- *Schalten einer Pumpe*
 - Druck- und Saugwirkung
 - Unterschied Booster- und Hauptpumpen
 - Serien- und Parallelbetrieb
 - Hauptpumpen auf der Strecke
 - erzeugte Druckwellen
 - saugseitiger Strömungsabriss
 - Start- und Stoppssequenzen
- *Öffnen und Schließen von Schiebern*
 - Druckwellenerzeugung durch Öffnen und Schließen
 - Strömungsabriss beim Schließen
 - Reflexionen am geschlossenen Schieber
 - Strömungswiderstand eines teilweise geöffneten Ventils
- *Regelventile stellen*
 - Setzen eines Sollwerts (meist Druck oder Fluss)
 - Einfluss der Nebenbedingungen auf die Regelung (z.B. Mindest- oder Höchstdrücke)
 - Ventilkennlinie und Ventilposition
 - Schnelligkeit der Regelung
 - Regelschwingungen
- *Abstellen und Wiederauffahren der Fernleitung*
 - Bedingungen für den Ruhezustand (Zielzustand)
 - Vorbedingungen für das Starten der Pumpen
 - optimale Zeitpunkte zum Betätigen der Pumpen und Ventile
 - belastungsarmes Schließen und Öffnen der Ventile
- *Fließwegumschaltungen*
 - Umschalten im Tanklager
 - Umschalten auf der Strecke
 - Erkennen der Umschaltzeitpunkte
 - Verschneiden aus mehreren Tanks



(4) Sicherheitseinrichtungen und Beherrschung kritischer Situationen

Die Vermeidung von Personenschäden, größeren Sachschäden sowie Umweltschäden hat Vorrang vor allen anderen Überlegungen eine Pipeline zu betreiben. Es sind daher zahlreiche sicherheitstechnische Einrichtungen installiert, um solche Schäden zu vermeiden.

Das Eingreifen dieser Sicherheitseinrichtungen sollte jedoch weitgehend vermieden werden, da es die Anlage belastet, Zeitverzögerungen und Kosten verursachen kann und ggf. Nachforschungen hervorruft.

Eine detaillierte Kenntnis über die Wirkungsweise der Sicherheitseinrichtungen und über sichere Fahrweisen, die erst gar keine Grenzsituationen hervorrufen, sollte zum Repertoire jedes guten Operators gehören.

In diesem Lehrgang werden kritische Situationen analysiert und Vorgehensweisen erarbeitet, diese zu beherrschen. Selbstverständlich können dabei die Gegebenheiten einer speziellen Anlage diskutiert werden.

Beispielsweise werden folgende Sicherheitseinrichtungen besprochen:

- *Druckbegrenzung*
durch Pumpenabschaltungen, Entlastungstanks mit Sicherheitsventilen und Berstscheiben
- *Mindestdruck- bzw. Mindestfluss-Überwachung*
für ein sicheres Anfahren und Stoppen von Pumpen
durch Saugdruckregelung, Blockierungen weiterer Pumpen und ggf. Abschaltungen
- *Druckgradientenüberwachung*
bei Ausfall von Zwischenpumpen
- *Vordrucküberwachung und Schließsequenzen*
für ein sicheres Schließen von Streckenschiebern
- *Gegenseitige Verriegelungen (Interlocks)*
zur Vermeidung unerwünschter Zustände
- *Emergency Shut Down (ESD)*
für Notfälle wie z.B. wenn die Anlage von der Leitstelle aus nicht mehr steuerbar ist



(5) Leckerkennung

In Deutschland und einigen angrenzenden Ländern dürfen Öl-Pipelines nur betrieben werden, wenn ausreichende Vorkehrungen gegen das Austreten von Öl getroffen wurden. Diese sogenannten Leckerkennungsverfahren können jedoch auch Verwirrung stiften, wenn sie in ungewöhnlichen Situationen Alarm schlagen. Hier ist es vorteilhaft, über die Wirkungsweise dieser Verfahren gut Bescheid zu wissen, um Fehlalarme sicher zu erkennen.

Auch die Festlegung von Alarmgrenzen und die Bedingungen, unter denen die Leckerkennung deaktiviert wird, sind Bestandteil der Schulung.

Es werden folgende Verfahren behandelt:

a) Für die Erkennung von Lecks unter allen Betriebsbedingungen (stationär, transient, Ruhe):

- *Dynamische Mengenbilanz*
 - Bilanzgleichung
 - Anforderungen an die Durchflussmessungen
 - Leitungsvolumenkorrektur
 - erzielbare Genauigkeit und Reaktionszeit im stationären und transienten Betrieb sowie bei Stillstand
 - Erkennung des Betriebszustands
 - Nachweis der Funktionstüchtigkeit

b) Für die Erkennung von Lecks im stationären Betrieb:

- *Druckfallverfahren*
 - Erkennung und Anzeige von Druckfällen
 - Interpretation durch Operateure
- *Schnelle Leckortung*
 - Leckortung aus Laufzeitdifferenzen der Druckwellen
 - Erkennung von Druckwellen-Mustern
 - Anforderungen für die Erhebung der Druckwellenzeitpunkte
 - Ausblenden von Artefakten (z.B. Reflexionen)
 - Ausblenden erklärbarer Druckwellen (z.B. durch Schaltheilungen)
 - erzielbare Genauigkeit und Reaktionszeit
 - Nachweis der Funktionstüchtigkeit
- *Gradientenschnittverfahren*
 - Berechnung des Druckgradienten
 - Leckerkennung durch Vergleich von berechnetem und gemessenem Gradienten
 - Leckortung durch Schnitt der gemessenen Gradienten
 - Voraussetzungen für das Verfahren
 - erzielbare Genauigkeit und Reaktionszeit
 - Nachweis der Funktionstüchtigkeit



c) Für die Erkennung schleichender Lecks bei Stillstand der Anlage:

- *Druck-Temperatur-Verfahren (DT)*
 - Behältergleichung: der Druck/Temperatur-Zusammenhang
 - Anforderungen an die Temperaturmessungen
 - Temperaturmodelle
 - Ablauf des Verfahrens
 - erzielbare Genauigkeit
- *Druck-Differenz-Verfahren (DD)*
 - Ablauf des Verfahrens
 - Bedingungen für gute Ergebnisse
 - erzielbare Genauigkeit



(6) Materialermüdung und Lebensdauerabschätzung

Durch ständige Schwankungen des Innendrucks wird das Pipelinerohr im Laufe der Zeit stark beansprucht und es kommt zu Ermüdungserscheinungen, die eine Ursache für Lecks sein können. In Deutschland verlangen die Aufsichtsbehörden, dass die Druckschwankungen in solcher Art protokolliert werden, dass hieraus die Restlebensdauer der Anlage bestimmt werden kann.

Kennt man die Faktoren, welche die Materialermüdung beeinflussen, kann durch eine entsprechend schonende Fahrweise die Lebensdauer bzw. die Überprüfungsintervalle der Anlage verlängert werden.

Im Lehrgang wird behandelt:

- Materialspannungen und Belastungsgrenzen
- Dauerschwingversuche und Wöhlerkurve
- Belastung durch Lastkollektive
- Dauerfestigkeit und Zeitfestigkeit
- Normen und Vorschriften
- Bewertung und Zählung von Lastwechseln
- Lebensdauerabschätzung
- Auswahl repräsentativer Messpunkte
- Verdichtung der Druckdaten
- Bewertung der Druckschwankungen durch Spannenverfahren (TÜV Süd) und Klassendurchgangsverfahren (TÜV Rheinland)
- Abschätzung der Restlebensdauer



(7) *Optimale Fahrweisen*

Eine Fahrweise die minimale Energie benötigt und belastungsarm ist muss nicht unbedingt im wirtschaftlichen Sinn optimal sein.

Vielmehr gibt es variierende Kostenfaktoren wie Tag- und Nachtstrom, Kundenwünsche auf schnelle Belieferung, Einschränkungen wegen großer Kälte und viele weitere Faktoren, die zu berücksichtigen sind. Hier hat jede Anlage ihre eigenen Anforderungen.

In diesem Lehrgang geht es daher weniger um die Vermittlung von Wissen, sondern um die Aufnahme der wichtigsten Faktoren und um die Erarbeitung von Strategien, mit welcher Fahrweise am ehesten ein wirtschaftliches Optimum zu erzielen ist.

Die Wirksamkeit der diskutierten Maßnahmen wird anhand von Simulationsmodellen nachvollzogen.