

Energiegase: Methan, Biogas, Wasserstoff, Synthesegase.

Von den Versorgungsgrundlagen der klassischen Gaswirtschaft bis zu den H₂-Innovationen zum Erreichen der Pariser Klimaziele und der Resilienz-Anforderungen des Green Deals

Teil 7 – Pipelines: Betrieb – Wartung - Instandhaltung

Prof. Dr. Gerald Linke
CEO Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches

INHALTSVERZEICHNIS

- A Gefährdungen von Infrastrukturen
- B Inspektions-, Analyse- und Reparaturverfahren
- C PIMS – Pipeline Integritäts-System
- D Netz-Dispatching und Störungsmanagement
- E Absperrarmaturen
- F Gasmess- und Regelstationen; Gasmessung

A Gefährdung von Infrastrukturen

- ➔ Schäden, die im laufenden Betrieb gefunden werden
 - ➔ Schäden äußerer Einwirkungen
 - ➔ Schäden infolge von Korrosion
 - ➔ Verlege-/Coating-Fehler
 - ➔ Schweißnahtfehler
 - ➔ Herstellungsfehler
 - ➔ Sonstiges (Bodenbewegungen, Blitzeinschlag, Design-Fehler)

Prozesse nach dem Bau der Leitung: Betriebliche Maßnahmen, Wartung & Instandhaltung, Dispatching und Störungsmanagement



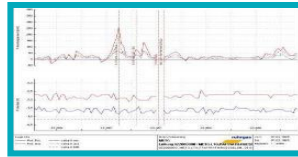
Planung



Bau



Überwachung & Inspektion



Intensivmessung



Molchung



Instandsetzung



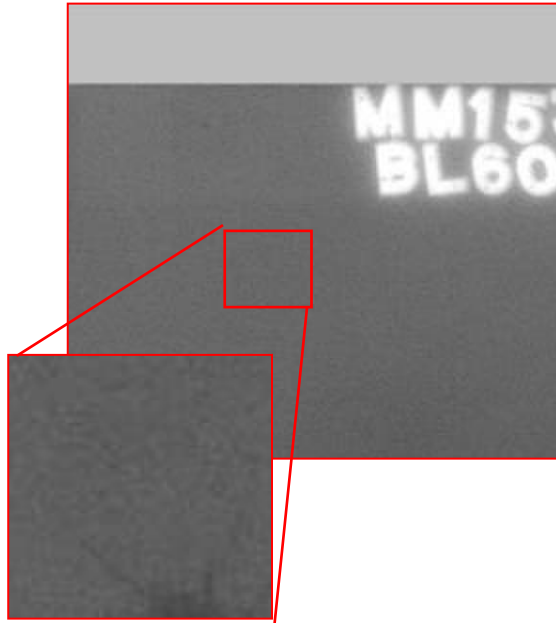
Dispatching



Störungsmanagement

Fallbeispiele von Pipeline-Integritätsverletzungen: Materialeinschlüssen, Baggerschäden, ...

Innerer Riss (Materialeinschluss)



Riefe aufgrund Baggerschaden



Fallbeispiele von Pipeline-Integritätsverletzungen: Flächige Korrosion an Altleitungen ohne KKS

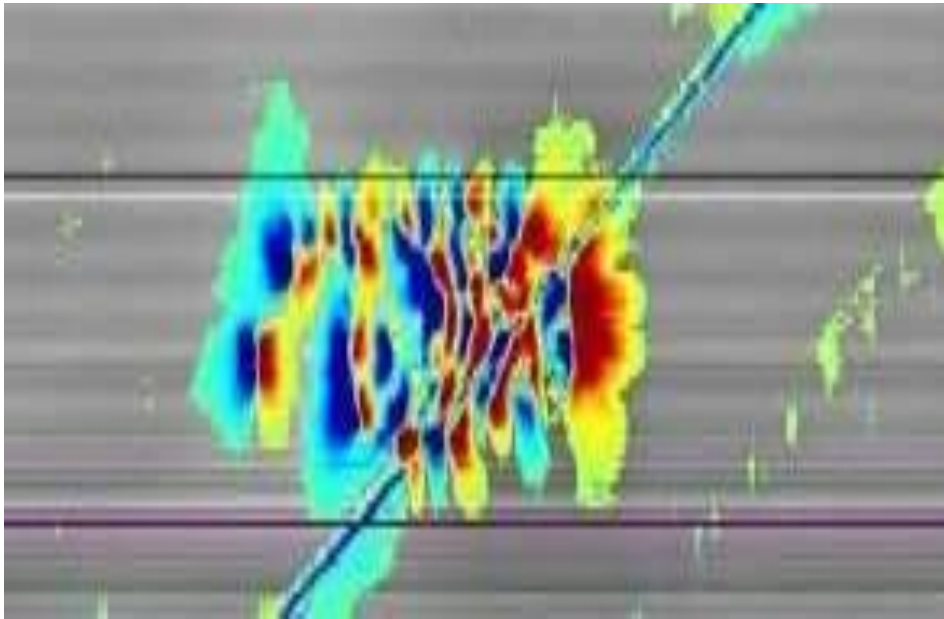


Bild aus Molchung



Foto der Flächenkorrosion
(alte Kokereigasleitung ohne KKS)

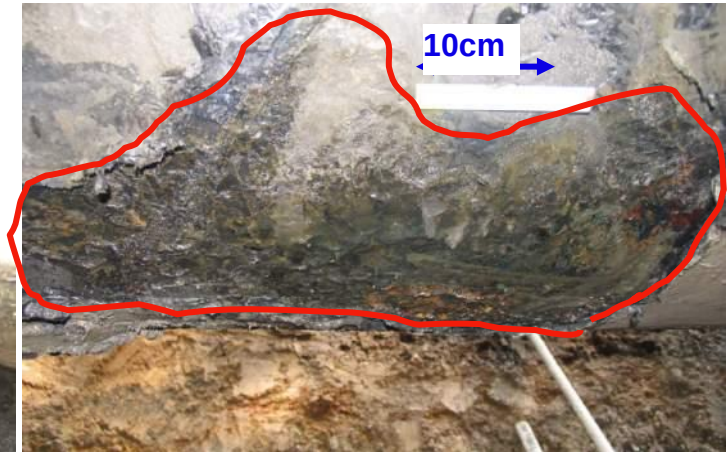
Fallbeispiele von Pipeline-Integritätsverletzungen: Disbonding



Wrapped double layer



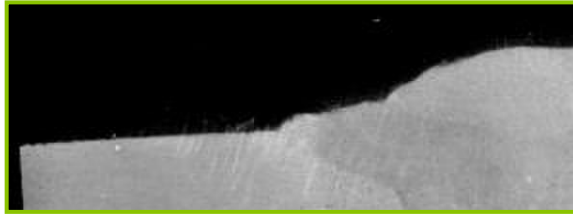
Mud between layers



Corrosion due to disbonding

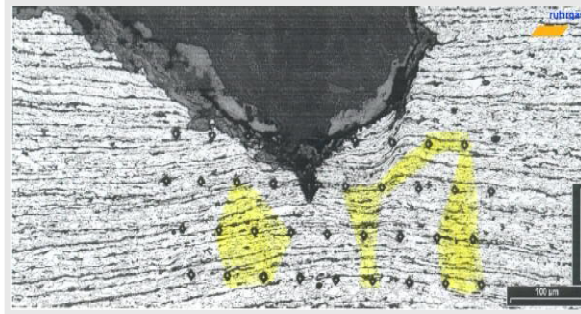
Failure Analysis

Analysis of failure of important components to find defects with



- Microstructure

(here: crack in girth weld with lamination in base material)

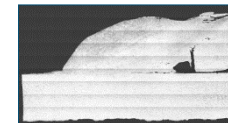
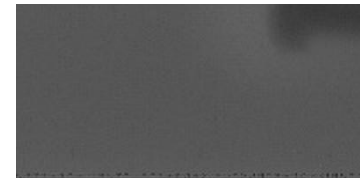
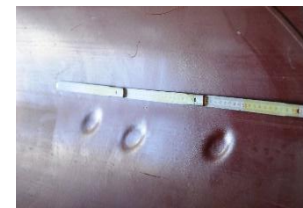


- Hardness testing

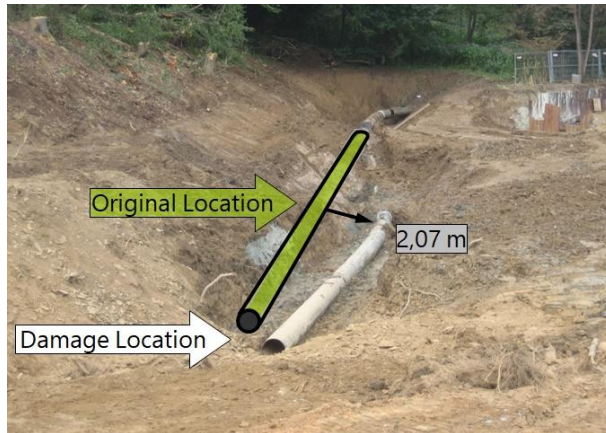
(here: crack tip after stress test)

Fallbeispiele von Pipeline-Integritätsverletzungen: Weitere (Herstellungs)-Fehler

- Inclusions
- Laminations
- Rolling Defects
- Surface Defects
- Grindings
- Indentations
- Hard Spots / Cracks
- Welds Defects



Landslide



Lightning strike



Eccentricity in casings



B Inspektions-, Analyse- und Reparaturverfahren

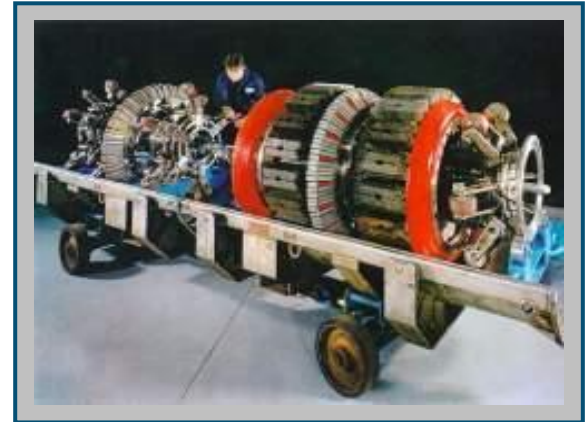
- ➔ Molchungen, Molchtypen und Einsatzbereiche
- ➔ Inspektionsmethoden im offenen Rohrgraben (zerstörungsfrei)
- ➔ Tools wie EMUS, Vibrationsanalysen (FEM), Rastertunnelmikroskop
- ➔ Grenzwert-/Stabilitätskriterien zur Defektbewertung nach DNV und ASME
- ➔ Zerstörende Verfahren (Biegeversuche) und FEM
- ➔ Defektbewertung mittels optischer Verfahren und Simulation
- ➔ Vergleich von einfachen Bewertungsregeln (DNV) und FEM
- ➔ Reparaturverfahren
- ➔ Hot tapping, plugging and by-passing (Stopplern)
- ➔ Einsatz mobiler Verdichter und mobiler Fackeln



Cleaning Pig



Calipper Pig



MFL Pig

So sieht KI eine moderne Leitungsmolchung!

Aber zum Glück findet man auch andere Erklärungen ...



Type of Inspection	Baseline	Operation	Integrity Aspects
Geometry (Callipper)	✓	✓	▪ Dents ▪ Ovalities ▪ Expansions
MFL	✓	✓	▪ Corrosion ▪ External damage ▪ (Weld Anomalies) ▪ (Mill Defects)
IMU (Mapping)	✓	✓	▪ Position
IMU (Strain)	✓	✓	▪ Displacements ▪ Additional Stress/Strain
Interval	1 x	15 – 25 Years	

Non-destructive Testing on Pipeline on site

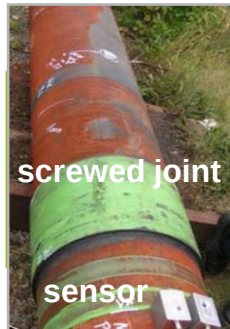
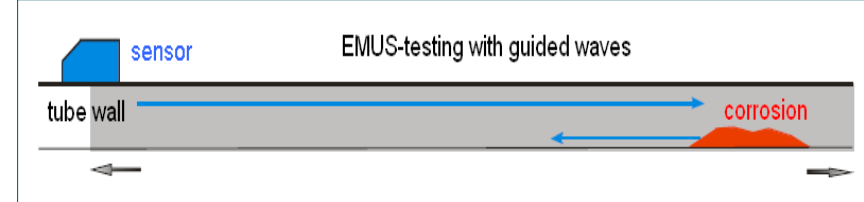
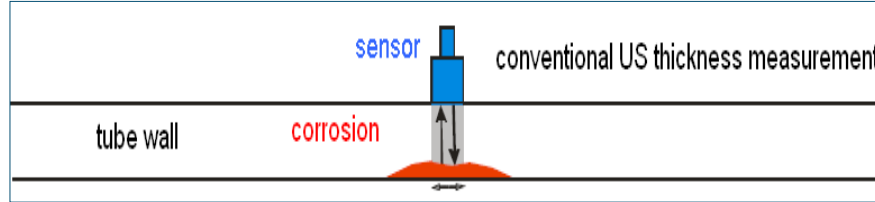


Non-destructive testing of girth welds – especially welding under operating conditions:

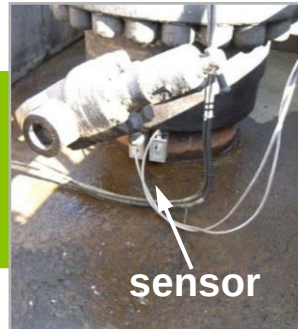
- Ultrasonic testing
- X-ray testing
- Magnetic inspection
- Liquid sustain testing
- Eddy current testing
- Visual testing

Ultraschall- und elektromagnetisch-induzierter Ultraschall (z.B. zur Untersuchung von UT-Speichersteigrohren)

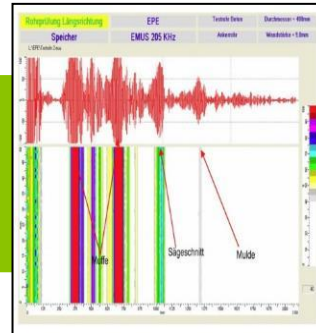
EMUS: electro-magnetic induced ultrasound



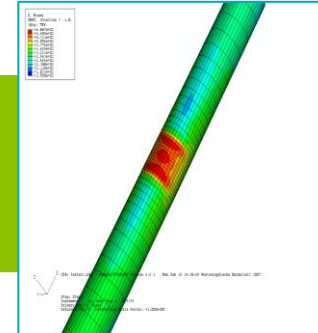
1. System test



2. Measurement



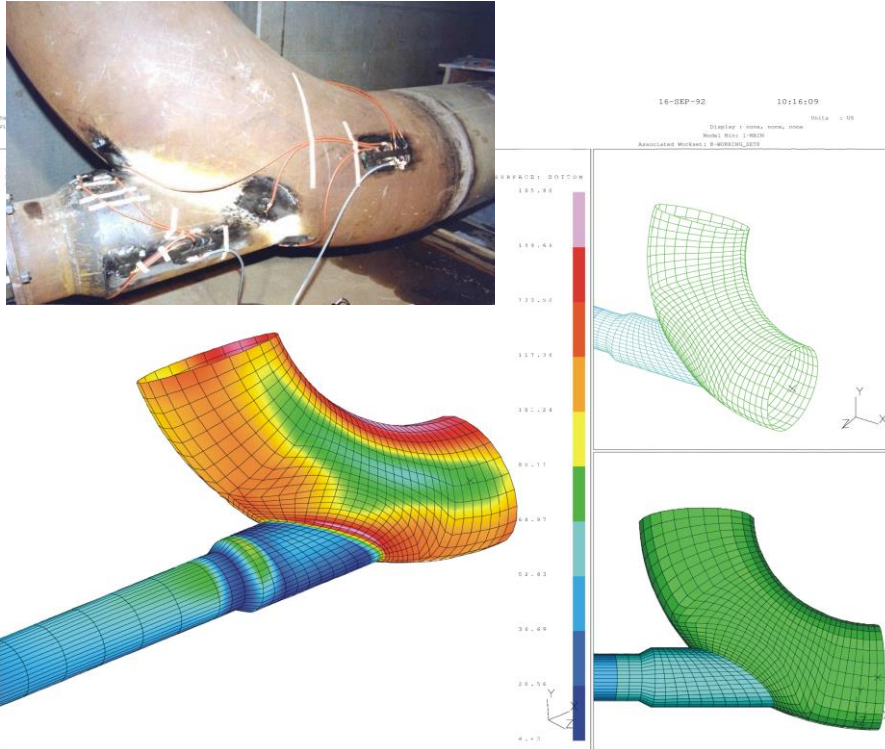
3. Results



4. Assessment- FE-analysis

Integrity

Estimation of Stress/Strain of Component under Operation

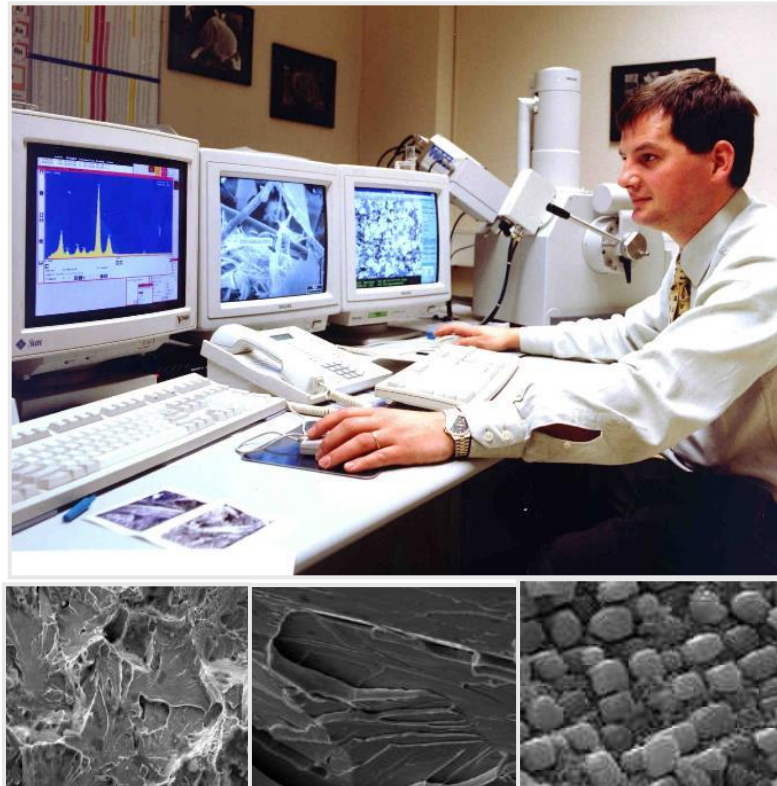


Numerical simulation to calculate stress/strain of components

Measuring stress/strain by strain gauges

Example:

Bend with support under operation

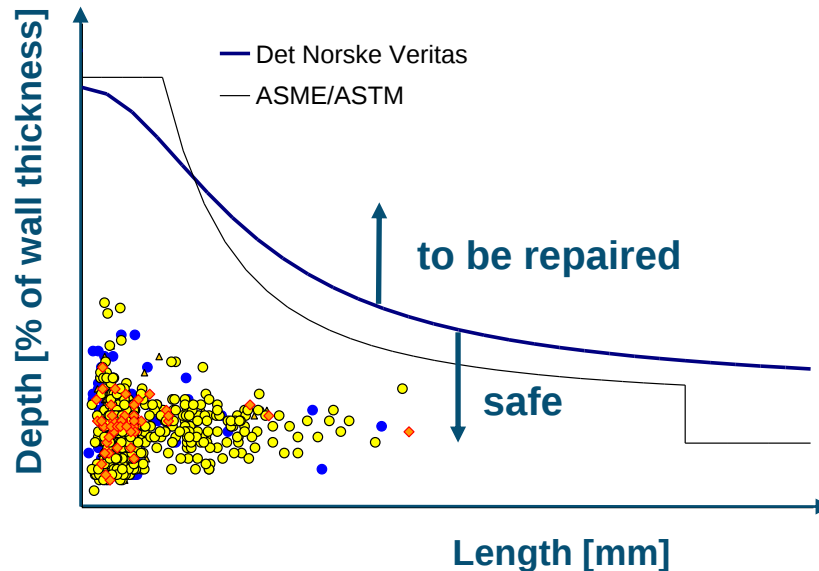


Analysis of failure of important components to find defects with

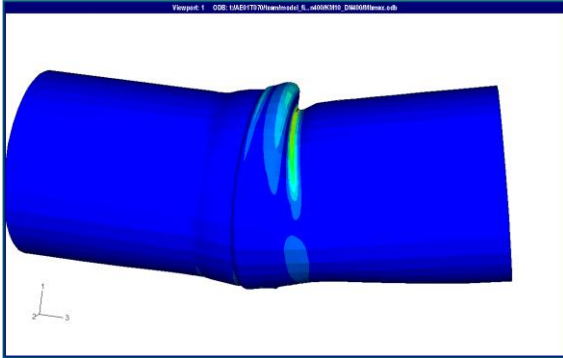
- Scanning electron microscope
(fracture surface)
- EDX
(chemical analysis)

Assessment Methods – Metal Loss with DNV-RP 101

Result of assessing integrity of Pipe with metal loss caused by external corrosion



Simulation by FEM of complex loading



Numerical simulation of complex components to assess the behaviour under special conditions:



Example:

Special old joints with gas welded seam under operating pressure and bending

Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? A) old-fashioned step by step

Step 1

Scanning the surface of the defect

- direct scan
- scan of a cast model
- (negative shape)

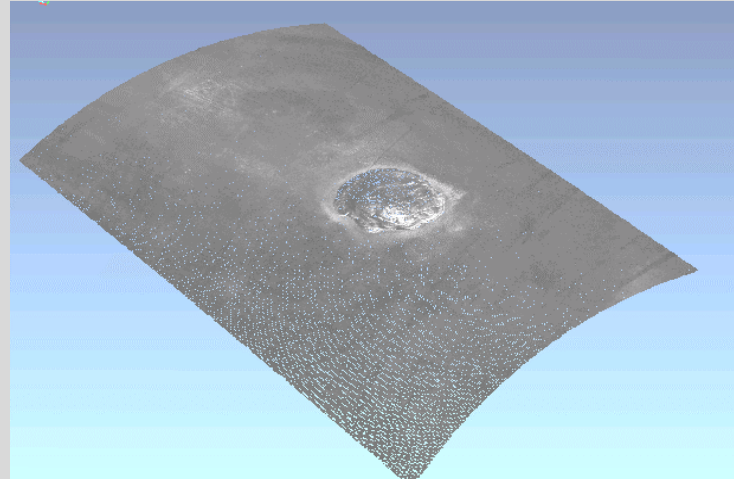
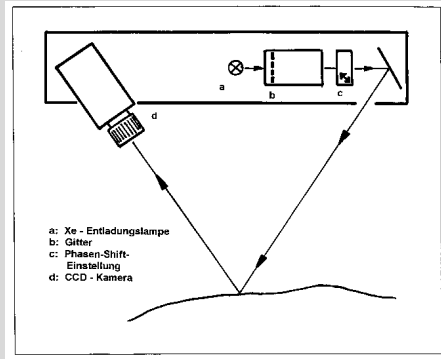
The cast consists of plastics moulding material and can be easily moulded by the NDT-personnel on site



Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? A) old-fashioned step by step

Step 1

The result of the measurement is a 3-dimensional cloud of up to 1,3 Mio. points with the coordinates x, y, z



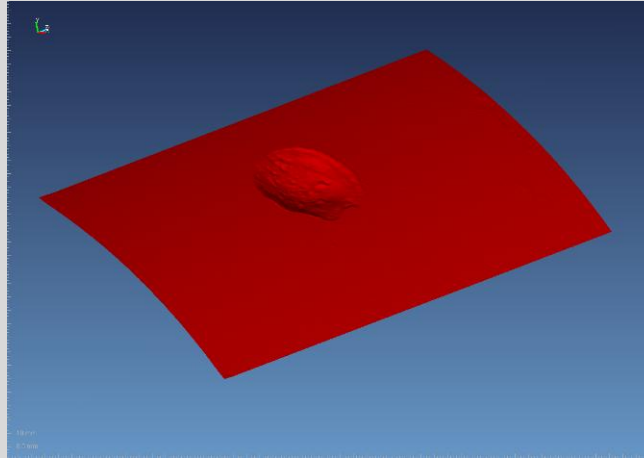
Point cloud generated by optoCAM

Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? A) old-fashioned step by step

Step 2

Computing the Surface

All geometric details of the surface are taken into account for the evaluation

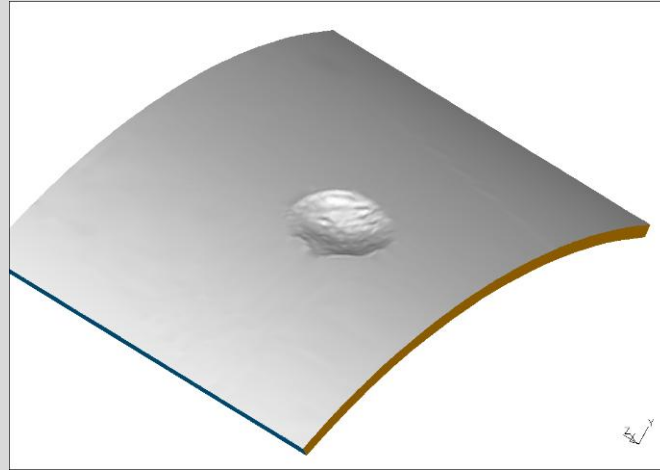


Surface computed and mathematically defined using Freeform Modeller

Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? A) old-fashioned step by step

Step 3

The interface transfers the surface to the CAD system which generates a volume model



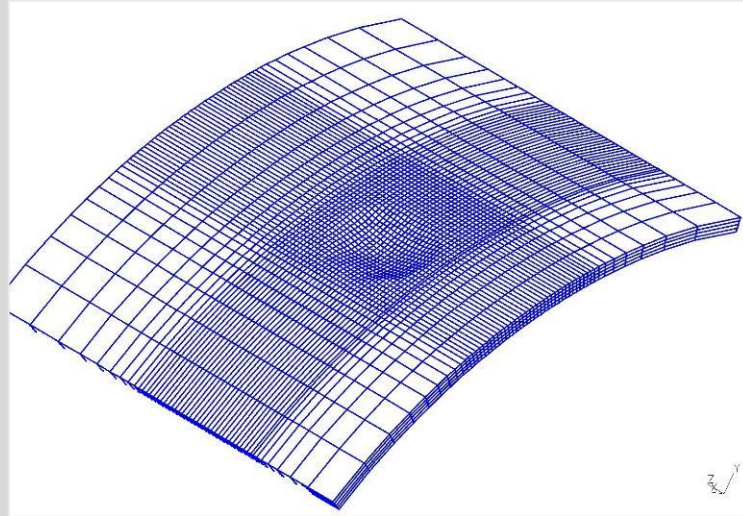
CAD model – Volume model

Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? A) old-fashioned step by step

Step 4

Generating the
Finite-Element-Model

Using the FEM software
I-DEAS & ABAQUS,
a computation model
is developed from
the pipe surface



Finite element computation model

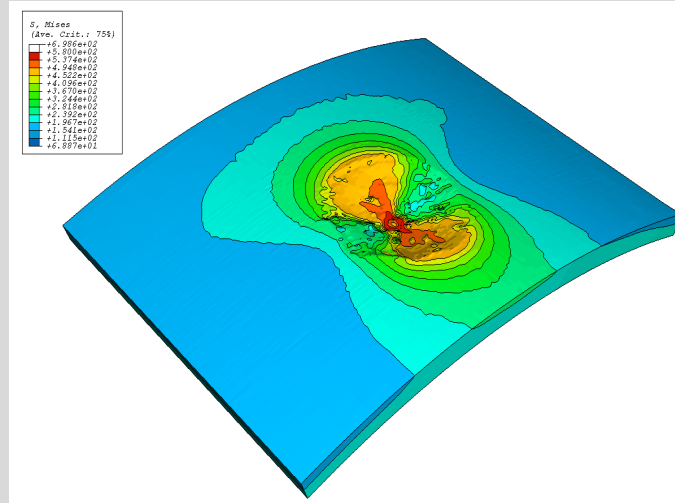
Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? A) old-fashioned step by step

Step 5

Compute Stress & Strains

Result of finite element analysis:

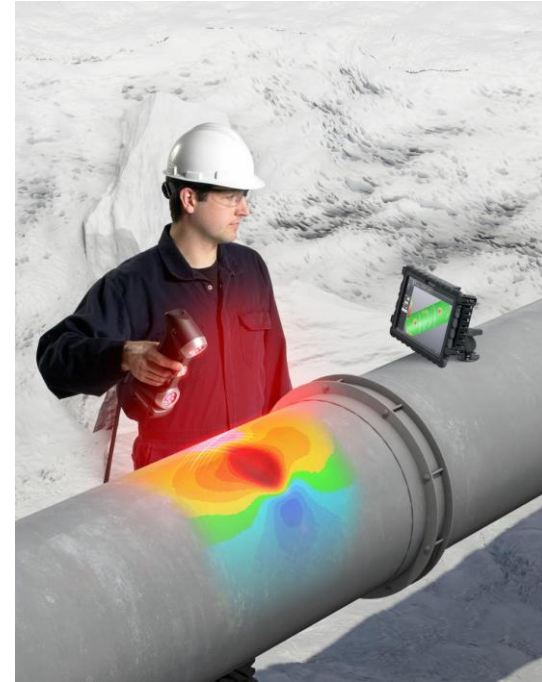
The maximum stresses occurring in the pipe have been determined and can be analysed in terms of reliability

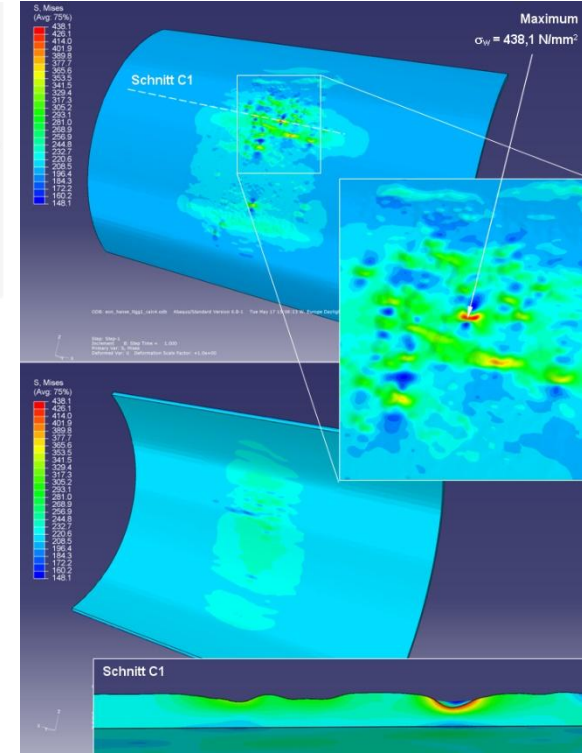
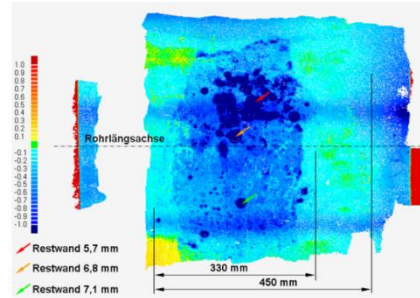
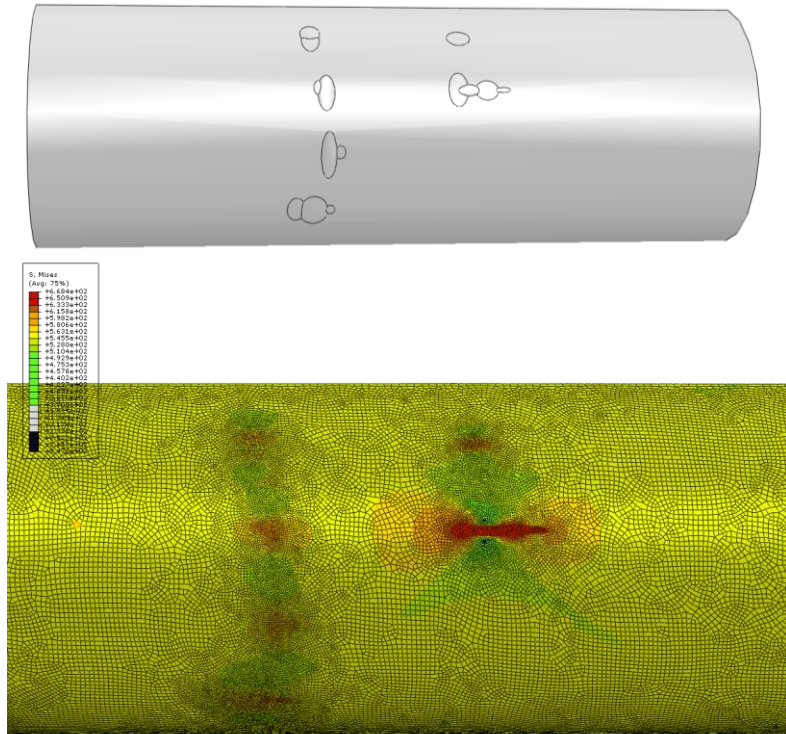


Equivalent stresses according to von Mises

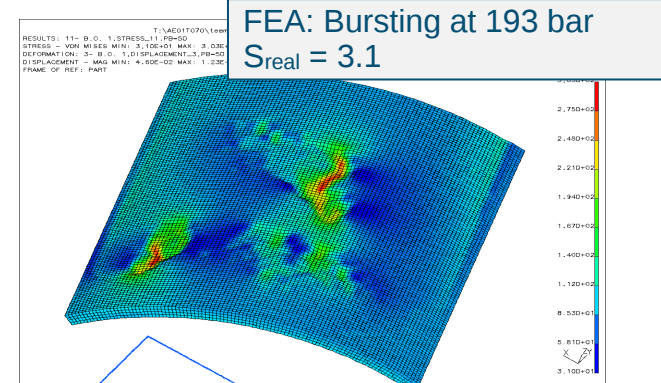
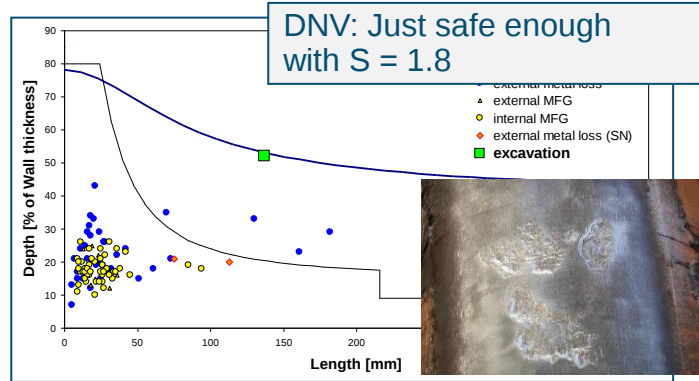
Wie bewertet man, ob eine Rohrwanddicken-Minderung tolerabel ist oder nicht? B) modern: in einem Schritt vor Ort

Today, the whole measurement process is done with modern applications like “HandySCAN” that sends the data to the FEM computer





Wie genau ist FEM im Vergleich zur simplen Defekt-Bewertung mit klassischen Grenzwertkurven nach DNV?



Pig

52%, 137 mm long

Excavation

69%, 150 mm long

**Calculation is conservative
compared to real pipe behaviour**



Smooth Grinding of Corrosion or Gouge

Welding Patches at small Pittings/Leaks caused by Corrosion (only soft steel)



Split Sleeves with Hot Formed Ends for Repairing Large Metal Loss, Dents, Gouges



Knuckle Joints for Protection of Old Joints



Reparaturverfahren (Kompositwerkstoffe) & Temporäre Maßnahmen (bis zur Außerbetriebnahme)

Repair of severe defects

- Split sleeve
- Temporary sleeve
- Replacement
- Non-Metallic Composite Repair Systems (no standard method for OGE)





Temporary repairing methods

- for low pressure



- Plidco for high pressure



- Manibs for coated pipe



Cutting pipeline resulting in decreasing of stress/strain in coal mining areas

Inliner inside the original pipeline

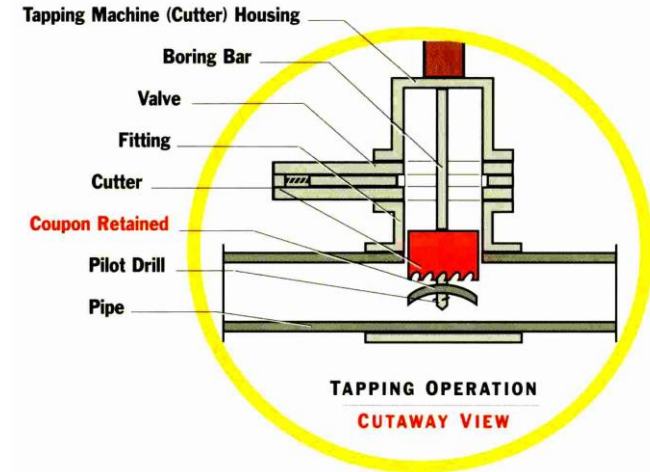
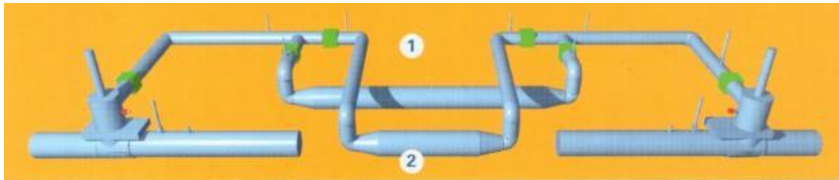


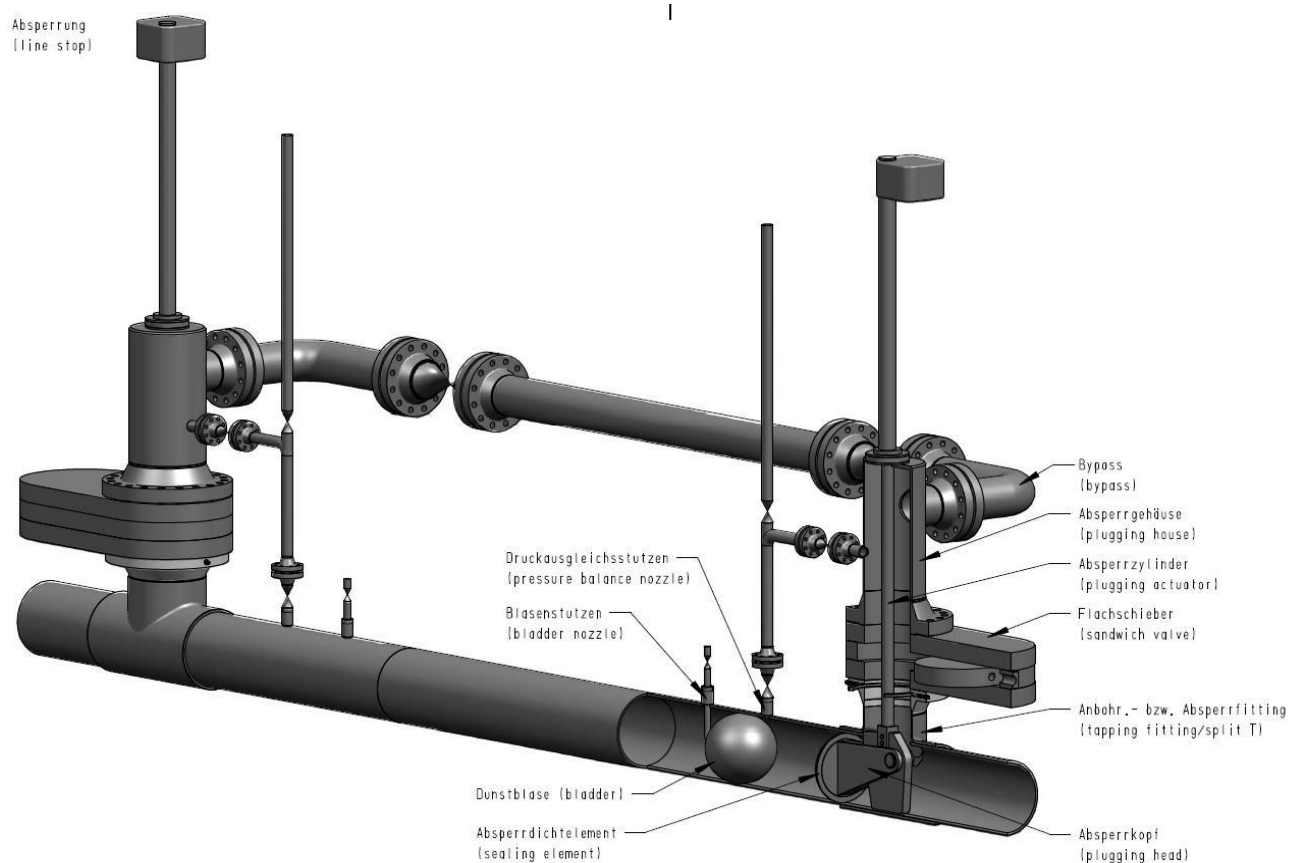
Stopplen (hot tapping, plugging, by-passing), wenn der Rohrkörper im laufenden Betrieb aufgrund eines gravierenden Defekten ausgebaut werden muss

Hot tapping & plugging:

Hot tapping is a method for accessing the inside of an operating pipeline, using either a drill or a circular cutter to remove a coupon from the pipeline.

Plugging it consists of hot tapping the live pipeline, bypassing the product and replacing the defect pipe section with new material





Bilder vom hot tapping einer DN 800 Leitung



Photos of a construction site
(Source: Open Grid Europe, 2020)

Drilling machine and drilled plate (Source: Open Grid Europe, 2020)

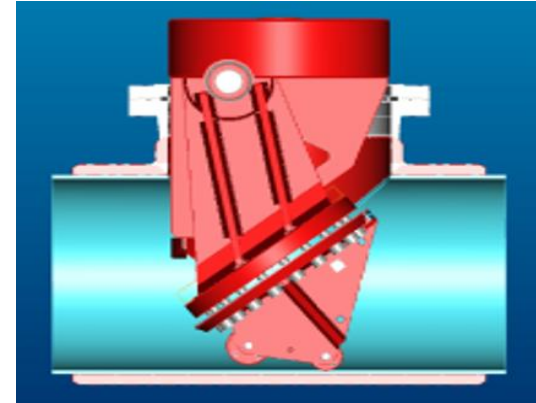
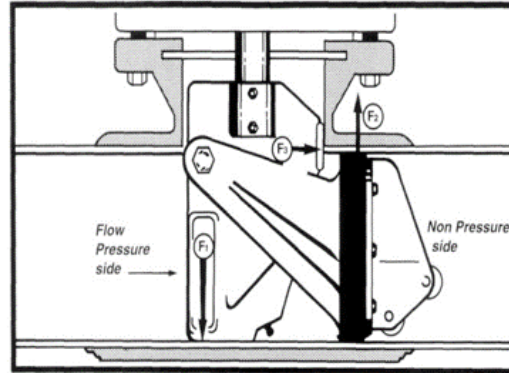


Links: Reales Bohrgeräte. Rechts: Miniaturmodell zur Erklärung des Vorganges

Bilder vom hot tapping einer DN 800 Leitung



STOPPLE PLUGGING HEAD FORCES



Außerbetriebnahme und Dekompression einer Leitung durch erforderliche Reparaturarbeiten

Dazu wird das Gas in andere Rohrabschnitte mittels mobiler Verdichter umgepumpt



Mobile compressor (Source: Open Grid Europe, 2020)

Außerbetriebnahme und Dekompression einer Leitung durch erforderliche Reparaturarbeiten

Restmengen Gas im betroffenen Leitungsabschnitt werden abgefackelt



Mobile flaring unit (Source: Open Grid Europe, 2020)

C PIMS – Pipeline Integrity Management Systems

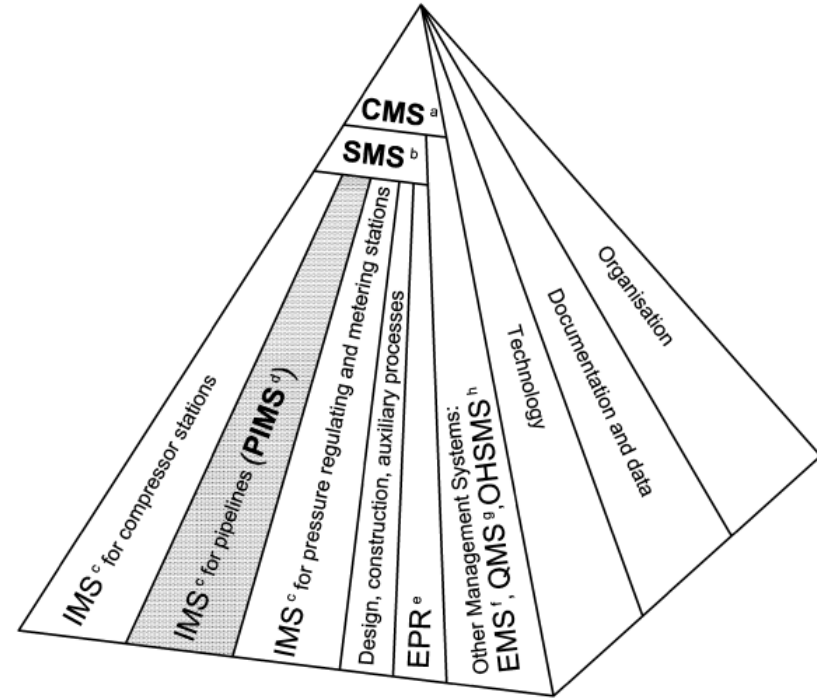
- ➔ PIMS als Teil eines Company Management Systems
- ➔ Warum bedarf es einer systematischen Integritätsbewertung?
- ➔ Die 3 PIMS-Charakteristika
- ➔ Beispiel: PIMS der OPEN GRID EUROPE
- ➔ Wo stammen die Grenz- und Bewertungskriterien her?
- ➔ PIMS-Implementierung als ein Workflow-Tool

Was ist PIMS und wie gliedert es sich in eine Sicherheitsmanagement und ein Company Management System ein?

Pipeline Integrity Management System – a decisive part of a company management system (see DIN EN 16384)

Key

- a – CMS - Company Management System
- b – SMS - Safety Management System (for gas transmission infrastructure)
- c – IMS - Integrity Management System
- d – PIMS - Pipeline Integrity Management System
- e – EPR – Emergency Preparedness and Response Procedure
- f – EMS - Environment Management System
- g – QMS - Quality Management System
- h – OHSMS - Occupational Health and Safety Management System



Warum sollte man ein PIMS einführen, wenn man doch weiß, wie man eine Leitung zu reparieren hat?

Objective:

Technical infrastructure safety and asset preservation

How to reach the objective:

- Systematic, quality-controlled as-built documentation; access to primary data
- Standardised methods and procedures for condition assessments, evaluation criteria and action to be taken
- Quality-assured procedures based on specific deadlines
- High level of information about the technical integrity of the pipeline systems
- Support for decision-makers when it comes to deciding on repair or replacement measures



disbonded coating



coating crack



bent pipe joint with a lip



corrosion damage



dents and gouges



pitting corrosion

Warum sollte man ein PIMS einführen, wenn man doch weiß, wie man eine Leitung zu reparieren hat?

- **PIMS contains methods, criteria and procedures for the integrity assessment of pipelines**
- **PIMS specifies, describes, organises and documents the whole assessment and restauration process**
- **PIMS provides full transparency about ...**

- 1. Technical Integrity**
- 2. Data- and Informational Integrity**
- 3. Organisational Integrity**

PIMS standard:

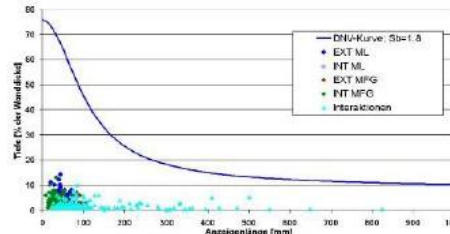
Defines the rules for providing evidence on technical pipeline integrity

Describes the methods for condition assessment incl. acceptance criteria

Describes the type, scope and frequency of assessments

Lists possible remedial actions

Is created and maintained by the PIMS group of experts



Inhaltsverzeichnis

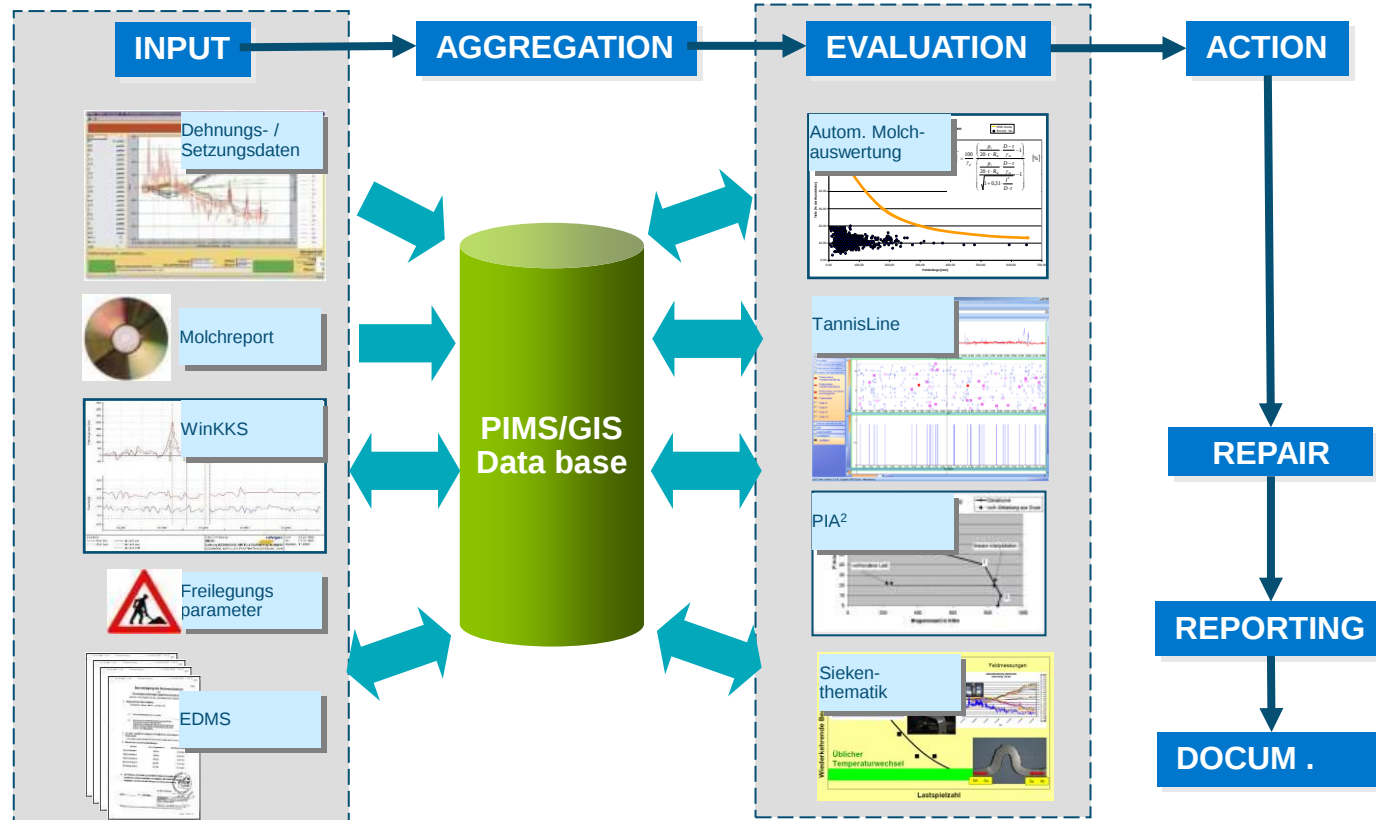
- Fundamentals of Pipeline Integrity: Design, Construction, Additional / External Loads, Operation, Supervision, CP
- Integrity Assessment Fundamentals
- Assessment Process, Follow-Up and Documentation
- Assessment of Piggable Pipelines:
 - Time of Inspection and Assessment, First Assessment, Inspection Interval
 - Mechanical Assessment of Defects
 - **Manufacturing Defects, Construction Defects, Third Party Damage, Bending Strain, Corrosion Related Metal Loss, Dents, Expansions, Ovalities, Seam Weld Anomalies, Cracks, Other Defects**
 - Corrosion Assessment of Defects
 - Integrity Assessment based on the Safety Factor / Load Factor
 - Metal Loss Features in Casing Pipes
 - **AC Corrosion Assessment**
 - **Corrosion Progress and Prognosis of Defect Depth**
- Assessment of Non-Piggable Pipelines

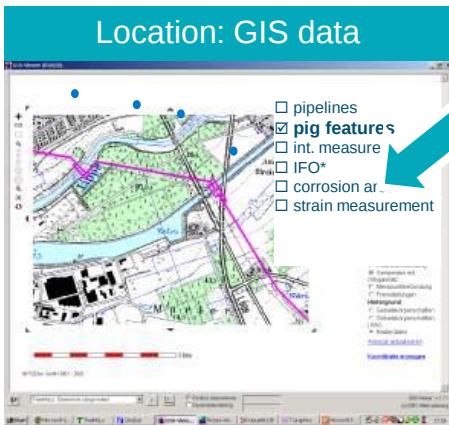
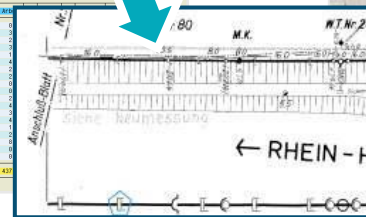


PIMS: Die „harten“ technischen Integritätsbewertungskriterien lassen sich aus dem DVGW-Regelwerk und dem Stand der Technik ableiten

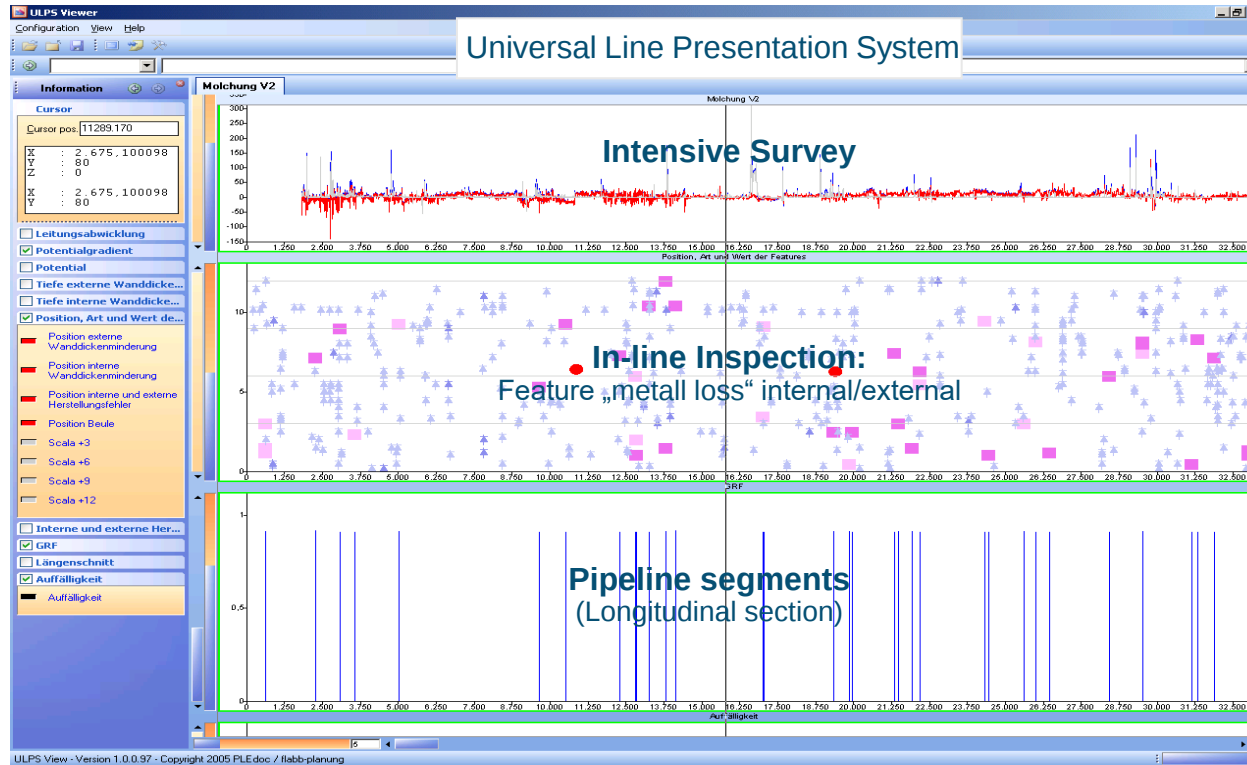
- **Metal Loss Features** due to corrosion or grinding repair of other features (corrosion, manufacturing, cracks, ...) acc. to DNV RP-F101 with a safety factor against failure of $S = 1,8$ min.
- **Weld Defects** acc. to [DVGW GW 350](#) and [DIN EN 12732 App. G2](#)
- **Dents** in base material (not near seam weld) acc. to [DVGW G 473](#)
- **Cracks** without grinding repair acc. to ASTM STD 536 or BS 7910 (cracks repaired by grinding are treated as metal loss features)
- **Expansions** acc. to internal standards
- **Bending Strain** e.g. due to dislocations acc. to [DIN EN 1594 – App. B to F](#), verification against max. strain and denting, limits acc. to [DIN EN 1594: 2000 – App. G](#)
- **Defects near Seam Welds or Combination of Multiple Defects** – Individual Assessment

PIMS wird i.d.R. als Workflow-Tool abgebildet, damit vom Betrieb ermittelte Defekte nicht „verloren gehen“ und eine gerichts-feste Dokument erstellt wird

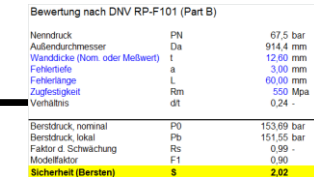


[illegible]

PIMS: Alleine die Daten-Aggregation kann schon bei einer Erstbewertung helfen. Weisen z.B. zwei getrennte Inspektionsverfahren auf ein und denselben Defekt hin?



EN 1594 or DNV RP-F101 Part B



Modelling CAD and FE-Calculations

[illegible]

Assessment, certified experts statement and documentation

D Netz-Dispatching und Störungsmanagement

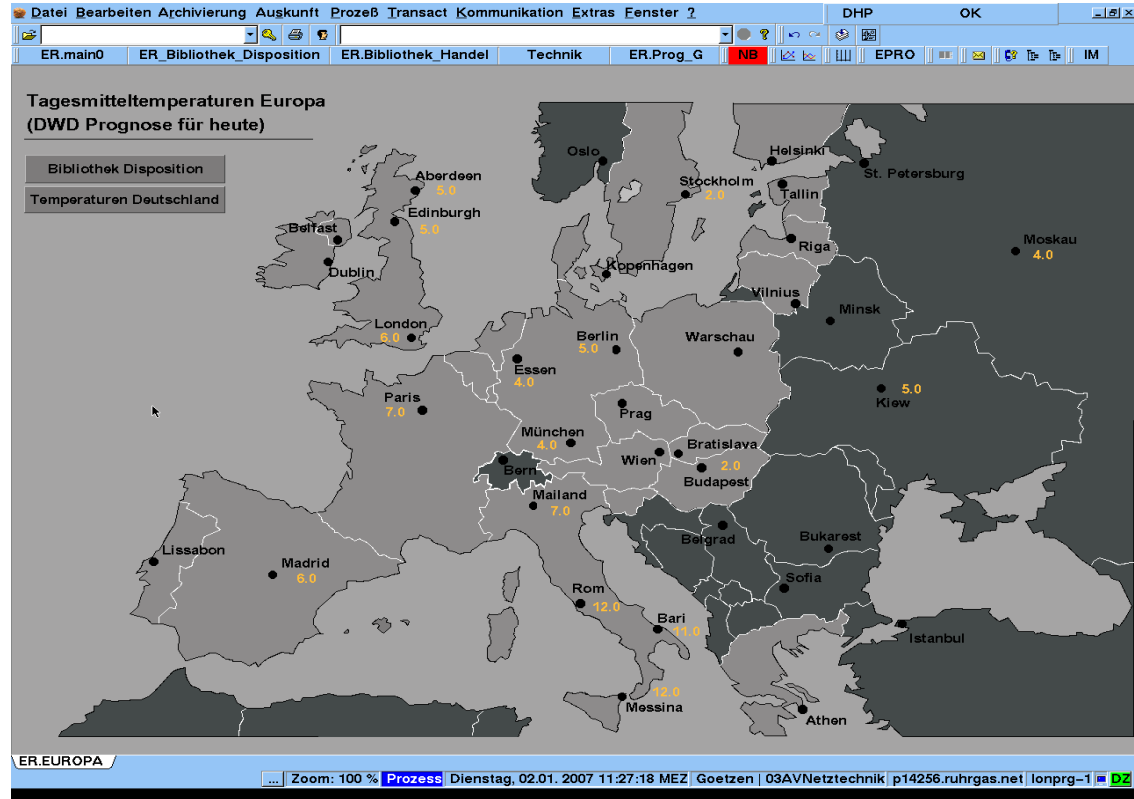
- ➔ SCADA-Systeme
- ➔ Disptaching-Aktionen
- ➔ Störungsmanagement
 - ➔ Kasuistik

Zentrale Gasnetzsteuerung und Störungsannahme



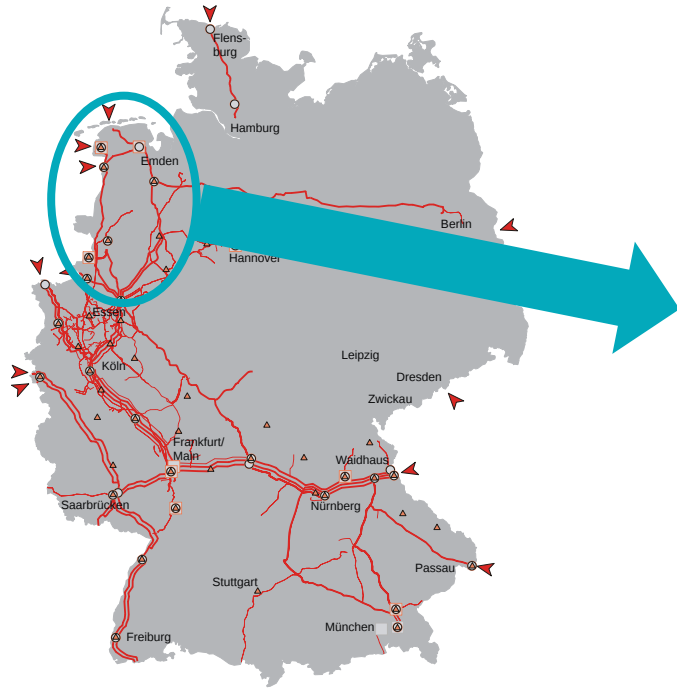
Gasnetzsteuerung: Zentrale Kontrolle des Gasflusses mittels SCADA Systeme

The SCADA system is used to monitor and control the gas grid. Flows, quantities, gas qualities and pressures are visualised. In addition, commands can be sent out to start or stop a compressor, to close valves and to operation other technical equipment.

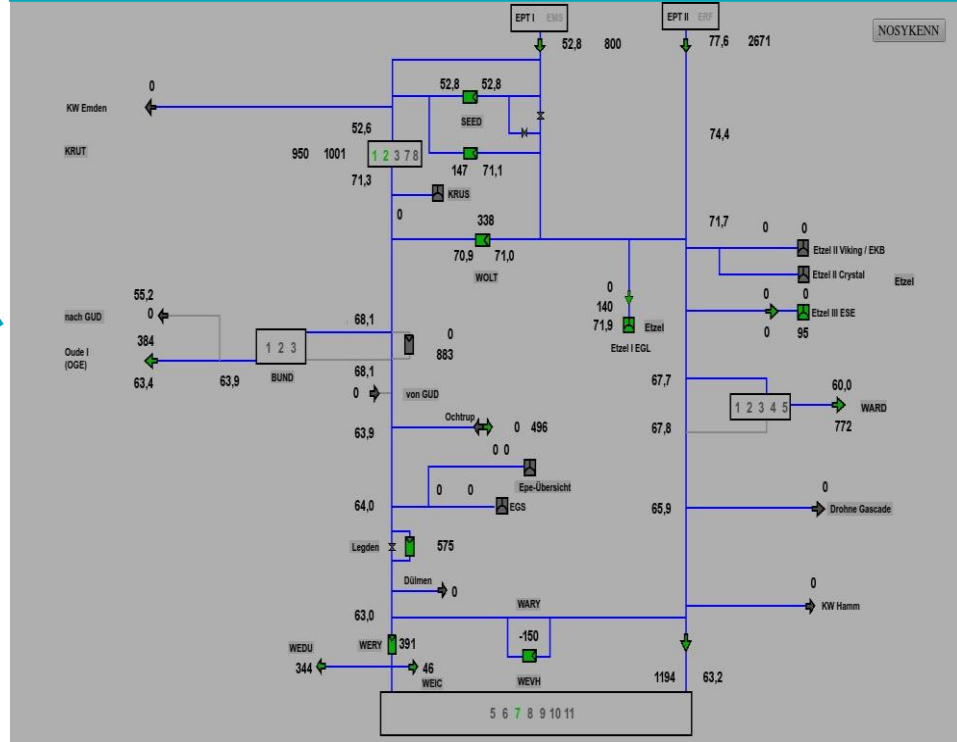


SCADA Systeme übertragen reale topographische Leitungsverläufe in einfach überschaubare Schemata

Topographic view

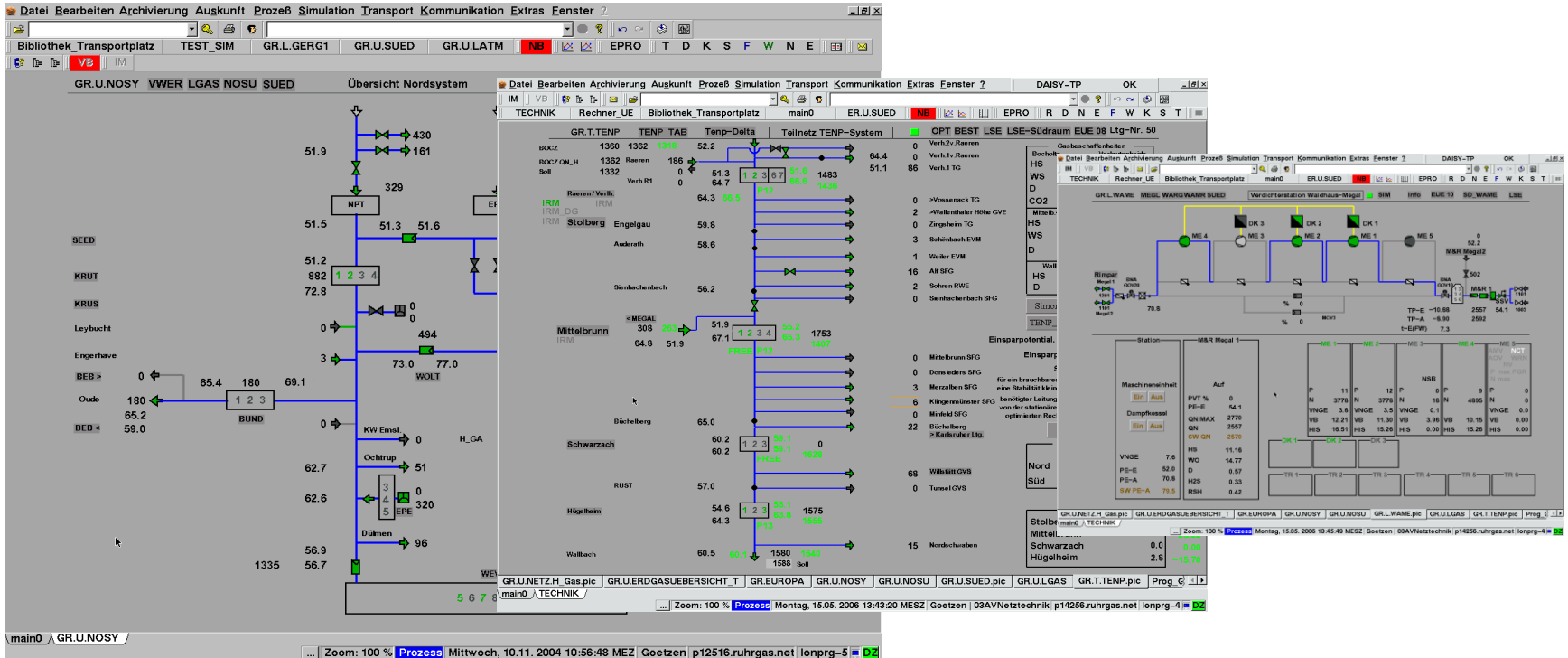


Schematic view



SCADA Systeme: Zoomen, Monitoren und Eingreifen bis auf die Maschinenebene vor Ort

The operator can zoom into a frame with more details and down to each individual engine. It is possible to start and stop compressors and shut down valves.



Was der Disptacher sieht:

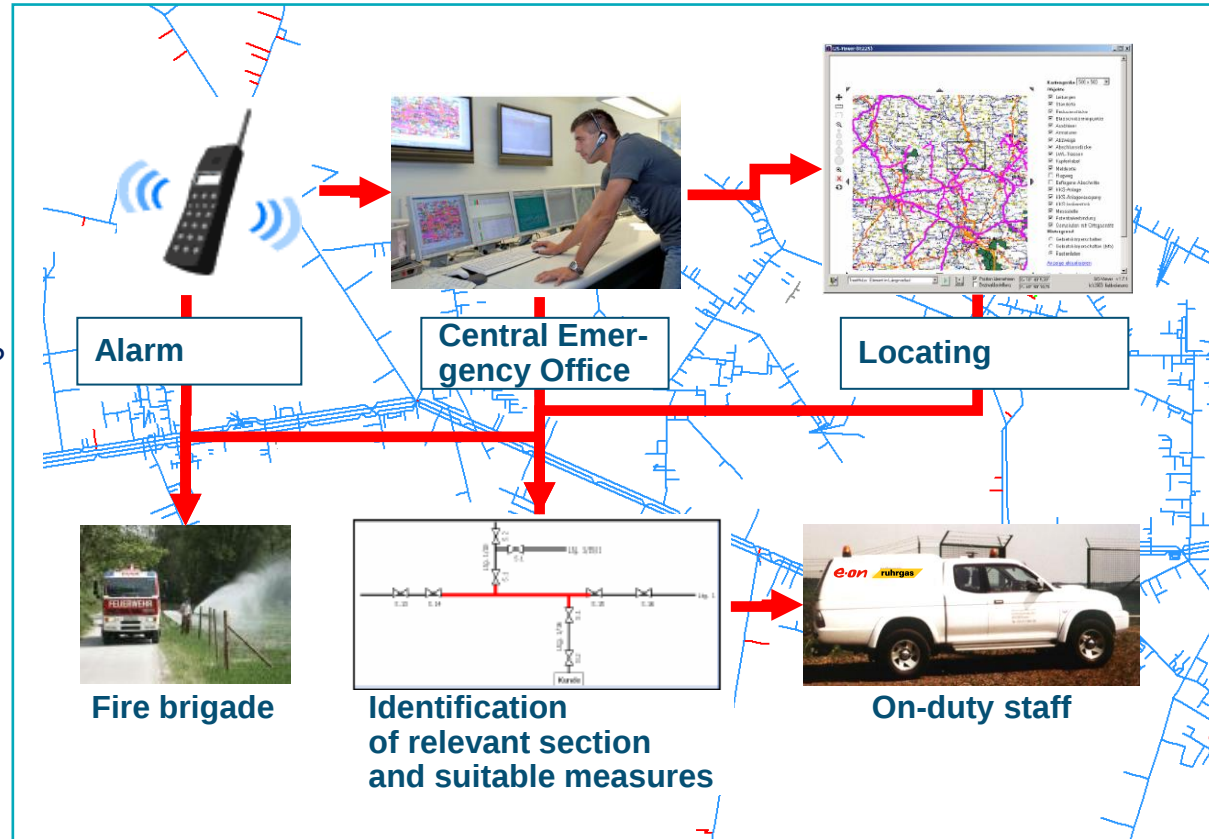
- Maschinenzustände: Ein/Aus
- Betriebspunkte ($\dot{V}$)
- Temperaturen
- Eingangs-/Ausgangsdrücke
- Armaturenzustände
- Fahrwege
- Warn- und Alarmzustände
- Verfügbarkeit- und Wartungszustände
- Abnahmen
- Leitungsatmung
- Allg. Zeitreihen (im 20 sec. Takt)

Was der Disptacher machen kann:

- Maschinen an- und abfahren
- Fahrwege festlegen
- Armaturen schließen
- ...

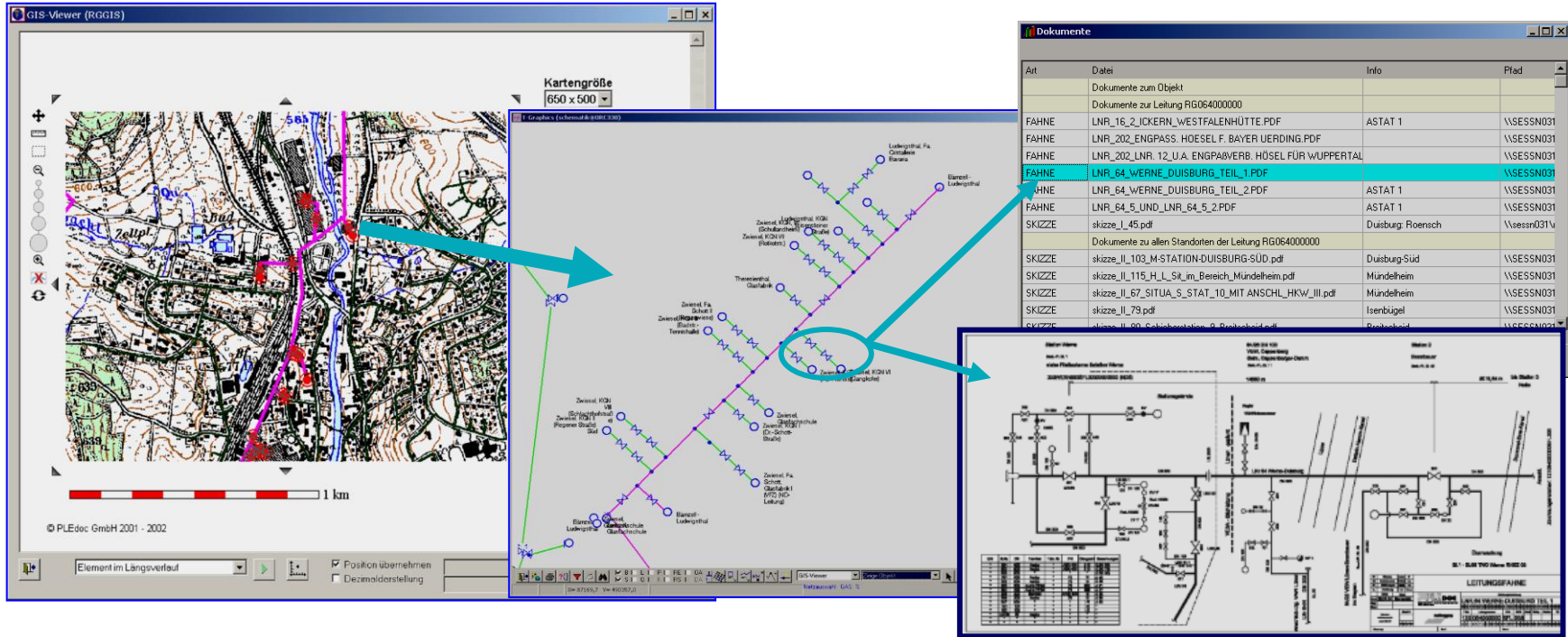
Questions in connection with a reported pipeline failure

- Where exactly is the failure?
- Which pipeline is affected?
- Between which valves is the failure?
- How does the failure affect the supply?
- Is it possible to close the adjacent valves?
- How can the supply be continued?
- Which customers are affected?
- Can the customer stop his supply?
- What is the contractual situation?
- Whom to contact?



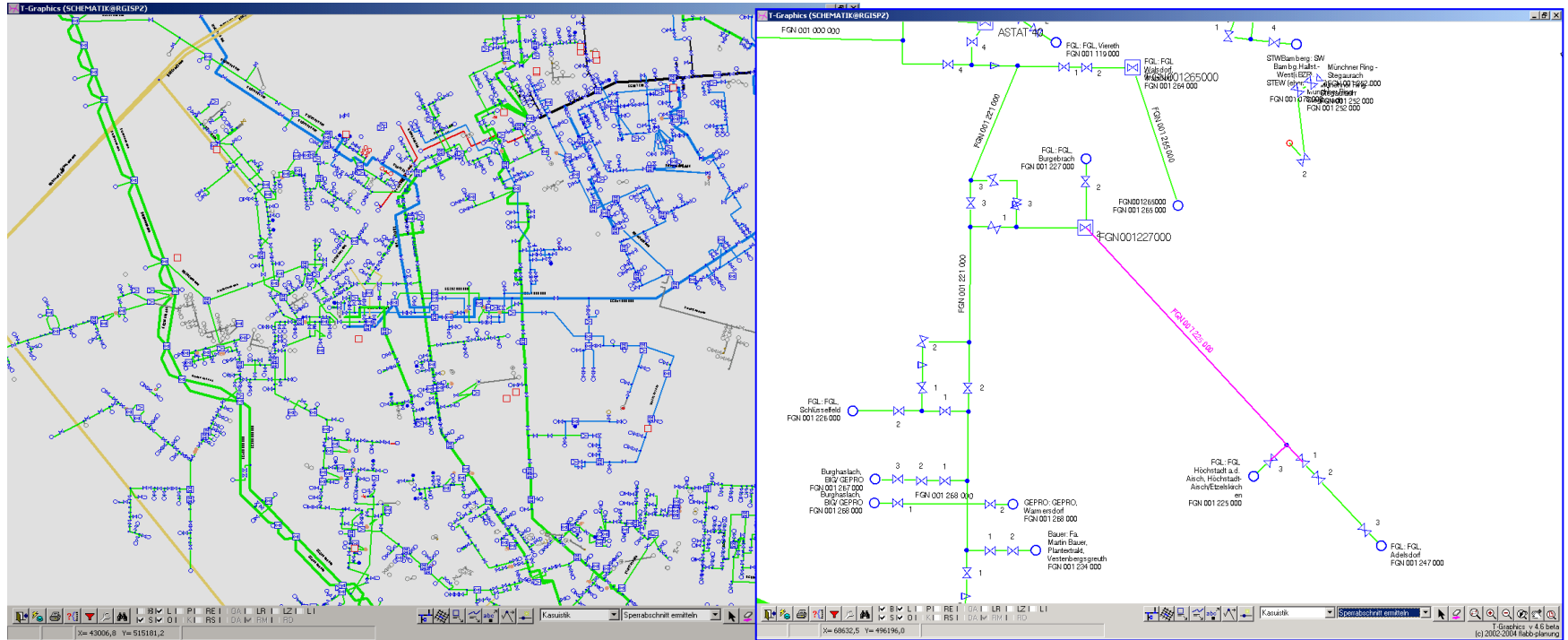
Störungsmanagement: Eine „Kasuistik“ ermöglicht das richtige Handeln in Sekunden, weil alle Informationen digital hinterlegt sind

Rascher Wechsel zwischen verschiedenen Darstellungen

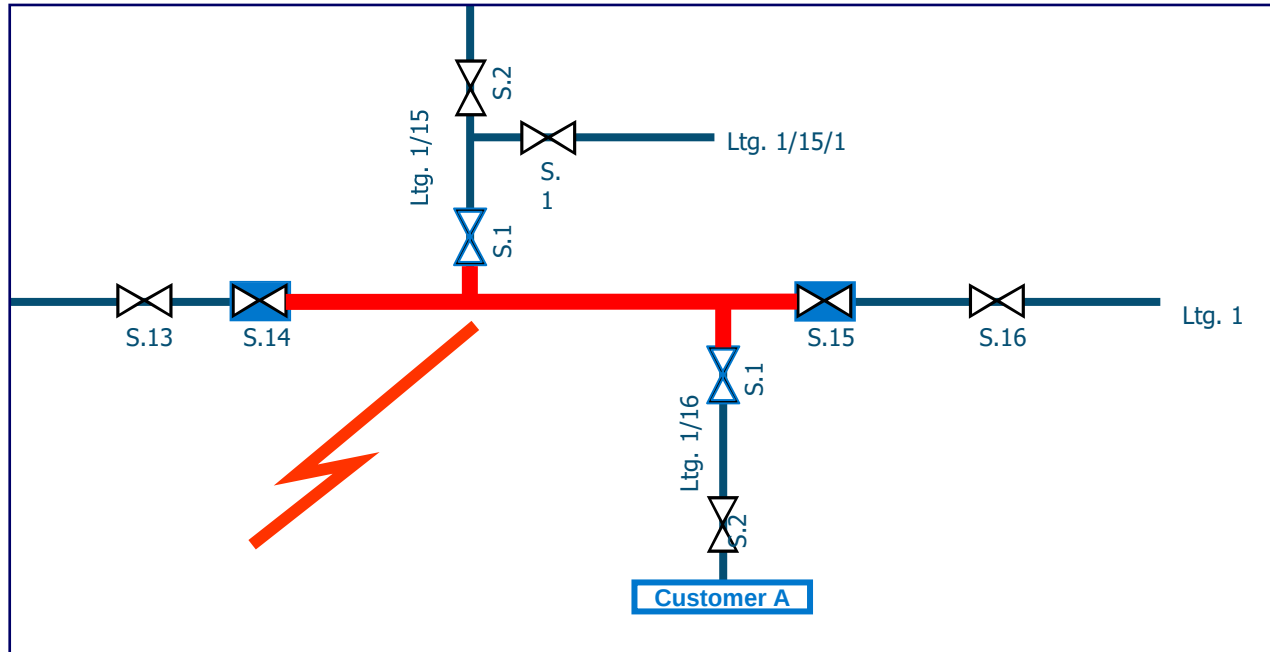


Störungsmanagement: Eine „Kasuistik“ ermöglicht das richtige Handeln in Sekunden, weil alle Informationen digital hinterlegt sind

Rascher Wechsel zwischen verschiedenen Darstellungen



Ermittlung des Sperrabschnittes (begrenzende Armaturen in einem vermaschten Netz)



Störungsmanagement: Eine „Kasuistik“ ermöglicht das richtige Handeln in Sekunden, weil alle Informationen digital hinterlegt sind

Auflistung der Kundenkontaktdaten und der bereits vorher ermittelten Ersatzmaßnahmen

Kasuistik-DB GISAUSKUNFT@RGISPZ - [Sperrabschnitt]

Datei Bearbeiten Fenster Hilfe

Kunden Massnahmen Textbausteine Drittkunden-Erf.

Sperrabschnitt der Leitung(en): FGN001225000, FGN001227000, FGN001247000

Betroffene Schieber / Massnahme

STANDORT	ANLAGEN_NAME	LEITUNG_ID	MASSNAHME
ASTAT 2	FGN001225000	FGN001225000	Normale Aufspeisung
ASTAT 3	FGN001225000	FGN001225000	Keine Aufspeisung möglich
ASTAT 1	FGN001247000	FGN001247000	Keine Aufspeisung möglich
ASTAT 2	FGN001227000	FGN001227000	Aufspeisung über Doppelrohr

Normale Aufspeisung

Betroffene Kundenanschlüsse

ABM	KUNDE	STATION_NAME	LEITUNG_ID
	Fränkische Gaslieferungsgesellschaft	FGL Höchststadt a.d.	FGN001225000

NAME	TEL1	TEL2	FAX
H. Bütterich	0921/75711-316		
Schiebler (GF)	0921/75711-200	0921/75711-0	0921/75711-0
Olfrum, H. Heinz, H. Vogel	0921/600-363	0921/600-352	0921/75711-0
Störungsdienst	0921/580-51	0921/600-380	
Vermittlung	(09 21) - 7 57 11 - 011		

... visualize all results in the schematic grid view or in a map

... valves

... shortest section

... customers

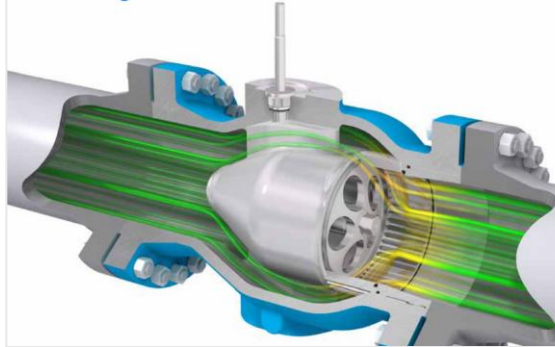
Gesamten Sperrabschnitt highlighten

E Absperrarmaturen

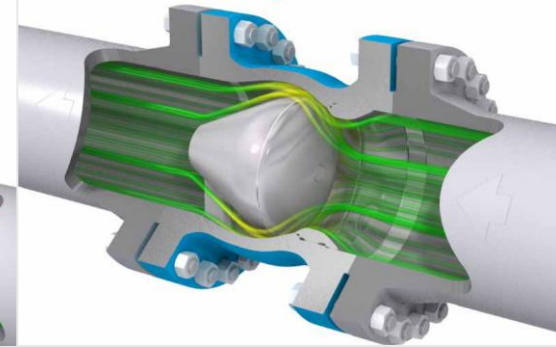
- ➔ Armaturentypen
- ➔ Klassiker: Kugelarmatur und deren Einbau in eine Armaturenstation
- ➔ Armaturen-Spacing und Sicherheitsphilosophien

Verschiedene Ausführungsvarianten

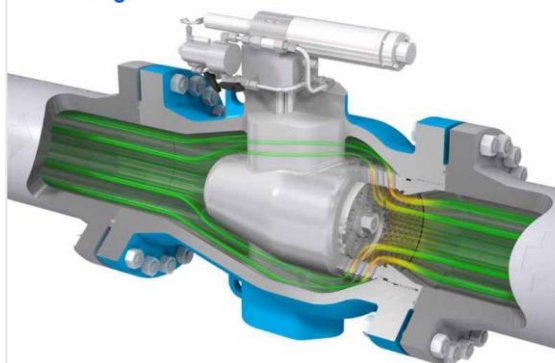
Axiale Regelventil



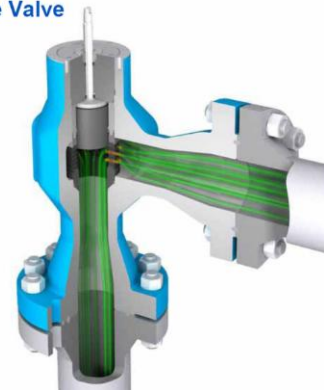
Axiales Düsenrückschlagventil



Axial Surge Relief Valve



Angle Choke Valve



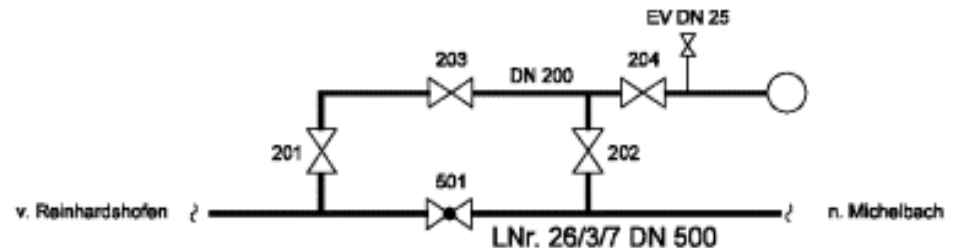
Die klassischen Absperrarmatur und deren Einbauweise in einer komplette Armaturenstation

The high-quality shut-off valves installed in the pipelines are usually ball valves



Thanks to the ball valve shut-off principle repair and welding work on modern transportation pipelines can be performed in a gas-free atmosphere.

Tightness test via block-and-bleed shut-off function in open and closed positions!



Das Spacing von Absperrarmaturen ist von Land zu Land verschieden und hängt mit der Sicherheits-Philosophie zusammen

Valve spacing comparison

Germany		France		Danmark			
$D_{min} = 10 \text{ km}$	$D_{max} = 18 \text{ km}$	$D_{min} = 10 \text{ km}$	$D_{max} = 20 \text{ km}$	$D_{max} = 4 \text{ km}$	$D_{max} = 6.4 \text{ km}$	$D_{max} = 12 \text{ km}$	$D_{max} = 16 \text{ km}$
				Class 4	Class 3	Class 2	Class 1
Swissgas		Norway	Italy		Netherlands		
$D_{max} = 20 \text{ km}$		not explicitly given Distance is determined on the basis of safety studies	$D_{min} = 2 \text{ km}$	$D_{max} = 10. \text{ km}$	Distance is derived from volume of gas enclosed between two valves = 700.000 normal m3.		
sitespecific but remote control			pressure-dependent				
Spain				Canada			
$D_{max} = 5 \text{ km}$	$D_{max} = 10 \text{ km}$	$D_{max} = 20 \text{ km}$	$D_{max} = 30 \text{ km}$	$D_{max} = 8 \text{ km}$	$D_{max} = 13 \text{ km}$	$D_{max} = 25 \text{ km}$	$D_{max} = \text{not req.}$
Class 4	Class 3	Class 2	Class 1	Class 4	Class 3	Class 2	Class 1

F Gasmess- und Regelstationen; Gasmessung

- ➔ Bauweisen von Anlagen
- ➔ Aufgabe einer Gasmess- und Regelstation
- ➔ Gasmessverfahren für den Volumen- oder Massenstrom
 - ➔ Turbinenradgaszähler
 - ➔ Ultraschallzähler
 - ➔ Kolbenzähler
 - ➔ Vortexzähler
 - ➔ Balgenzählen und Corioliszähler
 - ➔ Blende
- ➔ Messbereiche
- ➔ Kalibrierung von Zählern
- ➔ Gasverfolgungs- und Qualitätsrekonstruktionssysteme
- ➔ Was braucht man für eine komplette Gasabrechnung?

Gasmessung: Bilder verschiedener Mess- und Regelstationen (Standard- & Skid-Bauweise)



Gas metering and pressure regulating station (M&R station)

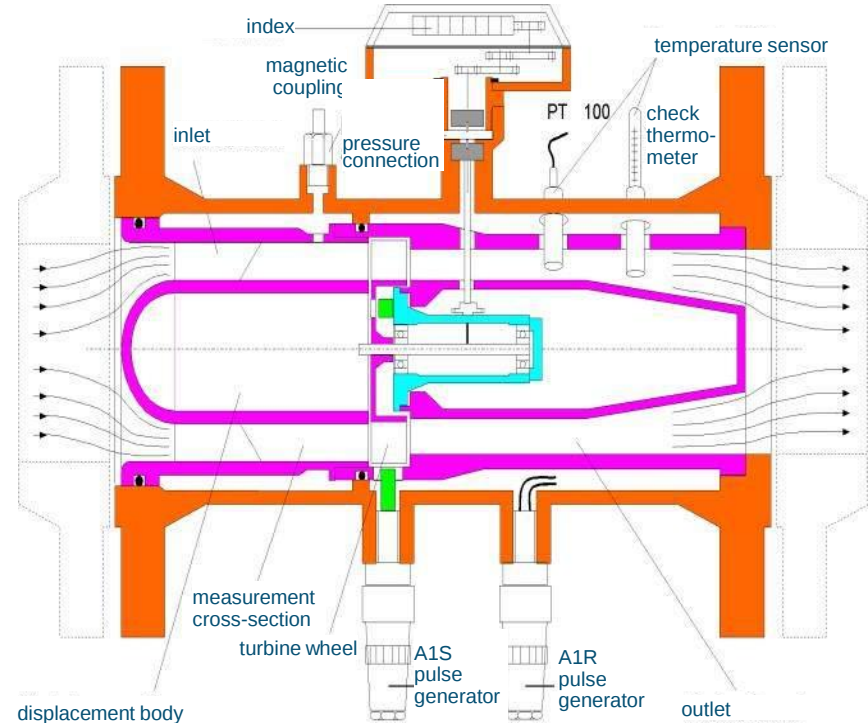
- Provides interface with the customer
- Establishes link between distribution systems operated at different pressures
- Helps to ensure gas supply
- Provides the gas quantities needed at the contractually agreed pressures
- Measures the different variables relevant for gas billing (i.e. volume, flow rate, pressure, temperature, energy content, density, events) at regular intervals



Turbine Meter



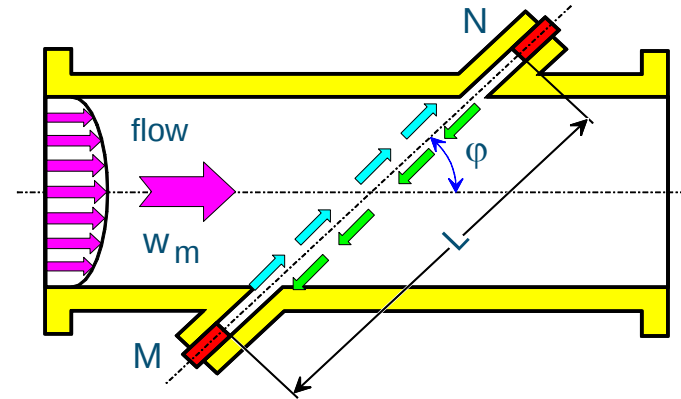
Turbine Meter principle



Ultrasonic Meter



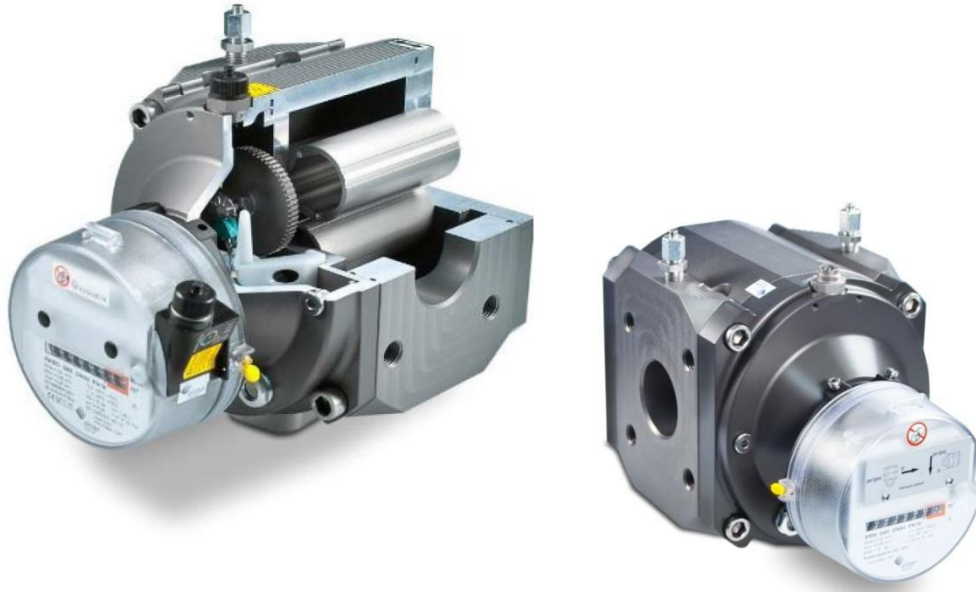
Ultrasonic Meter Principle



$$t_{MN} = \frac{L}{C + w_m \cdot \cos \varphi} \quad t_{NM} = \frac{L}{C - w_m \cdot \cos \varphi}$$

$$w_m = \frac{L}{2 \cdot \cos \varphi} \cdot \left(\frac{1}{t_{MN}} - \frac{1}{t_{NM}} \right)$$

Rotary Piston Meter



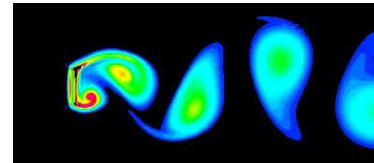
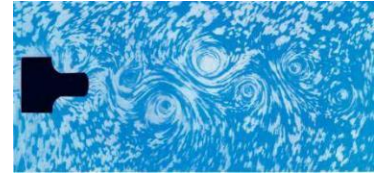
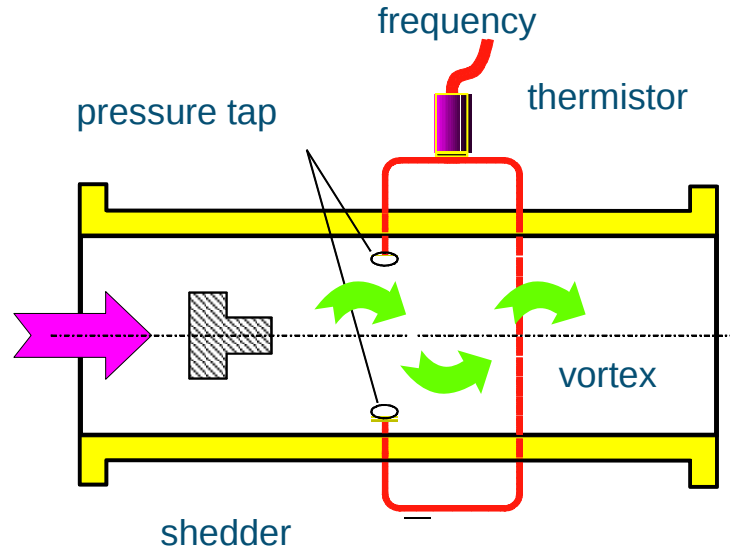
Rotary Piston Meter - Features

- Low maintenance input
- Insensitive to flow disturbances, no upstream straight length required
- Large load range up to 1:200
- Robust design, not sensitive to fouling
- No lag in response for intermittent operation (start/stop)
- Erroneous measurements through resonance effects
- Flow interrupted in the event of malfunction

Vortex Meter



Vortex Meter Principle



Vortex frequency $f \sim$ flow velocity v

Balgengas-Zähler



Coriolis-Zähler

Bei einem Corioliszähler wird ein Rohrbogen(-paar) in Schwingung um die Einlauf-/Auslaufachse versetzt. Bei vorhandenem Massenfluss durch den schwingenden Bogen, führt die Corioliskraft zu einer Verwindung zwischen Einlauf und Auslauf des Bogens. Die Phasenverschiebung zwischen Einlauf- und Auslaufseite ist ein Maß für den Massendurchfluss.



ohne Durchfluss
Quelle: Wikipedia, „Cleotuni“



mit Durchfluss
Quelle: Wikipedia, „Cleotuni“

Vorteile: unabhängig von Strömungsprofil, Gasart, Dichte und Viskosität

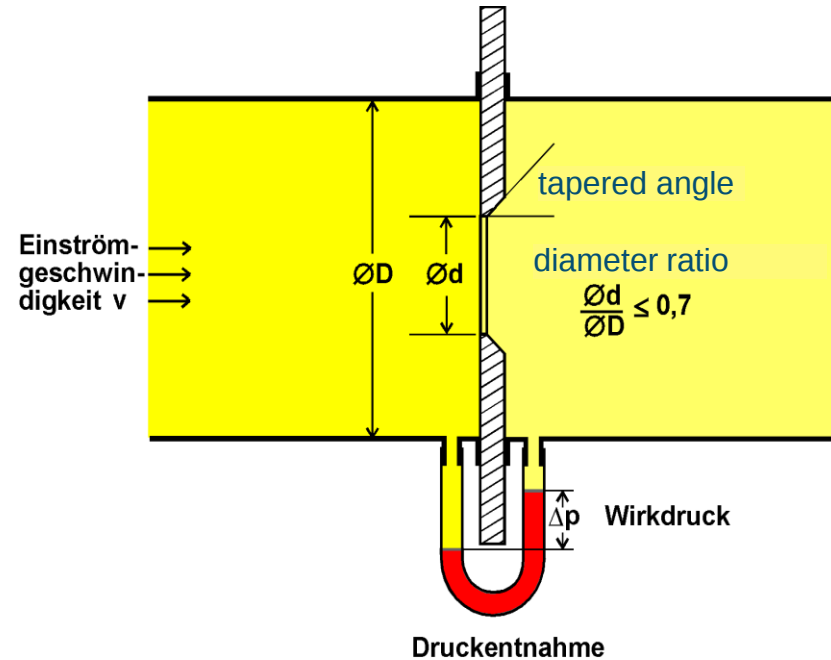
Nachteile: apparativ aufwendig und teuer, Messeffekt bei niedriger Dichte klein => Mindestdruck erforderlich

Eichamtlich uneingeschränkt zugelassen (TR G19) !

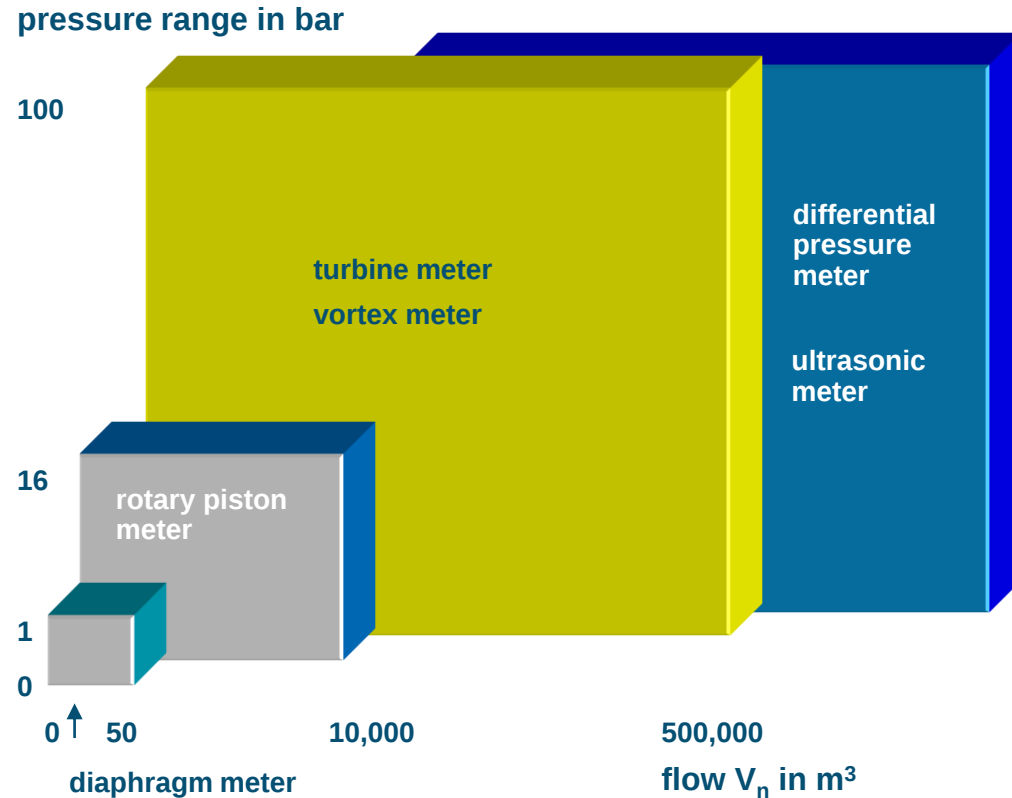
Orifice



Orifice Principle



Volumetric Flow Measurement Areas of Application



Pigsar - The High Pressure Calibration Facility of OGE & PTB (Braunschweig)

The High Pressure Calibration Facility *pigsar*TM ...

- is a worldwide accepted testing institute with high recognition
- is one of the leading high pressure calibration facilities
- is state approved laboratory GH45 and accredited according to ISO 17025
- conducts approx. 1000 calibrations per year for customers from all over the world
- calibrates all kinds of meters such as gas turbine meters, ultrasonic meters, vortex meters, etc.



Metering and modern gas tracking systems

Computer-assisted simulation tools to trace gas quality in pipeline grids

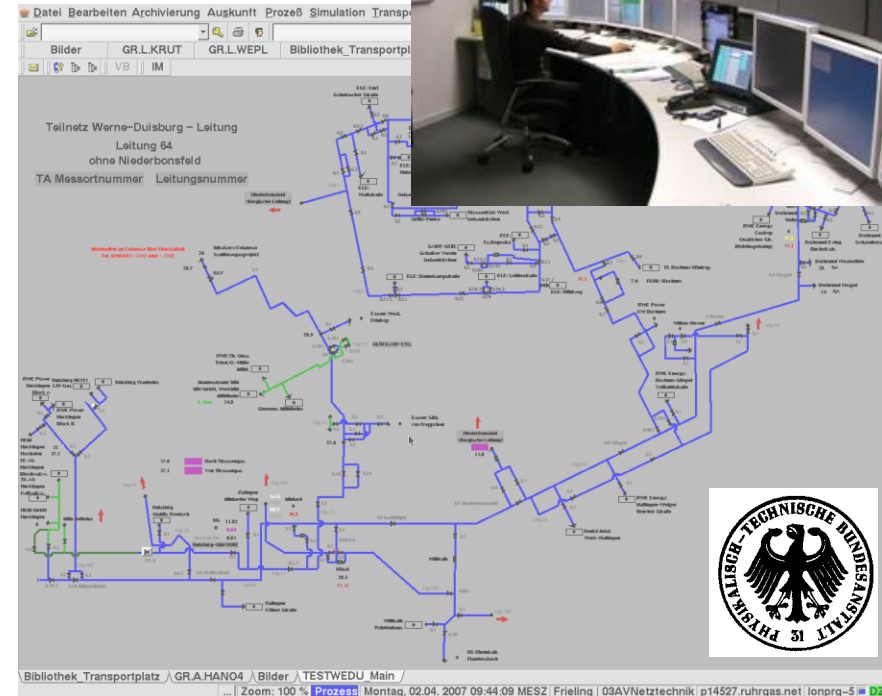
- calorific value H_s
- normal density ρ_n
- gas composition x_i (11 constituents)

Input data for simulation

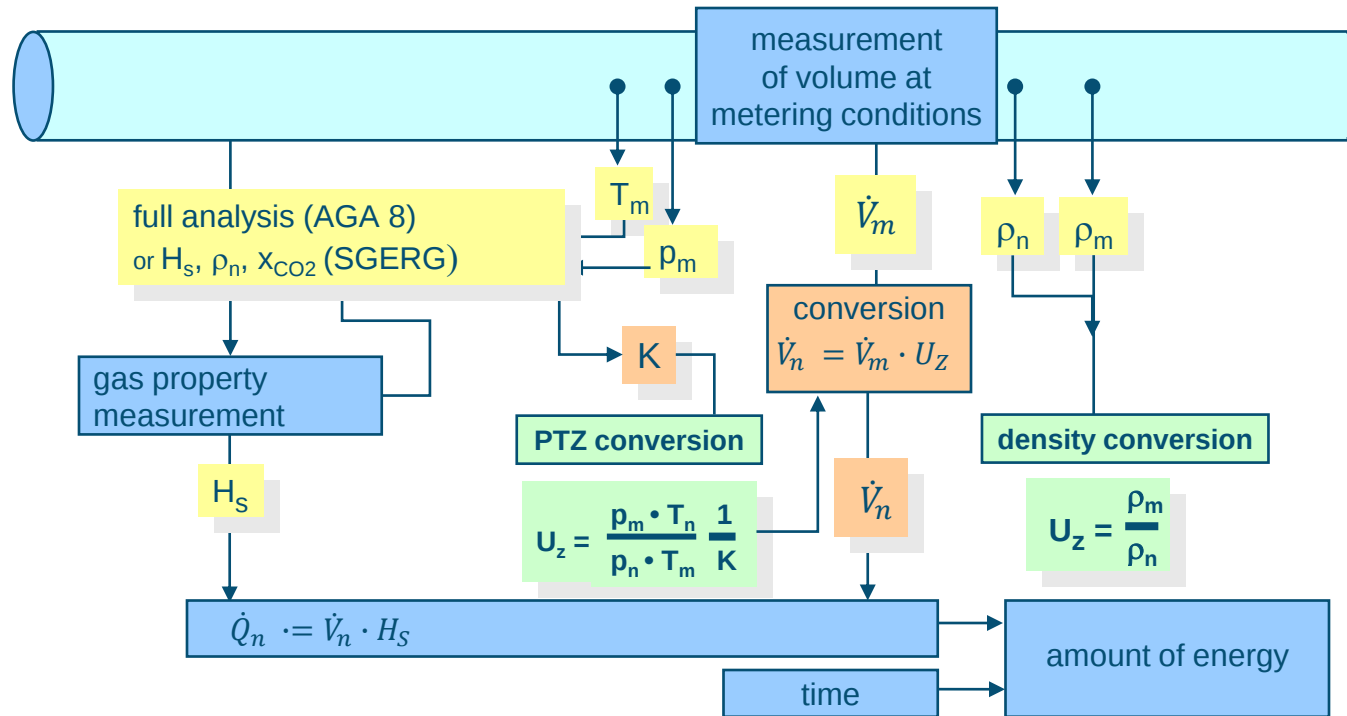
- gas quality data (entry points)
- volume data (entry/exit points)
- grid topology

Result

- in Germany approved technique (PTB) for billing



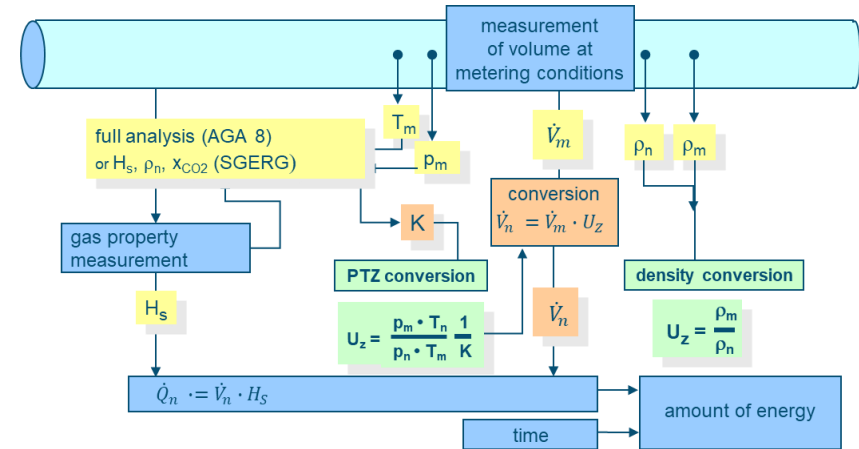
Was braucht man für eine komplette Gasabrechnung?



Neben der **Volumenstrommessung** benötigt man die Messung um Umrechnung (auf Normalbedingungen) von:

- **Druck**
- **Temperatur**

und die Kenntnis der **Gaszusammensetzung**, um den Brennwert zu bestimmen

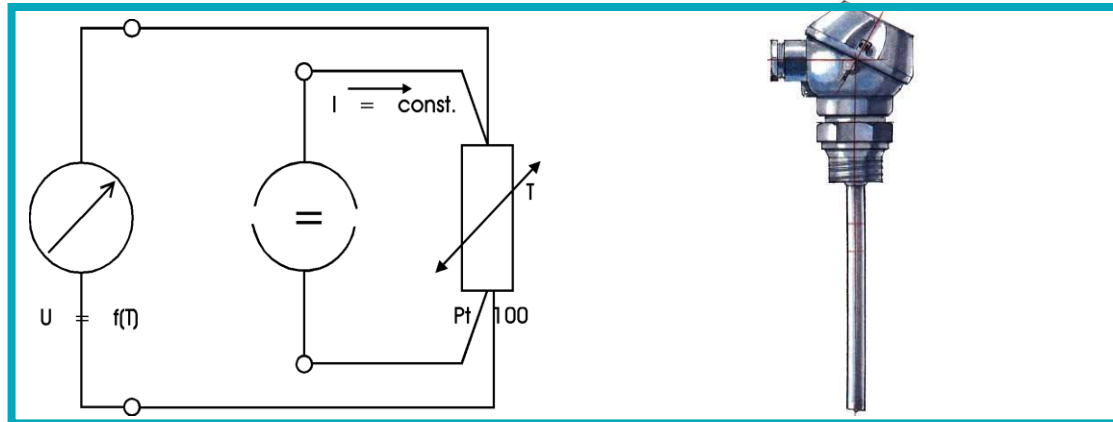


Was braucht man für eine komplette Gasabrechnung?

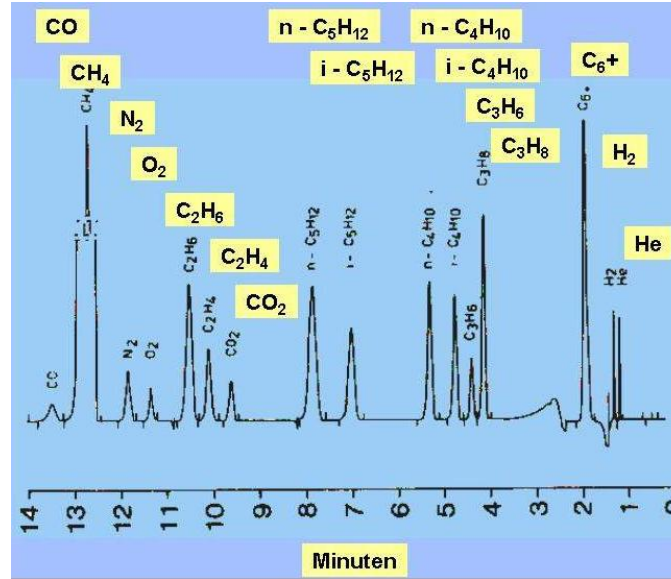
Druckbestimmung über
Kondensatorkapazitätsmessung
eines Kondensators mit einem
Silikonöl-Dielektrikum



Temperaturbestimmung über
einen temperaturabhängigen
Widerstand



Bestimmung der Gaszusammensetzung über sog. Prozess-Chromatographen



**Ende Teil 7 –
Pipelines: Betrieb – Wartung -
Instandhaltung**

**Nächster Teil 8 –
Pipelines: Verdichterstationen –
Gasmessung - Speicherung - OR**