

# WINFEM

## User's Manual

Thomas Grätsch, Friedel Hartmann

## 1 Vorbemerkungen

WINFEM ist ein auf der Methode der finiten Elemente basierendes Programm zur linear elastischen Berechnung von Scheiben für den ebenen Spannungszustand. Das Programm ist im Fachgebiet Baustatik der Universität Kassel entwickelt worden und wird stetig ausgebaut. WINFEM läuft unter den Betriebssystemen Windows 95/98, NT, 2000. und XP.

### 1.1 Theoretische Details

Zur Approximation des Verschiebungsfelds werden Scheibenelemente mit bilinearen Ansatzfunktionen verwendet. Die auftretenden Lastvektoren und Steifigkeitsmatrizen werden analytisch integriert, so dass neben dem Approximationsfehler kein zusätzlicher Fehler auftritt.

Für die Abbildung der Scheibengeometrie wird die Einschränkung vorgenommen, dass nur rechteckige Elemente verwendet werden. Aus diesem Grund lassen sich in WINFEM nur solche Geometrien eingeben, die sich aus einzelnen Rechtecken darstellen lassen.

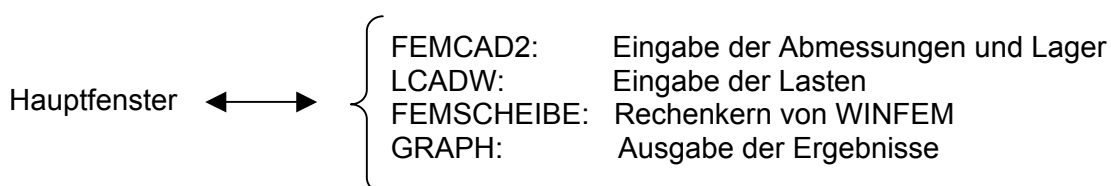
Als Belastungen können konstante Elementlasten, konstante Linienlasten sowie Einzelkräfte in den Knoten eingegeben werden. Die Element- und Linienlasten werden in konsistenter Weise in äquivalente Knotenkräfte umgerechnet.

Die besondere Innovation von WINFEM im Vergleich zu anderen FE-Programmen besteht darin, dass in der Nachlaufrechnung der äquivalente FE-Lastfall berechnet wird. Dieses ist derjenige Lastfall, der von den finiten Elementen eigentlich gelöst wird. Man erhält diesen Lastfall, indem man elementweise die FE-Lösung in das statische Gleichgewicht einsetzt und die Differenz an den Kanten als den Angriff von Linienlasten deutet, vgl. hierzu auch:

Hartmann, F., Katz, C.: Statik mit finiten Elementen, Springer-Verlag, 2002.

### 1.2 Die Struktur des Programms


WINFEM basiert auf der bekannten Windows-Oberfläche, weshalb die Handhabung des Programms leicht erlernbar ist und die meisten Schritte selbsterklärend sind. Das Programm besteht aus fünf Modulen, wobei vier Unterprogramme über die Menüleiste des Hauptfensters gestartet werden können und nach Beenden wieder zum Hauptfenster zurückführen:



## 2 Start des Programms

Das Programm wird mit dem Hauptfenster durch Ausführen der Datei *P.exe* gestartet. Von dem Hauptfenster aus gelangt man zu den einzelnen Unterprogrammen, welche über die Menüleiste oder die Buttons in der Symbolleiste aufgerufen werden können.


### 2.1 Definition einer neuen Position

Durch Anklicken des Buttons  kann eine neue Position definiert werden. Hierzu wählen Sie aus dem sich öffnenden Dialogfenster den Datenpfad und den Namen der Position aus. Als Bezeichnungen sind Buchstaben und Zahlen, jedoch keine Sonderzeichen zulässig. Ihre Position *Name* wird dann unter dem ausgewählten Datenpfad (z.B. C:\Projekte) im Ordner

C:\Projekte\SDIRFEMName

gespeichert. Anschließend öffnet sich automatisch das zugehörige Unterprogramm zur Eingabe der Scheibenstruktur.





## 3 Eingabe der Struktur

Durch Auswahl einer neuen Position wie unter **2.1** beschrieben gelangen Sie automatisch in das entsprechende Unterprogramm. Bei einer bereits existierenden Position können Sie aus dem Hauptfenster heraus über den Menüpunkt **Abmessungen** oder über das Symbol  das Unterprogramm zur Eingabe der Struktur starten.


### 3.1 Eingabe der Geometrie

Unter dem Menüpunkt **Geometrie** können Sie die Abmessungen der Scheibe eingeben, indem Sie die Größe und die Anzahl der zu verwendeten Elemente festlegen und die zugehörigen Materialparameter definieren. Grundsätzlich wird hierbei immer eine Rechteck-scheibe generiert. Entsprechende Änderungen der Geometrie werden unter **3.3** erläutert.


### 3.2 Ansicht der Scheibe

Nachdem die Scheibe gezeichnet ist, können Sie mit dem Button  den Grundriß auf die Bildschirmgröße anpassen. Das Verkleinern der Ansicht ist mit dem Button  möglich. Das Herauszoomen einzelner Regionen ist mit der Lupe  möglich. Ein Zurückzoomen erreichen Sie durch zweimaliges Anklicken der Lupe. Für eine graue Hinterlegung der Scheibe betätigen Sie den Button .

### 3.3 Berücksichtigung von Öffnungen

Die Berücksichtigung von Öffnungen ist unter dem Menüeintrag **Tools / Öffnungen** oder mit dem Button  möglich. Durch Anklicken einzelner Elemente können Sie diese nun entfernen. Beenden Sie Ihre Eingabe durch die Leertaste, mit der Taste ‚Z‘ können Sie ihre Eingabe rückgängig machen. Zur Generierung einer L-Scheibe gehen Sie genauso vor.

### 3.4 Definition der Auflager


Nachdem Sie die Öffnungen erzeugt haben, sollten Sie die Scheibe lagern. Dieses ist unter dem Menüeintrag **Tools / Lager setzen** oder dem Button  möglich. In dem sich öffnenden Dialogfenster können sie eine Lagerungsart auswählen. Klicken Sie anschließend direkt auf diejenigen *Elementkanten*, welche Sie mit der ausgewählten Lagerungsart versehen wollen.

Im Urzustand sind sämtliche Linien frei aufgelagert. Sie benötigen die Option ‚Frei‘ also nur dann, wenn Sie eine zunächst fest definierte Lagerung wieder rückgängig machen wollen.

### 3.5 Manuelle Bearbeitung des FE-Modells

Unter den Menüpunkten **Manuell / Knoten** und **Manuell / Elemente** können Sie Ihre Eingaben überprüfen und auch ändern. Diese Eintragungen sind maßgeblich für die spätere FE-Berechnung. Bei den Knoten und Federn können Sie auch sämtliche Lagerbedingungen auf Tastendruck löschen. Bei den Lagern bedeutet '1' fest gelagert und '0' nicht gelagert. Bei den Federn geben die Einträge  $c_x$  und  $c_y$  die Federsteifigkeiten in den beiden Richtungen an.


## 4 Eingabe der Belastung

Aus dem Hauptfenster heraus starten Sie mit dem Menüeintrag **Belastung** oder mit dem Button  die Eingabe der Belastung.

### 4.1 Eingabe von Flächenlasten

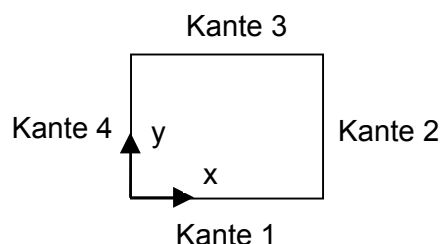
Mit der Menüauswahl **Flächenlasten** können Sie konstante Elementlasten für *sämtliche* Elemente eingeben. Sinnvoll ist eine derartige Wahl beispielsweise bei der Berücksichtigung des Eigengewichts. Dieses würden Sie hier als vertikale Flächenlast (negativ) eingeben.

### 4.2 Eingabe von Elementlasten


Wollen Sie nur einzelne Elemente mit einer konstanten Flächenlast versehen, können Sie dies unter dem Menüpunkt **Elementlasten** tabellarisch vornehmen. Genauso können Sie einzelne Elemente mit dem Button  und entsprechendes Anklicken mit einer Elementlast versehen.

### 4.3 Eingabe von Linienlasten


Unter dem Menüpunkt **Linienlasten** können Sie einzelnen Kanten des FE-Modells mit einer konstanten Linienlast versehen. Die Eingabe erfolgt elementweise, wobei für die Numerierung der lokalen Elementkanten folgendes Schema verwendet wird:



Gleichzeitig müssen Sie beachten, ob es sich an der lokalen Elementkante um eine Linienlast in x-Richtung ( $t_x$ ) oder um eine Linienlast in y-Richtung ( $t_y$ ) handelt.

Alternativ zur tabellarischen Eingabe können Sie mit dem Button  einzelne Elementkanten direkt anklicken und mit einer entsprechenden Linienlast belasten.


#### 4.4 Eingabe von Knotenlasten

Unter dem Menüpunkt **Knotenlasten** können Sie Knotenkräfte auf die einzelnen Knoten der Struktur aufbringen. Alternativ können Sie die Knotenlasten durch Wahl des Buttons  und direktes Anklicken der einzelnen Knoten eingeben.

#### 4.5 Berechnen von Einflussfunktionen

Eine besondere Eigenschaft von WINFEM besteht in der Möglichkeit, Einflussfunktionen für lokale oder integrale Zielgrößen zu berechnen. Unter dem Menüpunkt **Einflussfunktionen** können diese durch Anklicken eines Knoten oder Elements in konsistenter Weise berechnet werden. Bei der Berechnung von Einflussfunktionen werden stets sämtliche anderen Lasten gelöscht.


## 5 Ausführen der Berechnung

Aus dem Hauptfenster heraus starten Sie mit dem Menueintrag **Rechnen** oder dem Button  den Rechenkern von WINFEM. Anschließend können Sie auswählen, ob Sie eine konforme oder eine nichtkonforme Berechnung starten wollen. Es wird empfohlen, die konforme Berechnung zu wählen. Bei der nichtkonformen Berechnung werden die Elementsteifigkeitsmatrizen anstelle einer exakten Integration mit einer Einpunkt-Integration berechnet.

Starten Sie die FE-Berechnung mit dem Button **Start der Berechnung**. Nach Ende der Berechnung schließen Sie das Dialogfenster.

Durch Auswahl des Häkchens **h-Adaption** lässt sich eine vollautomatische adaptive FE-Berechnung durchführen, bei welcher die Genauigkeit der Lösung durch eine sukzessive Netzverfeinerung gesteuert wird. Durch Auswahl des Häkchens 'Einflussfunktionen' kann eine adaptive Berechnung ebenso zur Berechnung von Einflussfunktionen vorgenommen werden. Die vorgegebenen Einstellungen sollten nur bei genauer Kenntnis ihrer Auswirkungen geändert werden.

## 6 Darstellung der Ergebnisse

Nach erfolgreicher Berechnung können Sie durch Wahl des Menüpunkts **Ergebnisse** oder des Buttons  Ihre Ergebnisse betrachten.

## 6.1 Darstellung der Verformungen

Wählen Sie den Menüeintrag **Verformungen**. Durch Betätigen der +/- Tasten auf der Tastatur können Sie die Skala der Deformation einstellen. Unter **Kino** erhalten Sie eine Animation der Verformungen.

## 6.2 Darstellung der Spannungen

Wählen Sie den Menüeintrag **Spannungen**. Durch Betätigen der +/- Tasten auf der Tastatur können Sie die Skala der Spannungen einstellen. Unter dem Menüpunkt **Ansicht** können Sie nur Druck- oder nur Zugspannungen aktivieren. Ferner können Sie hier festlegen, ob die Spannungen nur in den Knotenpunkten oder auch in Viertelpunkten angezeigt werden sollen.

## 6.3 Darstellung des Originallastfalls

Mit dem Originallastfall bezeichnen wir denjenigen Lastfall, den sie unter **4.** eingegeben haben. Sie erreichen die Darstellung durch Wahl des Menüpunkts **Originallastfall**. Hierbei können Sie überprüfen, ob die angezeigten Lasten mit der von ihnen eingegeben Belastung übereinstimmt. Unter dem Menüpunkt **Ansicht** können Sie verschiedene Ansichten auswählen. Beachten Sie bitte, dass die Knotenkräfte nicht dargestellt werden, sondern nur die Element- und Linienlasten. Die Zahlenwerte in den Elementen geben dabei die Intensität der konstanten Elementlasten an.

## 6.4 Darstellung des äquivalenten Lastfalls

Durch Wahl des Menüeintrags **FE-Lastfall** können Sie den äquivalenten Finite-Element-Lastfall betrachten. Zur statischen Interpretation beachten Sie bitte die Hinweise unter **1.1.**

## 6.5 Fehlerdarstellung

Ein nahe liegender Gedanke ist es, die Differenz aus dem Originallastfall und dem FE-Lastfall zu berechnen. Man bezeichnet diese Differenz als **Fehlerkräfte**. Die Fehlerkräfte können unter dem Menüeintrag **Fehlerdarstellung / Fehlerkräfte** betrachtet werden. Unter dem Menüpunkt **Fehlerdarstellung / Fehlerkräfte (kontur)** sind die Fehlerkräfte in den Elementen als Graustufenplot visualisiert.

Fasst man die Fehlerkräfte an den Kanten und in den Elementen in geeigneter Weise zu einem lokalen Fehlerindikator zusammen, dann kann man jedem Element eine Maßzahl des Fehlers zuweisen. In einem Fehlerbild können nun die Fehlerindikatoren der einzelnen Elemente in Relation zueinander als Graustufenplot dargestellt werden. Sie können das Fehlerbild unter **Fehlerdarstellung / Fehlerbild** betrachten. Dunkle Elemente weisen hierbei auf Bereiche mit großen Fehlern hin, während helle Elemente auf Gebiete mit geringen Fehlerlasten hindeuten.

Bei der Bemessung sollten die Spannungen in Gebieten mit großen Fehlern mit Vorsicht verwendet werden. Für Beispiele und weiterführende Ausführungen zum Fehlerbild siehe auch:

Grätsch, T., Hartmann, F.: Über ein Fehlerbild bei der Schnittgrößenermittlung mit finiten Elementen, Teil 1: Scheiben. Bautechnik 78 (2001), Seiten 327-332.

## **6.6 Tabellarische Ausgabe**

Unter dem Menueintrag **Werte** können Sie sämtliche Verformungen, Spannungen und Lagerkräfte in den einzelnen Knoten und Elementen in tabellarischer Form betrachten. Um die aktuellen Knoten- und Elementzahlen in das Bild zu bringen, wählen Sie im Hintergrund **Ansicht / Numerierung Knoten** und ggf. auch **Ansicht / Numerierung Elemente**. Durch Auswahl des Eintrages 'Werte im Element' können Sie die Ergebnisse für einen beliebigen Punkt innerhalb der Struktur betrachten.

Der Menüpunkt 'Recovery' ist den Entwicklern des Programms vorbehalten.