



Benutzerhandbuch

ADAP

Automated Design and Analysis of Pipelines

**Automatisiertes Berechnungsprogramm für
Dimensionierung und Analyse von Rohrleitungen**

ADAP Version D2

Ausgabe für Windows

**Prof. Dr. M. Farshad
Farshad Technical Consulting; Spin –off EMPA
Meisenrain 45
CH-8044 Gockhausen, Schweiz
Tel: 0041-44-822 3294
Fax: 0041-44-822 3294
EMail: info@farshad.ch
www.farshad.ch**

Inhaltsverzeichnis		Seite
Teil I Über das Programm ADAP		
1	Kopierschutz/Urheberrecht	3
2	Fachbegriffe	4
3	Kurze Beschreibung von ADAP	5
4	ADAP Version 2	5
5	Rohr-Typen	5
6	Material-Typen	6
7	Rohrleitungs-Typen	6
8	Einwirkungen	6
9	Berechnungsmöglichkeiten mit ADAP	7
10	Programm-Menü	7
11	Programm-Output	7
12	Programm-Module	9
13	Programm-Pakete	10
14	Wissenschaftliche Basis des Programms	11
15	Qualitätssicherung des Programms	12
16	Schulungen und Beratungen	12
17	Technische Unterstützung	12
Teil II Einsatz des Programms		
18	Software-Kompatibilität und System-Anforderungen	13
19	Installation des Programms	13
20	Für die Berechnungen benötigte Zeit	13
21	Allgemeines Vorgehen beim Einsatz des Programms	13
22	Ablauf der Rohrberechnungen mit ADAP	14
23	Prozedur für die Rohranalyse	17
24	Schritt-für-Schritt Vorgehen bei Rohranalyse	17
	24.1 Eingabe für die Rohranalyse	17
	24.1.1 Rohreigenschaften	17
	24.1.1.1 Rohrtypen	18
	24.1.1.2 Rohrmaterialtyp	19
	24.1.1.3 Eigenschaften des einschichtigen Rohres	19
	24.1.1.4 Eigenschaften des mehrschichtigen Rohres	21
	24.1.1.5 Eigenschaften des strukturierten Rohres	23
	24.1.2 Bodeneigenschaften	24
	24.1.3 Verlegungsdaten	25
	24.1.4 Daten zum Rohrleitungssystem	25
	24.1.5 Einwirkungen	26
	24.1.6 Anforderungen / Sicherheitsfaktoren	27
	24.2 Ergebnisse aus der Rohranalyse	28
	24.2.1 Ergebnisse der Festigkeits- und Deformationsanalyse	28
	24.2.2 Ergebnisse der Stabilitätsanalyse	31
	24.2.3 Längseffekte	32
	24.2.4 Zustandsbeurteilung	33
	24.2.5 Schadenanalyse	34
	24.2.6 Restlebensdauer der Rohrabschnitts	35
25	Prozedur für die Langzeitextrapolation	36
26	Ergebnisse der Langzeitextrapolation	37
27	Zustandsüberwachung der Rohrleitung	40
28	Dimensionierung (Rohrdesign)	41
29	Datenbank	42
30	Literaturverzeichnis	43

Teil I Über DAS Programm ADAP

1. Kopierschutz/Urheberrecht

Dieses Programm wurde urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung dieses Programms bleibt auf den ursprünglichen Käufer und auf ein einziges Rechnersystem beschränkt. Dieses Programm und das beiliegende Manual darf ohne schriftliche Bewilligung des Entwicklers des Programms weder als Ganzes noch in Teilen fotokopiert, reproduziert, übersetzt oder auf elektronische Medien oder Rechner übertragen werden.

Der Käufer ist gesetzlich verpflichtet, den Rechtsschutz einzuhalten. Es besteht kein Recht, das Programm oder die Begleitdokumente zu ändern.

Das Programm ADAP wird stetig weiter entwickelt, modifiziert und überprüft. Erkannte Fehler sollen bitte dem Entwickler gemeldet werden.

Haftung

Der Entwickler des Programms übernimmt keine Garantie, dass ADAP fehlerfrei ist, er übernimmt auch keine Haftung für das Programm und dessen Nutzung. Der Entwickler des Programms übernimmt keine Gewährleistung dafür, dass das Programm für bestimmte Zwecke nutzbar ist. Der Entwickler des Programms übernimmt keine Haftung gegenüber Personen oder Organisationen für direkte oder indirekte Schäden, die durch die Anwendung dieses Programms oder die Begleitdokumente verursacht werden könnten.

2 Fachbegriffe

Beulen:	Stabilitätsgrenze; Verlust der Steifigkeit in Querrichtung
Beschleunigungskoeffizient:	Prozent des Gewichts als Erdbebenkraft
Bieungsradius:	Radius der Rohr-Biegung beim Einzug oder Verlegung
Druckleitung:	Rohrleitung unter Innendruck
Druckstoss :	Dynamische Innendruck infolge schneller Innendruckänderungen
Einschichtiges Rohr:	Vollwandrohr; isotropisch (z.B. thermoplastisches Rohr wie PE, PP oder Verbundrohr (z.B. Glass Faserverstärktes Rohr, Laminatrohr)
Elastizitätsmodul:	Kurzzeit Zugmodul
Grenzwerte:	Tauglichkeitsgrenze (z.B. Festigkeitsgrenze) und Gebrauchstauglichkeitsgrenze (z.B. Deformationsgrenze)
Innendruckfestigkeit:	Festigkeit unter Innendruckbeanspruchung (Kurzzeit und Langzeit)
Knicken:	Stabilitätsgrenze; Verlust der Steifigkeit in Längsrichtung
Kriechmodul:	Zugmodul nach x Jahre unter Last
Kurzzeit-Werte:	Eigenschaften, Verhalten, Werte, unmittelbar bei Belastung
Langzeit-Werte:	Verhalten, Werte, Zahlen nach Langzeit (z.B. 50 Jahre)
Lebensdauer	verbleibende Jahre während deren die Anforderungen gewährleistet sind
Mehrschichtiges Rohr:	Rohrwand mit zwei oder mehrerer Schichten
Partielle Setzung:	Durchbiegung des Rohrabschnittes infolge relative Bodensetzung
Restlebensdauer:	Anzahl Jahre in dem die definierte Sicherheitsfaktoren erreicht wird
Ringsteifigkeit:	Verhältnis der diagonalen Kraft und der diagonalen Verformung
Rohrserie:	<i>Verhältnis des mittleren Radius und der nominalen Wanddicke</i>
SDR:	Standard Diameter Ratio; Verhältnis des Aussendurchmessers und der nominalen Wanddicke
Sicherheitsfaktor:	<i>Verhältnis zwischen den Verhaltenswerten und die definierte</i>
Standzeit:	Zeit bis zum Innendruckversagen
Strukturierte Rohr:	Profilierte Rohrwand aus ein oder mehreren Materialien
Verbundrohr:	Vollwandrohr mit Laminataufbau
Verlegte Rohre:	Eingebettetes Rohr in Erde
Zeitstandkurve:	Verlauf der Innendruckfestigkeit zur Funktion der Zeit (beide in logarithmischer Skala)

3 Kurze Beschreibung von ADAP

Das Programm ADAP (Automated Design and Analysis of Pipes) ist ein Rechenprogramm, das zur ingenieurmässigen Analyse, zur Auslegungs- und Zustandsbeurteilung, sowie zur Lebensdaueranalyse und Langzeitextrapolation von Rohrleitungen entwickelt worden ist.

Das rechnerische Verfahren des Programms ADAP basieren auf analytisch/parametrischer Modellierung. Im Vergleich mit der numerischen Finiten-Element-Methode ist ADAP ein pseudo-analytisches Rechenprogramm, mit dem Parameterstudien gemacht werden können.

Das Programm ADAP nimmt Bezug auf internationale Normen und Richtlinien. In diesem Sinn ist die Software ADAP ein „normentaugliches“ Rechenprogramm.

Das Programm bezieht sich nicht nur auf die Rohrquerschnitte sondern auch auf die Längseffekte und Systemverhalten. Unter diesen Aspekten fallen Berechnungen für die Längskräfte und Längsbiegung, Längsknicken, Druckstösse, Punktlasten und andere Aspekte des Verhaltens des ganzen Rohrsystems.

4 ADAP Version 2

Die Version ADAP 2, 2004 ist eine neue Version des Rohrberechnungs-Programms, das im Vergleich mit der früheren Version mehrere Änderungen, Verbesserungen, und Ergänzungen beinhaltet. Die neue Version hat folgende besondere Eigenschaften:

Das ergänzende Anwendungsgebiet des Programms beinhaltet:

- (1) Spannungsanalyse
- (2) Dehnungsanalyse
- (3) Verformungsanalyse
- (4) Stabilitätsanalyse (Beulen, Knicken)
- (5) Zustandsanalyse
- (6) Schadenanalyse
- (7) Lebensdaueranalyse
- (8) Dimensionierung und Auslegung
- (9) Zustandsüberwachung
- (10) Langzeitextrapolation mit innovativen Regressionsanalyse und Extrapolationsverfahren

Die Oberfläche der neuen Version wurde modifiziert und noch benutzerfreundlicher gemacht.

Die Datenbank von ADAP Version 2 beinhaltet zahlreiche Informationen über Materialien und Materialkennwerte.

ADAP Version 2 ist in zwei Sprachen, Deutsch und Englisch, erhältlich. Die deutsche Version wird als ADAP D2, die englische Version als ADAP E2 bezeichnet.

5 Rohr-Typen

Folgende Rohrtypen und Rohrstück-Typen können durch das Programm behandelt werden:

- Einschichtige Rohre und Rohrstücke
- Vollwandrohre und Rohrstücke
- Verbundrohre und Rohrstücke
- Mehrschichtige Rohre und Rohrstücke
- Sandwichrohre und Rohrstücke

6 Material-Typen

Folgende Materialgruppe können durch das Programm behandelt werden:

- Kunststoffe (z.B. PE, PP, PB, PEX, PVC-U)
- Verbundwerkstoffe; verstärkte Kunststoffe (z.B. Glasfaserverstärkte Kunststoffe, GFK)
- Mehrschichtiger Materialaufbau aus Kunststoffe sowie Metall-Kunststoffverbund
- Sandwich-Materialien aus Kunststoffe sowie Metall-Kunststoffverbund
- Profilierte strukturierte Querschnittaufbau aus Kunststoffe und andere Materialien
- Metallische Werkstoffe (z.B. Duktilguss)
- Faserverbund-Materialien (z.B. Faserzement)
- Beton und Steinzeug

7 Rohrleitungs-Typen

Die Berechnungen können für die folgende Typen der Rohrleitungen durchgeführt werden:

- Verlegte Rohrleitungen
- Freigelegte Rohre
- Druckwasserleitungen
- Drucklose Leitungen
- Abwasserleitungen
- Gasleitungen
- Schutzrohre
- Rohr-Liner
- Rohre auf Stützen
- Einbetonierte Rohre
- Wärmeleitungen

8 Einwirkungen

In das Programm ADAP sind verschiedenen Einzellasteinwirkungen sowie deren Kombinationen behandelt. Einiger Einwirkungen sind als INPUT einzugeben und der Rest wird durch das Programm selbst berechnet. Folgende Einwirkungen und deren Kombinationen können berücksichtigt werden:

- Innendruck
- Temperaturdifferenz
- Rohrsenkung
- Rohrdurchbiegung
- Partielle Setzung
- Punktlast
- Oberflächenlast
- Druckstöße
- Erddruck
- Verkehrslast
- Aussenwasserdruck
- Eigengewicht
- Wasserfüllung
- Auftriebskraft
- Eingefrorene Spannungen
- Vordehnungen
- Vordeformationen
- Dynamische Kräfte
- Erdbeben

9 Berechnungsmöglichkeiten mit ADAP

Mit ADAP können umfangreiche statische Berechnungen von Rohrleitungen durchgeführt werden. Die statische Berechnung und Bemessung von Rohren unter verschiedenen Lastfällen in Kurzzeit- und Langzeit beinhalten:

- Spannungsanalyse, Dehnungsanalyse und Deformationsanalyse einschichtiger, mehrschichtiger, und strukturierte Rohre
- Stabilitätsanalyse (Knicken und Beulen) einschichtiger, mehrschichtiger, und strukturierte Rohre
- Berechnung von Längskräften und Längsbiegungen
- Bestimmung von Sicherheitsfaktoren Zustandsbeurteilung bestehender Rohrleitungen
- Zustandsbeurteilung bestehender Rohrleitung
- Schadensanalyse
- Lebensdaueranalyse und Ermittlung der Restlebensdauer
- Langzeitextrapolation des Rohrverhalten unter Zeitstand- Innendruck Auslegung von neuen Rohrleitungen (einschichtiger, mehrschichtiger, und strukturierte Rohre)
- Zustandsüberwachung (Health Monitoring)

10 Programm-Menü

- Statische Analyse:
 - Spannungen, Dehnungen, Deformationen, Beulen, Knicken, Längseffekte, Sicherheitsfaktoren
- Zustandsbeurteilung
- Schadensanalyse
- Abschätzung der Restlebensdauer
- Zustandsüberwachung (Health Monitoring)
- Langzeit-Extrapolation
- Dimensionierung

11 Programm-Output

Der Programm-Output wird als Tabelle und Diagramme zur Verfügung gestellt. Die allgemeinen Kategorien von Programm-Output sind:

- Weitere Rohr- und Systemeigenschaften (Kurzzeit und Langzeit)
- Weitere Bodeneigenschaften
- Weitere nicht eingegebenen Einwirkungen
- Kurzzeit- und Langzeit-Spannungen
- Kurzzeit- und Langzeit-Dehnungen
- Kurzzeit- und Langzeit-diagonale Verformungen
- Beul- und Knicklasten
- Kurzzeit- und Langzeit-Sicherheitsfaktoren
- Längskräfte / Längsbiegung
- Ermüdungswiderstand
- Zustand der Rohrleitung
- Grenzzustände
- Restlebensdauer der bestehender Rohrleitung
- Deformationsverlauf
- Langzeitextrapolation
- Rohrabmessungen

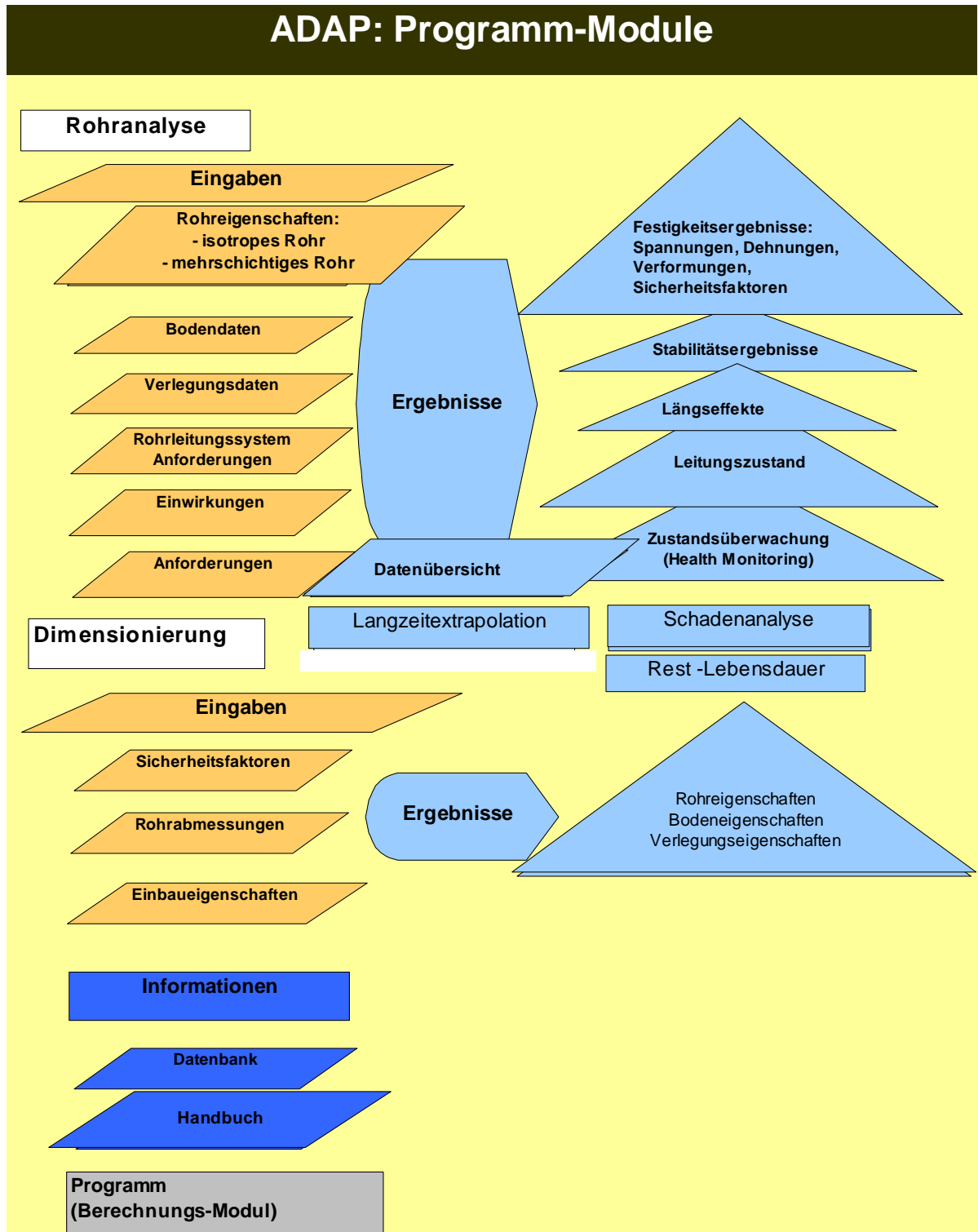
Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Outputs des Programms und die entsprechende notwendige Interpretationen.

Tabelle 1: Outputs des Programms ADAP Version 2

Werte	Erklärung und Interpretation der Outputs
Bodeneigenschaften	Berechnung von Verdichtungsgrad, innere Reibungswinkel, spezifisches Gewicht entsprechend mit Bodengruppe
Bodenmodulen	Berechnung von horizontalem und vertikalen Bodenmodul entsprechend mit Bodengruppe
Systemsteifigkeiten	Berechnung von Systemsteifigkeit und Klassierung des Rohrsystem in "starres Rohrsystem" und „flexibles Rohrsystem“
Einwirkungen (Lastfälle)	Berechnung von Lasten (Erddruck, Verkehrslast, Druckstösse, Auftriebslast, Eigengewicht, Erdbeben)
Spannungen	Umfangsspannungen (Innen- und Aussenwand) auf den Rohrseite, Kämpfer und Sohle
Dehnungen	Umfangsdehnungen (Innen- und Aussenwand) auf den Rohrscheitel, Kämpfer und Sohle
Langzeitverformungen	Diagonale Verformung (vertikal und horizontal)
Beul- und Knicklasten	Knicklast, Beullast, kritischer Biegeradius, kritisches Biegemoment
Sicherheitsfaktoren	Kurzzeit und Langzeit Sicherheitsfaktoren gegen die definierte Anforderungswerte (Spannung- und Dehnungsgrenze), Knicken, Beulen, Deformationsgrenze
Längskräfte / Längsspannungen	Längskräfte (Zug und Druck) und entsprechende Längsspannungen infolge verschiedener Einwirkungen wie Eigengewicht, Wasserfüllung, Auftrieb, Setzung, und Rohrsenkung
Längsbiegung	Längsbiegung infolge verschiedener Einwirkungen wie Eigengewicht, Wasserfüllung, Auftrieb, Setzung, und Rohrsenkung
Ermüdungswiderstand	Für Kunststoffrohre, die Ergebnisse der Ermüdungsanalyse, d.h. Anzahl der Lastwechsel bis Versagen
Zustand der Rohrleitung	Beurteilung über „erfüllt“ / „nicht erfüllt“ im Vergleich mit definierte Anforderungen und Sicherheitsfaktoren
Grenzzustände	Beurteilung und Unterteilung „Tauglichkeitsgrenze“ und „ Gebrauchstauglichkeits-Grenze “
Restlebensdauer	Anzahl Jahre bis die definierten Anforderungen und Sicherheitsfaktoren erreicht werden.
Rohrabmessungen	Rohr-Durchmesser, Rohrwanddicke, Elastizitätsmodul, geeignete Verdichtungsgrad
Deformationsüberwachung	Verlauf der diagonale Verformung im Vergleich mit einer Referenzkurve
Langzeitverhalten	(1) Ergebnisse der Regressionsanalyse und Zeitstand Innendruckkurve für die einschichtigen sowie mehrschichtigen Rohre und Rohrstücke. Bei den mehrschichtigen Rohren und Rohrstücken werden sowohl die Ergebnisse der Regressionsanalyse als auch die Zeitstands-Innendruckkurve für Einzelschichten als Output produziert. Die Ergebnisse werden als Innendruckfestigkeit (Spannung) in Funktion der Standzeit produziert. (2) Zeitstand Innendruckbeständigkeit für einschichtige und mehrschichtige Rohre und Rohrstücke als Druckwiderstand in Funktion der Standzeit

12 Programm-Module

Das umfassende Rechenprogramm ADAP besteht aus verschiedenen Modulen. Die Programm-Module sind miteinander verknüpft. Als Hauptkategorie von Modulen fungieren (1) Datenmodule, (2) Ergebnismodulen und (3) Informative Module. Abbildung 1 zeigt die modulare Struktur des Programms.



13 Programm-Pakete

Das Programm besteht aus zwei Paketen: (1) **Basic Package**: und (2) **Enhanced Package**. Die "Enhanced" Pakete beinhaltet die "Basic" Pakete und weitere andere Module. Die Abbildung 2 zeigt die Module dieser zwei Pakete.

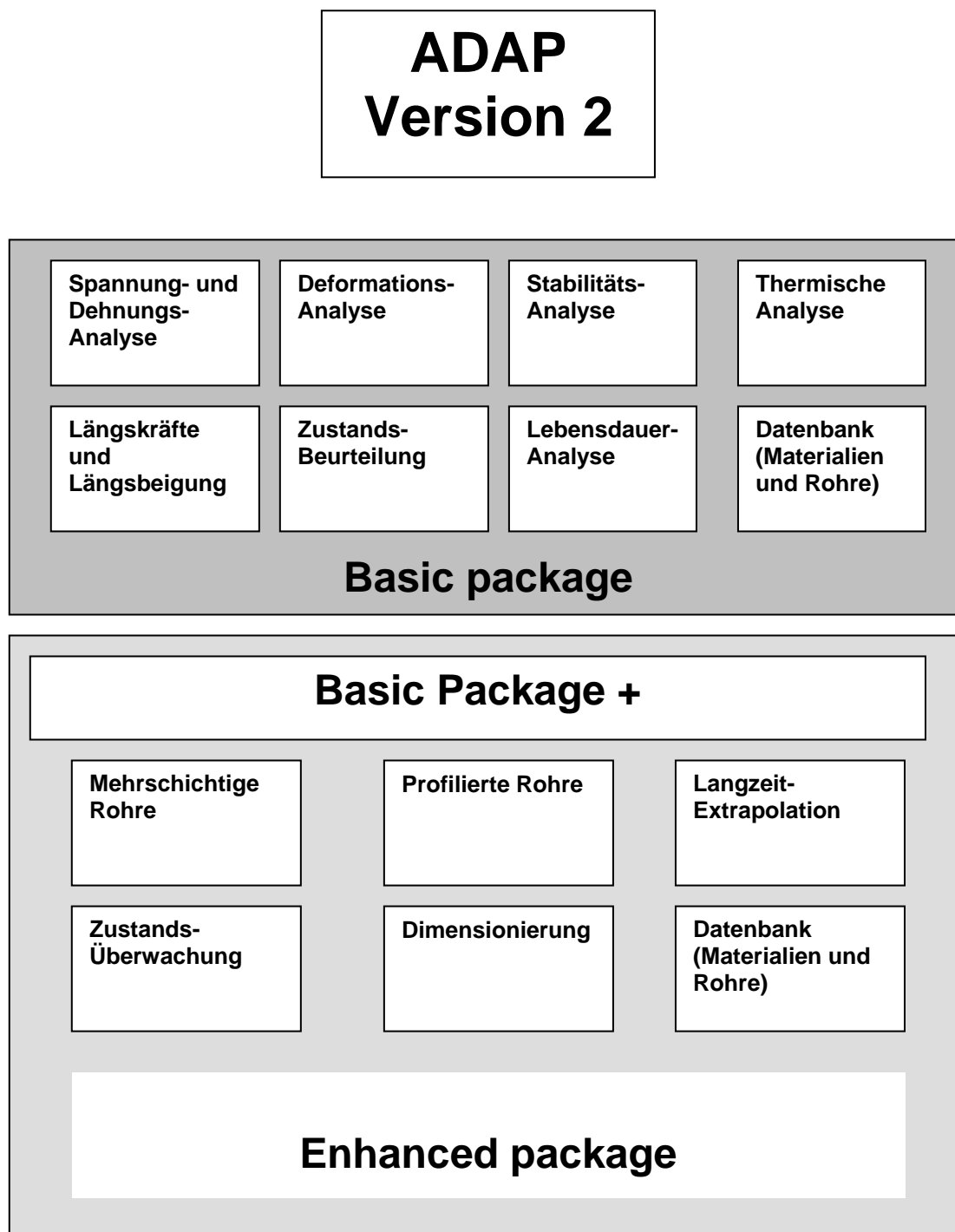


Abbildung 2: Programm-Pakete

14 Wissenschaftliche Basis des Programms

Das Programm ADAP hat verschiedene Theorien, analytische und empirische Formeln, professionelle Erfahrungen und Normen als Grundlage. Tabelle 2 Gibt eine Übersicht über die wissenschaftliche Basis des Programms.

Tabelle 2: Wissenschaftlichem Hintergründe des Programms

Berechnungen, Bewertungen, Beuteilungen	Wissenschaftliche Basis
Berechnung der Verlegungsparameter	Empirische Formel, Erdmechanik, Geotechnik, Normen (prEN 1295-2 und prEN1295-3)
Berechnung der Lasten	Elastizitätstheorie, Dickwanddicke Rohre, Wellenausbreitungstheorie, empirische Formel, Erdmechanik, Geotechnik, Normen(prEN 1295-2 und prEN1295-3)
Spannungsanalyse	Elastizitätstheorie, Dickwanddicke Rohre, Wellenausbreitungstheorie, Composite Theorie, empirische Formel, Erdmechanik, Geotechnik, Normen
Dehnungsanalyse	Elastizitätstheorie, Dickwanddicke Rohre, empirische Formel, Erdmechanik, Geotechnik, Normen
Verformungsanalyse	Elastizitätstheorie, empirische Formel, Normen
Stabilitätsanalyse (Beulen und Knicken)	Schalentheorie, Stabilitätstheorie, Composite-Theorien, Erdmechanik, Geotechnik, Normen (prEN 1295-2 und prEN1295-3)
Sicherheitsfaktoren	Mechanische Theorien, Normen
Längskräfte / Längsspannungen	Balkentheorie, Balken auf elastischer Bettung
Längsbiegung	Balkentheorie, Balken auf elastischer Bettung
Zustand der Rohrleitung	Mechanische Theorien, Normen
Grenzzustände	Elastizitätstheorie, empirische Formel, Erdmechanik, Geotechnik, Normen
Restlebensdauer	Statistische Theorien
Rohrabmessungen	Designtheorie, Normen
Deformationsüberwachung	Statistische Verfahren, Regressionsanalyse, Normen (ISO 9080)
Langzeitverhalten	Die Langzeitextrapolation mit ADAP Version 2 wird mit einem zweiparameter Modell (Logspannung in lineare Funktion der Logzeit) bzw. einem drei-Parameter Modell (Logspannung in quadratische Funktion der Logzeit) durchgeführt. Massgebend wird das Modell, das die kleineren Werte liefert. Damit wird beim Materialverhalten mit qualitativer Änderung in den Langzeitverhalten anstatt scharfe „Knee“ eine Übergangskurve bestimmt. Dieses innovative Regressionsverfahren wurde mit den Verfahren mit internationalen Normen (ISO 9080, EN705, ISO10928) verglichen und es wurde bei klassischen Fällen ein guter Zusammenhang gefunden. Dieses Verfahren geht jedoch viel weiter als die vorhandenen Normierten Verfahren und offeriert wesentliche Innovationen im Bereich Regressionsanalyse und Langzeitextrapolationen für die Einzelschicht- und Multischicht-Rohren und Rohrstücken.

15 Qualitätssicherung des Programms

Es wurde höchstes Gewicht darauf gelegt, dass das Programm höchstem Qualitätsniveau entspricht. Dies Ziel zu erreichen wurden folgende Massnahmen getroffen:

- (1) Einsatz von gültigen theoretischen Grundlagen (z.B. Elastizitätstheorien, Stabilitätstheorien, ...)
- (2) Berücksichtigung von Forschungserkenntnissen aus Literatur und Fachtagungen
- (3) Berücksichtigung von aktuell gültigen und neuesten internationale Normen und Richtlinien
- (4) Nutzen der Erfahrungen anderen Fachleute, Fachverbände, Lehre aus Schadenfällen
- (5) Vergleich mit anderen analytischen bzw. numerischen Berechnungen „Benchmarking“
- (6) Ständiger Kontakt mit Ingenieuren und Anwendern der früheren Version des Programms

Die Qualität des Programms wird ständig überprüft und bei neuen Versionen verbessert.

16 Schulungen und Beratungen

Es werden Kurse und Schulungen über die Grundlagen der statischen Berechnungen von Rohrleitungen vom Entwickler des Programms offeriert. Ferner werden Beratungen über die allgemeinen statischen Berechnungen und über die spezifischen Anwendungen des Programms angeboten. Diese Unterstützung kann im Rahmen von Kursen, Tagungen, Gruppenarbeiten oder individuellen Beratungen realisiert werden.

17 Technische Unterstützung

Es wird technische Unterstützung bezüglich der Anwendung des Programms ADAP und allfällig aufgetauchten technischen Fragen offeriert. In solch einem Fall wird eine Vereinbarung über den Umfang der Beratung und dem entsprechenden Aufwand nötig sein.

Teil II: Einsatz des Programms

18 Software-Kompatibilität und System-Anforderungen

Die Software ADAP wurde in EXCEL in Kombination mit Visual Basic geschrieben. Diese Version kann auf allen Rechnern laufen ab Version Microsoft Office 2000 und Windows XP. Es kann auf einem PC, Laptop oder einem Gerät, auf dem Microsoft Office installiert ist, verwendet werden. Die minimale Speicherkapazität beträgt etwa 10 MB.

19 Installation des Programms

Das Programm ist als CD-ROM verfügbar. Besondere Installationsmassnahmen sind nicht erforderlich. Die CD-ROM ist mit einem PC oder einem Laptop mit dem Lizenzschlüssel (Hasp-Key) zu benutzen. Das Programm wird als Einzellizenz geliefert, und muss juristisch auch als solche betrachtet und verwendet werden. Es soll gleichzeitig nur eine Person als Inhaber der Lizenz das Programm benutzen.

Um das Programm ADAP auf Ihrem zu Computer zu installieren, folgen Sie bitte folgende Etappen:

- (1) Nach dem Starten des Computers schieben Sie die CD-Rom in Ihren Computer.
- (2) Das Setup für die Installation des ADAP-Programms startet automatisch. Folgens Sie den Anweisungen des Installationsprogramms. Ist der **Autostart** deaktiviert, muss durch Doppelklick **Setup.exe** auf der CD-Rom manuell gestartet werden.
- (3) Installieren Sie den HASP-Driver (Lizenzschlüssel) durch Doppelklick des Files „hdd32“ auf der CD-Rom.
- (4) Montieren Sie den HASP-Lizenzschlüssel (USB- oder Printer-Key)
- (5) Programmstart mit „Start“ , „alle Programme“, „ADAP“, „ADAP Basic“ oder „ADAP Enhanced“

20 Für die Berechnungen benötigte Zeit:

Datenvorbereitung:	Abhängig von vorhandenen Unterlagen und Erfahrungen des Benutzers
Dateneingaben:	ca. 15 Minuten
Rechenzeit:	Fast Null, wird "gleichzeitig" berechnet, die Ergebnisse stehen unmittelbar nach der Dateneingabe zur Verfügung.

21 Allgemeines Vorgehen beim Einsatz des Programms

Das allgemeine Vorgehen beim Einsatz des Programms besteht aus folgenden Etappen:

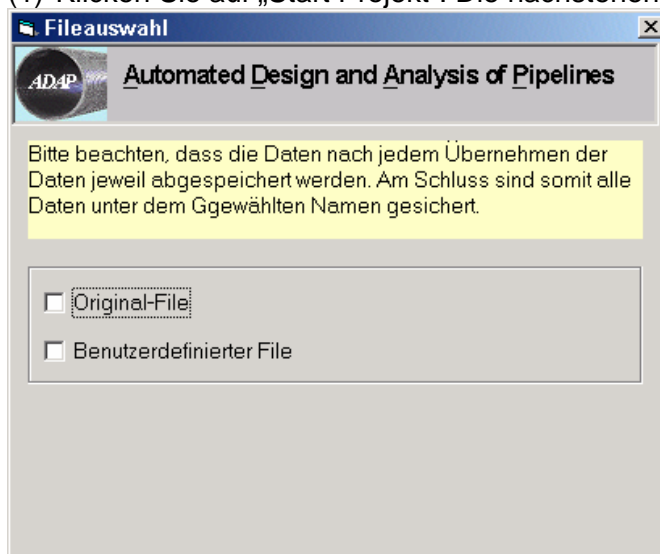
- (1) Unterteilung der Rohrleitung in **Leitungsabschnitte**. Diese Unterteilung sollte auf Rohreigenschaften, Bodenart, Verlegungszustand, Einwirkungen, Richtungsänderungen, Fixpunkten, und andere Besonderheiten der Leitungsabschnitte basiert sein. Für jeden Leitungsabschnitt kann man die Berechnungen mit ADAP durchführen.
- (2) Bei neuen Rohrleitungen:
 - (a) Ingenieurmässige Planung der Rohrleitung inklusive Entscheidungen über Rohrtyp Verlegungstyp, Betriebsbedingungen
 - (b) Rohrauswahl (Rohr-Abmessungen) auf der Basis der hydraulischen Anforderungen.

- (c) Materialauswahl (auf der Basis der mechanischen, chemischen und biologischen Anforderungen und andere Randbedingungen)
 - (d) Vorbereitung und Zusammenstellung der Daten über das Rohr und Rohrleitung. Identifizierung der möglichen Einwirkungen.
 - (e) Definition der Anforderungen und die erwartete Sicherheitswerte
 - (f) Zielsetzung beim Einsatz des Programms ADAP
 - (g) Dokumentation der Berechnungen; Output
- (3) Bei bestehenden Rohrleitungen, Rohren, Rohrstücke:
- (a) Die Information über das Rohrmaterial, Rohrtyp, Rohrleitung für die Rohranalyse, Zustandsanalyse, Lebensdaueranalyse und die Zustandsüberwachung bestehender Rohrleitungen sollten im Prinzip schon vorhanden sein.
 - (b) Vorbereitung und Zusammenstellung der Daten über das Rohr und Rohrleitung. Identifizierung der möglichen Einwirkungen.
 - (c) Definition der Anforderungen und die erwartete Sicherheitswerte
 - (d) Zielsetzung bei Einsatz des Programms ADAP
 - (e) Dokumentation der Berechnungen; Output

22 Ablauf der Rohrberechnungen mit ADAP

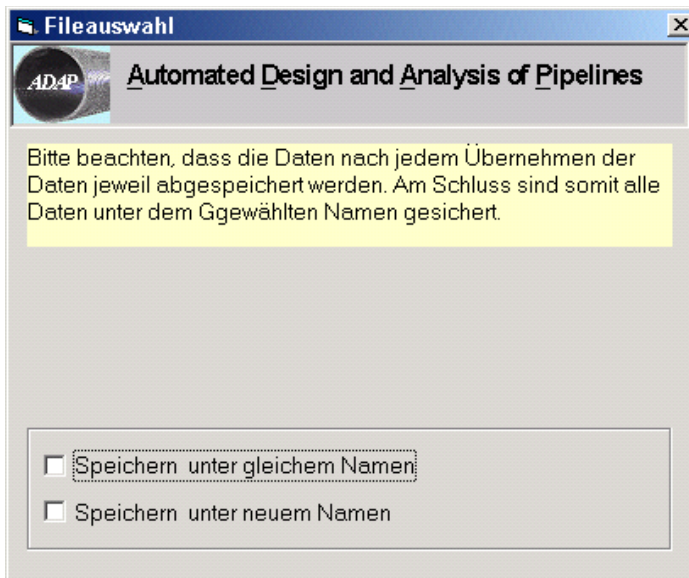
Zur Verwendung des Programms folgen Sie folgenden Etappen:

- (1) Klicken Sie auf „Start Projekt“. Die nachstehende Oberfläche (Figur 1) erscheint.



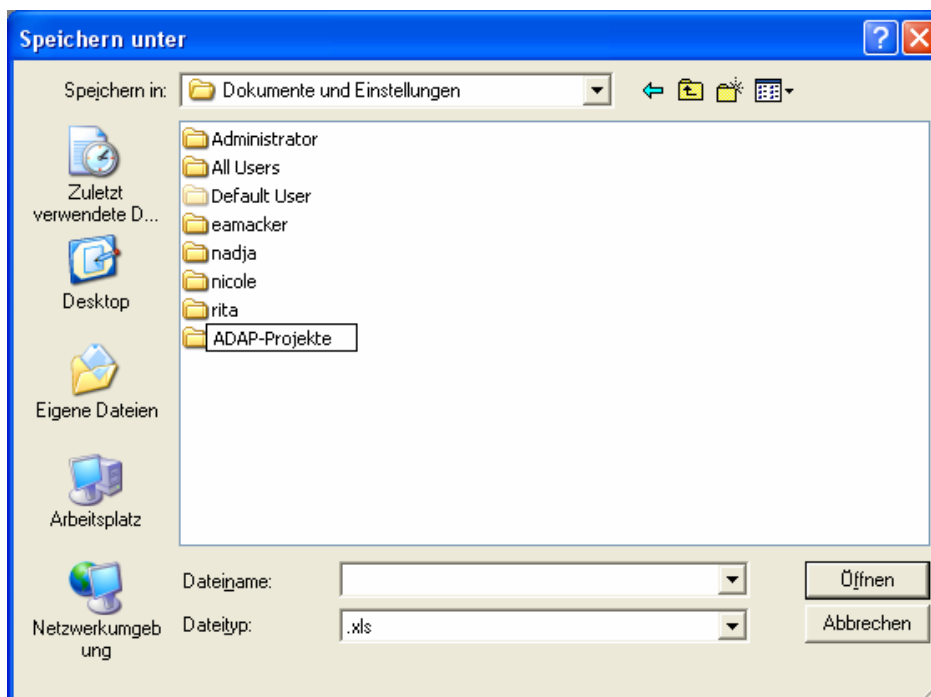
Figur 1

- (2) Sie können die Optionen „Original-File“ oder „Benutzerdefinierter File“ wählen.
- Bei der Auswahl „Original-File“ wird die mit dem Programm gelieferte Projektversion geöffnet.
 - Bei der Auswahl „Benutzerdefinierter File“ können Sie eine durch den Benutzer abgespeicherte Projektversion öffnen. Diese Option ist erst möglich, wenn nach der Installation des Programms ein „Benutzerdefinierter File“ gespeichert wurde.
- (3) Warten Sie einige Sekunden bis das Programm die Excel-Oberfläche mit der gewählten Projektversion öffnet.
- Bei der Excel-Abfrage wählen Sie „nicht aktualisieren“. Nach dem öffnen erscheint ein grauer Excel-Hintergrund. Um das ADAP-Excel sichtbar zu machen, gehen Sie wie folgt vor:
 - Unter „Fenster“ wählen Sie „Einblenden“. Das ADAP Excel wird nun angezeigt.
 - Wechseln Sie vom Excel zu ADAP.
- (4) Die Oberfläche Figur 2 wird angezeigt.



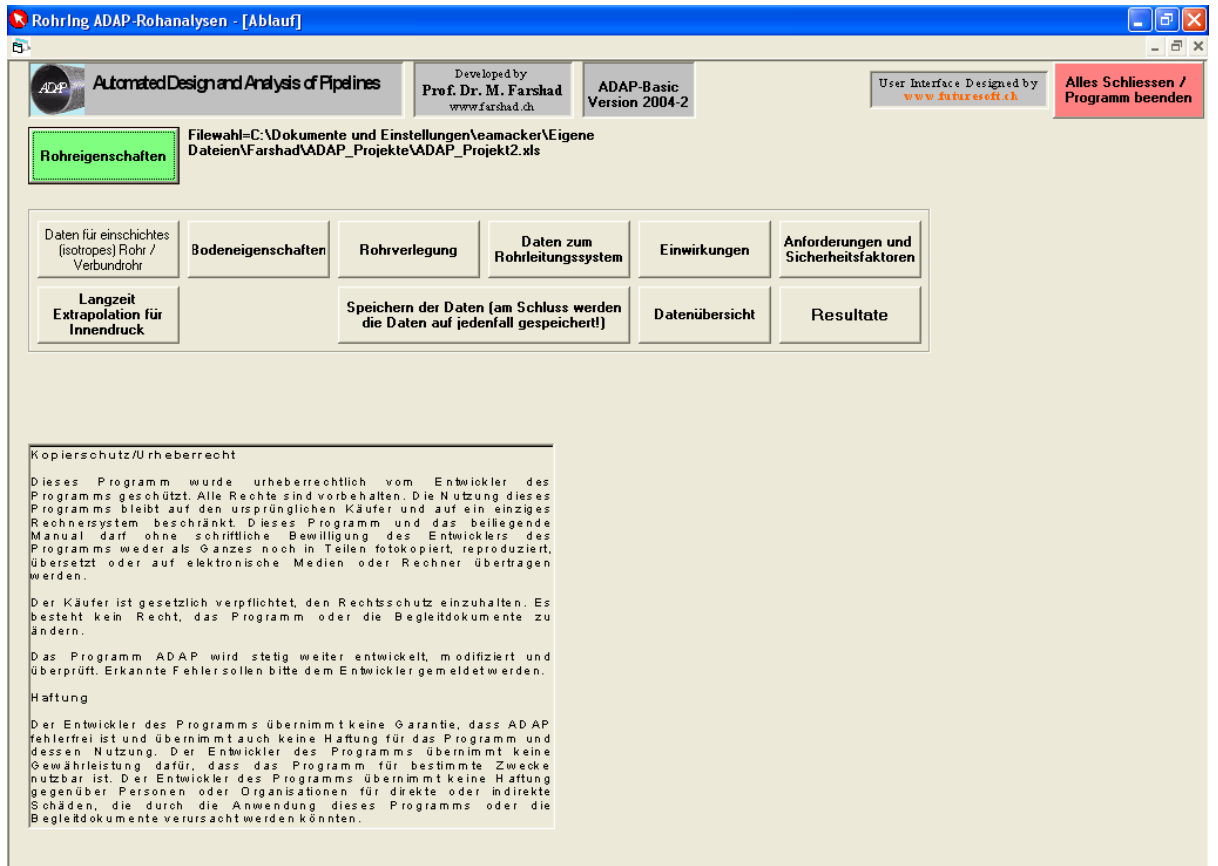
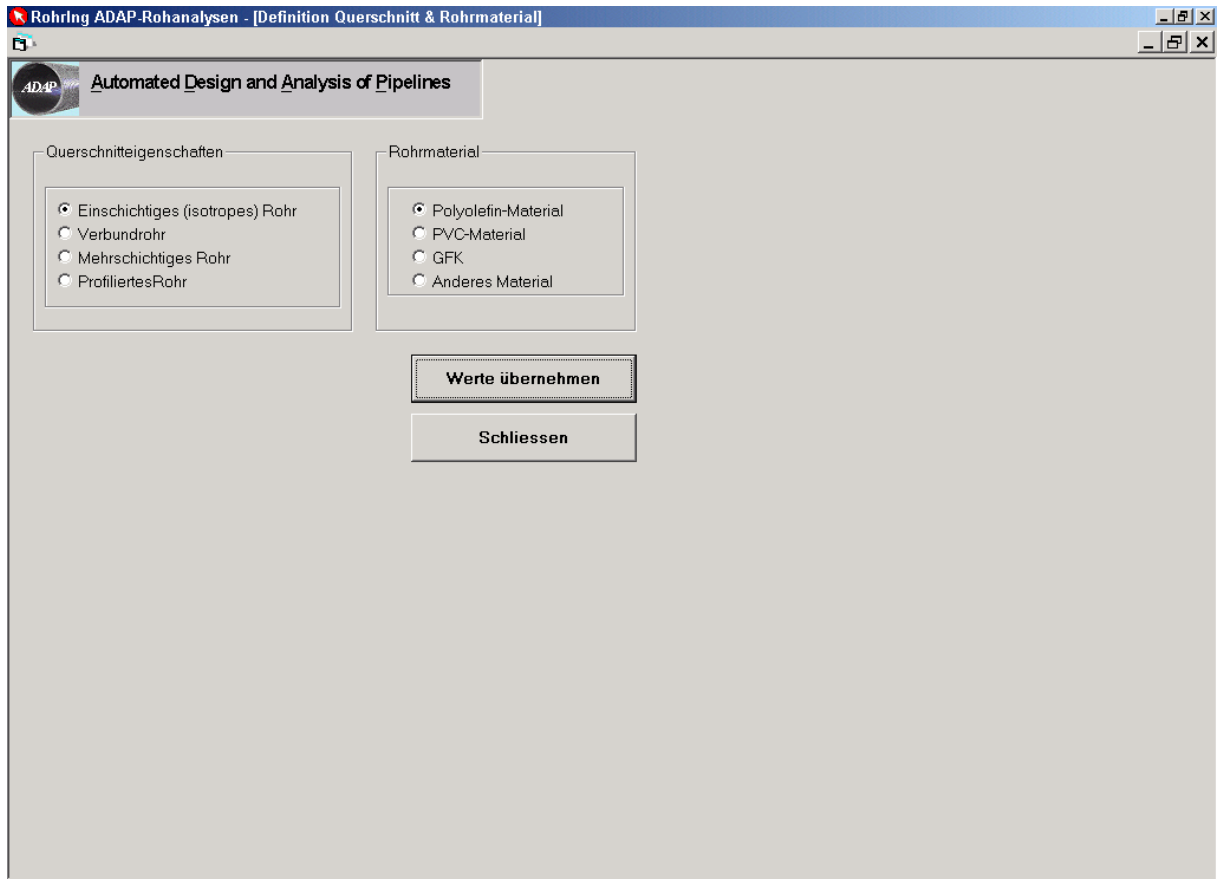
Figur 2

- (5) Sie haben die Option, das Projekt unter dem gleichen oder unter einem neuen Namen zu speichern. Wenn Sie in Figur 1 „Original File“ gewählt haben, müssen Sie „Speichern unter neuem Name“ wählen, damit das „Original File“ nicht verändert werden kann.
- (6) Wenn Sie „Speichern unter neuem Namen“ wählen, erscheint die Windowsoberfläche (Figur 3) für die Auswahl Ihrer eigenen Ordner und Namen des Files.



Figur 3

Speichern Sie das Excel nie unter der Excel Benutzeroberfläche. Das Programm kann dann die vorgesehenen Funktionen nicht mehr erfüllen und wird abgebrochen!



23 Prozedur für die Rohranalyse

Für die Rohranalyse sind die Material- und geometrischen Eigenschaften und Informationen über das Rohrsystem erforderlich. Die Rohranalyse erfolgt durch folgende Schritte:

- (1) Geben Sie die benötigten Kurzzeit- und Langzeit-Rohreigenschaften ein.
 - Bei vollwandige Rohren und Verbundrohren setzen Sie den entsprechenden Datenblock für das "einschichtige Rohr" ein.
 - Bei mehrschichtigen Verbundrohren und Sandwichrohren setzen Sie den entsprechenden Datenblock für das "mehrschichtige Rohr" ein.
 - Bei strukturierte Rohren setzen Sie den entsprechenden Datenblock für das "strukturiertes Rohr" ein.
- (2) Geben Sie die benötigten Daten über Graben, Seitenfüllung und Hinterfüllung in den entsprechenden Datenblock ein.
- (3) Geben Sie die gefragten Daten über Verlegungsparameter in den entsprechenden Datenblock ein.
- (4) Geben Sie die benötigten Daten über Rohrleitung in den entsprechenden Datenblock ein.
- (5) Geben Sie die benötigten Daten über die Anforderungen und gewünschte Sicherheitsfaktoren in den entsprechenden Datenblock ein.
- (6) Ergebnisse lesen, ausdrucken (kompakte und detaillierte Ergebnisse sind nach dem Befehl-Menü verfügbar)
- (7) Weiter:
 - Wiederholung von Berechnungen
 - Neue Berechnungen
 - Programm beenden

24 Schritt-für-Schritt Vorgehen bei der Rohranalyse

Folgen Sie Schritt-für-Schritt der Etappe 24.1. Geben Sie folgenden Daten ein:

24.1 Eingaben für die Rohranalyse

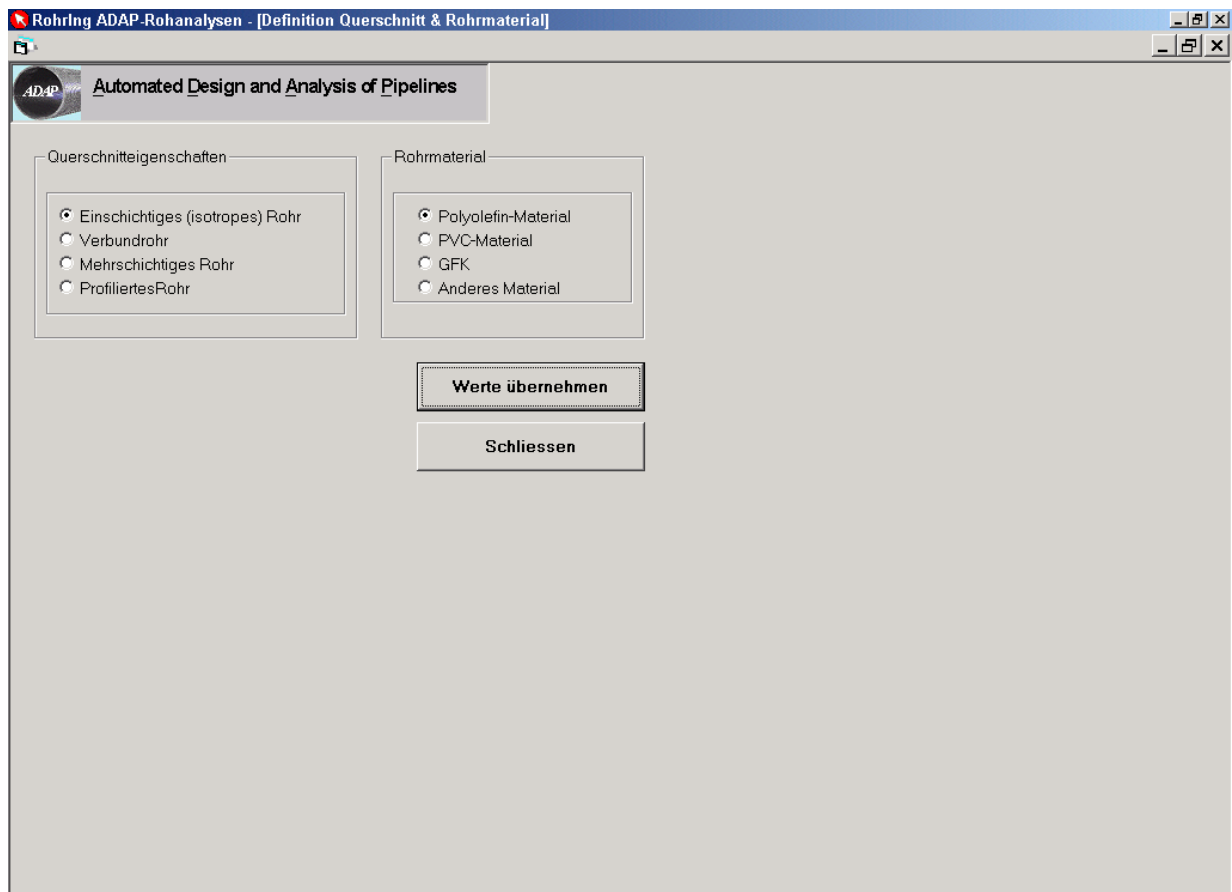
- 24.1.1 Rohreigenschaften
 - 24.1.1.1 Rohrtypen
 - 24.1.1.2 Rohrmaterialtyp
 - 24.1.1.3 Eigenschaften des einschichtigen Rohres
 - 24.1.1.4 Eigenschaften des mehrschichtigen Rohres
 - 24.1.1.5 Eigenschaften des strukturierten Rohres
- 24.1.2 Bodeneigenschaften
- 24.1.3 Verlegungsdaten
- 24.1.4 Daten zum Rohrleitungssystem
- 24.1.5 Einwirkungen
- 24.1.6 Anforderungen / Sicherheitsfaktoren

24.1.1 Rohreigenschaften

24.1.1.1 Rohrtypen

Wählen Sie unter den folgenden Typen eine von vier Rohrtypen bezüglich des Schichtaufbaus aus:

- Typ 1: Einschichtig, Vollwand, isotrop oder anisotrop
- Typ 2: Verbundrohr; Laminatrohr (z.B. GFK). Die Laminat Materialeigenschaften können unisotropisch eingegeben werden. Vollwand, isotropisch oder anisotropisch
- Typ 3: Mehrschichtiges Rohr. Bis drei Schichten sind möglich. Schichten können isotropische oder anisotropische Materialeigenschaften haben.
- Typ 4: Profilierteres Rohre, strukturiertes Rohr. Rohre mit Hohlprofil



Beispiel: Rohrtyp

Rohrtyp

ADAP-D2/04

Querschnittaufbau:

Einschichtiges (isotropes) Rohr (1 für ja, 0 für nein)

Verbundrohr (1 für ja, 0 für nein)

Mehrschichtiges Rohr / Sandwichrohr (1 für ja, 0 für nein)

Profilierteres Rohr (1 für ja, 0 für nein)

Kurzzeit	Langzeit
1.00	1.00
0.00	0.00
0.00	0.00
0.00	0.00

24.1.1.2 Rohrmaterial-Typ

Wählen Sie entweder eine von polyolefin-basierten thermoplastische Materialien (wie Polyethylen- PE-HD, Polypropylen-PP), oder Polyvinylchlorid (PVC), verstärkte Kunststoffe wie glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) oder „andere“ Materialtypen (wie, z.B. metallische Werkstoffe. Die Eingabe kann als Code „1“ für die *ausgewählte* Typen und Code „0“ für die *nicht ausgewählte* Typen erfolgen. Bei jeder statischen Berechnung kann nur ein Typ ausgewählt werden. Dies folgt automatisch, d.h. wenn Sie ein Typ auswählen, die andere Typen sind ausgeschlossen and werden als Code „0“ betrachtet.

Beispiel:

Rohrmaterial	ADAP-D2/04 	
	Kurzzeit	Langzeit
Materialtyp		
PE-Rohr? (1 für ja, 0 für nein)	1	1
PP-Rohr? (1 für ja, 0 für nein)	0	0
PVC-Rohr? (1 für ja, 0 für nein)	0	0
Anderes Material? (1 für ja, 0 für nein)	0	0

24.1.1.3 Eigenschaften des einschichtigen Rohres

Rohrabmessungen

- Für die thermoplastischen Rohre sind die nominellen Aussendurchmesser und nominelle Wanddicken einzugeben.
- Für die Verbundrohre ist die nominelle Ringsteifigkeit (Kurzzeit- und Langzeit) einzugeben.

Die Eigenschaften können aus den eigenen Unterlagen, den Spezifikationstabellen, Normen oder anderen Informationsquellen bezogen werden. Diesbezüglich kann auch die Datenbank des Programms behilflich sein.

Bei thermoplastischen Vollwand Rohren wird die Rohrserie (S) und die Standard Diameter Ratio (SDR) automatisch berechnet.

Eingabe: Rohrabmessungen des einschichtigen Rohres

Nomineller Durchmesser, DN, (Minimum = 0.1), [mm]
 Aussendurchmesser, de, [mm]
 Innendurchmesser, di (automatisch berechnet), [mm]
 Mittlerer Durchmesser, dm (automatisch berechnet), [mm]
 Wanddicke, en, (minimale Wanddicke = 0.001 mm), [mm]
 Ringsteifigkeit des Verbundrohres, [N/m²]
 Rohrserie, S (automatisch berechnet), [-]
 Standard Diameter Ratio, SDR (automatisch berechnet), [-]

Materialeigenschaften

- Das spezifische Gewicht des Materials ist einzugeben.
- Für die thermoplastischen Rohre sind die Elastizitätsmodule (Kurzzeit- und Langzeit) in beiden Richtungen (umfang und Längsrichtung) einzugeben.
- Für die Verbundrohre ist die nominelle Ringsteifigkeit (Kurzzeit- und Langzeit) einzugeben.
- Für die thermische Spannungsanalyse und thermische Stabilitätsanalyse ist der thermische Ausdehnungskoeffizient des Materials einzugeben. **Sonst ist diese Eingabe als *fakultativ* zu betrachten.**

- Die Kurzzeit- und Langzeit-Innendruckfestigkeit ist einzugeben. Diese Werte können aus den Materialspezifikationen entnommen werden. Bei fehlender Eingabe kann die Programm-Datenbank behilflich sein.
- Falls mehrschichtige Rohre vorhanden sind, kann die Kurzzeit und Langzeitfestigkeit zuerst durch das Modul „Langzeitextrapolation“ ermittelt und mit den Eingaben verglichen werden.
- Die maximale Kurzzeit- und Langzeit-Dehnung ist einzugeben. Diese Werte können aus den Materialspezifikationen entnommen werden.
- Bei Kunststoffrohren sind durch Herstellungsbedingungen eingefrorene Spannungen und Vordehnungen zu berücksichtigen und als Daten einzugeben. Die Werte können aus Literatur oder Rohrspezifikation entnommen werden. Bei fehlender Information ist Null einzusetzen.

Die Eigenschaften können aus den eigenen Unterlagen, Spezifikationstabellen, Normen oder anderen Informationsquellen bezogen werden. Diesbezüglich kann auch die Datenbank des Programms behilflich sein.

Eingabe: Materialeigenschaften des einschichtigen Rohres

Spezifisches Gewicht, g_p , [kN/m³]
 E-Modul und Kriechmodul in Umfangsrichtung (Min.=1), [N/mm²]
 E-Modul und Kriechmodul in Längsrichtung (Min. = 1.0), [N/mm²]
 Querkontraktionszahl, Umfangsrichtung, [-]
 Querkontraktionszahl in Längsrichtung (automatisch berechnet), [-]
 Thermischer Ausdehnungskoeffizient, a , [mm/mm °C]
 Innendruckfestigkeit (LZ bei 20°, 50 Jahre; Min. = 0.001), [N/mm²]
 Maximale Zugdehnung, [-]
 Eingefrorene Spannung, innen, [N/mm²]
 Eingefrorene Spannung, Aussen, [N/mm²]
 Vordehnung, innen, [-]
 Vordehnung, Aussen, [-]

Beispiel:: Rohreigenschaften

Einschichtiges Rohr / Verbundrohr

Rohrabmessungen

Nomineller Durchmesser, DN, (Minimum = 0.1), [mm]
 Aussendurchmesser, d_e , [mm]
 Innendurchmesser, d_i (automatisch berechnet), [mm]
 Mittlerer Durchmesser, d_m (automatisch berechnet), [mm]
 Wanddicke, e_n , (minimale Wanddicke = 0.001 mm), [mm]
 Ringsteifigkeit des Verbundrohres, [N/m²]
 Rohrserie, S (automatisch berechnet), [-]
 Standard Diameter Ratio, SDR (automatisch berechnet), [-]

Materialeigenschaften

Spezifisches Gewicht, g_p , [kN/m³]
 E-Modul und Kriechmodul in Umfangsrichtung (Min.=1), [N/mm²]
 E-Modul und Kriechmodul in Längsrichtung (Min. = 1.0), [N/mm²]
 Querkontraktionszahl, Umfangsrichtung, [-]
 Querkontraktionszahl in Längsrichtung (automatisch berechnet), [-]
 Thermischer Ausdehnungskoeffizient, a , [mm/mm °C]
 Innendruckfestigkeit (LZ bei 20°, 50 Jahre; Min. = 0.001), [N/mm²]
 Maximale Zugdehnung, [-]
 Eingefrorene Spannung, innen, [N/mm²]
 Eingefrorene Spannung, aussen, [N/mm²]
 Vordehnung, innen, [-]
 Vordehnung, aussen, [-]

ADAP-D2/04



	Kurzzeit	Langzeit
	315	315
	315	315
	258	258
	286	286
	29	29
	1	1
	5	5
	11	11
	Kurzzeit	Langzeit
	10	10
	1000	150
	1000	150
	0	0
	0	0
	0.00	0.00
	14.00	10.00
	0.10	0.10
	3.50	2.50
	-3.50	-2.50
	0.00	0.00
	0.00	0.00

24.1.1.4 Eigenschaften des mehrschichtigen Rohres

Rohrabmessungen

Die Innen- und die Aussendurchmesser sowie die Wanddicke sind für Einzelschichten einzugeben. Bis drei Schichten sind möglich. Bei zweischichtigen Rohren ist die Aussenschicht durch virtuelle Eingaben zu eliminieren. Dafür ist eine minimale Wanddicke (z.B. 0.001 mm) einzugeben.

Eingabe: Rohrabmessungen des mehrschichtigen Rohres

Aussendurchmesser der äusseren Schicht, [mm]
 Innendurchmesser der äusseren Schicht, [mm]
 Dicke der äusseren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]
 Aussendurchmesser der mittleren Schicht, [mm]
 Innendurchmesser der mittleren Schicht, [mm]
 Dicke der mittleren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]
 Aussendurchmesser der inneren Schicht, [mm]
 Innendurchmesser der inneren Schicht, [mm]
 Dicke der inneren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]
 Totale Wanddicke (automatisch berechnet), [mm]

Materialeigenschaften

- Für jeder Schicht sind die Elastizitätsmodule (Kurzzeit- und Langzeit) in beiden Richtungen (Umfang und Längsrichtung) einzugeben.
- Für die thermische Spannungsanalyse und thermische Stabilitätsanalyse ist der thermische Ausdehnungskoeffizient in Einzelschichten einzugeben. Sonst sind diese Eingaben als fakultativ zu betrachten.
- Die Kurzzeit- und Langzeit-Innendruckfestigkeit der Einzelschichten sind einzugeben. Diese Werte können aus den Materialspezifikationen entnommen werden. Bei fehlender Eingabe konnte die Programm-Datenbank behilflich sein.
- Die maximale Kurzzeit- und Langzeit-Dehnung ist einzugeben. Diese Werte können aus den Materialspezifikationen entnommen werden.
- Bei Kunststoffschichten sind durch Herstellungsbedingungen eingefrorene Spannungen und Vordehnungen zu berücksichtigen und als Daten einzugeben. Die Werte können aus der Literatur oder den Rohrspezifikation entnommen werden. Bei fehlender Information ist Null einzusetzen.

Die Eigenschaften können aus den eigenen Unterlagen, Spezifikationstabellen, Normen oder anderen Informationsquellen bezogen werden. Diesbezüglich kann auch die Datenbank des Programms behilflich sein.

Eingabe: Materialeigenschaften des mehrschichtigen Rohres

E-Modul der äusseren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm²]
 E-Modul der mittleren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm²]
 E-Modul der inneren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm²]
 E-Modul der äusseren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm²]
 E-Modul der mittleren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm²]
 E-Modul der inneren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm²]
 Querkontraktionszahl der äusseren Schicht, [-]
 Querkontraktionszahl der mittleren Schicht, [-]
 Querkontraktionszahl der inneren Schicht, [-]
 Mittleres spezifisches Gewicht, gp, [kN/m³]
 Festigkeit der äusseren Schicht, [N/mm²]
 Festigkeit der mittleren Schicht, [N/mm²]

Festigkeit der inneren Schicht (tragendes Teil), [N/mm²]
 Thermischer Ausdehnungskoeffizient der inneren Schicht, α , (Minimum 1×10^{-10}), [mm/mm °C]
 Maximale Zugdehnung der äusseren Schicht, [-]
 Maximale Zugdehnung der mittleren Schicht, [-]
 Maximale Zugdehnung der inneren Schicht, [-]
 Eingefrorene Spannung innen, [N/mm²]
 Eingefrorene Spannung, aussen, [N/mm²]
 Vordehnung, innen, [-]
 Vordehnung, aussen, [-]

Beispiel: Eigenschaften des mehrschichtigen Rohres

Mehrschichtiges Rohr / Sandwichrohr

ADAP-D2/04



Rohrabmessungen

	Kurzzeit	Langzeit
Aussendurchmesser der äusseren Schicht, [mm]	31.545	31.545
Innendurchmesser der äusseren Schicht, [mm]	31.54	31.54
Dicke der äusseren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]	0.0025	0.0025
Aussendurchmesser der mittleren Schicht, [mm]	31.54	31.54
Innendurchmesser der mittleren Schicht, [mm]	25.3	25.3
Dicke der mittleren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]	3.12	3.12
Aussendurchmesser der inneren Schicht, [mm]	25.3	25.3
Innendurchmesser der inneren Schicht, [mm]	21.9	21.9
Dicke der inneren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]	1.7	1.7
Totale Wanddicke (automatisch berechnet), [mm]	4.8225	4.8225

Materialeigenschaften

	Kurzzeit	Langzeit
E-Modul der äusseren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	1	1
E-Modul der mittleren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	9000	6000
E-Modul der inneren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	2600	1800
E-Modul der äusseren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	1	1
E-Modul der mittleren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	9000	6000
E-Modul der inneren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	2600	1800
Querkontraktionszahl der äusseren Schicht, [-]	0.4	0.4
Querkontraktionszahl der mittleren Schicht, [-]	0.34	0.34
Querkontraktionszahl der inneren Schicht, [-]	0.38	0.38
Mittleres spezifisches Gewicht, ρ , [kN/m ³]	1	1
Festigkeit der mittleren Schicht, [N/mm ²]	0.001	0.001
Festigkeit der inneren Schicht (tragendes Teil), [N/mm ²]	0.001	0.001
Thermischer Ausdehnungskoeffizient der inneren Schicht, α , (minimum 1×10^{-10}),	0.00018	0.00018
Maximale Zugdehnung der äusseren Schicht, [-]	0	0
Maximale Zugdehnung der mittleren Schicht, [-]	0	0
Maximale Zugdehnung der inneren Schicht, [-]	0.01	0.01
Eingefrorene Spannung innen, [N/mm ²]	0	0
Eingefrorene Spannung aussen, [N/mm ²]	0	0
Vordehnung, innen, [-]	0	0
Vordehnung, aussen, [-]	0	0

24.1.1.5 Eigenschaften des strukturierten Rohr

Die Eigenschaften können aus den eigenen Unterlagen, Spezifikationstabellen, Normen oder anderen Informationsquellen bezogen werden. Diesbezüglich kann auch die Datenbank des Programms behilflich sein.

Eingabe: Rohrabbmessungen der strukturierten Rohrwand

Rohrsteifigkeit, SN (Minimum=1) [N/m²]
 Mittlerer Durchmesser, dm [mm]
 Equivalent Wanddicke, e, [mm]
 Trägheitsmoment in Längsrichtung [mm⁴/mm]
 Trägheitsmoment in Querrichtung [mm⁴/mm]
 Querschnittfläche des Rohres [mm²]

Eingabe: Materialeigenschaften der strukturierten Rohrwand

Spezifisches Gewicht, gp, [kN/m³]
 Elastizitätsmodul [N/mm²]
 Thermischer Ausdehnungskoeffizient, a, (Minimum 1X10⁻¹⁰), [mm/mm °C]
 Zugfestigkeit (Minimum = 0.001), [N/mm²]
 Maximale Zugdehnung, [-]

Beispiel: Strukturiertes Rohr

Profiliertes Rohr

Rohrabbmessungen

Rohrsteifigkeit, SN (Minimum=1) [N/m²]
 Mittlerer Durchmesser, dm [mm]
 Equivalente Wanddicke, e, [mm]
 Tragheitsmoment in Längsrichtung [mm⁴/mm]
 Tragheitsmoment in Querrichtung [mm⁴/mm]
 Querschnittfläche des Rohres [mm²]

Materialeigenschaften

Spezifisches Gewicht, gp, [kN/m³]
 Elastizitätsmodul [N/mm²]
 Thermischer Ausdehnungskoeffizient, a, (minimum 1X10⁻¹⁰), [mm/mm °C]
 Zugfestigkeit (Minimum = 0.001), [N/mm²]
 Maximale Zugdehnung, [-]

ADAP-D2/04



	Kurzzeit	Langzeit
Rohrsteifigkeit, SN	5000	2500
Mittlerer Durchmesser, dm	500	500
Equivalente Wanddicke, e	18.171206	18.171206
Tragheitsmoment in Längsrichtung	200	200
Tragheitsmoment in Querrichtung	500	500
Querschnittfläche des Rohres	20	20
	Kurzzeit	Langzeit
Spezifisches Gewicht, gp	11	11
Elastizitätsmodul	1000	150
Thermischer Ausdehnungskoeffizient, a	0.00018	0.00018
Zugfestigkeit	14	10
Maximale Zugdehnung	0.1	0.1

24.1.2 Bodeneigenschaften

Eingabe: Bodenart

Für Graben, unten, Seiten und Verfüllung der projektbezogenen ausgewählten Bodengruppe eingeben (siehe Hinweis unten)

Hinweis zur Eingaben über Bodendaten:

- BG Bodengruppe
- 0 Rohr auf Betonsohle
- 1.0 Nichtbindige Böden; grobkörnig, granular, Kieskorngrosse
- 2.0 Schwachbindige Böden; grobkörnig, granular, Sandkorngrosse
- 3.0 Bindige Mischböden: mischkörnig mit geringer Feinkornfraktion und einiger Bindigkeit
- 4.0 Bindige Böden: mischkörnig mit hoher Feinkornfraktion und mässiger Bindigkeit
- 5.0 Stark bindige Böden: feinkörnige bindige Böden
- 6.0 Organische Böden (organischer Ton, Schluff, Humus)
- 7.0 Stark organische Böden (Torf, ..., Schlamm)
- 8 Freigelegtes Rohr; Rohr auf Stützen
- 9 Einbetoniertes Rohr

Bemerkung: Zwischengruppierung (1 bis 7) ist auch möglich (Z.B. GS= 3.5)

Zwischenergebnisse; berechnete Werte

Verdichtungsgrad (Proktordichte), [%]

Innerer Reibungswinkel, [°]

Bodenmodul für 100% Proktordichte, E, 100%, [N/mm²]

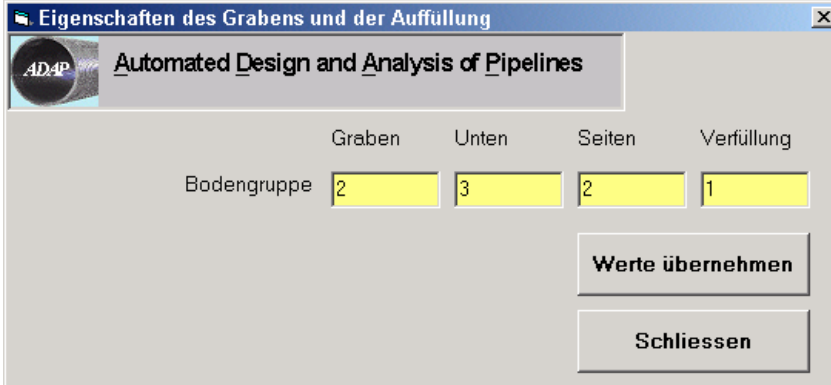
Spezifisches Gewicht, gs, [kN/m³]

Gewicht der schwimmenden Erde, gsw, [kN/m³]

Vertikales Bodenmodul (berechnet), [N/mm²]

Horizontales Bodenmodul (berechnet), [N/mm³]

Steifigkeitskategorie des Rohrsystems (Starres Rohrsystem oder Flexibles Rohrsystem)



Beispiel: Bodeneigenschaften

Bodendaten	
G2: Nichtbindig; grobkörnig, granular, Sandkorngrosse	Graben
G3: Mischkörnig mit geringer Feinkornfraktion und einiger Bindigkeit	Unten
G2: Nichtbindig; grobkörnig, granular, Sandkorngrosse	Seiten
G1: Nichtbing Böden; grobkörnig, granular, Kieskorngrosse	Verfüllung

24.1.3 Verlegungsdaten

Einzugeben sind die Kurzzeit- und Langzeitwerte für die Verlegungsparameter inkl. Grubenhöhe und Breite, Grundwasserspiegel und die Lage der Rohrleitung.

Hinterfüllungshöhe, h, [m]
 Grabenbreite, b, [m]
 Höhe des Grundwassers, hw, [m]
 Lage der Rohrleitung (nur eine von drei auswählen und eingeben):
 Strassenbereich ? (Code 1 für ja, 0 für nein)
 Eisenbahnbereich ? (Code 1 für ja, 0 für nein)
 Flughafenbereich ? (Code 1 für ja, 0 für nein)

Beispiel: Verlegungsdaten

Verlegungsdaten	Kurzzeit	Langzeit
Hinterfüllungshöhe, h, [m]	2.00	2.00
Gabenbreite, b, [m]	1.60	1.60
Höhe des Grundwassers, hw, [m]	1.00	1.00
Lage der Rohrleitung	Rohr im Strassenbereich	

24.1.4 Daten zum Rohrleitungssystem

Die ergänzenden Daten bezüglich die Rohrleitungssystem sind einzugeben.

Typ der Rohrleitung
 Geschwindigkeit des Wasserstroms, [m/s]
 Freie Länge, Abstand zwischen Stützpunkten, [m]
 Abstand zwischen Richtungsänderungen, [m]
 Winkel der Richtungsänderung/Umlenkung (Voreinstellung), [°]
 Steigung der Rohrleitung, [°]
 Vertikale Anfangsovalität des Rohres in % des mittleren Durchmessers (nach innen negativ; z.B. -0.05), [-]
 Biegungs-Radius, [m]
 Beschleunigungsfaktor des Erdbebens als Prozent der Gravitationsbeschleunigung, g (g = 9.81 m/s²) (z.B. 0.1)
 Systemsteifigkeit (automatisch berechnet), [N/mm²]

Beispiel: Daten zum Rohrleitungssystem

Daten zum Rohrleitungssystem	Kurzzeit	Langzeit
Typ der Rohrleitung		
Geschwindigkeit des Wasserstroms, [m/s]	1.5	1.5
Freie Länge, Abstand zwischen Stützpunkten, [m]	20	20
Abstand zwischen Richtungsänderungen, [m]	100	100
Winkel der Richtungsänderung/Umlenkung (Voreinstellung), [°]	90	90
Steigung der Rohrleitung, [°]	0	0
Vertikale Anfangsovalität des Rohres in % des mittleren Durchmessers (nach innen negativ; z.B. -0.05), [-]	0	0
Biegungs-Radius, [m]	70	70
Beschleunigungsfaktor des Erdbebens als Prozent der Gravitationsbeschleunigung, g (g = 9.81 m/s ²) (z.B. 0.1)	0	0
Systemsteifigkeit (automatisch berechnet), [N/mm ²]	1.E-01	1.E-02

ADAP-D2/04



24.1.5 Einwirkungen

Teil der Einwirkungen ist als explizite Kurzzeit- und Langzeit-Werte einzugeben. Die anderen Einwirkungen werden automatisch vom Programm berechnet.

Teil 1. Einwirkungen; explizite Eingabe:

Innendruck, [N/mm²]
 Temperaturdifferenz, [°C]
 Rohrsenkung/Rohrdurchbiegung, [mm]
 Partielle Setzung, [mm]
 Punktlast (1 für ja; 0 für keine)
 Oberflächenlast, [N]
 Breite der Oberflächenlast, [mm]
 Länge der Oberflächenlast, [mm]

Teil 2. Einwirkungen; automatisch berechnete Einwirkungen:

Intensität der Oberflächenlast (automatisch berechnet), [N/mm²]
 Druckstoss, Pds (automatisch berechnet), [N/mm²]
 Vertikaler Erddruck (automatisch berechnet), [N/mm²]
 Horizontaler Erddruck (automatisch berechnet), [N/mm²]
 Verkehrslast (automatisch berechnet), [N/mm²]
 Aussen-Wasserdruck (automatisch berechnet), [N/mm²]
 Eigengewicht des Rohres und der Wasserfüllung (automatisch berechnet), [kN/m]
 Auftriebskraft, [kN/m]
 Eingefrorene Spannung (Innen), [N/mm²]
 Eingefrorene Spannung (Aussen), [N/mm²]
 Vordehnung (Innen), [-]
 Vordehnung (Aussen), [-]
 Erdbeben (Beschleunigungsfaktor des Erdbebens) [-]

Beispiel: Einwirkungen

Einwirkungen	Kurzzeit	Langzeit
Innendruck, [N/mm ²]	1.25	1.25
Temperaturdifferenz, [°C]	0.00	0.00
Rohrsenkung/Rohrdurchbiegung, [mm]	0.00	0.00
Partielle Setzung, [mm]	0.00	0.00
Punktlast (1 für ja; 0 für keine)	0.00	0.00
Oberflächenlast, [N]	0.00	0.00
Breite der Oberflächenlast, [mm]	0.00	0.00
Länge der Oberflächenlast, [mm]	0	0
Intensität der Oberflächenlast (automatisch berechnet), [N/mm ²]		
Druckstoss, Pds (automatisch berechnet), [N/mm ²]		
Vertikaler Erddruck (automatisch berechnet), [N/mm ²]		
Horizontaler Erddruck (automatisch berechnet), [N/mm ²]		
Vertikale Verkehrslast (automatisch berechnet), [N/mm ²]		
Aussen-Wasserdruck (automatisch berechnet), [N/mm ²]		
Eigengewicht des Rohres und der Wasserfüllung (automatisch berechnet), [kN/m]		
Auftriebskraft, [kN/m]		
Eingefrorene Spannung (Innen), [N/mm ²]	3.5	2.5
Eingefrorene Spannung (Aussen), [N/mm ²]	-3.5	-2.5
Vordehnung (Innen), [-]	0	0
Vordehnung (Aussen), [-]	0	0
Erdbeben (Beschleunigungsfaktor des Erdbebens) [-]	0.00	0.00



24.1.6 Anforderungen / Sicherheitsfaktoren

Eine Reihe von Anforderungen bzw. Sicherheitsfaktoren können als Eingabe definiert werden. Die Anforderungen sind projektspezifisch, objektspezifisch, und normgerecht zu definieren. Bei fehlender externer Eingabe können die Werte in der Programm-Datenbank nützlich sein.

Eingabe zur Anforderungen und Sicherheitsfaktoren:

Zeitparameter, [Jahre]
 Bersten / Bruch (Umfangsrichtung)
 Bruch (axiale Richtung)
 Querdehnung, [-]
 Diagonale Verformung (in Prozent des mittleren Durchmessers, z.B. 0.03)
 Instabilität:
 Beulen
 Knicken
 Längskraft
 Biegungs-Radius
 Ermüdungswiderstand (Anzahl Lastwechsel)

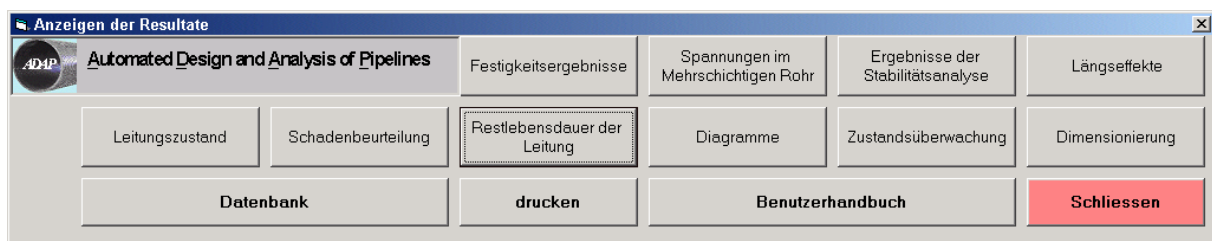
Beispiel: Anforderungen / Sicherheitsfaktoren

Anforderungen / Sicherheitsfaktoren		Kurzzeit	Langzeit
Zeitparameter, [Jahre]		0	50
Bersten / Bruch (Umfangsrichtung)		2.5	1.6
Querdehnung, [-]		2	2
Diagonale Verformung (in Prozent des mittleren Durchmessers, z.B. 0.03)		0.03	0.05
Instabilität:		0	0
Beulen		2.5	2.5
Knicken		2	2
Längskraft		2	2
Biegungs-Radius		1	1

24.2 Ergebnisse aus der Rohranalyse

Bei einer statischen Analyse mit ADAP werden folgende Ergebnisse produziert:

- Kurzzeit- und Langzeit-Spannungen
- Kurzzeit- und Langzeit-Dehnungen
- Kurzzeit- und Langzeit-diagonale Verformungen
- Beul- und Knicklasten
- Kurzzeit- und Langzeit-Sicherheitsfaktoren
- Längskräfte / Längsbiegung
- Ermüdungswiderstand
- Zustand der Rohrleitung
- Grenzzustände
- Restlebensdauer bestehender Rohrleitung



24.2.1 Ergebnisse der Festigkeits- und Deformationsanalyse

Die Rohranalyse ergibt Kurzzeit- und Langzeit-Spannungen und Dehnungen in Umfangsrichtung sowie diagonal-Verformungen in vertikaler und horizontaler Richtung und dementsprechende Sicherheitsfaktoren. Die Spannungen und Dehnungen werden an drei Stellen; Rohrscheitel, Rohrkämpfer und Rohrsohle berechnet. Die Sicherheitsfaktoren werden mit den verlangten Sicherheitsanforderungen verrechnet. Die Zahlen für die maximalen Werte werden summarisch dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse werden auch zur Verfügung gestellt.

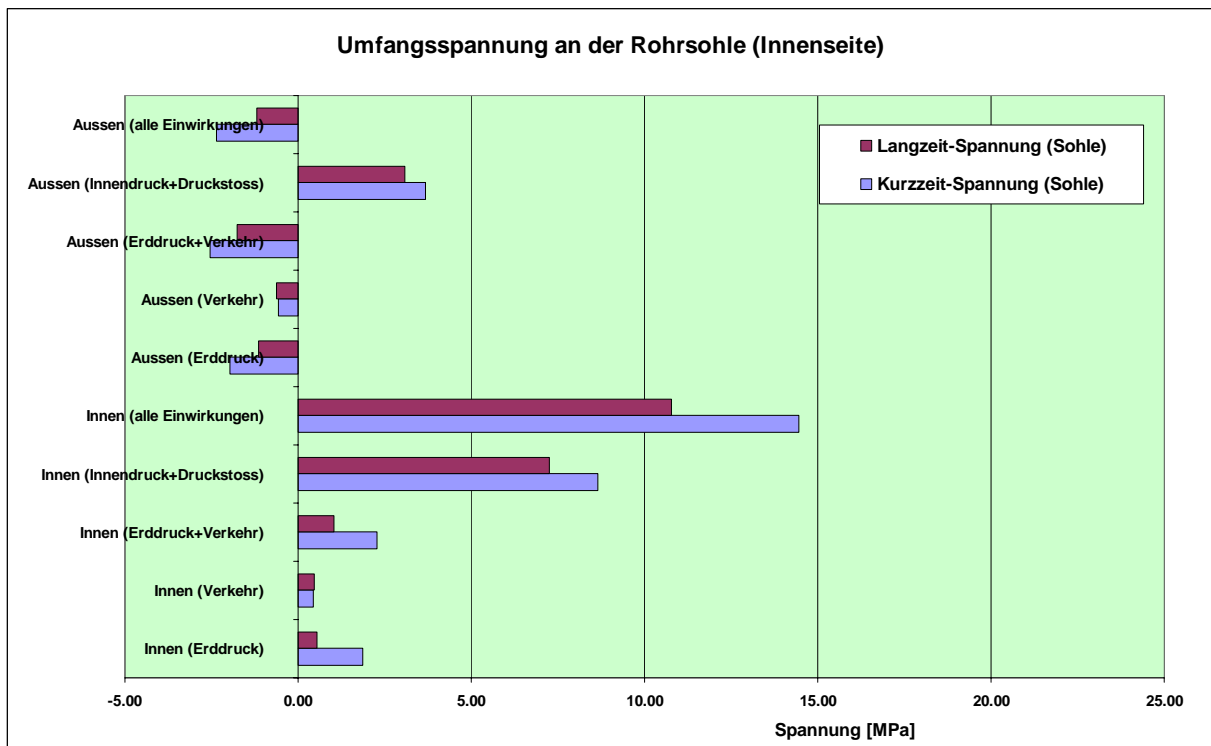
Beispiel:

Ergebnisse der Festigkeits- und Deformationsanalyse						
Farshad- ADAP-D2/04						
Spannungen, Dehnungen und Verformungen		Werte		Sicherheitsfaktor		
		Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit	
Scheitel		Spannung, [N/mm ²]	14.42	10.66	1.0	0.9
		Dehnung, [-]	0.004	0.021	23.6	4.7
		Diagonal-Verformung, [mm]	-2.5	-6.8	3.5	2.1
Kämpfer		Spannung, [N/mm ²]	6.84	6.23	2.0	1.6
		Dehnung, [-]	0.003	0.016	30.3	6.2
		Diagonal-Verformung, [mm]	2.5	4.8	3.4	3.0
Sohle		Spannung, [N/mm ²]	14.52	10.85	1.0	0.9
		Dehnung, [-]	0.001	0.002	122.9	43.2
		Diagonal-Verformung, [mm]	Sohle als Referenzpunkt			

Das Programm gibt sich auch detaillierte Ergebnisse über:

- Kurzzeit- und Langzeit-Biegemomente und Normalkräfte Spannungen in der inneren und äusseren Rohrwand an drei Stellen: Rohrscheitel, Rohrkämpfer und Rohrsohle
- Kurzzeit- und Langzeit-Umfangsspannungen in der innere und äussere Rohrwand an drei Stellen: Rohrscheitel, Rohrkämpfer und Rohrsohle
- Kurzzeit- und Langzeit-Umfangsdehnungen in der innere und äussere Rohrwand an drei Stellen: Rohrscheitel, Rohrkämpfer und Rohrsohle
- Diagramme für die Kurzzeit- und Langzeit-Spannungen an drei Stellen: Rohrscheitel, Rohrkämpfer und Rohrsohle für Einzellast-Einwirkungen sowie die Lastkombinationen

Beispiel: Ergebnisse der Rohranalyse



Ergebnisse: Spannungen im mehrschichtigen Rohr:

Bei mehrschichtigen Rohren werden die Kurzzeit- und Langzeit-Spannungen, sowie die Dehnungen in den Einzelschichten berechnet. Berechnet wird auch der tragende Anteil jeder Schicht vom gesamten Innendruck. Weiterhin werden auch die Schubspannungen zwischen Schichten berechnet.

Spannungen im mehrschichtigen Rohr:

Druck-Verhältnis, Aussenschicht
 Druck-Verhältnis, Mittelschicht
 Druck-Verhältnis, Innenschicht
 Umfangsspannung in der äusseren Schicht, [N/mm²]
 Umfangsspannung in der mittleren Schicht, [N/mm²]
 Umfangsspannung in der inneren Schicht, [N/mm²]
 Schubspannung zwischen äusseren- und mittleren Schicht, [N/mm²]
 Schubspannung zwischen mittleren- und inneren Schicht, [N/mm²]
 Umfangsdehnung in der äusseren Schicht, [N/mm²]
 Umfangsdehnung in der mittleren Schicht, [N/mm²]
 Umfangsdehnung in der inneren Schicht, [N/mm²]
 Schubdehnung zwischen äusseren- und mittleren Schicht, [N/mm²]
 Schubdehnung zwischen mittleren- und inneren Schicht, [N/mm²]

Beispiel: Spannungen in mehrschichtigen Rohren

Spannungen im mehrschichtigen Rohr		
	ADAP	ADAP-D2/04
	Kurzzeit	Langzeit
Druckverhältnis, Aussenschicht	0.00	0.00
Druckverhältnis, Mittelschicht	0.74	0.74
Druckverhältnis, Innenschicht	0.26	0.26
Umfangsspannung in der äusseren Schicht, [N/mm ²]	0.00	0.00
Umfangsspannung in der mittleren Schicht, [N/mm ²]	72.60	72.11
Umfangsspannung in der inneren Schicht, [N/mm ²]	2.62	2.68
Schubspannung zwischen äusserer- und mittlerer Schicht, [N/mm ²]	72.60	72.11
Schubspannung zwischen mittlerer- und innerer Schicht, [N/mm ²]	69.98	69.43
Umfangsdehnung in der äusseren Schicht, [N/mm ²]	0.00000	0.00000
Umfangsdehnung in der mittleren Schicht, [N/mm ²]	0.02792	0.04006
Umfangsdehnung in der inneren Schicht, [N/mm ²]	0.00101	0.00149
Schubdehnung zwischen äusserer- und mittlerer Schicht, [N/mm ²]	0.02792	0.04006
Schubdehnung zwischen mittlerer- und innerer Schicht, [N/mm ²]	0.02691	0.03857

24.2.2 Ergebnisse der Stabilitätsanalyse

Die Rohranalyse ergibt die Kurzzeit- und Langzeit-Beullast in Querrichtung und -Knicklast in Längsrichtung, die Längsspannungen, die kritische Temperaturen, den kritischen Biegeradius und dementsprechende Sicherheitsfaktoren. Die Sicherheitsfaktoren werden mit den verlangten Sicherheitsanforderungen verrechnet.

Ergebnisse der Stabilitätsanalyse:

Knicken in Längsrichtung

Knicklast des Rohres, [kN]

Knickspannung des Rohres, [N/mm²]

Längskraft (Zugkraft), [kN]

Längsspannung (Zugspannung), [N/mm²]

Kritische Temperaturdifferenz beim Längsknicken, [°C]

Beulen in Querrichtung

Beulen bei vertikalem Druck, [N/mm²]

Beulen bei hydrostatischem Druck, [N/mm²]

Beulen infolge vertikalem Druck und Wasserdruck, [N/mm²]

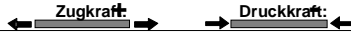
Kritische Temperatur beim Einbeulen von Multischicht-Rohren und Rohrliner, [°C]

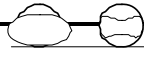
Kritischer Beuldruck für das einbetonierte Rohr, [N/mm²]

Kritisches Biegemoment infolge Längsbiegung (Bratzer-Effekt), [kN m]

Kritischer Biegungs-Radius infolge Längsbiegung, [m]

Beispiel:

Ergebnisse der				
Farshad- ADAP-D2/04	Längseffekte		Sicherheitsfaktor	
Knicken in Längsrichtung	Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit
				
Knicklast des Rohres, [kN]	-3.7E+03	-1.5E+03	40.6	19.6
Knickspannung des Rohres, [N/mm ²]	-1.4E+02	-5.8E+01	40.6	19.6
Längskraft (Zugkraft), [kN]	8.9E+01	7.4E+01	Druckspannung	Druckspannung
Längsspannung (Zugspannung), [N/mm ²]	-3.5E+00	-3.0E+00	Druckspannung	Druckspannung
kritische Temperaturdifferenz beim Längsknicken, [°C]	56.2	56.2	-	-

Beulen in Querrichtung		kritische Werte		Sicherheitsfaktor	
Farshad- ADAP-D2/04		Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit
Beulen bei vertikalem Druck, [N/mm ²]		3.45	1.39	25.3	9.2
Beulen bei hydrostatischem Druck, [N/mm ²]		1.98	0.29	170.7	25.4
Beulen infolge vertikalem Druck und Wasserdruck, [N/mm ²]		-	-	22.1	6.7
kritische Temperatur beim Einbeulen von Multischicht-Rohr und Rohrliner, [°C]		250	250	-	-
kritischer Beuldruck für einbetoniertes Rohr, [N/mm ²]		-	-	-	-
kritisches Biegemoment infolge Längsbiegung (Brazier-Effekt), [kN m]		2.E+02	2.E+01	41.5	41.5
kritischer Biegungs-Radius infolge Längsbiegung, [m]		1.7	1.7	41.5	41.5

24.2.3 Längseffekte

Die Rohranalyse ergibt die Kurzzeit- und Langzeit-Längskräfte sowie Längsbiegung infolge verschiedenen Einwirkungen und Ursachen und demsprechende Sicherheitsfaktoren. Die Sicherheitsfaktoren werden mit den verlangten Sicherheitsanforderungen verrechnet.


Längskräfte:


Längskraft infolge Innendruck, [kN]
 Längskraft durch Temperaturänderung, [kN]
 Auftriebskraft, [kN/m]
 Längskraft infolge Eigengewicht, partieller Setzung und Rohrsenkung, [kN]
 Längskraft infolge Umlenkung, Richtungsänderung, Verschluss, [kN]
 Druckkraft infolge Steigung der Rohrleitung, [kN]
 Axiale Druckkraft infolge Erdbeben, [kN]
 Axiale Zugkraft infolge Erdbeben, [kN]
 Axiale Reaktionskraft auf Rohrende (Unten), [kN]
 Axiale Reaktionskraft auf Rohrende (Oben), [kN]
 Schubkraft auf Rohrende (Positiv nach Oben), [kN]

Längsbiegung:

Biegemoment infolge Auftrieb, [kN m]
 Biegemoment infolge partieller Setzung und Rohrsenkung, [kN m]
 Biegeradius infolge partiellen Auftrieb, [m]
 Biegeradius (partielle Setzung, Rohrsenkung und Auftrieb), [m]
 Biegemoment (partielle Setzung, Rohrsenkung und Auftrieb), [kN m]
 Ovalisierung infolge Rohrsenkung (vertikale Verformung), [mm]
 Längsspannung infolge Längsbiegung, [N/mm²]

Beispiel: Längseffekte

Längskräfte		ADAP	
Farshad- ADAP-D2/04		Kurzzeit	Langzeit
Längskraft infolge Innendruck, [kN]		88.2	73.8
Längskraft durch Temperaturänderung, [kN]		0.0	0.0
Auftriebskraft, [kN/m]		0.6	0.6
Längskraft infolge Eigengewicht, partieller Setzung und Rohrsenkung, [kN]		0.0	0.0
Längskraft infolge Umlenkung, Richtungsänderung, Verschluss, [kN]		-90.6	-75.9
Druckkraft infolge Steigung der Rohrleitung, [kN]		0.0	0.0
Axiale Druckkraft infolge Erdbeben , [kN]		0.0	0.0
Axiale Zugkraft infolge Erdbeben , [kN]		0.0	0.0
Axiale Reaktionskraft auf Rohrende (Unten), [kN]		-90.6	-75.9
Axiale Reaktionskraft auf Rohrende (Oben), [kN]		88.8	74.4
Schubkraft auf Rohrende (Positiv nach Oben) , [kN]		0.0	0.0

Längsbiegung		ADAP	
Farshad- ADAP-D2/04		Kurzzeit	Langzeit
Biegemoment infolge Auftrieb, [kN m]		0.0	0.0
Biegemoment infolge partieller Setzung und Rohrsenkung, [kN m]		0.0	0.0
Biegeradius infolge partiellen Auftrieb, [m]		9.6E+06	9.0E+06
Biegeradius (partielle Setzung, Rohrsenkung und Auftrieb), [m]		9.6E+06	9.0E+06
Biegemoment (partielle Setzung, Rohrsenkung und Auftrieb), [kN m]		0.0	0.0
Ovalisierung infolge Rohrsenkung (vertikale Verformung), [mm]		0.0	0.0
Längsspannung infolge Längsbiegung, [N/mm ²]		0.00	0.00

24.2.4 Zustandsbeurteilung

Die Rohranalyse ergibt eine quantitative Beurteilung vom Zustand des Rohres. Die Beurteilung basiert auf den berechneten Verhaltensparametern, den rechnerischen Sicherheitsfaktoren und deren Vergleich mit den Anforderungen. Die Beurteilung wird für Kurzzeit- und Langzeitwerte ausgegeben. Sie wird entweder als „erfüllt“ oder „nicht erfüllt“ bezeichnet.

Indices für die Beurteilung:

Zugfestigkeit des Rohres (SF für die Tragfähigkeit)
 Zugdehnung des Rohres (SF für die Tragfähigkeit)
 Diagonale Verformung des Rohres (Gebrauchstauglichkeit)
 Knicken des Rohres (SF für die Tragfähigkeit)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres bei vertikalem Erddruck (SF für die Tragfähigkeit)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres bei hydrostatischem Druck (SF für die Tragfähigkeit)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim kombinierten Aussendruck (SF für die Tragfähigkeit)
 Stabilität gegen thermisches Einbeulen des mehrschichtigen Rohres / Rohrliners (SF für die Tragfähigkeit)
 Stabilität gegen thermisches Knicken des mehrschichtigen Rohres / Rohrliners (SF für die Tragfähigkeit)
 Stabilität gegen Einbeulen des einbetonierten Rohr und Rohrliner (SF für die Tragfähigkeit)
 Kritischer Biegungs-Radius (SF für die Gebrauchstauglichkeit)
 Zug-Längskraft (SF für die Tragfähigkeit)
 Ermüdungswiderstand (Anzahl Lastwechsel)

Beispiel: Zustandsbeurteilung

Zustandsbeurteilung der Rohrleitung						
Farshad- ADAP-D2/04	Anforderungswerte / Sicherheitsfaktoren (SF)		vorhandener Sicherheitsfaktor		Beurteilung	
	Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit
Zugfestigkeit des Rohres (SF für die Tragfähigkeit)	2.5	1.6	1.0	0.9	nicht erfüllt	nicht erfüllt
Zugdehnung des Rohres (SF für die Tragfähigkeit)	2.0	2.0	23.6	4.7	erfüllt	erfüllt
Diagonale Verformung des Rohres (Gebrauchstauglichkeit)	0.03	0.05	3.4	2.1	erfüllt	erfüllt
Knicken des Rohres (SF für die Tragfähigkeit)	2.0	2.0	40.6	19.6	erfüllt	erfüllt
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim vertikalen Erddruck (SF für die Tragfähigkeit)	2.5	2.5	25.32	9.16	erfüllt	erfüllt
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim hydrostatischen Druck (SF für die Tragfähigkeit)	2.5	2.5	170.7	25.4	erfüllt	erfüllt
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim kombinierten Aussendruck (SF für die Tragfähigkeit)	2.5	2.5	22.1	6.7	erfüllt	erfüllt
Stabilität gegen thermisches Einbeulen des mehrschichtigen Rohres / Rohrliners (SF für die Tragfähigkeit)	2.5	2.5	-	-	-	-
Stabilität gegen thermisches Knicken des mehrschichtigen Rohres / Rohrliners (SF für die Tragfähigkeit)	2.0	2.0	-	-	-	-
Stabilität gegen Einbeulen des einbetonierten Rohr und Rohrliner (SF für die Tragfähigkeit)	2.5	2.5	-	-	-	-
Kritischer Biegungs-Radius (SF für die Gebrauchstauglichkeit)	1.0	1.0	41.5	41.5	erfüllt	erfüllt
Zug-Längskraft (SF für die Tragfähigkeit)	2.0	2.0	Druckspannung	Druckspannung	erfüllt	erfüllt
Ermüdungswiderstand (Anzahl Lastwechsel)		1.E+07		3.E+07		erfüllt


24.2.5 Schadenanalyse

Die Rohranalyse ergibt eine quantitative Beurteilung eines Schadenfalls in einem Rohrabschnitt. Die Beurteilung basiert auf eine von zwei Grenzwerten (1) Tragfähigkeitsgrenze und (2) Gebrauchsfähigkeitsgrenze. Der Beurteilungsvorgang ist ein Vergleich zwischen den berechneten Verhaltensparametern und deren Vergleich mit den Anforderungen. Die Beurteilung wird für Kurzzeit- und Langzeitwerte ausgegeben. Sie wird entweder als „Tragfähigkeitsgrenze erreicht“ oder „Gebrauchsfähigkeit erreicht“ bezeichnet.

Verhaltensaspekte bei Schadenanalyse:

Zugfestigkeit des Rohres
 Zugdehnung des Rohres
 Diagonale Verformung des Rohres
 Stabilität gegen Knicken des Rohres
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (hydrostatischer Druck)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (vertikaler Erddruck)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim kombinierten Aussendruck
 Stabilität gegen thermisches Einbeulen des mehrschichtigen Rohres / Rohrliners
 Stabilität gegen thermisches Knicken des mehrschichtigen Rohres / Rohrliners
 Stabilität gegen Einbeulen: einbetoniertes Rohr und Rohrliner
 Kritischer Biegeradius
 Zug-Längskraft
 Ermüdungswiderstand [Anzahl Lastwechsel]

Beispiel: Schadenanalyse

Schadenanalyse (Schadenbeurteilung)		
Farshad- ADAP-D2/04		
Verhaltensaspekte	Versagensmodus (Grenzzustand)	
	Kurzzeit	Langzeit
Zugfestigkeit des Rohres	Tragfähigkeits-Grenze	Tragfähigkeits-Grenze
Zugdehnung des Rohres	-	-
Diagonale Verformung des Rohres	-	-
Stabilität gegen Knicken des Rohres	-	-
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (hydrostatischer Druck)	-	-
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (vertikaler Erddruck)	-	-
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim kombinierten Aussendruck	-	-
Stabilität gegen thermisches Einbeulen des mehrschichtigen Rohres / R	-	-
Stabilität gegen thermisches Knicken des mehrschichtigen Rohres / Ro	-	-
Stabilität gegen Einbeulen: einbetoniertes Rohr und Rohrliner	-	-
Kritischer Biegeradius	-	-
Zug-Längskraft	-	-
Ermüdungswiderstand [Anzahl Lastwechsel]		-

24.2.6 Rest Lebensdauer der Rohrabschnitts

Die Beurteilung basiert auf den berechneten Verhaltenskriterien, den rechnerischen Sicherheitsfaktoren und deren Vergleich mit den Anforderungen. Durch die Rohranalyse wird die Restlebensdauer des Rohrabschnitts rechnerisch abgeschätzt. Die Abschätzung wird als quantitativer Wert von „bleibenden Jahren“ ausgedrückt.

Verhaltenskriterien bei der Lebensdauerabschätzung:

Zugfestigkeit des Rohres
 Zugdehnung des Rohres
 Diagonale Verformung des Rohres
 Stabilität gegen Knicken des Rohres
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (hydrostatischer Druck)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (vertikaler Erddruck)
 Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim kombinierten Aussendruck
 Stabilität gegen thermisches Einbeulen des mehrschichtigen Rohr / Rohrliners
 Stabilität gegen thermisches Knicken des mehrschichtigen Rohr / Rohrliners
 Stabilität gegen Einbeulen (einbetoniertes Rohr und Rohrliner)
 Kritischer Biegeradius
 Ermüdungswiderstand [Anzahl Lastwechsel]

Beispiel: Rest Lebensdauer

Abschätzung der Restlebensdauer 	
	Restlebensdauer (in Jahren) (gegen Anforderungen)
Farshad- ADAP-D2/04	
Zugfestigkeit des Rohres	0.0
Zugdehnung des Rohres	50.0
Diagonale Verformung des Rohres	50.0
Stabilität gegen Knicken des Rohres	50.0
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (hydrostatischer Druck)	50.0
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres (vertikaler Erddruck)	50.0
Stabilität gegen Einbeulen des Rohres beim kombinierten Aussendruck	50.0
Stabilität gegen thermisches Einbeulen des mehrschichtigen Rohr / Rohrliners	-
Stabilität gegen thermisches Knicken des mehrschichtigen Rohr / Rohrliners	-
Stabilität gegen Einbeulen (einbetoniertes Rohr und Rohrliner)	-
Kritischer Biegeradius	50.0
Ermüdungswiderstand [Anzahl Lastwechsel]	3.E+07

25 Prozedur für die Langzeitextrapolation

Mit dem Programm ADAP kann die Langzeit Extrapolation von Innendruckverhalten für einschichtige und mehrschichtige Rohre und Rohren mit strukturierter Rohrwand durchgeführt werden. Sie können bis 60 Datenpunkten eingeben.

Das allgemeine Vorgehen bei Langzeitextrapolation ist wie folgt.

- (1) Führen Sie die normale Rohranalyse für Ihre Rohrabchnitt durch (siehe Kapitel 17). Dafür brauchen Sie nur die Rohrmaterialdaten, Rohrabmessungen und willkürlich andere typische Daten einzugeben. Beachten Sie, dass Sie den geeigneten Code für Ihre Rohr eingeben (z.B. Einzelschicht, Mehrschicht, ...)
- (2) Gehen Sie zum Modul „Langzeitextrapolation“
- (3) Für mehrschichtige Rohre, wählen Sie die Schicht Materialtyp aus. Die Auswahl findet durch die Eingabe in eine Tabelle statt. Für Ihr ausgewähltes Schichtmaterial müssen Sie den Code „1“ eingeben. Gleichzeitige Auswahl von mehreren Materialien für eine Schicht ist nicht möglich.
- (4) Geben Sie die „Anzahl“ Datenpunkten ein.
- (5) Geben Sie vorhandene Zeitstands-Innendruck Daten ein. Sie dürfen maximal bis 30 Datenpunkte eingeben. In der ersten Spalte ist der Zeitstand-Innendruck (in MPa) und in der zweiten Spalte die Standzeit (in Stunden) einzugeben
- (6) Im falls vorhanden, können Sie als Vergleich, die vorhandene Materialdatenpunkte z.B. Lieferantendaten eingeben. Diese Eingabe ist willkürlich, kann aber wohl für eine vergleichende Beurteilung und Festlegung von Sicherheitsfaktoren nützlich sein.
- (7) Für Multischichtrohre wird der Innendruckanteil jeder Schicht und die dementsprechende Umfangsspannung durch die durchgeführte Rohranalyse berechnet und automatisch in Betrachtung gezogen.

Beispiel: Langzeitextrapolation

Dreischichtiges Rohr: PE/GFK/PE

Schichten-Definition:

Schichtmaterial	innere Schicht	mittlere Schicht	äussere Schicht
PE, PP, PEX (Code: 1)	1		1
PVC (Code: 1)			
GFK (Code: 1)		1	
Anderes Material (Code: 1)			

bis 60 Datenpunkten				Anzahl Datenpunkten:		30	
Zeitstand-Innendruckdaten für einschichtiges / mehrschichtiges Rohr		Zeitstand-Materialdaten für die Innenschicht		Zeitstand-Materialdaten für die Mittelschicht		Zeitstand-Materialdaten für die Aussenschicht	
Innendruck, [MPa]	Standzeit, [h]	Standzeit, [h]	Spannung, [MPa]	Standzeit, [h]	Spannung, [MPa]	Standzeit, [h]	Spannung, [MPa]

30 Datenpunkte sind eingegeben worden. Die Datenpunkten bestanden aus Innendruck (erste Spalte links) und Standzeit (zweite Spalte links).

Mehrschichtiges Rohr / Sandwichrohr		
ADAP-D2/04		
Rohrabbmessungen	Kurzzeit	Langzeit
Aussendurchmesser der äusseren Schicht, [mm]	35.00	35.00
Innendurchmesser der äusseren Schicht, [mm]	34.00	34.00
Dicke der äusseren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]	0.50	0.50
Aussendurchmesser der mittleren Schicht, [mm]	34.00	34.00
Innendurchmesser der mittleren Schicht, [mm]	30.00	30.00
Dicke der mittleren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]	2.00	2.00
Aussendurchmesser der inneren Schicht, [mm]	30.00	30.00
Innendurchmesser der inneren Schicht, [mm]	26.00	26.00
Dicke der inneren Schicht (Minimum = 0.001), [mm]	2.00	2.00
Totale Wanddicke (automatisch berechnet), [mm]	4.50	4.50
Materialeigenschaften	Kurzzeit	Langzeit
E-Modul der äusseren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	1000	150
E-Modul der mittleren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	12000	6000
E-Modul der inneren Schicht in Umfangsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	1400	300
E-Modul der äusseren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	1000.00	150.00
E-Modul der mittleren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	12000.00	6000.00
E-Modul der inneren Schicht in Längsrichtung (Minimum = 1.0), [N/mm ²]	1400.00	200.00
Querkontraktionszahl der äusseren Schicht, [-]	0.4	0.4
Querkontraktionszahl der mittleren Schicht, [-]	0.34	0.34
Querkontraktionszahl der inneren Schicht, [-]	0.4	0.4

26 Ergebnisse der Langzeitextrapolation

Die Ergebnisse der Langzeitextrapolation werden in Modul "Diagramme" als Spannung in Funktion der Standzeit dargestellt.

- Für die Einzelschichtrohre wird die Zeitstandkurve und die Datenquelle bezüglich der Zeitstands-Innendruck Daten dargestellt. Falls ein Vergleich oder Referenzdaten vorhanden sind, werden sie auch auf dem Diagramm präsentiert.
- Für die Mehrschichtrohre wird die Zeitstandkurve für Einzelschichten und die Datenquelle bezüglich dem Zeitstand-Innendruckversuch dargestellt. Falls ein Vergleich oder Referenzdaten vorhanden sind, werden sie auch auf dem Diagramm präsentiert.

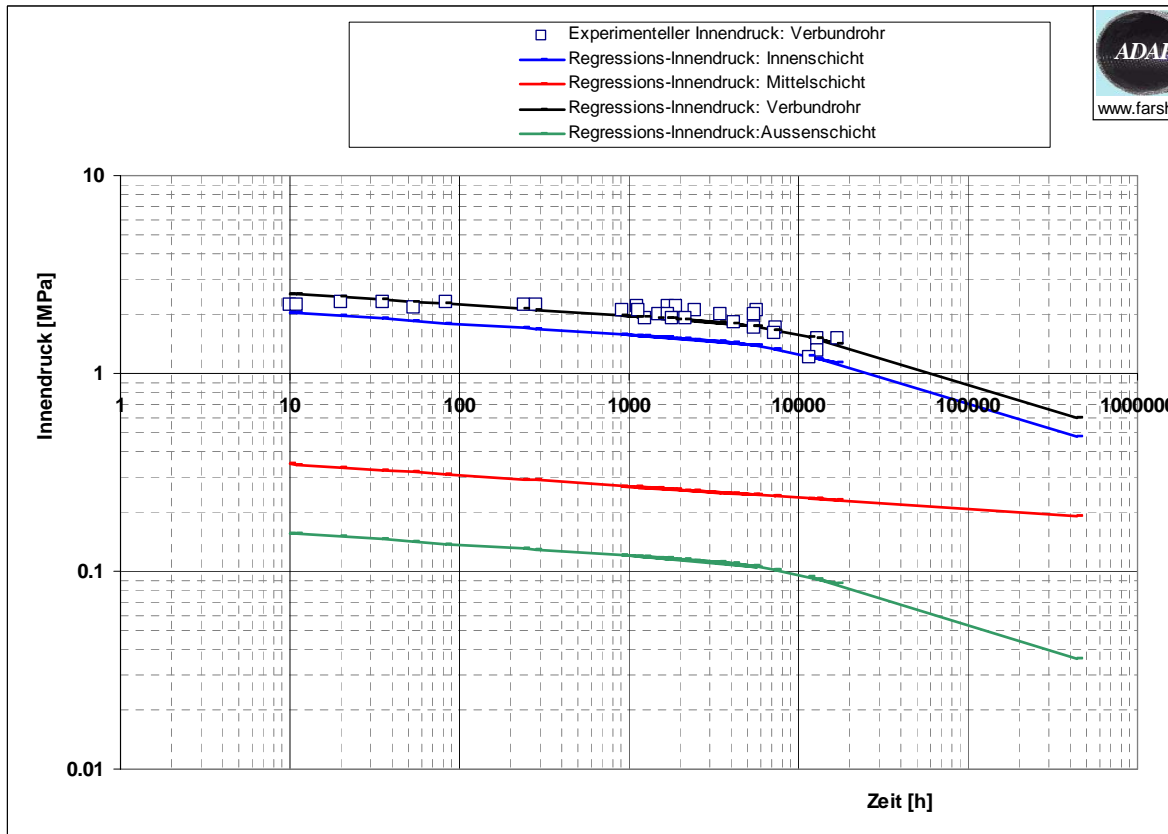
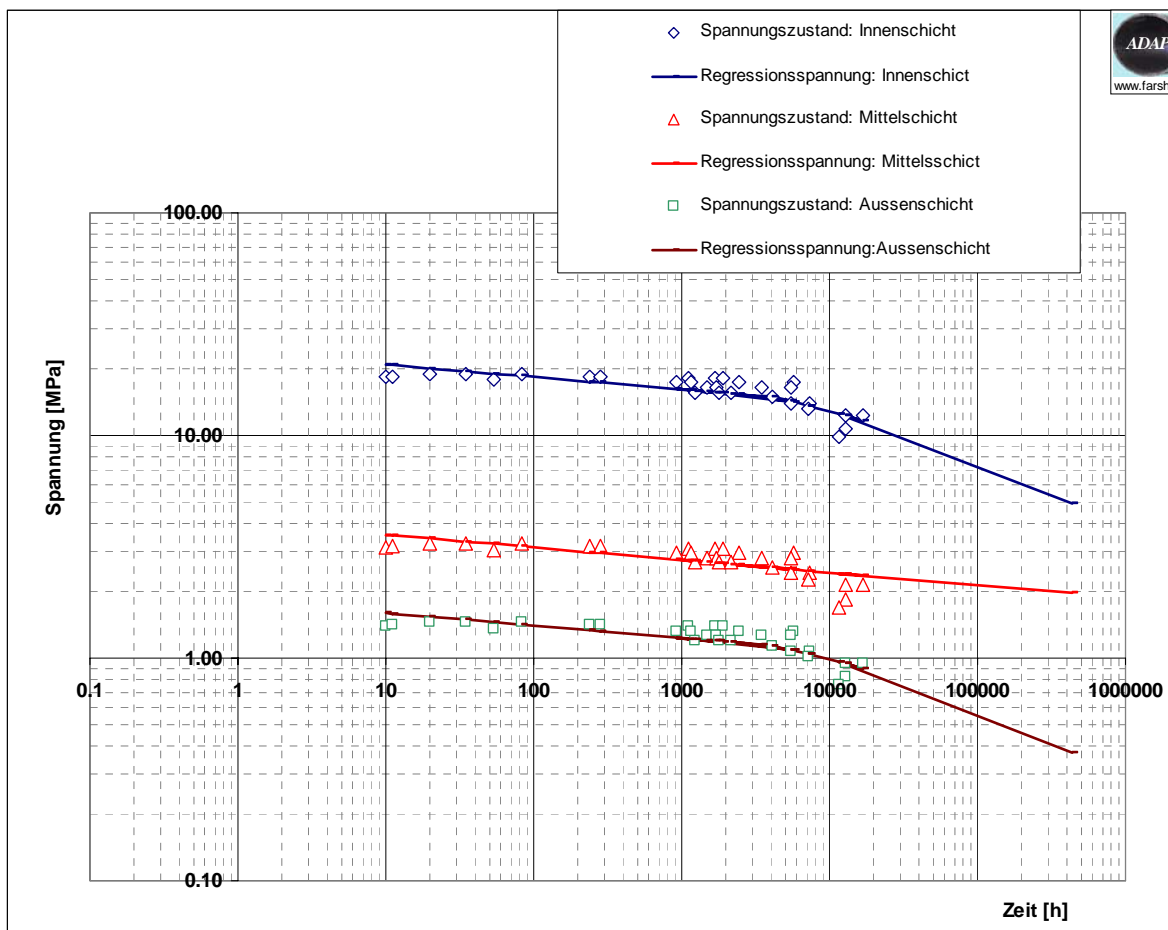
Beispiel: Langzeitextrapolation

Ergebnisse der Regressionsanalyse			
Temperatur:	40	°C	Anzahl Datenpunkten: 30
Zeitstands-Innendruckverhalten: Regressionsanalyse für die Spannungen			
Quadratische Regressionsanalyse für den Zeitstands-Innendruckdaten			
Quadratische Regressionsgleichung für die Spannung		Log[Spannung]= a + b Log[Zeit] + c Log [Zeit] ²	
Bezeichnung: Quadratischer Regressionsparameter	a	b	c
Parameter für die Regressionsspannung: Innenschicht	1.112	0.179	-0.045
Parameter für die Regressionsspannung: Mittelschicht	0.345	0.180	-0.045
Parameter für die Regressionsspannung: Aussenschicht	-0.007	0.181	-0.045

Ergebnisse der Regressionsanalyse			
Temperatur:		40	°C
Anzahl Datenpunkten:	30		
Zeit, [h]	Zeitstand-Innendruckspannung, [MPa]		
	Innenschicht	Mittelschicht	Aussenschicht
1	23.74	4.08	1.82
10	20.84	3.58	1.60
100	18.29	3.14	1.40
1000	16.05	2.76	1.23
10000	12.89	2.42	0.99
100000	7.68	2.12	0.59
438000	4.95	1.95	0.38

Ergebnisse der Regressionsanalyse			
Temperatur:		40	°C
Anzahl Datenpunkten:	30		
Quadratische Regressionsanalyse für den Zeitstands-Innendruckdaten			
Quadratische Regressionsgleichung für den Innendruck		Log[Innendruck]= d + e Log[Zeit] + f Log [Zeit] ²	
Bezeichnung: Quadratischer Regressionsparameter	d	e	f
Parameter für die Regressions-Innendruck: Innenschicht	0.098	0.181	-0.045
Parameter für den Regressions-Innendruck: Mittelschicht	-0.669	0.183	-0.046
Parameter für den Regressions-Innendruck: Aussenschicht	-1.021	0.183	-0.046
Parameter für den Regressions-Innendruck: Verbundrohr	0.194	0.181	-0.045

Ergebnisse der Regressionsanalyse				
Temperatur:		40	°C	
Anzahl Datenpunkten:	30			
Zeit, [h]	Zeitstands-Innendruck, [MPa]			
	Innenschicht	Mittelschicht	Aussenschicht	Verbundrohr
1	2.31	0.40	0.18	2.88
10	2.03	0.35	0.16	2.53
100	1.78	0.31	0.14	2.22
1000	1.56	0.27	0.12	1.95
10000	1.25	0.24	0.10	1.71
100000	0.74	0.21	0.06	1.50
438000	0.48	0.19	0.04	1.38



27 Zustandsüberwachung der Rohrleitung

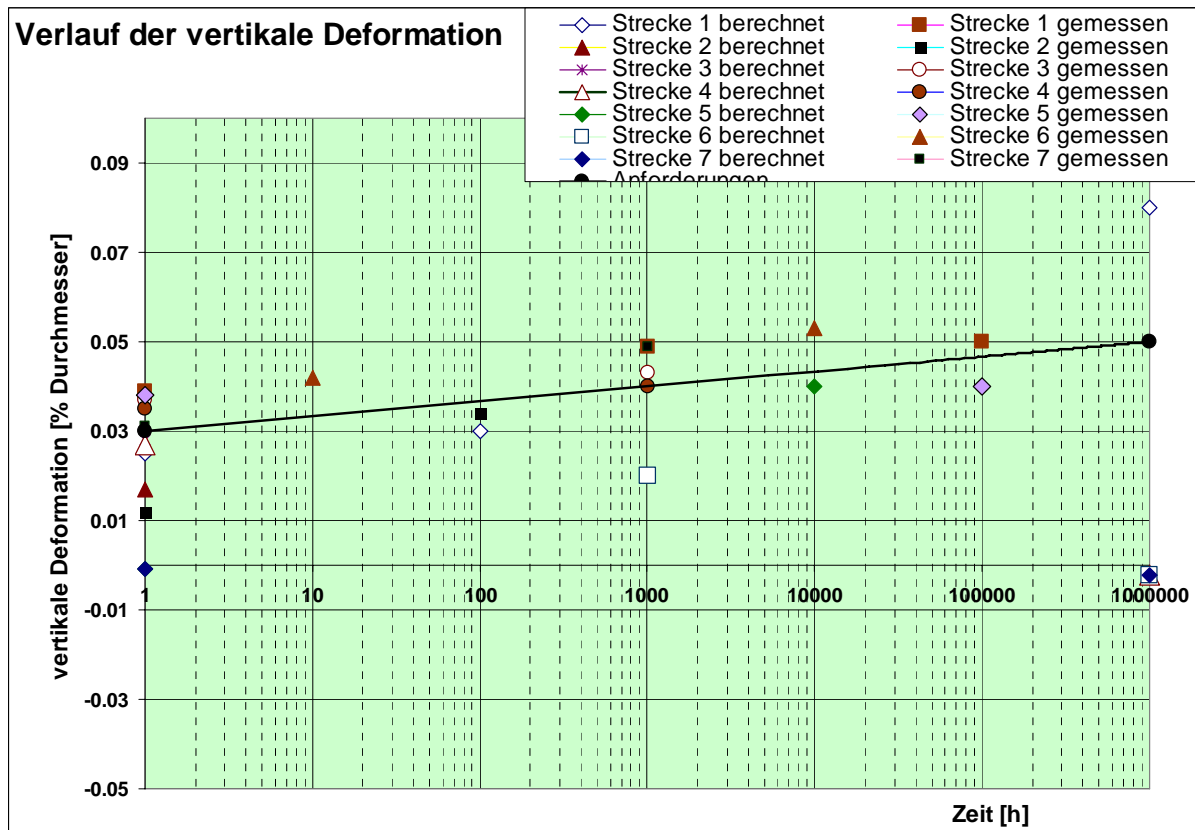
Mit dem Programm ADAP kann der Langzeit-Deformationszustand der Rohrleitung rechnerisch durchgeführt werden. Es wurden bis 7 Rohrabschnitte in der Rohrleitung programmiert. Das allgemeine Procedere ist wie folgt:

- Eine Rohranalyse wird für den Rohrabschnitt durchgeführt
- Auf der Basis der Eingaben der Rohr-Deformationsanalyse wird die vertikale Kurzzeit- und Langzeit-Deformation des Rohrabschnitts berechnet.
- Auf der Basis der rechnerisch vertikalen Kurzzeit- und Langzeit Verformung wird eine Referenzkurve produziert.
- Die periodischen Deformationsmessungen in den Rohrabschnitten unter Betrachtung sollen durchgeführt werden. Nachträglich sollen die Deformationsdatenpunkte (Zeitpunkt von der Referenzzeit und Deformation) in den entsprechenden Tabellen eingetragen werden.
- Ein Vergleich zwischen den gemessenen Deformationen sowie den Trends der Deformationsabläufe im Rohrabschnitt mit den rechnerischen Trends kann Indikationen über den allgemeinen Verlauf der Rohrdeformation und des Deformations-Zustand liefern.

Beispiel: Zustandsüberwachung

Zustandsüberwachung (Health Moninoring)															
Zeit [h]	vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 1		vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 2		vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 3		vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 4		vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 5		vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 6		vertikale Deformation, [% Durchmesser] Strecke 7		Anforderungen
	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	
	1	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.00	0.04		0.04	0.00	
10															
100	0.03		0.03												
1000		0.05				0.04		0.04				0.02		0.05	
10000									0.04			0.05			
100000		0.05								0.04					
1000000	0.08		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.05

Ergebnisse:



28 Dimensionierung (Rohrdesign)

Die Auslegung von Rohrleitungen kann ebenfalls mit Programm ADAP durchgeführt werden. Die Auslegung basiert auf der Eingabe der Sicherheitsfaktoren zur Bestimmung einiger Eigenschaften der Rohrleitung. Das Ziel wird innerhalb des **Design-Menüs** erreicht. Mit Hilfe des **Design-Menüs** können die folgenden Eigenschaften bestimmt werden:

- benötigter nomineller Aussendurchmesser isotroper Rohre
- benötigte Wanddicke isotroper Rohre
- benötigtes Elastizitätsmodul
- benötigte Kurzzeit- und Langzeit-Festigkeit
- benötigter Verdichtungsgrad von der Seite oder der Hinterfüllung der verlegten Rohrleitung
- benötigter Aussendurchmesser mehrschichtiger Rohre
- benötigte Wandstärke der Einzelschichten bei mehrschichtigen Rohren
- benötigtes Elastizitätsmodul der Einzelschichten bei mehrschichtigen Rohren

Massgebend für das Design der Rohrleitung sind die gewünschten Sicherheitsfaktoren. Die Rohrleitung kann für folgende Sicherheitskriterien ausgelegt werden:

- Sicherheitsfaktor gegen Bruch (Kurzzeit oder Langzeit)
- Sicherheitsfaktor für die zulässige Verformung (Kurzzeit oder Langzeit)
- Sicherheitsfaktor gegen Beulinstabilität (Kurzzeit oder Langzeit)

Für die Auslegung der Rohrleitung werden die Möglichkeiten des Excel-Programms unter "**Zielwertsuche**" benutzt. Für die Auslegung sollen folgende Schritte durchgeführt werden:

- (1) Führen Sie die **Rohranalyse** mit den gegebenen Anfangsdaten durch.
- (2) Gehen Sie zu dem Design Menü-Blatt.
- (3) Markieren Sie in der Designblock-Tabelle die Zelle entsprechend dem gewünschten Sicherheitsfaktor (**Zielzelle**). Die entsprechende Zelladresse wird dann im Dialogfenster von Excel bereits vorgegeben.
- (4) Wählen Sie **Extras/Zielsuche**.
- (5) Geben Sie im Feld **Zielwert** den gewünschten Kurzzeit- oder Langzeit-Sicherheitsfaktor (Festigkeit, Verformung, Stabilität) ein.
- (6) Geben Sie im Feld **veränderbare Zelle** den Zellbezug (Code) für die Vorgängerzelle ein.
- (7) Die Ergebnisse werden gleichzeitig in allen Zellen des Designblocks erscheinen.
- (8) Wiederholen Sie diese Prozedur für andere Sicherheitswerte oder Eigenschaften.

29 Datenbank

Das Programm ADAP beinhaltet eine Datenbank über einige Kennwerte, die für die Rohrberechnung als Informationsquelle nützlich sein kann. Die Datenbank enthält folgende Informationen.

- Allgemeine Werkstoffkennwerte
- Werkstoffeigenschaften, PE-HD
- Polyethylen-Rohre für die Wasserversorgung
- Polyethylen-Rohre für die Gasversorgung
- Drucklose PE-Rohre
- Kennlinien der Zeitstand-Innendruckfestigkeit von thermoplastischen Rohren
- Zug-Kriechmodul von PE bei 23°C
- Kurzzeit-Zugmodul von PE in Abhängigkeit der Temperatur
- Ermüdung von Kunststoffen
- Sicherheitsbeiwerte (Vorschlag)

30 Literaturverzeichnis

1. Structural design of buried pipelines under various conditions of loading - Part 1: General requirements (Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen– Teil 1: Generelle Anforderungen) 155 N 1799, prEN 1295-1 (CEN/TC 164/165/JWG 1, N 47.16 E) 1996-08-16.
2. Piping systems - Structural design of buried pipelines: Common CEN method (Draft) CEN/TC164 N 1038, CEN/TC 164/165 JWG 1, N 174a); 1999-05-20, Annex to prEN 1295-2, preliminary draft March 1999.
3. Piping systems - Structural design of buried pipelines: Common method -
4. Structural design of buried pipelines under various conditions of loading- Part 3: Common method, (Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen – Teil 3: Gemeinsames Verfahren) prEN 1295-3 (CEN/TC 165 N 1006 E) 2001-03.
5. ATV-DVWK – Regelwerk; Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127, Statische Berechnung von Abwasserkanälen und - Leitungen, 3. Auflage 2000.
6. SN 533190; SIA 190, Kanalisationen, SN 533 190, Ausgabe Norm Ausgabe 2000.
7. SN EN1295-1*SIA190.101, Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen, 1997.
8. International Standard: ISO 9080, Plastics piping and ducting systems- Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation, ISO 9080: 2003 (E)
9. International Standard: ISO 10928, Plastics piping systems- Glas-reinforced thermosetting Plastics (GRP) pipes and fittings - Methods for regression analysis and their use, ISO 10928: 1997 (E)
10. SN EN705, Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Rohre und Formstücke aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) – Verfahren zur Regressionsanalyse und deren Anwendung; SN EN 705:1995 de
11. [10] DRaft International Standard ISO/DIS 17456, Plastics Piping systems – Multilayer pipes – Determination of the long-term hydrostatic strength, 2003-07-10.
12. Buried Pipe Design, A.P. Moser, McGraw-Hill, New York, (2nd Edition), 2001
13. Farshad, M., ADAP: Neues Rechenprogramm für die Dimensionierung und statische Analyse von Rohrleitungen, April 2002.
14. [Farshad, M., ADAP, Journal of thermoplastic Composite Materials, 2002
15. Farshad, EFAP, gwa, 2004
16. [Farshad, M. and Flüeler, P., „Buckling Resistance of Polymer Pipes Under Hydrostatic Pressure“, Plastics Pipes IX, 1995, pp 617-625.
17. Farshad, M. Design and Analysis of Shell Structures, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992.
18. Farshad, M., Stability of Structures, Elsevier, NY, 1994.
19. Farshad, M., ADAP, Plastics Pipes XII, 2004
20. Entwurf pre EN 14801, Bedingungen für die Klassifizierung von Produkten für Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung nach auftretenden Drücken, pe EN 14801:2003 D.
21. Farshad, M., „ADAP Neues Rechenprogramm für die Dimensionierung und statische Analyse von Rohrleitungen“, Gas-Wasser-Abwasser (gwa) Vol. 82, No. 4, pp. 241-249, 2002.
22. Farshad, M., “ADAP: A New Software for Automated Design and Analysis of Plastic Pipelines”, Journal of Thermoplastics Composite Materials, Vol. 16, pp171-181, 2003.
23. Farshad, M., „Diagnose von Rohrleitungen – ein Expertensystem für Ausfallanalysen“, gwa, No. 10, pp 715-724, 2003..
24. Farshad, M. and Necola, A., “Effect of aqueous environment on the long-term behavior of glass fiber-reinforced plastic pipes”, Polymer Testing, Vol 23, No. 2, pp163-167, 2004.
25. Farshad, M., “Two new criteria for the service life prediction of plastics pipes”, *Polymer Testing*, Vol. 23, pp 967-972, 2004.

26. Farshad, M., "ADAP – A new software for automated design and structural analysis of plastics pipelines", Proc. XII Plastics Pipes Conference, 19th-22nd, Milan, Italy April 2004.
27. Farshad, M., "EFAP – An Expert system for failure analysis of plastics pipes", Proc. XII Plastics Pipes Conference, 19th-22nd, Milan, Italy April 2004.
28. Farshad, M., "Design and Analysis of pipelines", Farshad, M., "Magnetoactive polymer composites", Proceedings of 3rd International Congress on Mechatronics, 7-9 July Prague, 2004.
29. Farshad, M., Rohrberechnungsprogramm – Neue Version von ADAP, gwa 12 (Switzerland), 899-911, Dez. 2004.
30. Farshad, M., Necola, A., and Flüeler, P., "Service life prediction of GFRP pipes in aggressive environments", Proc, The Second International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, 8-10 December 2004 - Adelaide, Australia, 2004.
31. M. Farshad, Determination of the long-term hydrostatic strength of multilayer pipes, *Polymer Testing*, Vol. 24, Issue 8, pp1041-1048, 2005.
32. M. Farshad, Sicherheit von Rohrleitungen, zu erscheinen in gwa, 06. Jan. 2006.
33. J. Snedeker, M. Farshad, P. Niederer, and F.R. Schmidlin, A Comprehensive, Modeling based, Renal Injury Concept, to appear in the Proc. of World Congress on Biomechanics, München, Germany, 2006.
34. M. Farshad, New Automated Long-Term Extrapolation Method for Plastic Pipes Under Hydrostatic Pressure, *Journal of Thermoplastic Composite Material*, Vol19, No.5, pp569-574,2006..
35. M. Farshad, Pipelines as Lifelines: Computational Problems and Methods; in: Innovation in Computational Structures Technology, B.H.V.Topping, G. Montero, and R.Montenegro (eds.), Saxe-Coburg Publications, Stirlingshire, UK, pp541-567, 2006.