

Studienvorlage

MDESIGN₂₀₁₂

© TEDATA GmbH, Königsallee 45, D-44789 Bochum
www.tedata.de; www.mdesign.de; www.inggo.com

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und der Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung der MDESIGN Vertriebs GmbH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
1 Einführung	5
1.1 Maschinenelementeberechnungen mit und ohne Softwareunterstützung	5
1.2 Was ist MDESIGN.....	6
1.2.1 Maschinenelementeberechnungen	6
1.2.2 Informationsportal	6
1.3 Berechnungsgrundlagen und Normen	8
2 Aufbau von MDESIGN explorer	9
2.1 Infoseiten	10
2.2 Menüleiste.....	11
2.3 Themengruppen und Modulbaum	16
2.4 Eingabeseite.....	17
2.5 Ausgabeseite.....	18
3 Grundlagen der Handhabung.....	19
3.1 Prinzipielle Vorgehensweise	19
3.2 Eingabe + Eingabehilfen.....	19
3.2.1 Verwendung der Texthilfe	20
3.2.2 Verwendung der Grafikhilfe	20
3.2.3 Verwendung von Eingabeassistenten	21
3.3 Berechnung und Ausgabeseite	22
3.4 Berechnungsdokumentation	23
4 Übungsbeispiele.....	25
4.1 Übungsaufgabe 1 – Wellenberechnung nach DIN 743.....	25
4.2 Übungsaufgabe 2 – Schweißnahtberechnung	35
5 Zusammenfassung	48
6 Literaturverzeichnis.....	49

Einleitung

Die Studienvorlage umfasst die Einführung in die Maschinenelementeberechnung mit dem Softwarepaket MDESIGN. In der Einführung wird dem Leser zunächst ein Vergleich zur Berechnung von Maschinenelementen mit und ohne Software geboten, um dem Anwender die jeweiligen Vor- und Nachteile bewusst zu machen. In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über die Möglichkeiten zur Nutzung von MDESIGN gegeben, wobei speziell auf den Hauptzweig des Programmes, die eigentliche Maschinenelementeberechnung, eingegangen wird. Daneben werden aber auch neue Rubriken von MDESIGN vorgestellt, die im Wesentlichen der Informationsbeschaffung dienen. Die Handhabung des Programmes MDESIGN kann anschließend mit Hilfe zweier Übungsbeispiele geprüft und vertieft werden. Schwerpunkt wird auch auf die Dokumentation berechneter Maschinenelemente gelegt. Anhand der Übungsbeispiele wird daher die einfache und schnelle Dokumentation einer Berechnung demonstriert.

Studienziele

Folgende Studienziele sind mit dieser Studienvorlage verbunden:

Diese Studienvorlage soll Grundlagen zur Berechnungssoftware MDESIGN vermitteln.

Schwerpunkte sind dabei:

- Berechnungsmöglichkeiten mit MDESIGN
(Berechnungsmodule – umgesetzte Normen)
- Grundlegende Handhabung der Programmoberfläche
- Ablauf einer Maschinenelementeberechnung
(Informationsbeschaffung – Berechnung - Dokumentation)
- Anwendung am Übungsbeispiel

Nach der Bearbeitung der Studienvorlage sollen die einzelnen Schritte einer Maschinenelementeberechnung verinnerlicht sein. Mit Hilfe der beiden Berechnungsbeispiele können einzelnen Berechnungsschritte systematisch nachvollzogen werden. Dabei sind die Übungsaufgaben so aufgebaut, dass eine theoretische Bearbeitung der beiden Beispiele durchgeführt werden kann. Das Nachvollziehen der einzelnen Berechnungsschritte und -abläufe mit dem Programm wird jedoch empfohlen.

1 Einführung

1.1 Maschinenelementeberechnungen mit und ohne Softwareunterstützung

„Das Maschinenelement kann im weitesten Sinne verstanden werden als das kleinste, nicht mehr sinnvoll zu zerlegendes und in gleicher oder ähnlicher Form immer wieder verwendete Bauteil im technischen Anwendungsbereich“ [1]. Ausgehend von dieser Definition des Maschinenelementes ist gerade im Hinblick auf die Aussage „immer wieder verwendetes Bauteil“ die Sinnhaftigkeit der standardisierten Maschinenelementeberechnung begründet. So liegt es nahe, dass bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts Normenausschüsse in Deutschland gegründet wurden. Seitdem sind für einen Großteil der Maschinenelemente Normen entstanden und werden ständig weiterentwickelt. Grundlagen der Maschinenelementeberechnung werden an Hochschulen bereits in die Lehre einbezogen. Bezug auf Berechnungsnormen wird auch in der zahlreich vorhandenen Literatur zu den Maschinenelementen genommen. Der Anwender hat somit die Möglichkeit, die zu dimensionierenden Maschinenelemente nach den Berechnungsstandards durchzuführen. Die eigentliche Berechnung kann dabei als „Handrechnung“ oder als „CAE-Rechnung“ erfolgen, wobei sich der Anwender Vor- und Nachteile beide Verfahren an dieser Stelle noch einmal verinnerlichen sollte, um das Fehlerrisiko zu minimieren.

Handrechnung:

Handrechnung

Der klare Vorteil der Handrechnung liegt in der tiefen Einarbeitung in die Thematik und in den eigentlichen Berechnungsalgorithmus. Dies bietet größere Sicherheit bei der Abstraktion des Maschinenelementes und des umgebenden Systems auf ein berechenbares Modell.

Der Nachteil der Handrechnung ist die aufwendige Aufstellung des Berechnungsalgorithmus. Hier können Fehler beim Aufstellen der einzelnen Formeln sowie Eingabefehler bei der folgenden Berechnung gemacht werden.

CAE-Rechnung:

CAE - Rechnung

Die Nachteile der Handrechnung sind die wesentlichen Vorteile der CAE-Rechnung. In der Berechnungssoftware ist der Berechnungsalgorithmus fix im Quelltext eingebunden. Es ist sichergestellt, dass immer exakt nach demselben Algorithmus gerechnet wird. Damit verbunden ist der Vorteil der enormen Zeiteinsparung, da der Berechnungsalgorithmus nicht erst aufgestellt werden muss.

Die Möglichkeit, eine Berechnung in kürzester Zeit durchzuführen birgt das Risiko, sich zu sehr auf die Software zu verlassen. Die meisten Berechnungsalgorithmen beruhen auf Annahmen für ein rechenbares Ersatzmodell. Setzt sich der Anwender mit diesen Annahmen nicht auseinander, sind fehlerhafte Eingaben wahrscheinlich. Das Softwarepaket MDESIGN versucht an dieser Stelle mit umfangreichen Informationen (Text- und Grafikhilfen) entgegenzuwirken.

Fazit: CAE-Software bietet erhebliche Vorteile bei der Berechnung von Maschinenelementen. Es besteht jedoch die Gefahr, dass sich die Anwender zu wenig mit der Thematik befassen. So können Fehler durch falsche Annahmen oder falsche Interpretationen der Ergebnisse entstehen, selbst wenn nach dem richtigen Berechnungsstandard gerechnet wurde.

1.2 Was ist MDESIGN

MDESIGN ist ein vielseitig eingesetztes Softwarepaket zur Berechnung und Dokumentation von Maschinenelementen, sowie wichtiges Instrument zur Informationsbeschaffung.

1.2.1 Maschinenelementeberechnungen

Berechnungen mit MDESIGN

Für eine Vielzahl von standardisierten Maschinenelementen stehen genormte Berechnungsverfahren zur Verfügung. In erster Linie handelt es sich dabei um Berechnungsnormen des Deutschen Instituts für Normungen e. V. (DIN-Normen). Daneben werden aber auch Berechnungsvorschriften vom Verein Deutscher Ingenieure e.V., in Form von sogenannten VDI-Richtlinien bereitgestellt. MDESIGN mechanical stellt ein Programmpaket dar, welches die wichtigsten Berechnungsnormen im Bereich der Maschinenelementeberechnung aufgreift und eine software-basierte Umsetzung dieser Normen anbietet.

Für einige Maschinenelemente liegen keine umfassenden Berechnungsnormen vor. Berechnungsgrundlagen bietet an dieser Stelle die Fachliteratur im Bereich der Maschinenelementeberechnung. MDESIGN arbeitet eng mit dem Fachbuch „Roloff/Matek Maschinenelemente“ zusammen. Dieses Fachbuch ist das meistverkaufte Buch im Bereich der Maschinenelementeberechnung in Deutschland.

Einen Gesamtüberblick zur Maschinenelementeberechnung, Normen und deren Umsetzung in einzelnen Modulen der Berechnungssoftware MDESIGN mechanical erhalten Sie im Kapitel 1.3.

1.2.2 Informationsportal

Informationen in MDESIGN

Mit der Version MDESIGN 2008 wurde das Programmpaket der Maschinenelementeberechnung um eine Kommunikationsplattform erweitert. Diese Kommunikationsplattform ermöglicht die Bereitstellung sowie den Austausch von Wissen und Informationen. Informationen zur Berechnung von Maschinenelementen stehen in Form von Normen, Richtlinien, Berechnungsvorschriften und Herstellerinformationen im umfangreichen Maße zur Verfügung. In vielen Fällen ist aber die Zugänglichkeit zu diesen Informationen problematisch. An dieser Stelle setzt MDESIGN an und bietet verschiedene Themengruppen an, um den Zugang zu bestehendem Wissen signifikant zu erleichtern. Die Themengruppen „Berechnungen“ und „Formelsammlung“ beinhalten Berechnungsmodule, die auf Berechnungsnormen und standardisierten Rechenwegen basieren und bieten somit schnellen Zugriff auf anerkanntes Wissen. Diese beiden Themengruppen sind dem Zweig der Maschinenelementeberechnung von MDESIGN zugeordnet. Alle anderen Themengruppen gehören zu dem Bereich Informationsbeschaffung.



Abbildung 1-1: MDESIGN als „Wissensbrücke“

Themengruppen in MDESIGN

- Berechnungsbibliotheken
- Tabellen und Datenbanken
- Formelsammlung
- Roloff/Matek Bauteilkatalog
- MDESIGN Online-Auslegung
- Mechanical Teachnet
- Normenübersicht
- Informationsportal www.inggo.com
- Konstruktionsforum
- Wissensupdate

Wissensbasis für die
Konstruktion

Themengruppen

Nähere Informationen zu den einzelnen Themengebieten sind im Kapitel 2.3 zu finden.

1.3 Berechnungsgrundlagen und Normen

Normenübersicht

Maschinenelement	Norm	MDESIGN-Modul
Welle	DIN 743	MDESIGN shaft
Welle-Nabe-Verb. Passfederberechnung Zyl. Pressverbände Polygonprofil P3G Polygonprofil P4C	DIN 6892 DIN 7190 DIN 32711 DIN 32712	MDESIGN mechanical Welle-Nabe-Verbindung
Schraubenverbindungen	VDI 2230	MDESIGN bolt
Verzahnung Stirnradverzahnung Kegelradverzahnung Schneckengetriebe	DIN 3960 DIN 3991 DIN 3996	MDESIGN mechanical Verzahnungen
Riemen- Kettentriebe Normalkeilriemen Schmalkeilriemen Rollenketten	DIN2218 DIN7753 DIN ISO 10823	MDESIGN mechanical Riemen-, Kettentriebe
Wälzlager	DIN ISO 281	MDESIGN mechanical Wälzlager
Gleitlager Axiale Gleitlager Radiale Gleitlager	DIN 31654 DIN 31652	MDESIGN mechanical Gleitlager
Elastische Federn Zug-/Druckfeder Tellerfeder Drehfeder Drehstabfedern	DIN EN 13906 DIN 2092 DIN 2288 DIN 2091	MDESIGN mechanical Elastische Federn
Passungen ISO-Passsystem	DIN 286	Tabellen und Datenbanken Toleranzen, Passungen
Schweißnahtberechnung	DS 952 01 DVS 0705	MDESIGN mechanical Schweißverbindungen

Tabelle 1-1: Übersicht Normen

2 Aufbau von MDESIGN explorer

In diesem Kapitel soll der grundlegende Aufbau der Programmoberfläche von MDESIGN explorer vermittelt werden. Die MDESIGN- Oberfläche besitzt Komponenten, die von anderen Standard-Windows-Anwendungen bekannt sind, wie z.B. die Menüleiste, die Symbolleiste und der Modulbaum, auf die im Folgenden nur kurz eingegangen werden soll. Andere MDESIGN-spezifische Oberflächenkomponenten wie die Ein- und Ausgabeseite sowie spezielle Eingabehilfen sollen in den nächsten Kapiteln ausführlicher betrachtet werden. Der grundlegende Aufbau der Programmoberfläche ist einheitlich für alle Programme und Module der MDESIGN-Produkte. In Abbildung 2-1 ist dieser Aufbau mit den einzelnen Oberflächenkomponenten dargestellt. Die Oberfläche kann in die folgenden Komponenten unterteilt werden:

- Menü- und Symbolleiste
- Themengruppen
- Modulbaum
- Infoseite (siehe Kapitel 2.1)
- Ein- und Ausgabeseite (Ausgabeseite erscheint nach Berechnung)
- Texthilfe
- Grafikhilfe

Programmkomponenten

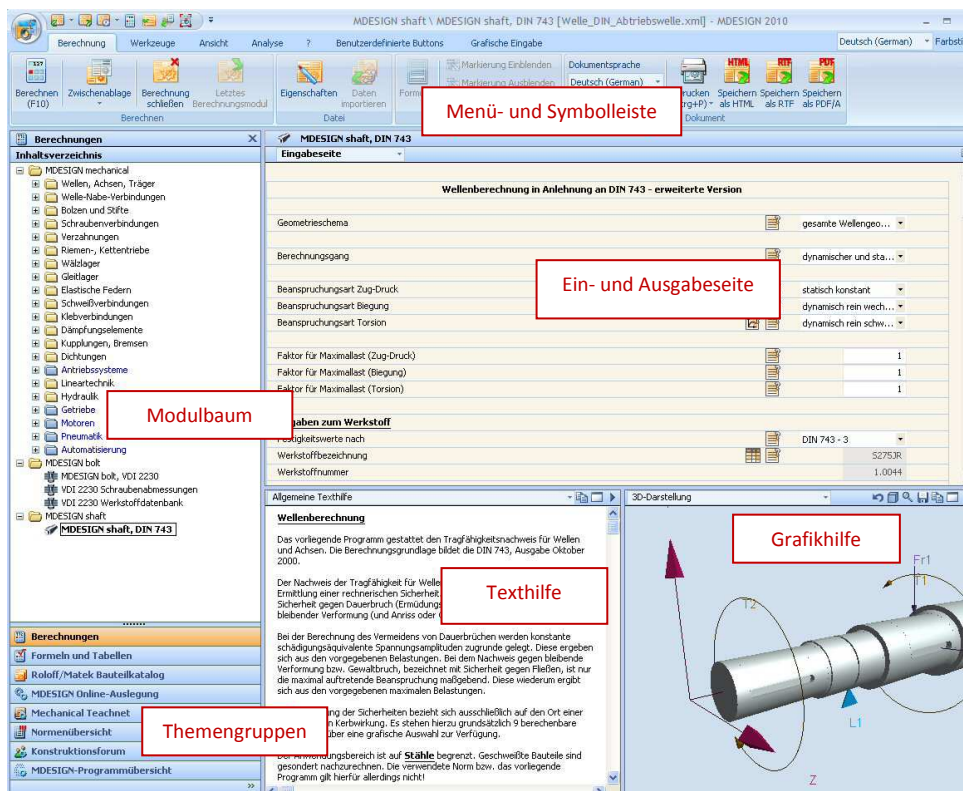


Abbildung 2-1: Komponenten der Programmoberfläche

2.1 Infoseiten

MDESIGN bietet zu jeder Gruppe (Ordner im Modulbaum) der Rubrik „Berechnungen“ eine Infoseite an. Diese erscheint mit Doppelklick auf den jeweiligen Ordner.

Infoseite

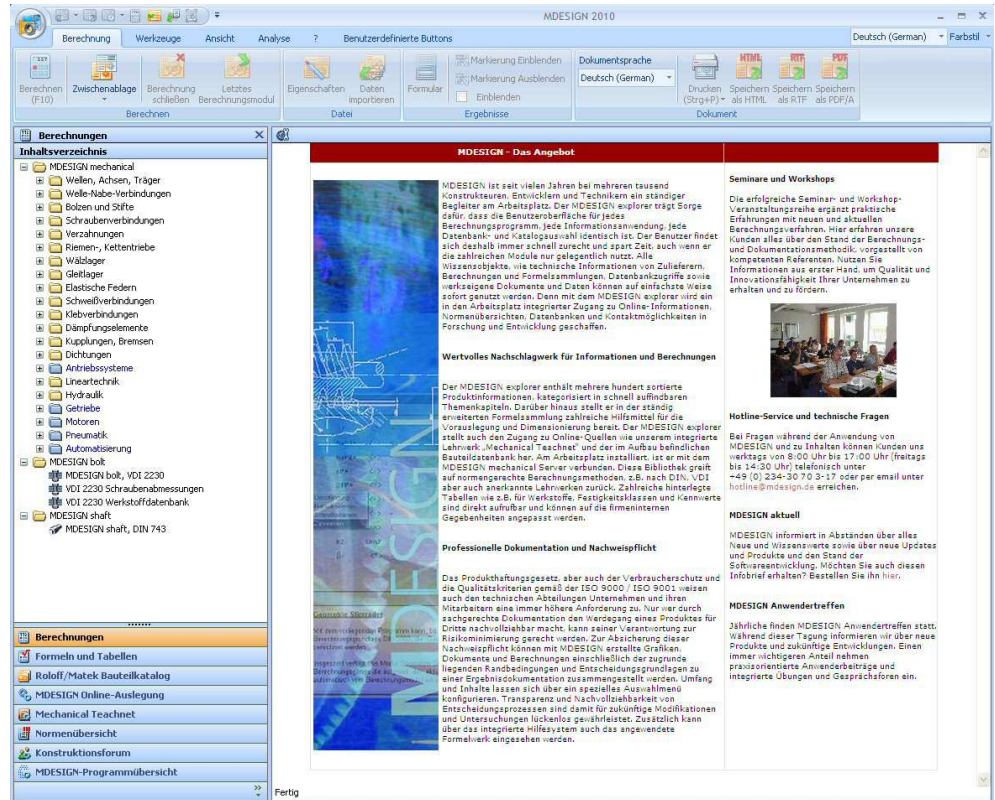


Abbildung 2-2: Infoseite

In Abbildung 2-2 ist am Beispiel der Rubrik „Wellen, Achsen, Zapfen“ die Infoseite dargestellt. Die Infoseite gibt einen Überblick zu den verwendeten Normen der zu dieser Rubrik gehörenden Berechnungsmodule. Des Weiteren sind grundlegende Informationen wie Verweise auf Fachliteratur, Ansprechpartner und Herstellerinformationen zu finden.

2.2 Menüleiste

Analog zu den aktuellen Windowsanwendungen arbeitet MDESIGN explorer mit einer Menüleiste. Im Folgenden soll auf wichtige Funktionalitäten der Menüleiste im Einzelnen eingegangen werden.



Windowskompatibel

Abbildung 2-3: Menüleiste MDESIGN 2012

Menü MDESIGN:

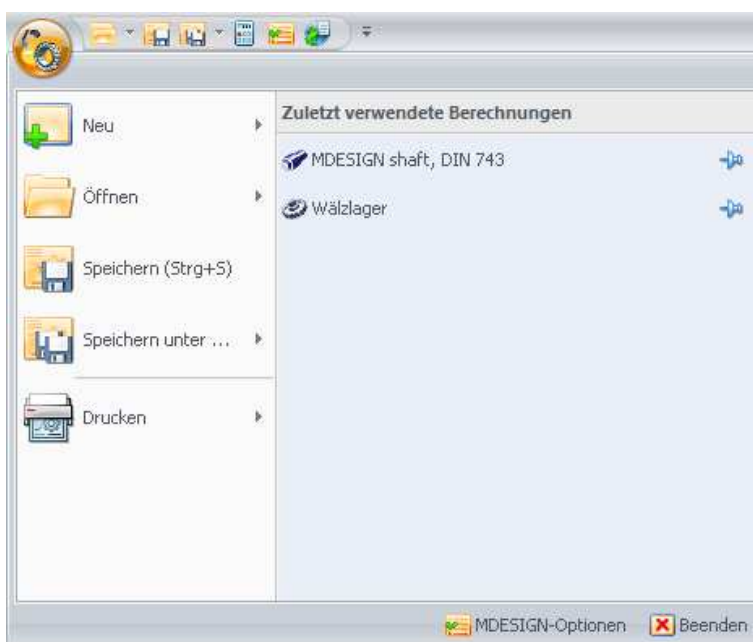


Abbildung 2-4: Menü MDESIGN

Grundfunktionalitäten von Windows-Anwendungen.

- Neu/Öffnen
- Speicher/Speichern unter
- Drucken

Zusätzlich können die zuletzt genutzten MDESIGN-Module ohne Navigation im Modulbaum schnell und einfach erreicht werden.

Menü Berechnung:



Abbildung 2-5: Menü Berechnung

- **Berechnen**
Starten der Berechnung mit den eingegebenen Daten und Randbedingungen
- **Zwischenablage**
Definition der Daten, Ergebnisse und Grafiken, die in die Zwischenablage übernommen werden und zur weiteren Verwendung in Textverarbeitungsprogrammen zur Verfügung stehen
- **Berechnung schließen**
Schließt die aktuelle Berechnung und setzt MDESIGN in den Startzustand
- **Letztes Berechnungsmodul**
Startet das zuvor genutzte Berechnungsmodul aus der laufenden Sitzung
- **Eigenschaften**
Eingabe der Projektdaten für die Dokumentation.

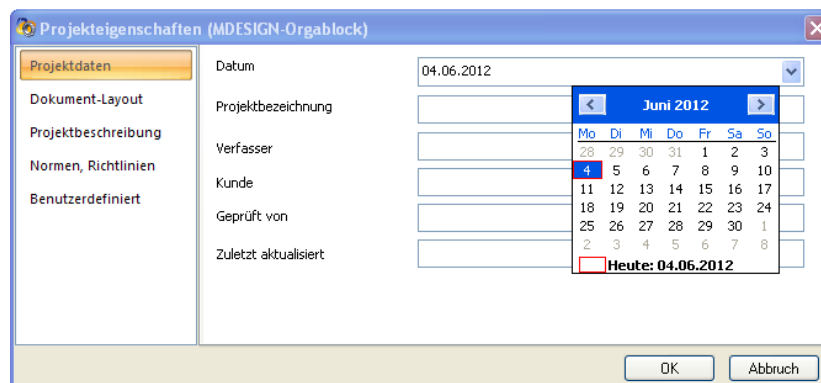


Abbildung 2-6: Bearbeitung der Projekteigenschaften

- **Daten importieren**
Importmöglichkeit, um über die Modulverknüpfung (siehe Menü Werkzeuge) Daten zwischen MDESIGN Berechnungen auszutauschen
- **Formular**
Nur für Spezialanwendungen
- **Markierung einblenden / Markierung ausblenden / Einblenden**
Nur aktiv nach durchgeführter Berechnung

Auf der Ergebnisseite können mit diesen Funktionen einzelne Ergebniswerte temporär aus bzw. wieder eingeblendet werden. Ausgeblendete Ergebnisse erscheinen auch nicht auf der Dokumentation. Dadurch ist eine Reduzierung der Ergebnisse für Dritte möglich.

- **Dokumentensprache / Bedienersprache**
Die Ergebnisdokumente können in unterschiedlichen Sprachen ausgegeben werden. Die Auswahl der Sprache erfolgt über ein Drop-down Menü. Gleiches gilt auch für Sprachauswahl der Bedienungsoberfläche. Diese wird unabhängig von der Dokumentensprache rechts oben in der Menüleiste eingestellt.
- **Drucken**
Hier stellt MDESIGN die üblichen Funktionen für Drucken, Schnelldruck, Drucker einrichten und Seitenansicht, sowie die Funktion Layout auswählen zur Verfügung.
- **Speichern als HTML**
Speichern der Berechnungsergebnisse als HTML-Datei
Diese kann dann mit einem kompatiblen Browser angezeigt werden.
- **Speichern als RTF**
Speichern der Berechnungsergebnisse als RTF-Datei (Rich Text Format)
Diese kann z.B. mit MS-Word bearbeitet werden.
- **Speichern als PDF/A**
Speichern der Berechnungsergebnisse als PDF/A-Datei

Menü Werkzeuge

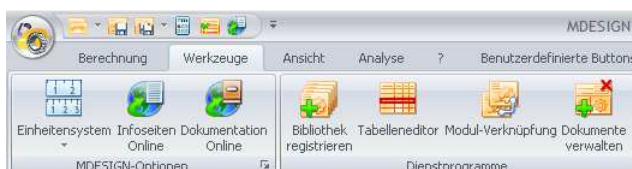


Abbildung 2-7: Menü Werkzeuge

- **Einheitensystem**
Hier kann das Einheitensystem für die Parameter der Ein- und Ausgabeseiten ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen „metrisches System“, „US-System“ und „alle Systeme“.
- **Infoseiten Offline / Online**
Die Infoseiten der jeweiligen Themen können online oder offline angezeigt werden. Im Offline-Modus werden die Infoseiten angezeigt, die auch auf der mitgelieferten CD enthalten sind. Im Modus „Infoseiten Online“ werden aktuelle Daten direkt von einem Internetserver geladen. Hierzu ist zwingend eine aktive, funktionierende Internetverbindung erforderlich.

- Dokumentation Offline/ Online
Wie die Infoseiten kann auch die Dokumentation online oder offline aufgerufen werden. Im Online-Modus wird über das Internet auf das Handbuch und auf die Berechnungsdokumentation zugegriffen, so dass immer ein aktueller Stand gewährleistet ist.
- Bibliothek registrieren (Administratorrechte erforderlich)
Verwaltung von MDESIGN Bibliotheken in Netzwerken
- Tabelleneditor (Administratorrechte erforderlich)
Bearbeitung von Datensätzen in der Datenbank
- Modulverknüpfung
Verknüpfung von Berechnungsmodulen, um Ein- und Ausgabeparameter beiden Modulen zugänglich zu machen
- Dokumente verwalten
Verwalten der Dokumente im Modulbaum
Es können im Modulbaum eigene Dokumente, Links und Programmaufrufe konfiguriert und während der MDESIGN-Anwendung genutzt werden. So können z.B. PDF-Dateien für Hersteller-Kataloge, Studienhinweise oder Konstruktionsrichtlinien und Normen hinterlegt werden.

Menü Ansicht

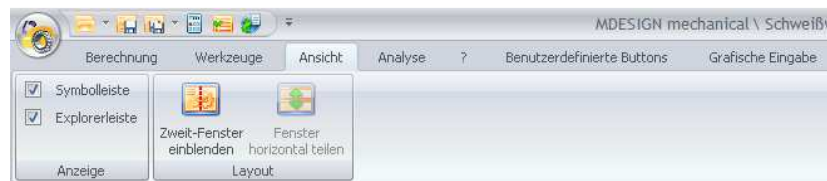


Abbildung 2-8: Menü Ansicht

Hier kann das Layout der Bedienungsfläche eingestellt werden. Der Modulbaum und die Symbolleiste der Menüführung können aus- und eingeblendet werden.

- Zweit-Fenster Aus- / einblenden
Die Ausgabeseite kann hier manuell ein- und ausgeblendet werden.
- Fenster vertikal teilen / Fenster horizontal teilen
Bei der Anordnung der Ein- und Ausgabeseite kann zwischen der vertikalen und der horizontalen Darstellung gewechselt werden.

Menü Analyse



Abbildung 2-9: Menü Analyse

- **Parametrische Analyse**
Mit Hilfe der parametrischen Analyse können mehrfach durchzuführende Rechnungen mit unterschiedlichen Eingaben automatisiert werden.
- **Optimierung** (nur nach erfolgter parametrischer Analyse verfügbar)
Zeigt den Wert des Ausgabeparameters, der ein Maximum erreicht hat und gibt die entsprechenden Eingabewerte aus.
- **Tabellendaten**
Die in der parametrischen Analyse erzielten Daten können in Tabellen exportiert werden.
- **Optionen**
Konfiguration für Einstellungen, die die Analyse betreffen

Menü „?“

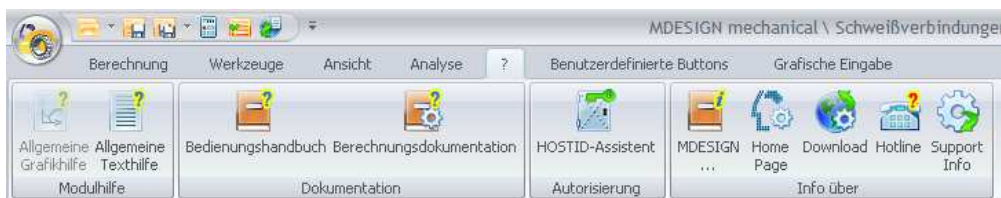


Abbildung 2-10: Menü „?“

- **Allgemeine Texthilfe**
Mit Hilfe dieser Funktion wird im Texthilfe Fenster die allgemeine Texthilfe angezeigt.
- **Allgemeine Grafikhilfe**
Mit Hilfe dieser Funktion wird im Grafikhilfe-Fenster die allgemeine Grafikhilfe angezeigt.
- **Bedienungshandbuch**
Aufruf der Bedienungsanleitung. Sie enthält eine Beschreibung der Konfiguration, Einstellung und Handhabung des Programmes MDESIGN. Im On-line-Modus kann auf das jeweils aktuelle Bedienungshandbuch zugegriffen werden.

- **Berechnungsdokumentation**
Aufruf der Beschreibung und der Berechnungsdokumentation des aktuell aktiven Moduls.
Im Online-Modus kann auf die aktuellste Berechnungsdokumentation zugegriffen werden.
- **HostID Assistant (Administratorrechte erforderlich)**
Autorisierung des Programmes mit FLEXIm (siehe Autorisierungsanleitung)
- **MDESIGN...**
Anzeige von detaillierten Informationen über MDESIGN. Diese Informationen beinhalten u.a. die Version, Angaben zu Berechnungsbibliotheken und Autorisierungen. Diese Angaben sind sehr hilfreich für Nachbestellungen oder wenn die Hotline kontaktiert werden soll.

2.3 Themengruppen und Modulbaum



Abbildung 2-11: Navigation

Die folgenden Themengruppen sind im Modulbaum verfügbar:

- **Berechnungsbibliotheken**
Kernbereich von MDESIGN, der viele Berechnungsmethoden auf Basis von Normen, Richtlinien, technischer Fachliteratur und Herstellern enthält.

- Tabellen und Datenbanken, Formelsammlung
Nützliche Nachschlage- und Auslegungsmodule auch aus den Bereichen Werkstoffe, Geometrie, Physik, Mechanik, Hydraulik
- Roloff/Matek Bauteilkatalog (nur mit Online-Zugang)
Such- und Nachschlagesystem auf Basis der ecl@ss-Klassifizierung für tausende Herstellerkomponenten und Zulieferer
- Wissensbasis für die Konstruktion
 - MDESIGN Online-Auslegung
MDESIGN-Auslegungsmodule, die direkt in einer Online-Anwendung nutzbar ist (mit Anbindung an den Roloff/Matek Bauteilkatalog)
 - Mechanical Teachnet
Online-Literatur für interessante Hintergründe und Grundlagen
 - Normenübersichten
Themenorientierte Auflistung der zugehörigen Richtlinien und Normen
 - MDESIGN Programmübersicht
Aktuelle Informationen über MDESIGN-Lösungen und Softwarebibliotheken

2.4 Eingabeseite

Nach der Auswahl eines Berechnungsmoduls oder eines Moduls der Formelsammlung erscheint die Eingabeseite. Auf dieser Seite werden alle für die Berechnung notwendigen Parameter Schritt für Schritt eingegeben. Zur Erleichterung der Eingabe dienen einzelne Hilfestellungen, die mit einem Symbol an der jeweiligen Eingabevariablen aufgerufen werden kann. Es gibt folgende Eingabehilfen:

- Aufruf Texthilfe
- Aufruf Grafikhilfe
- Aufruf grafische Auswahl
- Aufruf des graphischen Assistenten
- Datenbankaufruf



Überblick Eingabehilfen

Näheres zur Handhabung dieser Eingabehilfen, finden Sie im Kapitel 3.2.

2.5 Ausgabeseite

Die Ausgabeseite erscheint nach Beendigung der Berechnung neben der Eingabe-seite. Auf der Ausgabeseite werden alle Teil- und Endergebnisse einer Berechnung aufgelistet.

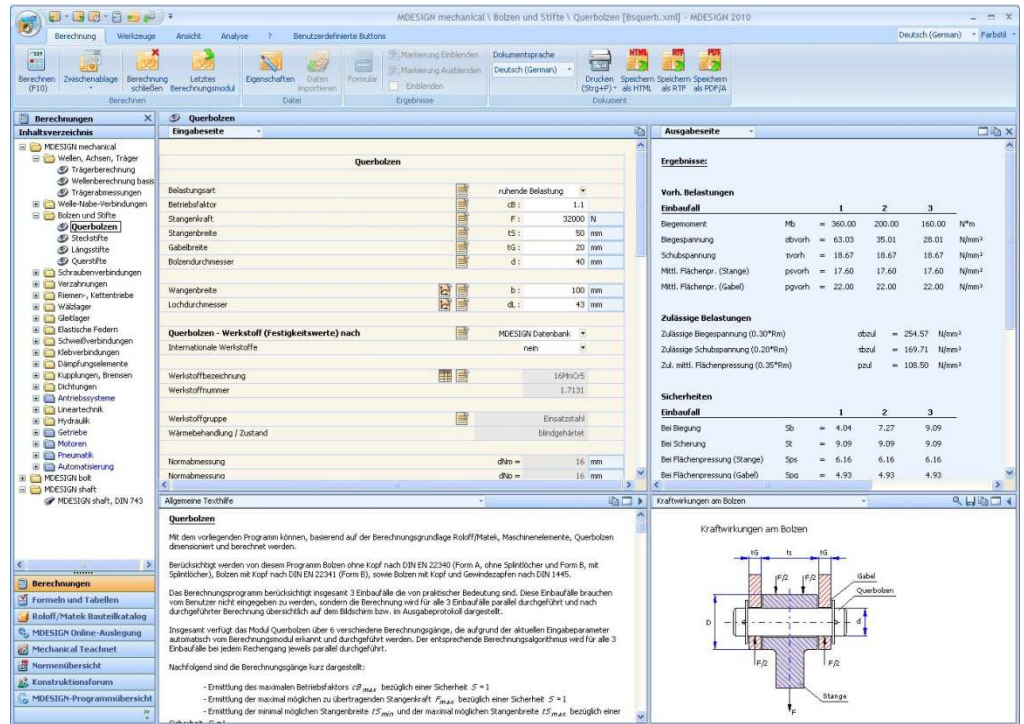


Abbildung 2-12: Oberfläche nach der Berechnung

3 Grundlagen der Handhabung

3.1 Prinzipielle Vorgehensweise

Die Berechnung eines Maschinenelements ist die wichtigste Funktion des MDESIGN Programmpakets. Hierzu wird aus dem Modulbaum zunächst eine Rubrik gewählt. Wird eine der beiden Berechnungsrubriken (Berechnungen oder Formelsammlung) ausgewählt, erscheinen im Modulbaum die zur Verfügung stehenden Berechnungsmodule. Bei Auswahl eines Berechnungsmoduls gelangt man zur Eingabeseite der Berechnung. Nach vollständiger Definition aller berechnungsrelevanten Parameter kann die Berechnung erfolgen. Alle Ergebnisse werden anschließend auf der Ausgabeseite zusammengefasst. Im Fenster der Grafikhilfe (siehe Abbildung 2-1) werden wenn vorhanden, zusätzliche graphische Ergebnisse angezeigt. Alle Eingabedaten, Ergebnisse sowie Ergebnisgrafiken können auch in einer Berechnungsdokumentation zusammengefasst werden (siehe dazu Kapitel: 3.4).

3.2 Eingabe + Eingabehilfen

Alle Eingaben werden bei allen MDESIGN-Programmen grundsätzlich nur über die Eingabeseite getätigt. Es empfiehlt sich dabei, die Eingabeseite sukzessive von oben nach unten abzarbeiten, so dass alle Eingaben und Auswahlmöglichkeiten richtig durchgeführt werden. Einige Eingaben und Auswahlmöglichkeiten sind sehr spezifisch und bedürfen zusätzlicher Informationen aus der entsprechenden Norm. MDESIGN stellt an dieser Stelle zusätzlichen Eingabehilfen zur Verfügung (siehe 2.4). Im Folgenden soll noch einmal im Detail auf diese Eingabehilfen eingegangen werden.

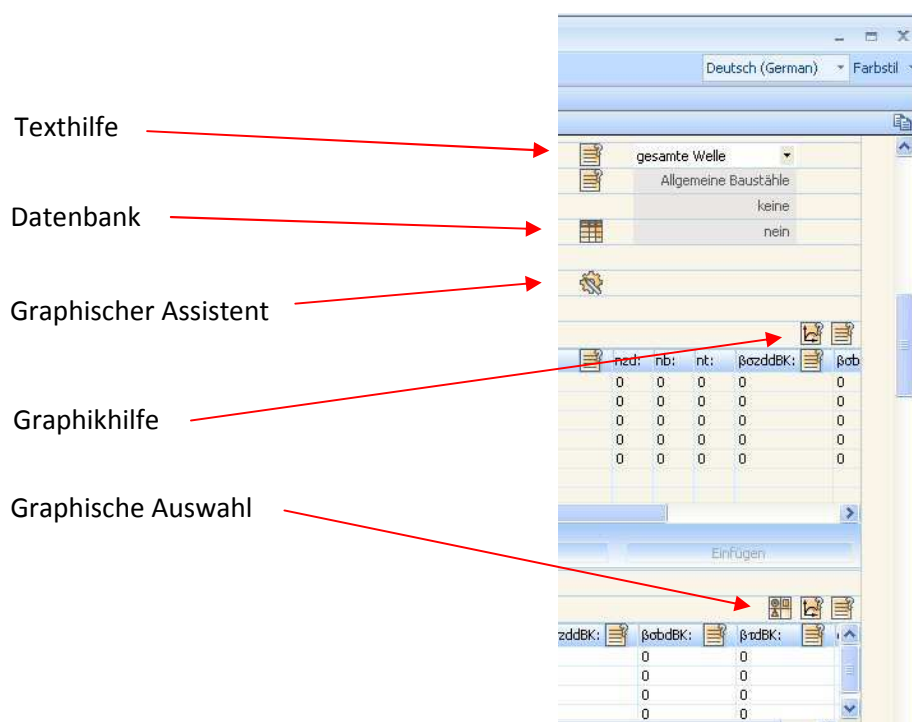




Abbildung 3-1: Aufruf der Eingabehilfen

3.2.1 Verwendung der Texthilfe

Zu vielen Eingabevariablen sind Texthilfen ergänzt. Der Aufruf der Texthilfe erfolgt über das in Abbildung 3-1 dargestellte Symbol. Die damit verbundenen Erläuterungen und Hinweise zu dieser Eingabegröße werden mit dem Aufruf im Fenster der Texthilfe angezeigt.

Das Fenster für die Texthilfe besitzt einige zusätzliche Funktionalitäten. Mit Hilfe des Symbols  kann eine Vergrößerung der Texthilfe auf die ganze Seite vorgenommen werden. Das Symbol  ermöglicht das Kopieren des Inhaltes der Texthilfe in die Zwischenablage, so dass Texte auch in andere textverarbeitende Anwendungen eingefügt werden können.

Fenster der Texthilfe

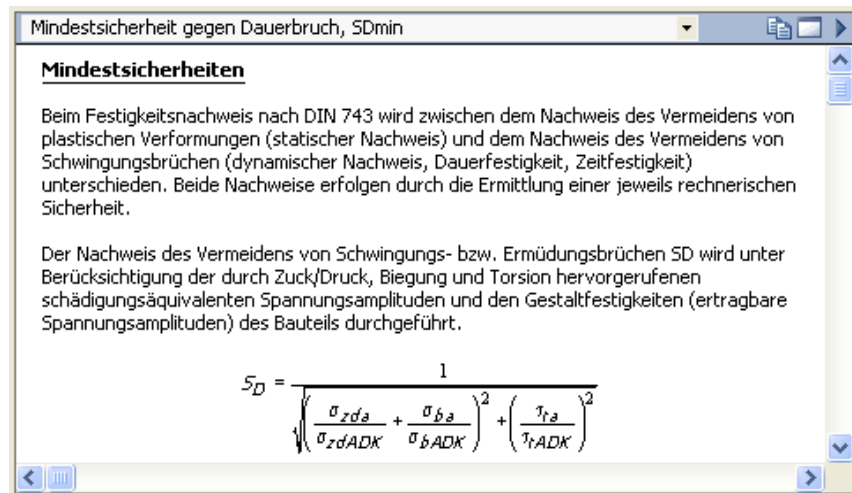


Abbildung 3-2: Beispiel einer Texthilfe

3.2.2 Verwendung der Grafikhilfe

Analog zur Texthilfe wird die Grafikhilfe mit dem entsprechenden Symbol aufgerufen. Die Anzeige erfolgt im Fenster der Grafikhilfe, direkt neben dem Fenster der Texthilfe. In den meisten Grafikhilfen werden geometrische Parameter mit Hilfe von Zeichnungen beschrieben.

Fenster der Grafikhilfe

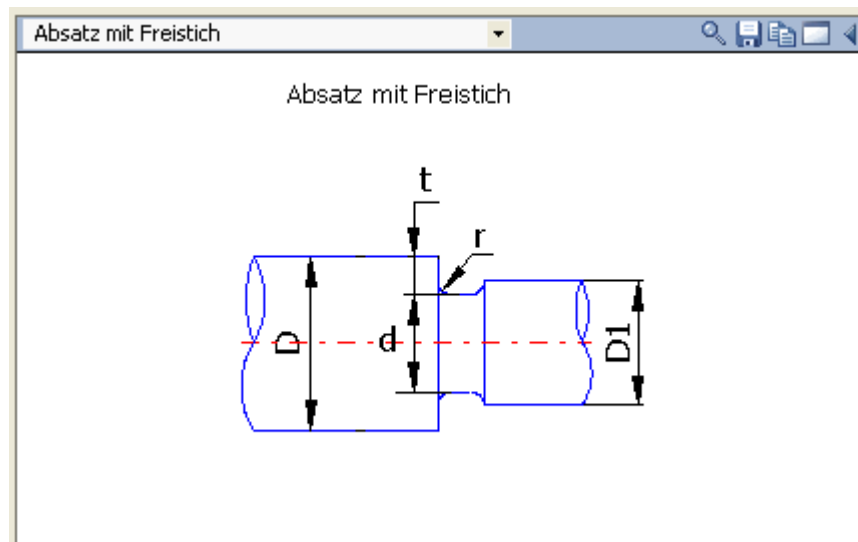




Abbildung 3-3: Beispiel einer Grafikhilfe

Es stehen die gleichen Funktionalitäten wie beim Fenster der Texthilfe zur Verfügung. Daneben kommen weitere Funktionalitäten hinzu. Mit dem Symbol  kann die Grafik im Bitmap- oder DXF-Format abgespeichert werden. Das Symbol  ermöglicht die Zoomfunktion in der Grafik.

Das Fenster für die Grafikhilfe hat neben der Darstellung der Hilfefgrafiken eine weitere Funktion. Auch alle Ergebnisgrafiken werden nach einer erfolgreichen Berechnung in diesem Fenster angezeigt. Dafür kann wie in Abbildung 3-4 dargestellt im obigen Auswahlfenster zwischen den Ergebnisgrafiken ausgewählt werden.

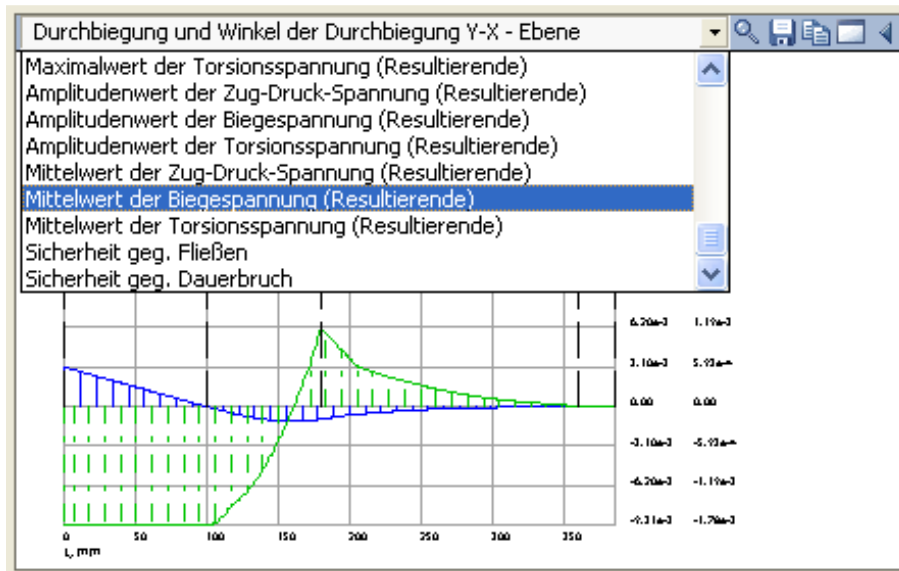


Abbildung 3-4: Ergebnisgrafiken

3.2.3 Verwendung von Eingabeassistenten

Für einige Parameter ist die listenbasierte Eingabe auf der Eingabeseite nicht komfortable bzw. zweckmäßig. In diesem Fall bietet MDESIGN einen graphischen Eingabeassistenten, der mit dem zugehörigen Symbol gekennzeichnet ist (siehe Abbildung 3-1). Graphische Assistenten können für eine einfache graphische Auswahl genutzt werden, so wie beispielsweise in Abbildung 3-5 die graphische Auswahl eines Schraubentyps für die Schraubenberechnung vorgenommen wird.

Graphische Auswahl

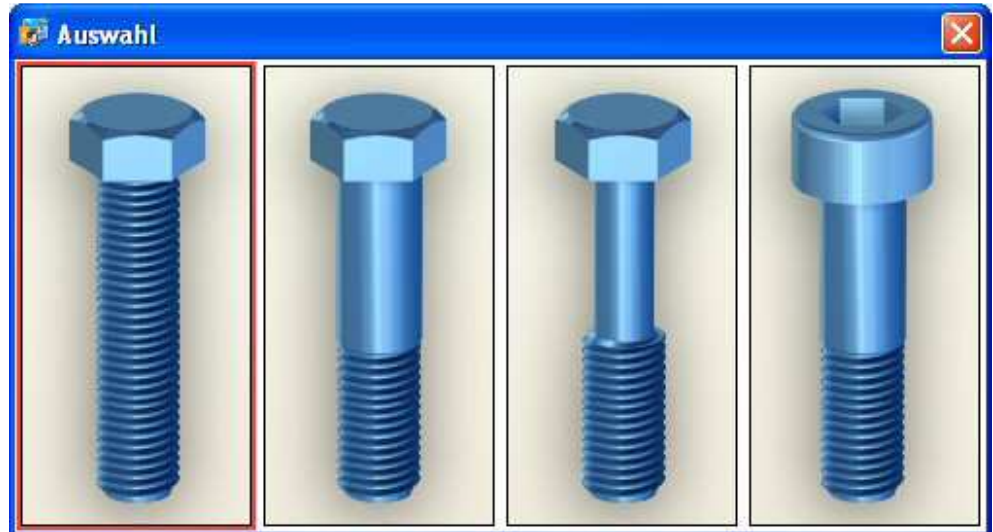


Abbildung 3-5: Grafische Auswahl Schraubentyp

Daneben stellen graphische Assistenten eine erhebliche Erleichterung bei der Eingabe komplexer Strukturen und Geometrie dar. So können wie in Abbildung 3-6 dargestellt die gesamte Geometrie der Welle, sowie die Lagerbedingungen und alle wirkenden Belastungen im Fenster des Assistenten definiert werden.

Graphischer Assistent

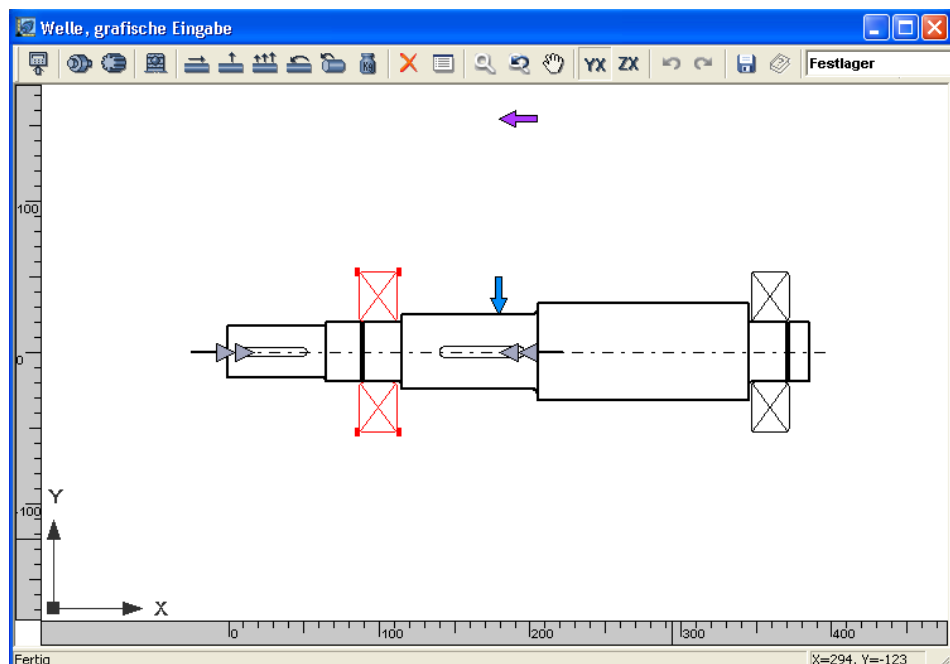


Abbildung 3-6: Graphischer Wellen-Assistent

Der Aufbau einer gesamten Welle im graphischen Assistenten mit den verschiedenen Funktionalitäten des Fensters kann am Übungsbeispiel 1 Schritt für Schritt nachvollzogen werden.

3.3 Berechnung und Ausgabeseite

Sind auf der Eingabeseite alle notwendigen Eingaben getätigt, kann die Berechnung ausgeführt werden. Das Ausführen einer Berechnung ist über folgende Wege möglich:



- Symbolleiste - Symbol:
- Taste F10 - Schnellwahl mit Taste F10

Mit dem Ausführen der Berechnung prüft das Programm im ersten Schritt zunächst die Vollständigkeit und Plausibilität aller Eingabevariablen. Werden dabei fehlende oder unschlüssige Eingaben entdeckt, bricht das Programm an dieser Stelle ab und gibt eine Fehlermeldung aus. Der Cursor springt in das entsprechende Eingabefeld. Wenn alle Prüfungen positiv abgeschlossen wurden, wird die Berechnung durchgeführt und die Ausgabeseite mit allen Ergebnissen angezeigt.

Es besteht die Möglichkeit, dass der Anwender einzelne Ausgabevariablen (Ergebnisse) ausblendet. Mit der rechten Maustaste können einzelne Variablen markiert, und mit der Taste „entfernen“ von der Ausgabeseite gelöscht werden. Somit hat der Anwender die Möglichkeit, die Ergebnisse nach seinen Prioritäten übersichtlicher zu gestalten. Relevant ist diese Ausblendfunktion auch für die Ergebnisdokumentation (siehe folgendes Kapitel).

3.4 Berechnungsdokumentation

Wie schon bereits im Kapitel 1.1 deutlich gemacht, spielt die Dokumentation eines Sicherheitsnachweises im Bereich der Berechnung von Maschinenelementen eine wesentliche Rolle. Der großer Vorteil bei der Verwendung der Berechnungssoftware MDESIGN ist dabei die automatische Dokumentationserstellung. In diesem Kapitel soll nun kurz vorgestellt werden, wie diese automatische Dokumentation durchzuführen ist und welche zusätzlichen Möglichkeiten der individuellen Gestaltung von Berechnungsdokumenten zur Verfügung stehen.

Sprachfunktionalitäten

Die Sprache der Berechnungsdokumentation kann unabhängig von der eingestellten Programmsprache (Dialogsprache) eingestellt werden. Die Auswahl der Dokumentsprache erfolgt über das Menü „Berechnung“.

Spracheinstellungen

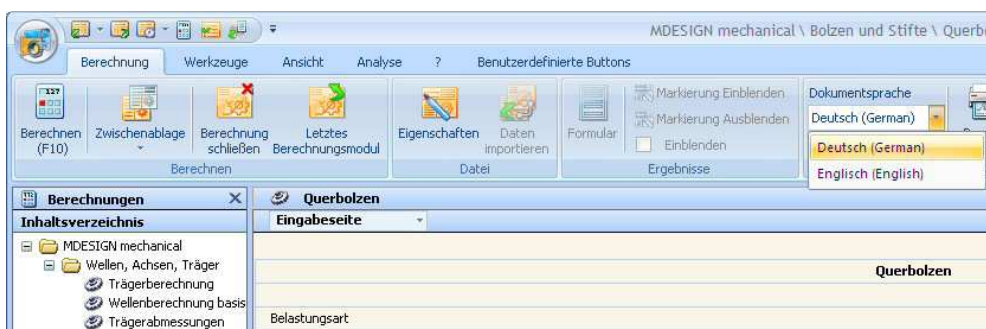


Abbildung 3-7: Auswahl der Dokumentsprache

Gestaltungsmöglichkeiten

MDESIGN bietet die Möglichkeit im Menü „MDESIGN-Optionen“ festzulegen, welche Ergebnisgrafiken und Grafikhilfen in die Berechnungsdokumentation übernommen werden sollen. Dafür wird in der Registerkarte „Ausgabeumfang“ vom Programm ein Überblick der zur Verfügung stehenden Grafiken angezeigt. So wie in Abbildung 3-8 veranschaulicht, kann jede einzelne Grafik ausgewählt und anschließend deren Größe in der Dokumentation eingestellt werden.

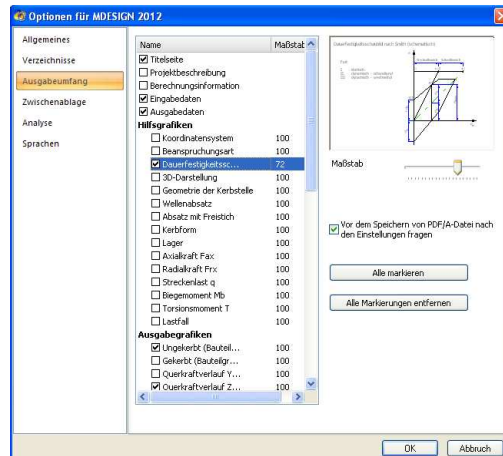


Abbildung 3-8: MDESIGN Optionen: Registerkarte Ausgabeumfang

Alle anderen Ergebnisse (Ausgabeseite) sowie alle Eingaben (Eingabeseite) werden in jedem Fall in das Ausgabedokument übernommen, sofern sie angezeigt werden. Ausgeblendete Ausgabevariablen, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, werden nicht mit in die Dokumentation übernommen, so dass man mit dieser Ausblendfunktion ein gewisses Maß an Gestaltungsfreiheit für die Dokumentation erlangt. Für die Erstellung einer individuellen Berechnungsdokumentation kann die Funktion „Kopieren in die Zwischenablage“ verwendet werden, die für jeden Bereich der Oberfläche (Eingabeseite, Ausgabeseite, Text- und Grafikhilfe) zur Verfügung steht. So können alle Eingaben und Ergebnisse in übliche Textverarbeitungsprogramme eingefügt und beliebig zusammengestellt werden.

4 Übungsbeispiele

4.1 Übungsaufgabe 1 – Wellenberechnung nach DIN 743

Anhand einer Wellenberechnung sollen nun die einzelnen Schritte einer Berechnung mit MDESIGN mechanical abgehandelt werden.

Aufgabenstellung

Es soll die Abtriebswelle eines Getriebes berechnet werden. Für die Berechnung ist es zunächst notwendig die Welle zu abstrahieren. Die für die Berechnung notwendige Geometrie sowie zusätzliche Kerbstellen müssen dafür den Zeichnungen entnommen werden. Für das Übungsbeispiel wurden alle relevanten Parameter bereits in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

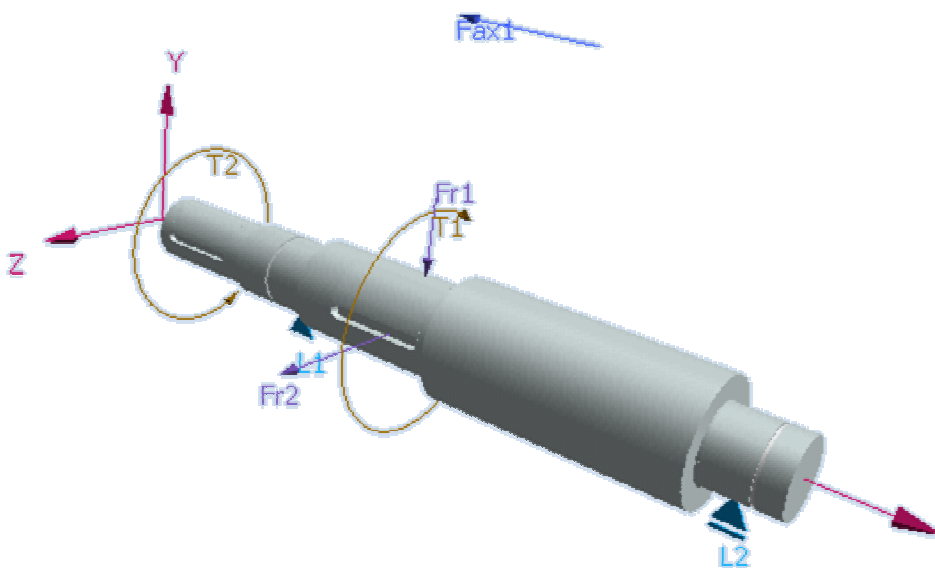


Abbildung 4-1: Antriebswelle

Wellendefinition/ Geometrie:

Wellenabschnitte:

Parameter

Abschnitt	d [mm]	l [mm]	Rundungsradius [mm]	Rz [μ m]
1	35	66	1.5	6.3
2	40	50	1	6.3
3	50	90	3	6.3
4	65	140	1	6.3
5	40	40	0	6.3

Tabelle 4-1: Wellenabschnitte

Die Auflistung der Wellenabschnitte erfolgt in x-Richtung nach Abbildung 4-1. Mit dem Rundungsradius ist der Übergangsradius zum benachbarten Wellenabschnitt in x-Richtung gemeint. Dementsprechend hat der letzte Wellenabschnitt keinen Rundungsradius. Nach Berechnungsnorm DIN 743 muss ein Wellenabsatz mit dem

jeweiligen Rundungsradius als Kerbwirkungsstelle betrachtet werden, und in den Sicherheitsnachweis einfließen. Daneben sind in der DIN 743 weitere Kerbstellen definiert. Für das vorliegende Beispiel einer Abtriebswelle ergeben sich folgende zusätzliche Kerbstellen.

Kerbformen:

Abschnitt	Kerbformen	Parameter [mm]
1	Passfeder	Position: $x = 8$ Länge: $l = 45$
2	Rechtecknut	Position: $x = 88.9$ Tiefe: $t = 1.2$ Breite: $m = 1.85$ Radius: $r = 0.04$
3	Passfeder	Position: $x = 141$ Länge: $l = 56$
5	Rechtecknut	Position: $x = 371.25$ Tiefe: $t = 1.2$ Breite: $m = 1.85$ Radius: $r = 0.04$

Tabelle 4-2: Kerbstellen

Lagerung:

Die Lagerung der Abtriebswelle ist mit einer typischen Fest-Loslagerung realisiert.

Abschnitt	Lager	Position [mm]
2	Festlager	$x = 100$
4	Loslager	$x = 360$

Tabelle 4-3: Lagerung

Wellenwerkstoff: S275JR

Belastungen:

Die Welle wird mit dem Abtriebsmoment $M = 286.5 \text{ Nm}$ belastet. Das Abtriebsmoment wird über ein schrägverzahntes Stirnrad über Passfederverbindung auf den 3. Wellenabschnitt eingeleitet. Bedingt durch die Zahnkräfte werden weitere Belastungen auf die Welle wirksam, und müssen in der Berechnung Berücksichtigung finden. Die Tangentialkraft im Zahneingriff wirkt als Radialkraft in 2 Koordinatenrichtungen. Hinzu kommt eine axiale Kraft bedingt durch den Schrägungswinkel der Verzahnung.

Verzahnungsdaten:

Radius des Wälzkreises: $r_w = 154,6 \text{ mm}$

Eingriffswinkel: $\alpha = 25^\circ$

Schrägungswinkel: $\beta = 20^\circ$

Schritt 1- Aufruf der Wellenberechnung

Die Wellenberechnung nach DIN 743 ist im Softwarepaket MDESIGN im Modul MDESIGN shaft umgesetzt. Zum Aufruf des Moduls ist die Auswahl Berechnungen in den Themengruppen notwendig. Befindet man sich in dieser Themengruppe, werden alle Berechnungsmodule im Modulbaum aufgeführt. Das Modul MDESIGN shaft befindet sich im Modul unten.

Aufruf MDESIGN shaft

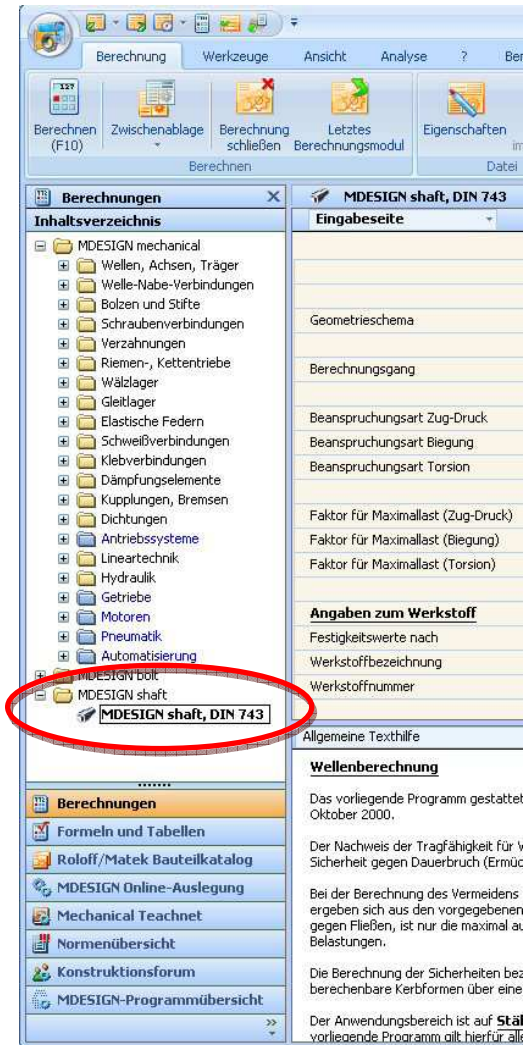


Abbildung 4-2: Auswahl MDESIGN shaft im Modulbaum

Schritt 2 - Eingabe der Parameter

Nach dem Aufruf des Moduls MDESIGN shaft erhält man die Eingabeseite des Moduls. Im unteren Teil der Programmoberfläche befinden sich die Fenster für Text- und Grafikhilfe. Im Fenster der Texthilfe wird nach dem Öffnen eines Moduls zunächst die allgemeine Texthilfe angezeigt.

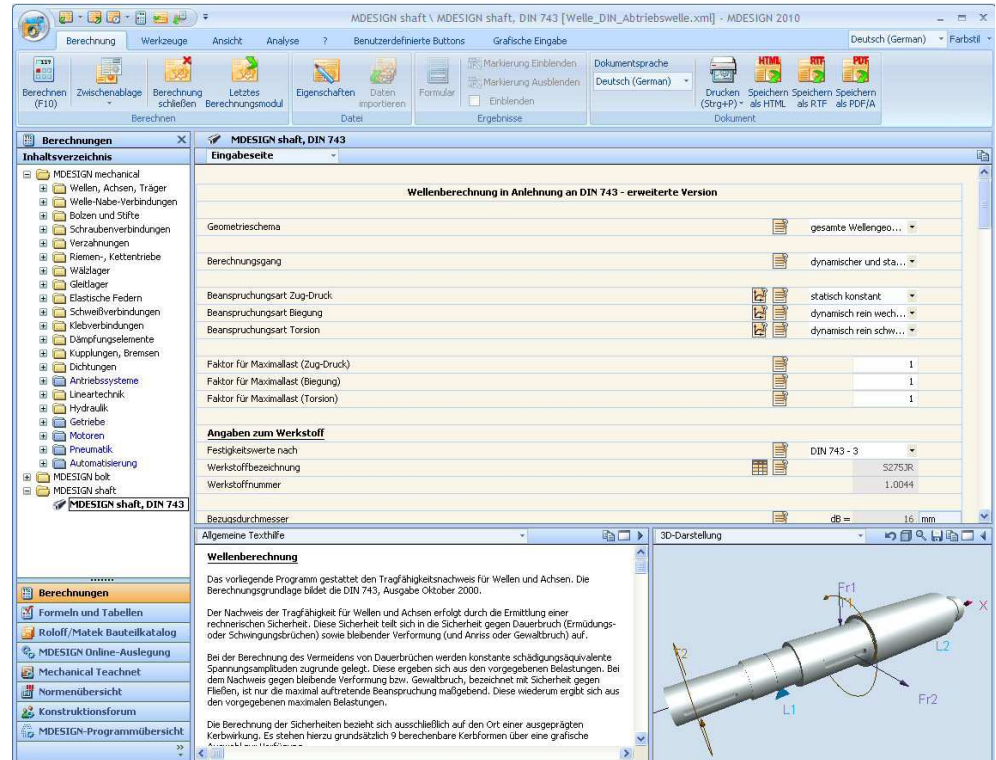


Abbildung 4-3: Eingabeseite Wellenberechnung

Auf der Eingabeseite werden nun sukzessive alle notwendigen Eingaben getätigt. Es empfiehlt sich, die komplette Eingabeseite von oben nach unten abzuarbeiten. Für die meisten Eingaben stehen Eingabehilfen zur Verfügung. Diese sollten gerade bei den ersten Berechnungen mit dem Programm genutzt werden.

Zu den einzelnen Eingaben:

Geometrieschema: 1. Einzelne Kerbstelle

Umsetzung der DIN 743 → Berechnung der Sicherheiten für eine Kerbstelle der Welle

2. gesamte Wellengeometrie

Zusätzlich zur DIN 743 können hier gesamte Wellen betrachtet werden. Das heißt es werden zunächst über Auflagerreaktionen die Biegemomente und Spannungen über der Welle ermittelt. Anschließend werden Sicherheiten für alle Kerbstellen berechnet.


→ Für Beispiel Auswahl: gesamte Wellengeometrie nötig

Berechnungsgang: 1. dynamischer und statischer Sicherheitsnachweis

2. nur statischer Sicherheitsnachweis

→ Im Beispiel liegt zwar eine statische Belastung vor, aber durch die Rotation der Welle führt die statische Belastung zu einer dynamischen Beanspruchung (Umlaufbiegung).

Werkstoffauswahl:

Mit dem Symbol  kann der Zugriff auf die Werkstoffdatenbank erfolgen.

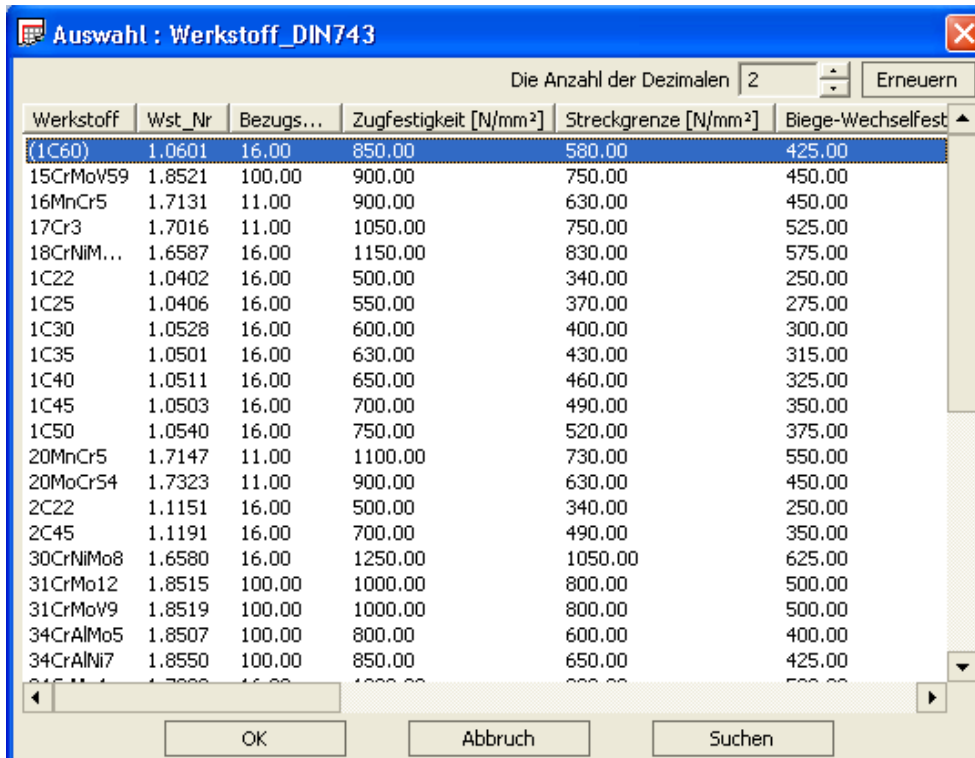



Abbildung 4-4: Datenbankauswahl

Mit der Auswahl des Werkstoffes werden sofort alle notwendigen Werkstoffeigenschaften auf die Eingabeseite übernommen. Da diese Werkstoffeigenschaften nur von der Auswahl des Werkstoffes abhängig sind, sind diese ausgegraut, und können nicht verändert werden. Für die Eingabe eigener Werkstoffeigenschaften muss unter „Festigkeitswerte“ die Auswahl „eigene Vorgabe“ getroffen werden.

→ Gewählt wird der im Beispiel vorgegebene Werkstoff: S275JR

Definition der Welle, Wellengeometrie:

Anschließend muss die gesamte Welle im Programm modelliert werden. Das heißt, dass die gesamte Wellengeometrie, zusätzliche Kerbstellen, die Lagerung sowie alle wirkenden Belastung definiert werden. Dafür stehen auf der Eingabeseite für diese einzelnen Punkte Tabellen zur Verfügung. In diesen Listen können die bereits extrahierten und zusammengefassten Parameter der Welle eingegeben werden. Da diese manuelle Eingabe keine graphischen Kontrollfunktionen hat und somit einige Risiken verbirgt, steht für die Definition der Welle ein graphischer Eingabeassistent bereit. Der Aufruf des graphischen Eingabeassistenten erfolgt mit dem Symbol  über der Tabelle zur Wellengeometrie. Mit dem Aufruf erscheint das Fenster des Eingabeassistenten, welches zunächst leer ist. In Abbildung 4-5 ist der graphische Eingabeassistent nach Definition der gesamten Welle dargestellt.

Für den Aufbau dieser Welle werden mit Hilfe des Daten-Explorers an der rechten Seite des graphischen Eingabeassistenten Schritt für Schritt Wellenabschnitte erzeugt, Kerbstellen und Lager hinzugefügt, sowie Belastungen aufgebracht.

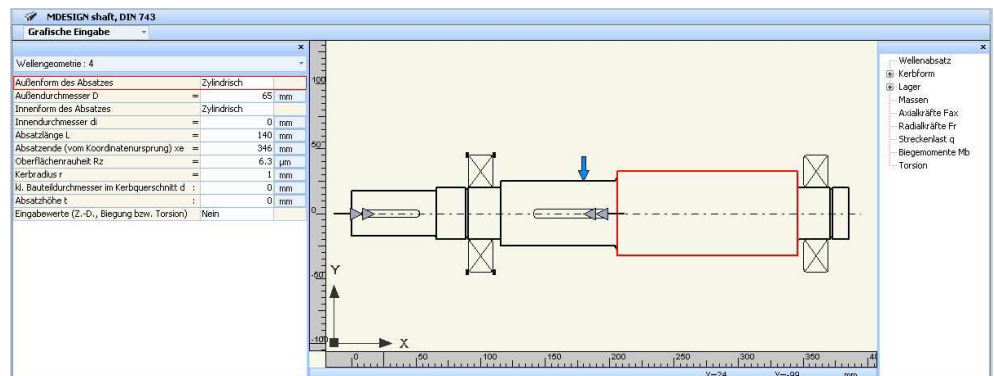


Abbildung 4-5: graphischer Eingabeassistent

Per „Drag and Drop“, also durch Ziehen mit der Maus können aus dem Daten-Explorer Wellenabsätze (und alle anderen Objekte) zusammengesetzt werden. Im Beispiel werden die 5 Wellenabsätze von links nach rechts gemäß Tabelle 4.1 aufgebaut.

Nachdem alle Wellenabschnitte erstellt sind, werden zusätzliche Kerbformen definiert. Die Integration der Kerbstellen erfolgt auf die gleiche Weise. Durch Ziehen mit der Maus werden die gewünschten Kerbstellen aus dem Baum des Explorers herübergezogen. Die korrekten Werte gemäß der Tabelle 4.2 werden in die Tabelle auf der linken Seite eingetragen.

Für das Beispiel sind mit Hilfe dieser Auswahlmöglichkeit die 4 zusätzlichen Kerbstellen nach Tabelle 4-2 einzufügen.

Im nächsten Schritt wird die Lagerung der Welle definiert. Auch hierfür bietet die Navigation der „Drag and drop“ die Möglichkeit die entsprechenden Lagerungen zu verwenden.

Entsprechend der Tabelle 4-3 werden beide Lager ausgewählt, und deren Positionen im Eingabefeld links der Grafik eingegeben.

Belastungen:

Im letzten Schritt müssen die wirkenden Belastungen auf die Welle aufgebracht werden. Die Welle wird durch ein Torsionsmoment belastet. Wie bereits in der Aufgabenstellung festgehalten, resultieren daraus weitere Belastungen, die durch die Zahnkräfte hervorgerufen werden. Die Ermittlung der tatsächlich wirkenden Lasten ist kein Bestandteil der DIN 743, und mit der Berechnung der Lagerreaktionskräfte und Biegemomentverläufe auch nur teilweise Bestandteil von MDESIGN shaft. Die Zahnkräfte müssen also vom Anwender im Vorhinein erfasst und berechnet werden.

Tangentialkraft:

$$F_t := \frac{M_t}{r_w} \quad F_t := \frac{286.5 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.1546 \text{ m}} \quad F_t = 1.853 \times 10^3 \text{ N}$$

Normalkraft

$$F_r := F_t \cdot \tan(\alpha) \quad F_r = 864.147 \text{ N}$$

Axialkraft:

$$F_a := F_t \cdot \tan(\beta) \quad F_a = 674.499 \text{ N}$$

Die Eingabe der Belastungen erfolgt ebenso durch Ziehen der entsprechenden Last aus dem rechten Baum auf die Welle

Tangential- und Normalkraft wirken radial auf die Welle, und müssen dementsprechend als Radialkraft in y- und z-Richtung auf die Welle aufgebracht werden. Die axiale Kraft bedingt durch die Schrägverzahnung wirkt analog als Axialkraft in x-Richtung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Axialkraft exzentrisch angreift und somit ein zusätzliches Biegemoment hervorruft. Im Berechnungsprogramm kann das bei der Eingabe von Axialkräften berücksichtigt werden, indem man die Exzentrizität vorgibt. Im Beispiel wirkt die Axialkraft im Eingriffspunkt der Verzahnung, also mit dem Radius des Wälzkreisdurchmessers als Exzentrizität.

Beachten:

Die Werte aller Elemente wie Wellenabsätze, Kerben, Lager und Belastungen können jederzeit geändert werden. Wählen Sie dazu mit der Maus das gewünschte Element und ändern Sie die Werte in der Tabelle links neben der Grafik

Schritt 3 - Kontrollfunktionen und Berechnung

Bei der Eingabe der Wellenparameter im graphischen Eingabeassistenten hat man durch die sofortige Darstellung der Welle eine gewisse Kontrollmöglichkeit.

Eine weitere Kontrollfunktion bietet die Darstellung der gesamten Welle sowie aller aufgebrachten Lasten in der 3D-Zeichnung im Fenster der Graphikhilfe. Insbesondere Positionen und Richtungen der wirkenden Kräfte sollten an dieser Stelle noch einmal überprüft werden.

Zusätzliche Kontrollfunktion bietet das Programm bei fehlerhaften Eingaben. Fehlen Parameter zu bestimmten Elementen oder sind Eingaben nicht schlüssig, dann wird keine 3D-Darstellung der Welle im Fenster der Graphikhilfe angezeigt.

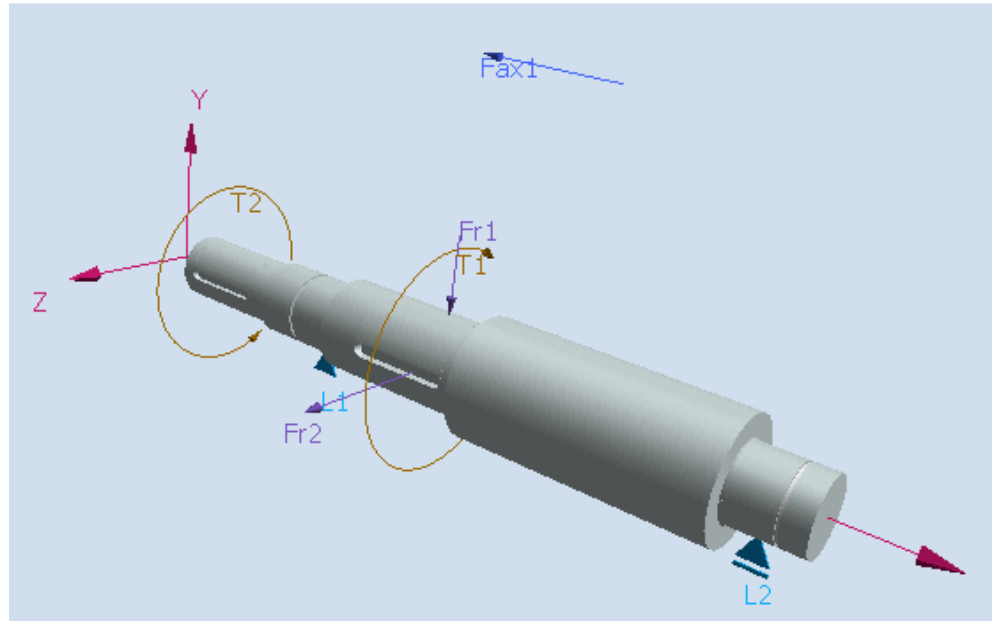


Abbildung 4-6: 3D-Darstellung der Welle

Nach Kontrolle der Eingabedaten kann die Berechnung gestartet werden. Das Programm prüft dann im ersten Schritt zunächst noch einmal die Vollständigkeit und Plausibilität aller Eingabevariablen.

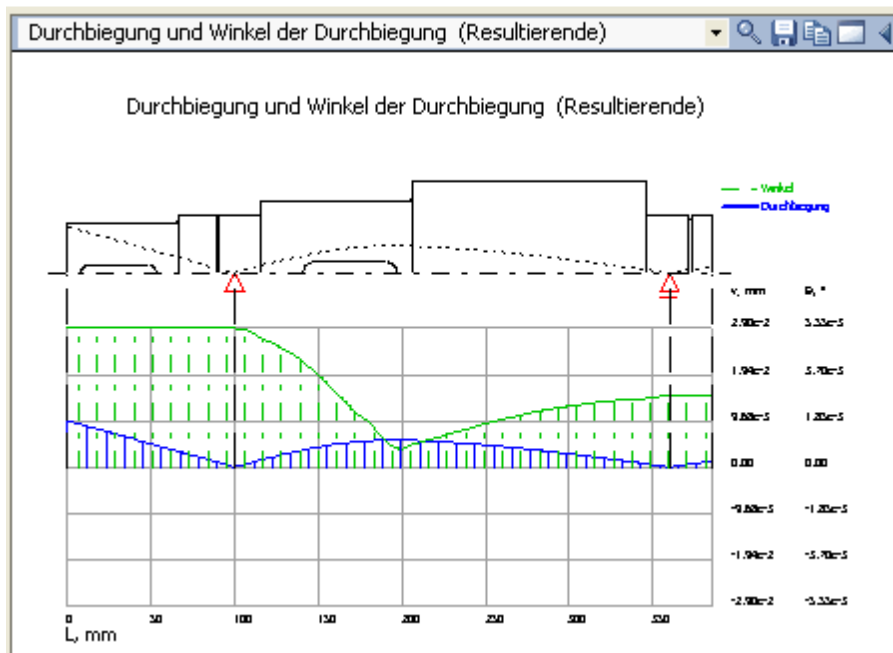
Schritt 4- Ergebnisse und Berechnungsdokumentation

Nach der Berechnung wird die Ausgabeseite angezeigt, auf der alle Ergebnisse der Wellenberechnung zusammengefasst sind. Das sind im Wesentlichen folgende Ergebnisse:

- Grunddaten Welle (Masse, Schwerpunkt, Massenträgheitsmoment)
- Wellenabschnitte (Flächenträgheits- und Widerstandsmomente)
- Lagerreaktionskräfte
- Zwischenergebnisse (Spannungen, Kerbwirkungszahlen, Einflussfaktoren)
- Statische Sicherheiten
- Dynamische Sicherheiten

Gerade bei der Wellenberechnung werden auch sehr viele Graphiken als Ergebnis der Wellenberechnung generiert. Diese Ergebnisse können im Fenster der Graphikhilfe angezeigt werden.

- Smith-Diagramm
- Querkraftverläufe
- Biegemomentverlauf
- Torsionsmomentverlauf
- Spannungsverläufe (Zug/Druck-, Biege-, Vergleichsspannung)
- Durchbiegung der Welle
- Sicherheit gegen Fließen und Dauerbruch



Ergebnisgrafik

Abbildung 4-7: 3D-Durchbiegung der Welle

Wie unter 3.4 beschrieben soll nun für dieses Beispiel eine Berechnungsdokumentation durchgeführt werden. Zunächst wird der Ausgabeumfang des Dokumentes eingestellt. Dafür wird über das Menü → Optionen das folgende Fenster geöffnet. In der Registerkarte „Ausgabeumfang“ können Ergebnisgrafiken für die Dokumentation ausgewählt werden, und deren Größe im Dokument eingestellt werden.

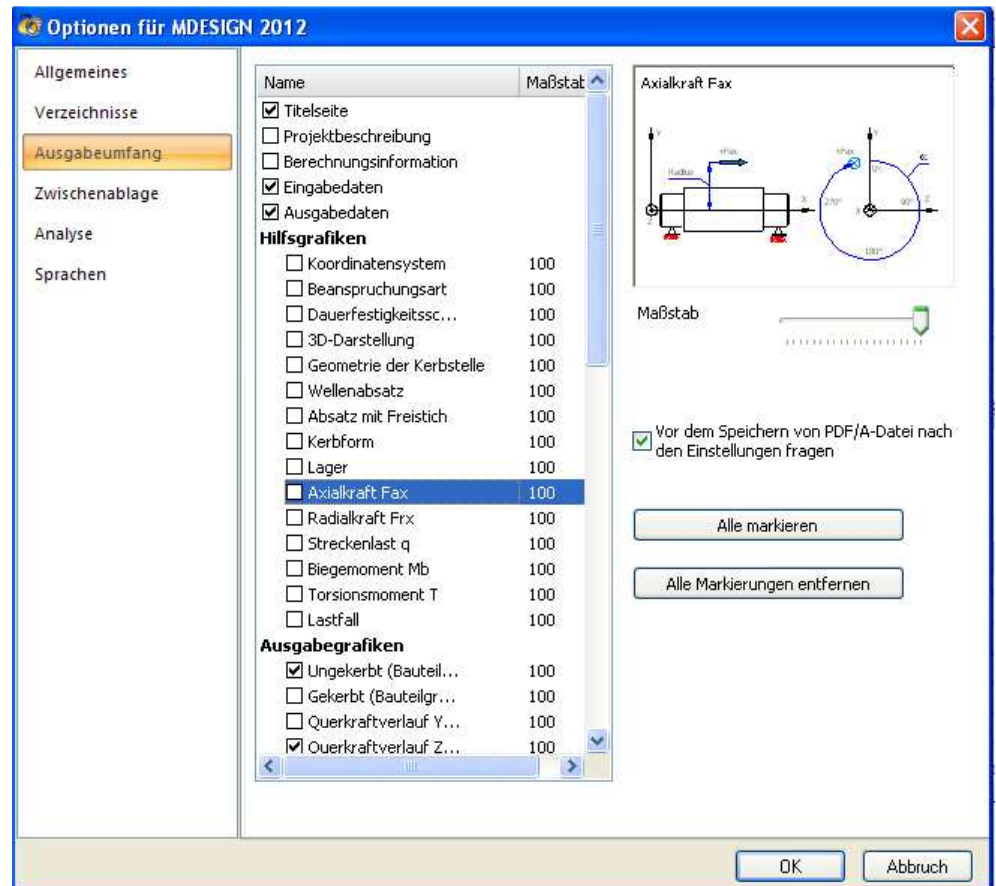


Abbildung 4-8: Einstellung Ergebnissumfang

Dokumentation

Bitte bestätigen Sie Ihre Eingabe mit "OK". Die Dokumentation ist in den Sprachen Englisch, Italienisch und Deutsch verfügbar und kann in den Dateiformaten HTML, RTF oder PDF/A abgespeichert werden. Bitte wählen Sie die Sprache für das Ausgabedokument und speichern Sie die Datei in Ihrem gewünschten Format. Die Dokumentation wird in der gewünschten Sprache inklusive aller von Ihnen ausgewählten Ergebnisgrafiken abgespeichert.

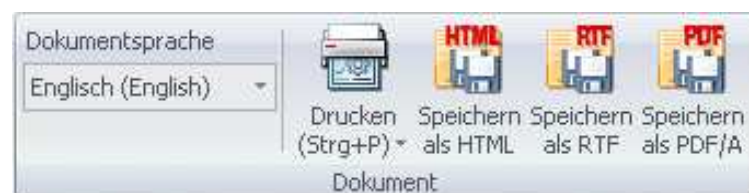


Abbildung 4-9: Speichern der Dokumentation

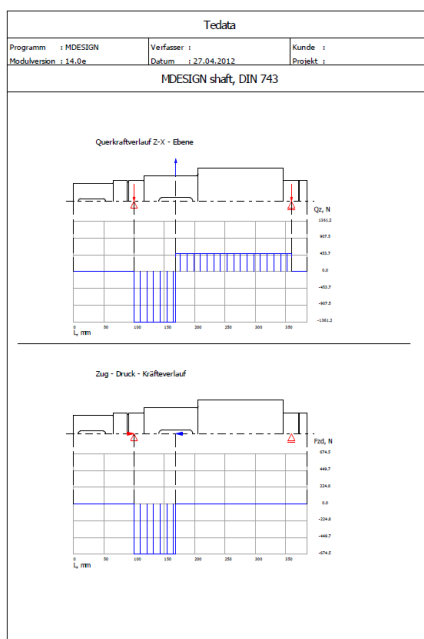


Abbildung 4-10: Beispieldokumentation (Auszug)

4.2 Übungsaufgabe 2 – Schweißnahtberechnung

Aufgabenstellung:

Aufgabenstellung

Es soll die Schweißverbindung eines Trägeranschlusses berechnet werden. Bei dem Träger soll es sich um ein Normprofil (I-Träger) handeln. Der Träger ist an eine starr anzunehmende Platte verschweißt. Am Trägerende wirkt eine Querkraft. Folgende Ausgangsdaten zum Berechnungsbeispiel sind vorgegeben:

- Träger:
 - I-Träger, I-Reihe nach DIN 1025-1, Kurzzeichen: I300
 - Maße: Höhe: 300 mm, Breite: 125mm, Länge: 1000mm
 - Stegdicke: 10.8 mm, Flanschdicke: 16.2 mm
- Schweißnaht:
 - Kehlnaht, Nahtdicke: 7 mm
 - umlaufend
- Belastungsangaben:
 - Querkraft: 50 kN (schwellend)
- Werkstoff: S 235 JR

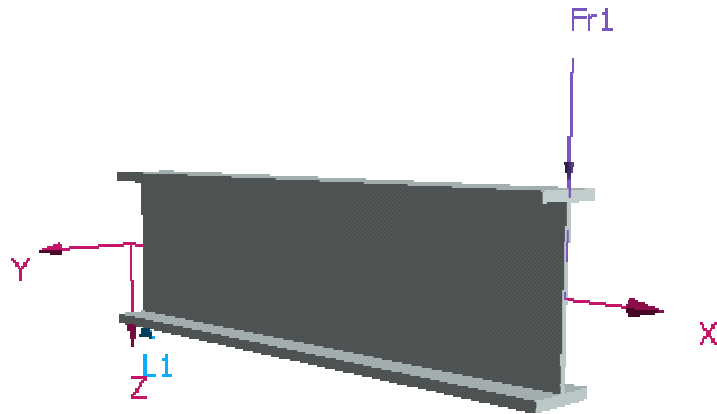


Abbildung 4-11. Träger mit Querkraft

Schritt 1- Aufruf der Schweißnahtberechnung

Für die Nachrechnung von Schweißnahtverbindungen existieren zwei unterschiedliche Berechnungsstandards. Das ist zum einen die Berechnung von Schweißnahtverbindungen nach **DS 952 01** („Schweißen metallischer Werkstoffe an Schienenfahrzeugen und maschinentechnischen Anlagen“), und zum anderen die Berechnung nach **Merkblatt DVS 0705** („Empfehlungen zur Auswahl von Bewertungsgruppen nach DIN EN 25 817 und ISO 5817 - Stumpfnähte und Kehlnähte an Stahl“).

Das vorliegende Beispiel der Schweißnahtberechnung eines Trägeranschlusses soll nach Merkblatt DVS 0705 berechnet werden. In MDESIGN sind beide Berechnungsverfahren in dem Modul Schweißnahtberechnung enthalten. Die Unterscheidung zwischen den Verfahren erfolgt durch Auswahl auf der Eingabeseite.

Zum Aufruf des Schweißnahtberechnungs-Moduls wird im Modulbaum der Themengruppe „Berechnungen“ die Rubrik „MDESIGN mechanical“ geladen und darin der Ordner Schweißverbindungen geöffnet. In diesem kann nun das Modul „Schweißnahtberechnung“ geöffnet werden.

Öffnen der Schweißnahtberechnung

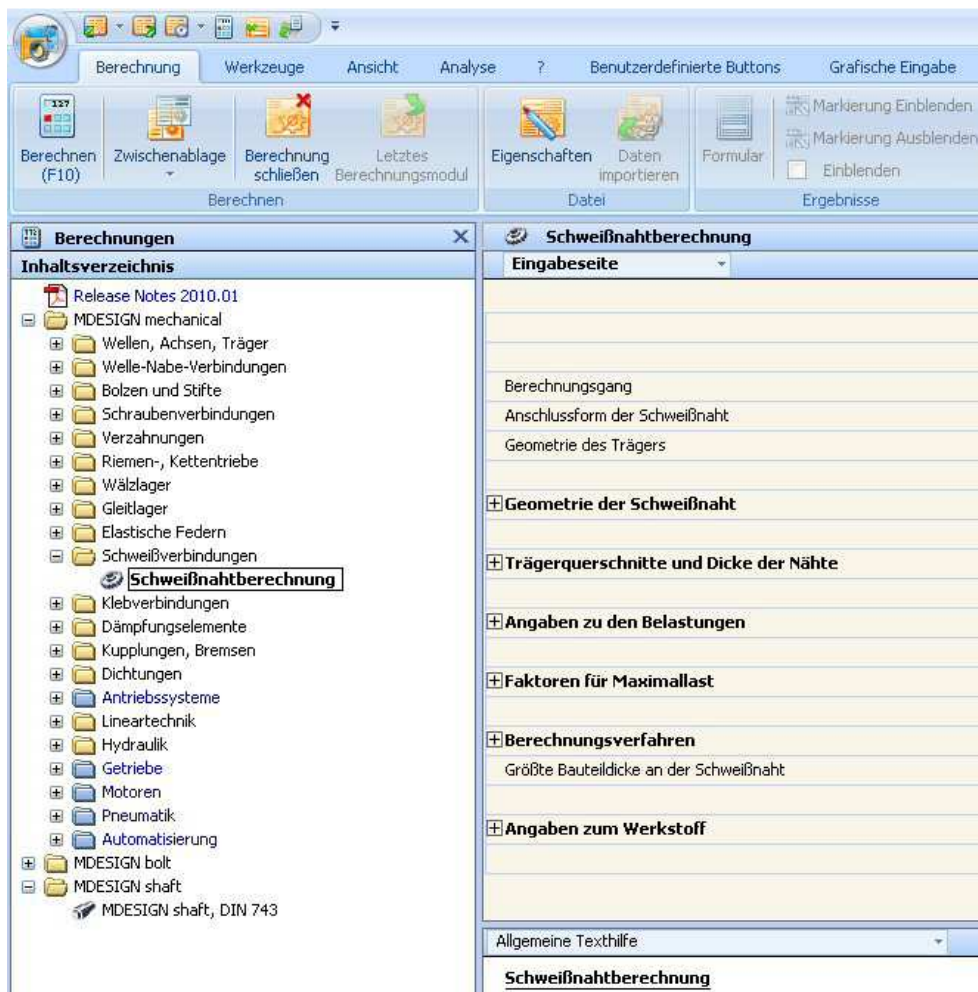


Abbildung 4-12: Auswahl Schweißnahtberechnung im Modulbaum

Schritt 2 - Eingabe der Parameter

Mit dem Aufruf des Moduls „Schweißnahtberechnung“ erscheint die Eingabeseite des Moduls. Auf dieser Eingabeseite werden nun von oben nach unten alle notwendigen Eingaben durchgeführt. Im Fenster der Texthilfe wird jetzt zunächst die allgemeine Texthilfe angezeigt, hier finden Sie allgemeine Informationen zu den Berechnungsnormen DS 952 01 und dem Merkblatt DVS 0705.

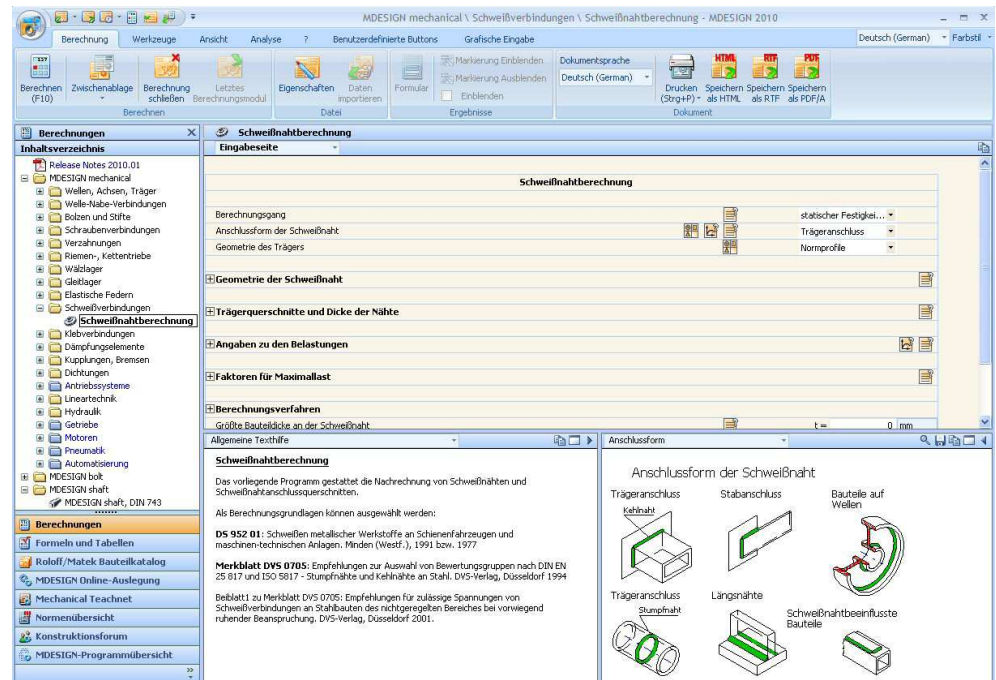


Abbildung 4-13: Eingabeseite Schweißnahtberechnung

Am Anfang der Eingabeseite werden wieder allgemeine Kenndaten in Auswahl-
fenstern abgefragt. Die einzelnen Auswahlmöglichkeiten sowie alle anderen Ein-
gaben werden nun Schritt für Schritt abgehandelt:

Zu den einzelnen Eingaben:

- Berechnungsgang:
1. Statischer Festigkeitsnachweis
 2. statischer und dynamischer Festigkeitsnachweis

Aufgrund der vorgegebenen schwellenden Belastung wählen Sie für das Berechnungsbeispiel bitte „statischer und dynamischer Festigkeitsnachweis“.

Anschlussform Schweißnaht:

Für die Schweißnahtberechnung gibt es viele verschiedene Anordnungen und Anschlussformen der zu verschweißenden Bauteile. MDESIGN differenziert hier zwischen 6 verschiedenen Anschlussformen, die in Abbildung 4-14 zusammengestellt sind. Diese Abbildung zeigt die Grafikhilfe zum Thema Anschlussform der Schweißnaht.

Andere geometrische Anordnungen von verschweißten Bauteilen müssen gegebenenfalls auf eine vorhandene Anschlussform reduziert werden. Alle folgenden Eingaben zur Geometrie und zu Belastungsangaben sind abhängig von dieser Auswahl, so dass sich die Eingabeseite mit Auswahl der Anschlussform dynamisch ändert. Für das vorliegende Berechnungsbeispiel ist entsprechend der Aufgabenstellung die Anschlussform „Trägeranschluss“ zu wählen.



Abbildung 4-14: Anschlussformen

Geometrie des Trägers:

In der Aufgabenstellung ist angegeben, dass der Anschluss eines genormten I-Träger zu berechnen ist. Für die Auswahl „Geometrie des Trägers“ ist somit die Trägerform „Normprofile“ zu wählen.

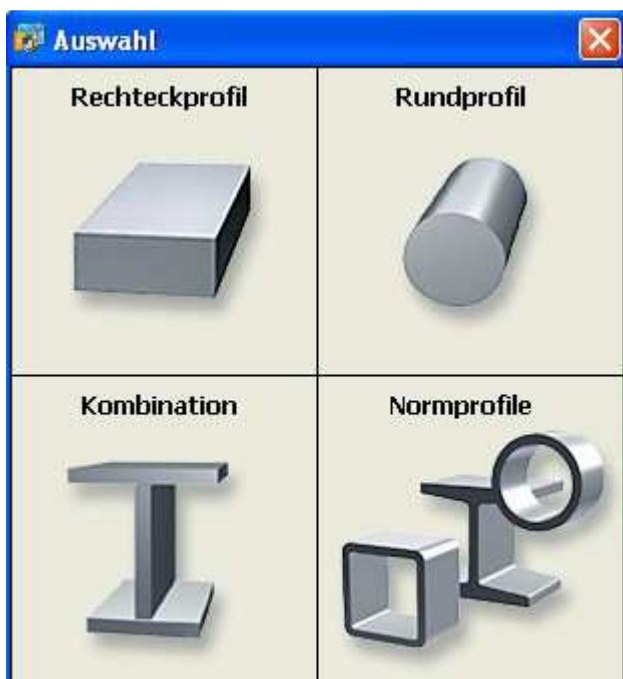


Abbildung 4-15: Auswahl Träger

Normprofil aus

Datenbank

Es erscheint sofort eine Auswahlliste für genormte Standardträger.

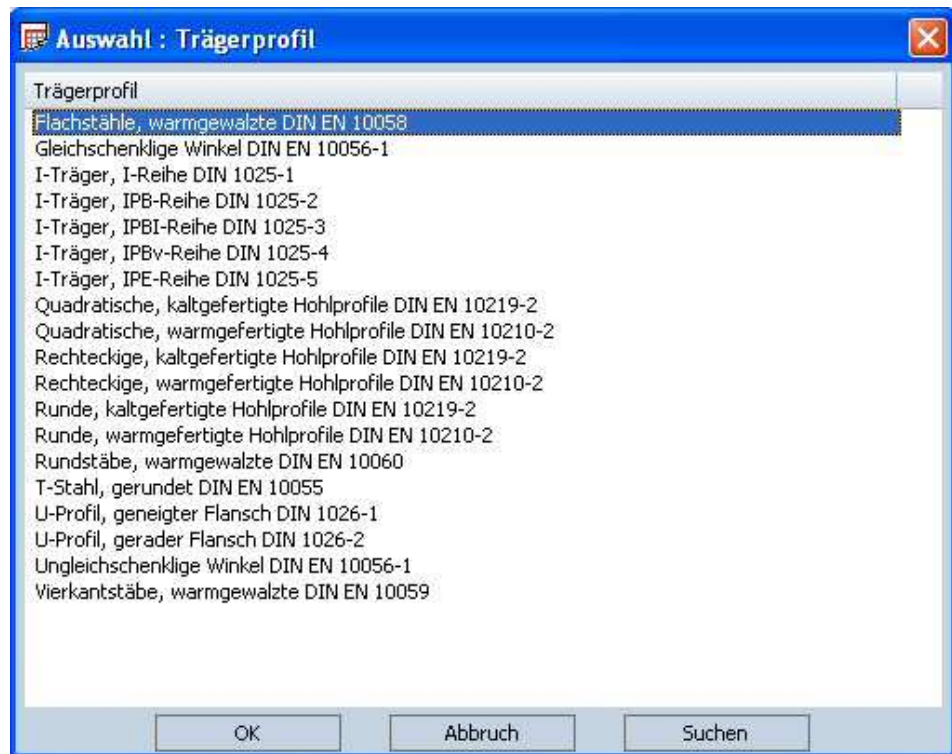


Abbildung 4-16: Auswahl Normprofil

In dieser Auswahlliste wird das in der Aufgabenstellung vorgegebene Trägerprofil ausgewählt (I-Reihe DIN 1025-1). Es erscheint sofort eine weitere Datenbankauswahl mit allen Trägerprofilen dieser Reihe.

Auswahl : I-Träger, I-Reihe DIN 1025-1

Die Anzahl der Dezimalen: 2 Erneuern

Kurzzeichen	Breite b, mm	Höhe h, mm	Stegdicke s, mm	Flanschdicke t, mm
I80	42.00	80.00	3.90	5.90
I100	50.00	100.00	4.50	6.80
I120	58.00	120.00	5.10	7.70
I140	66.00	140.00	5.70	8.60
I160	74.00	160.00	6.30	9.50
I180	82.00	180.00	6.90	10.40
I200	90.00	200.00	7.50	11.30
I220	98.00	220.00	8.10	12.20
I240	106.00	240.00	8.70	13.10
I260	113.00	260.00	9.40	14.10
I280	119.00	280.00	10.10	15.20
I300	125.00	300.00	10.80	16.20
I320	131.00	320.00	11.50	17.30
I340	137.00	340.00	12.20	18.30
I360	143.00	360.00	13.00	19.50
I380	149.00	380.00	13.70	20.50
I400	155.00	400.00	14.40	21.60
I450	170.00	450.00	16.20	24.30
I500	185.00	500.00	18.00	27.00
I550	200.00	550.00	19.00	30.00

OK Abbruch Suchen

Abbildung 4-17: Auswahl Trägerprofil

In dieser Datenbanktabelle wird der vorgegebene Träger I300 ausgewählt. Die folgenden Eingabefelder (Breite, Höhe, Stegdicke, Flanschdicke) sind von der Auswahl abhängig und werden sofort in die Eingabeseite übernommen.

Andere wählbare Trägerformen sind Rechteckprofil, Rundprofil und Kombination. Mit der Auswahl Kombination können aus Rechteckformen die in Abbildung 4-18 abgebildeten Querschnitte erzeugt werden.

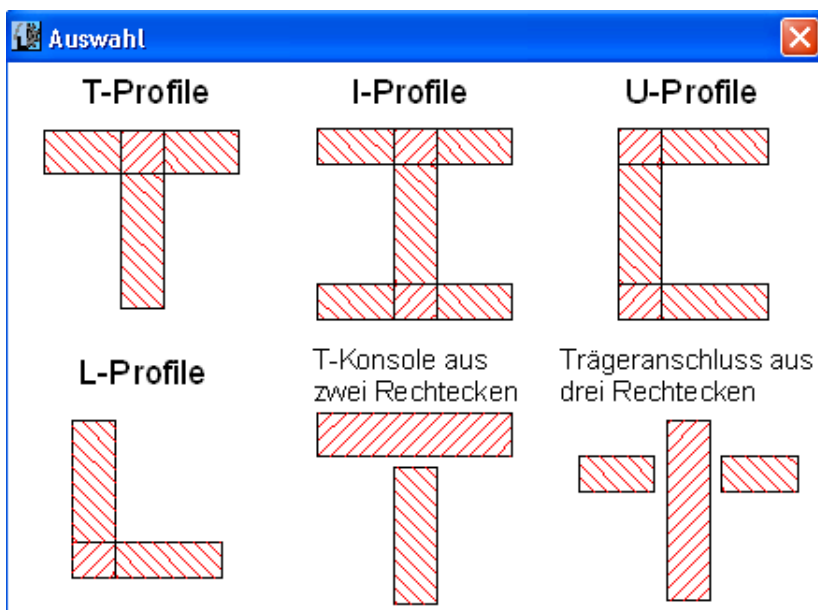


Abbildung 4-18: Profilformen durch Kombination

Die weiteren Eingaben sind in der Gruppe „Geometrie der Schweißnaht“ zusammengefasst.

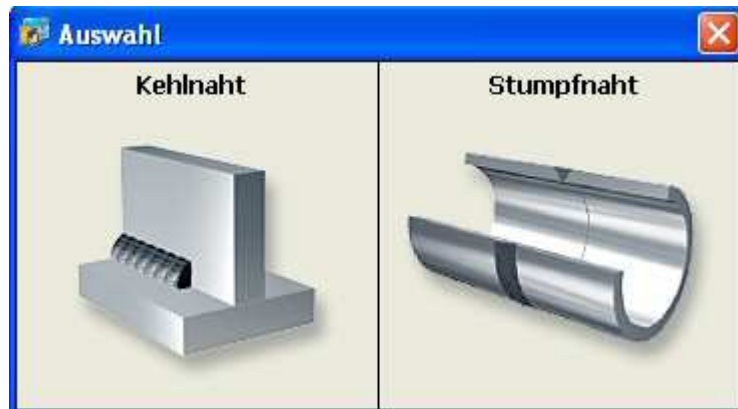


Abbildung 4-19: Auswahl Nahtart

Nahtart: 1. Kehlnaht

2. Stumpfnah

Entsprechend der Aufgabenstellung wird die Auswahl Kehlnaht durchgeführt.

Umlaufende Naht: ja/nein

Im Beispiel liegt eine umlaufende Naht vor, so dass für diese Auswahlmöglichkeit „ja“ gewählt wird. Bei der Auswahl „nein“, kann zusätzlich gewählt werden, ob Endkratterrücknahmen zu berücksichtigen sind.

Als nächste Eingabe folgt die Liste für die Definition der Nähte. Über der Liste befinden sich am rechten Rand wieder Symbole für Eingabehilfen. Für die Definition der Schweißnähte empfiehlt es sich auch an dieser Stelle, den graphischen Eingabeassistenten zu verwenden.

Trägerquerschnitte und Dicke der Nähte										
Nr.	Abstand y : mm	Abstand z : mm	Breite b = mm	Höhe h = mm	oben a : mm	unten a : mm	rechts a : mm	links a : mm	Endkral	
1	283.8	0	57.1	16.2	0	0	0	0	nein	
2	283.8	57.1	10.8	16.2	0	0	0	0	nein	
3	283.8	67.9	57.1	16.2	0	0	0	0	nein	
4	16.2	57.1	10.8	267.6	0	0	0	0	nein	
5	0	0	57.1	16.2	0	0	0	0	nein	
6	0	57.1	10.8	16.2	0	0	0	0	nein	
7	0	67.9	57.1	16.2	0	0	0	0	nein	

Abbildung 4-20: Liste für Schweißnahtdefinition

Der graphische Eingabeassistent ist ähnlich wie bei der Wellenberechnung aufgebaut. Beim Öffnen des Fensters wird sofort der Querschnitt des gewählten Normprofils angezeigt.

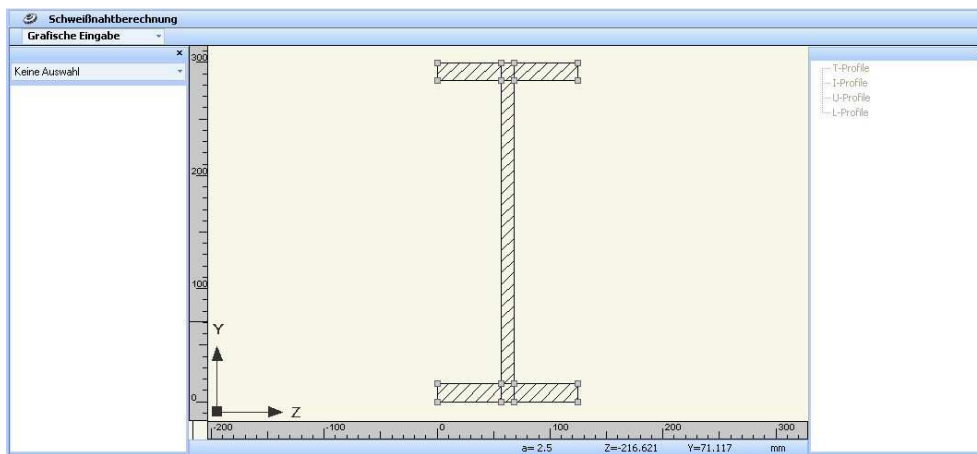


Abbildung 4-21: Eingabeassistent Schweißnahtberechnung - Querschnitt

Mit Hilfe der Maus können in diesem Querschnitt die Schweißnähte eingezeichnet werden. Dazu können Verbindungen zwischen den hervorgehobenen Eckpunkten gezogen werden. Bei erfolgreicher Eingabe wird die Schweißnaht sofort mit grüner Farbe in den Querschnitt eingezeichnet.

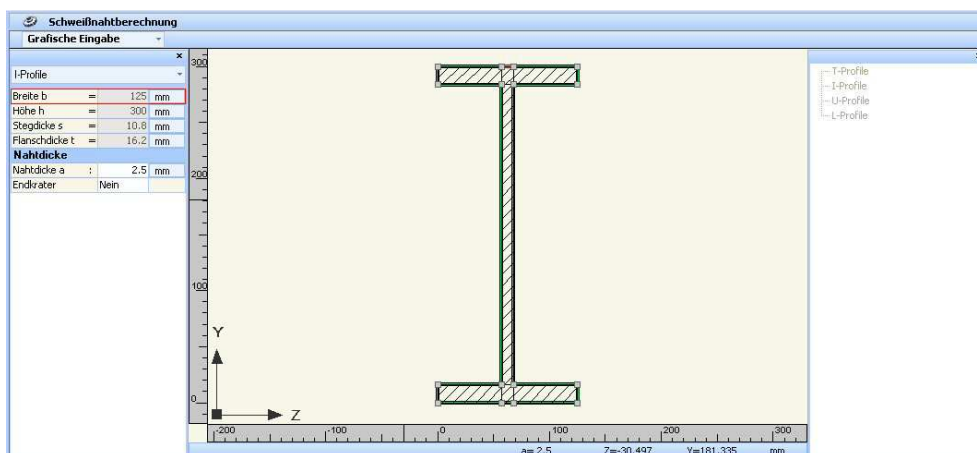


Abbildung 4-22: Eingabeassistent Schweißnahtberechnung – Querschnitt mit Schweißnähten

In die Skizze des Trägerquerschnittes wird wie in der Aufgabenstellung gefordert eine umlaufende Naht eingezeichnet (vgl. Abbildung 4-22). Anschließend werden diese Werte automatisch auf die Eingabeseite übertragen. Die Liste wird mit den generierten Daten gefüllt. Nun muss noch für jede Schweißnaht die Dicke von $a = 7$ mm in die Liste eingetragen werden.

Die nächsten Eingaben sind unter der Gruppe „Angaben zu Belastungen“ zusammengefasst. In dieser Gruppe werden die geforderten Belastungen eingetragen. Dabei ist zu beachten, dass alle Belastungen als Schnittreaktion in der Ebene des Nahtquerschnittes einzugeben sind (siehe auch Texthilfe „Angaben zu Belastungen“). Die Schnittreaktionen müssen dafür zunächst durch das Aufstellen des Kräftegleichgewichts ermittelt werden. Dies kann mittels einer Handrechnung geschehen. Alternativ kann aber auch das Modul Trägerberechnung aus dem MDESIGN-Paket herangezogen werden. Hier im Beispiel soll der Weg über das Modul Trägerberechnung gewählt werden.

Das Modul zur Trägerberechnung befindet sich unter „MDesign mechanical“, „Wellen, Achsen, Träger“. Hier werden auf der Eingabeseite alle Angaben zum Träger und Belastungen eingetragen. Auch in der Trägerberechnung kann auf die Trägerdatenbank zugegriffen werden, um den Normträger ohne weitere Angaben direkt auszuwählen. In der Liste für Radialkräfte wird die Querkraft am Ende des Trägers definiert. Die Lagerung des Trägers erfolgt im Koordinatensystem bei $x = 0$, mit einer Einspannung. Die anschließende Berechnung erbringt folgende für die Schweißnahtberechnung notwendige Ergebnisse:

Ergebnisse

Trägerberechnung

Folgende Belastungen ergeben sich für die Schweißnahtberechnung:

Aus dem Kräftegleichgewicht ergibt sich sofort eine Querkraft $F_z = -50000\text{ N}$.

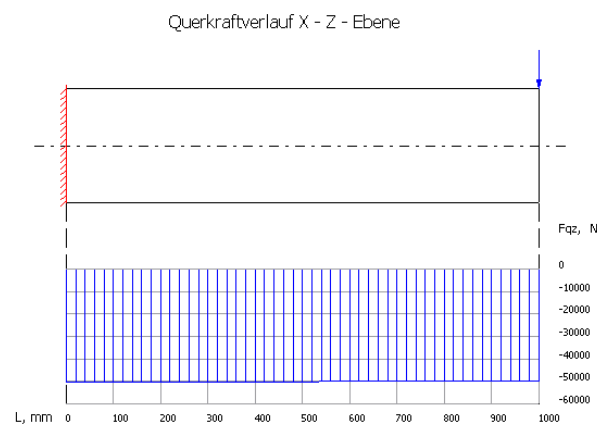


Abbildung 4-23: Querkraftverlauf

Aus dem Biegemomentverlauf wird das in der Schweißnahtebene wirkende Biegemoment ersichtlich.

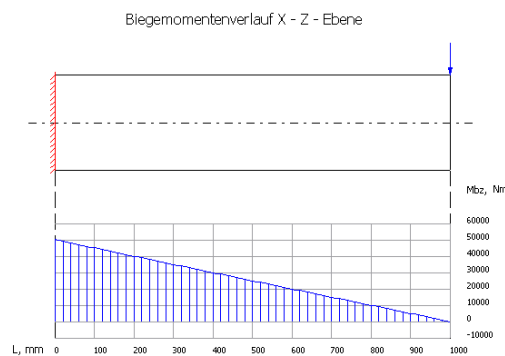


Abbildung 4-24: Biegemomentenverlauf

Zusammengefasst wirken also folgende Belastungen in der Schweißnahtebene:

Querkraft: $F_z = -50000\text{ N}$

Biegemoment: $M_b = 50000\text{ Nm}$

Bitte beachten Sie, dass sich die Ausrichtung der Koordinatensysteme der Schweißnahtberechnung und der Trägerberechnung unterscheidet.

Belastungen

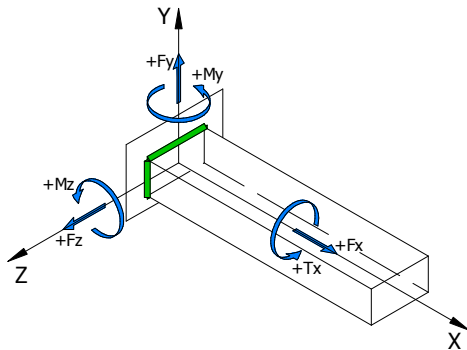


Abbildung 4-25: Koordinatensystem für die Schweißnahtberechnung

Werden die errechneten Belastungen in das Koordinatensystem der Schweißnahtberechnung übertragen, ergeben sich folgende Belastungen in der Schweißnahtebene:

Querkraft: $F_y = 50000 \text{ N}$

Biegemoment: $M_{bz} = 50000 \text{ Nm}$

In den folgenden Feldern der Eingabeseite werden Maximallastfaktoren verlangt. Hier kann für jede Belastung ein zusätzlicher Faktor für selten auftretende Überlasten eingegeben werden. Diese Faktoren gehen nur in den statischen Sicherheitsnachweis ein. Häufige Überlasten ($N > 1000$) müssen direkt als Belastung eingegeben werden und gehen in den dynamischen Sicherheitsnachweis ein.

Berechnungsverfahren:

Die Berechnung soll nach Merkblatt DVS 0705 durchgeführt werden.

Eigenspannungen:

Es sollen keine Eigenspannungen berücksichtigt werden.

Lastspielzahl:

Die Schweißverbindung soll dauerfest ausgelegt werden, so dass eine Schwingspielzahl von $2 \cdot 10^6$ eingegeben wird.

Beanspruchungsart:

Es liegt für Schub- und Normalspannung eine schwellende Belastung vor, so dass als Beanspruchungsart „dynamisch schwellend“ ausgewählt wird.

Schwingfestigkeitsklassen (FAT):

Für den Sicherheitsnachweis nach Merkblatt DVS 0705 ist die Angabe sogenannter Schwingfestigkeitsklassen notwendig. Für die Auswahl der Klasse sind in MDESIGN die Arbeitsblätter aus der Norm hinterlegt. Der Aufruf dieser Arbeitsblätter kann über das Texthilfe-Symbol der Eingabevariablen „Schwingfestigkeitsklassen“ erfolgen.

Für das Beispiel wurden die folgenden Klassen gewählt:

Normalspannung: FAT 90

Schubspannung: FAT 80

Größte Bauteildicke an der Schweißnaht:

Für den Sicherheitsnachweis ist auch die größte Bauteildicke relevant. Hier wird die Flanschdicke eingegeben.

Werkstoffauswahl:

Am Ende der Eingabeseite werden noch die Angaben zum Werkstoff getätigt.

Schritt 3- Ergebnisse und Dokumentation

Nach erfolgreicher Berechnung erscheint die Ausgabeseite mit allen Ergebnissen.

Ergebnisse Schweißnahtberechnung

Schweißnähte-Querschnittswerte

Rechteck Nr.	Fläche Aw mm ²	Flächenmoment, y-Achse, 2.Ordnung Iw cm ⁴	Flächenmoment, z-Achse 2.Ordnung Iw cm ⁴
1	912.800	158.202	1843.798
2	75.600	0.073	170.131
3	912.800	158.202	1843.798
4	3746.400	12.454	2235.657
5	912.800	158.202	1843.798
6	75.600	0.073	170.131
7	912.800	158.202	1843.798

Gesamtfläche der Schweißnähte: Aw ges = 7548.800 mm²

Gesamtflächenträgheitsmomente y-Achse Iw ges = 645.409 cm⁴

Gesamtflächenträgheitsmomente z-Achse Iw ges = 9951.110 cm⁴

Spannungen in den Schweißnähten

	Bez.	Amplitude N/mm ²	Mittelwert N/mm ²	Oberlast N/mm ²	Maximallast N/mm ²
Spannungen aus Axialkraft Fx	σ _⊥	0.000	0.000	0.000	0.000
Spannungen aus Querkraft Fy	τ	-5.952	-5.952	-11.905	-11.905
Spannungen aus Querkraft Fz	τ	0.000	0.000	0.000	0.000
Spannungen aus Biegemoment My	σ _⊥	0.000	0.000	0.000	0.000
Spannungen aus Biegemoment Mz	σ _⊥	37.684	37.684	75.368	75.368

Am Ende der Ausgabeseite wird der eigentliche Sicherheitsnachweis angegeben. Im Gegensatz zum klassischen Sicherheitsnachweis, bei dem eine Sicherheit be-

rechnet wird, die >1 sein sollte, ist bei der Schweißnahtberechnung ein Wert > 1 ein Kriterium für eine nicht ausreichend dimensionierte Schweißnahtverbindung.

Statischer Nachweis: $7.388e-1 < 1$

Dynamischer Nachweis: $5.024e-1 < 1$

Für das vorliegende Beispiel sind beide Sicherheiten < 1 , damit ist die Schweißnahtverbindung ausreichend dimensioniert.

Im Fenster der Grafikhilfe wird der Querschnitt in der Schweißnahtebene als Ergebnisgrafik angezeigt.

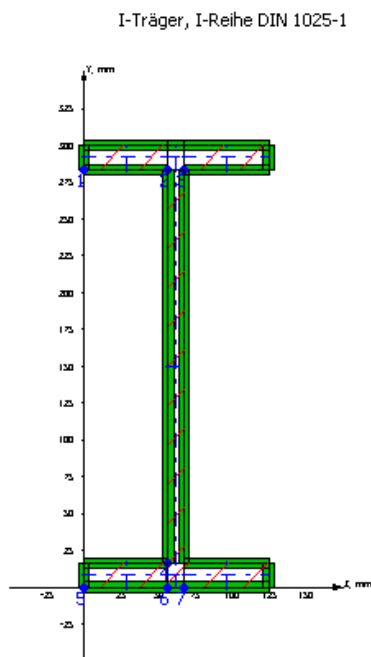


Abbildung 4-26: Ergebnisgrafik

5 Zusammenfassung

Die Einführung der Studienvorlage vergleicht zunächst die Vor- und Nachteile der Verwendung von Berechnungssoftware für die Maschinenelementeberechnung. Besonders hervorzuheben sind an dieser Stelle noch einmal die Risiken der durch die von der Software vorgenommenen Abstrahierungen. Die intensive Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Berechnungsnormen ist auch bei der Verwendung anerkannter Berechnungssoftware unumgänglich. Dennoch macht die Studienvorlage die signifikanten Vorteile und die Zeitersparnis bei der Nutzung von CAE-Software deutlich. Ein wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit, nach der Berechnung ohne viel Aufwand automatisch eine einheitliche und umfangreiche Ergebnisdokumentation zu generieren. Diese Dokumentation dient als Absicherung für den verantwortlichen Berechnungsingenieur und kann Teil der Qualitätssicherung sein.

In der Studienvorlage werden zunächst die grundsätzlichen Funktionalitäten von MDESIGN erläutert. Im Hauptteil werden anschließend diese Funktionalitäten sowie deren Handhabung Schritt für Schritt erklärt. Einzelne Funktionalitäten, wie spezielle Eingabeassistenten sind modulspezifisch, und gehen daher erst aus der Anwendung in den Übungsbeispielen hervor. Alle Funktionalitäten sind jedoch nach einem immer wiederkehrenden Prinzip aufgebaut, so dass sich die Handhabung auf alle entsprechenden Funktionalitäten anderer Module übertragen lässt.

Die Studienvorlage schließt mit zwei Übungsbeispielen ab. Grundsätzlich sind beide Übungsbeispiele so aufgebaut, dass eine theoretische Abarbeitung ohne das Programm möglich ist. Das praktische Arbeiten mit dem Programm kann dadurch jedoch nicht ersetzt werden und wird an dieser Stelle noch einmal empfohlen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Matek, W.; , V. H. (2009): Roloff/Matek Maschinenelemente, Normen, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage Meitingen, Vieweg