

**Fassung
März 2011**

Zusatzmodul

RF-IMP

**Generierung von Ersatzimperfectionen
und vorverformten Ersatzstrukturen**

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der INGENIEUR-SOFTWARE DLUBAL GMBH ist es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

© Ingenieur-Software Dlubal GmbH
Am Zellweg 2 D-93464 Tiefenbach

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0
Fax: +49 (0) 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.de

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
1.	Einleitung	4	3.2.1	Ersatzimperfectionen von Stäben	18
1.1	Zusatzmodul RF-IMP	4	3.2.2	Ersatzstruktur	20
1.2	RF-IMP-Team	5	3.3	Export der Imperfectionen	21
1.3	Gebrauch des Handbuchs	5	3.4	Beispiel: Vorverformte Ersatzstruktur	22
1.4	Aufruf des RF-IMP-Moduls	6	4.	Allgemeine Funktionen	24
2.	Eingabedaten	7	4.1	RF-IMP-Generierungsfälle	24
2.1	Basisangaben	8	4.2	Einheiten und Dezimalstellen	26
2.2	Imperfektionen	10	4.3	Export der Daten	26
3.	Generierung	15	A	Literatur	28
3.1	Start der Generierung	15	B	Index	29
3.2	Generierte Imperfectionen	18			

1. Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-IMP

Viele Normen schreiben für die Berechnung nach Theorie II. Ordnung die Berücksichtigung von Imperfektionen vor. Hierfür gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Es werden entweder Ersatzlasten angesetzt, wie dies beispielsweise in DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 2 oder EN 1993-1-1, Abschnitt 5.3 geregelt ist. Alternativ kann die Berechnung an einer Ersatzstruktur erfolgen, deren FE- bzw. Systemknoten gemäß Normvorgabe verschoben wurden. Im Zusatzmodul RF-IMP zum Programmsystem RFEM stehen beide Optionen zur Verfügung.

Die Vorverformungen sind in die ungünstigen Wirkrichtungen anzusetzen. Dies mag bei kleineren Stabstrukturen noch überschaubar sein, sodass die Imperfektionen manuell festgelegt werden können. Bei umfangreicheren Systemen mit Flächen- und Volumenelementen stößt dieser Ansatz allerdings an seine Grenzen, denn Regeln für die Berechnung von Ersatzlasten existieren nur für Stabelemente. Hier ist RF-IMP in der Lage, auf Basis einer Verformungs- oder Knickfigur bzw. Eigenschwingung die maßgebenden Imperfektionen in Form eines Ersatzsystems zu generieren.

RF-IMP versetzt den Anwender in die Lage, schnell und somit wirtschaftlich verschiedene Generierungsfälle für Imperfektionen zu untersuchen. Damit wird der normgemäße Ansatz in die ungünstigsten Richtungen gewährleistet. Bei der Erzeugung von Ersatzimperfektionen für Stäbe erweist sich die Implementierung der Profil-Knickspannungslinien nach DIN 18800 und Eurocode 3 als sehr komfortabel.

Sind die Größen der Schiefstellungen und Vorkrümmungen vorgegeben, erzeugt RF-IMP die Imperfektionen in die maßgebenden Richtungen und überträgt sie nach RFEM. Die Ersatzimperfektionen werden in der Regel in einem eigenen Lastfall abgelegt und können nachfolgend einer Lastfallgruppe hinzugefügt werden. Bei der Generierung eines Ersatzsystems werden die verschobenen FE-Knoten in den Berechnungsparametern der jeweiligen Lastfallgruppen angesetzt. Dies hat den Vorteil, dass die Strukturdaten nicht verändert werden und somit verschiedene Ersatzstrukturen in einem einzigen Modell erfasst werden können.

Die Tabellen lassen sich zur weiteren Verarbeitung oder Archivierung direkt nach MS Excel oder OpenOffice exportieren.

Wie die übrigen Zusatzmodule ist auch RF-IMP vollständig in RFEM integriert. Das Zusatzmodul präsentiert sich nicht nur optisch als fester Bestandteil des Hauptprogramms. Mit der Zugriffsmöglichkeit auf die Ergebnisse von RFEM (Verformungen von Lastfällen, Lastfallgruppen und -kombinationen), RF-STABIL (Knickfiguren) und RF-DYNAM (Eigenformen) lassen sich alle Ersatzimperfektionen integrativ und komfortabel erzeugen.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-IMP.

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 RF-IMP-Team

An der Entwicklung von RF-IMP waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
 Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Programmierung

DiS. Jiří Šmerák
 Ing. Roman Svoboda

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
 MgA. Robert Kolouch
 Ing. Jan Milěř

Programmkontrolle

Ing. František Knobloch
 Ctirad Martinec

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
 Ing. Dmitry Bystrov
 Ing. Ladislav Kábrt
 Mgr. Michaela Kryšková
 Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker
 Mgr. Petra Pokorná

Technische Unterstützung und Endkontrolle

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel	Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
Dipl.-Ing. (BA) Sandy Baumgärtel	M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß	Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann	M.Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
Dipl.-Ing. Frank Faulstich	M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
Dipl.-Ing. (FH) René Flori	M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel	Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich	Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

1.3 Gebrauch des Handbuchs

Die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck werden im RFEM-Handbuch ausführlich erläutert, sodass auf deren Beschreibung verzichtet wird. Der Schwerpunkt dieses Handbuchs liegt auf den Besonderheiten, die sich im Rahmen der Arbeit mit dem Zusatzmodul ergeben.

Details...

Das Handbuch zu RF-IMP orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. Im Text werden die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Details]. Zudem sind sie links am Rand abgebildet. Die **Begriffe** der Dialoge, Tabellen und Menüs werden im Text durch *Kursivschrift* hervorgehoben, um so das Nachvollziehen der Erläuterungen zu erleichtern.

Das Handbuch enthält auch ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie trotzdem nicht fündig werden, steht auf unserer Website www.dlubal.de eine Suchfunktion zur Verfügung, mit der Sie in der Liste aller *Fragen und Antworten* nach bestimmten Kriterien filtern können.

1.4 Aufruf des RF-IMP-Moduls

Es bestehen in RFEM folgende Möglichkeiten, das Zusatzmodul RF-IMP zu starten.

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → Sonstige → RF-IMP.

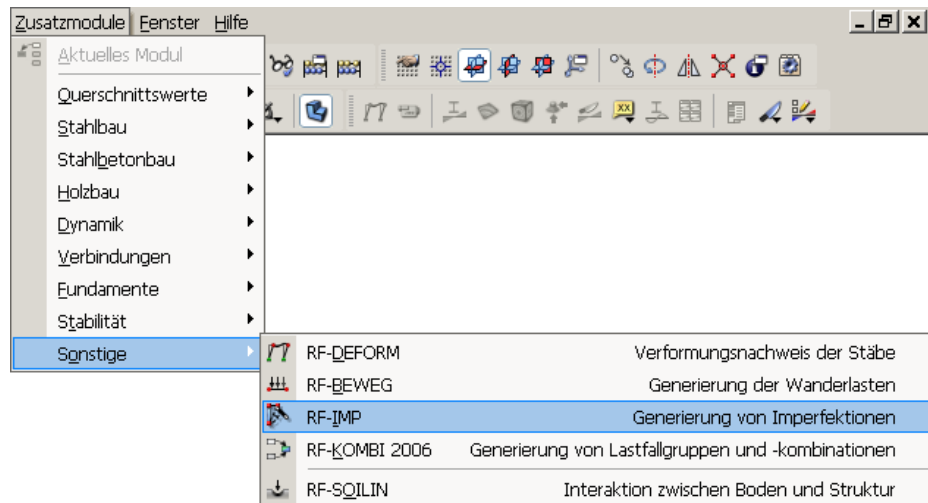


Bild 1.1: Menü: *Zusatzmodule* → *Sonstige* → *RF-IMP*

Navigator

Das Modul RF-IMP kann im *Daten*-Navigator aufgerufen werden über den Eintrag

Zusatzmodule → RF-IMP.

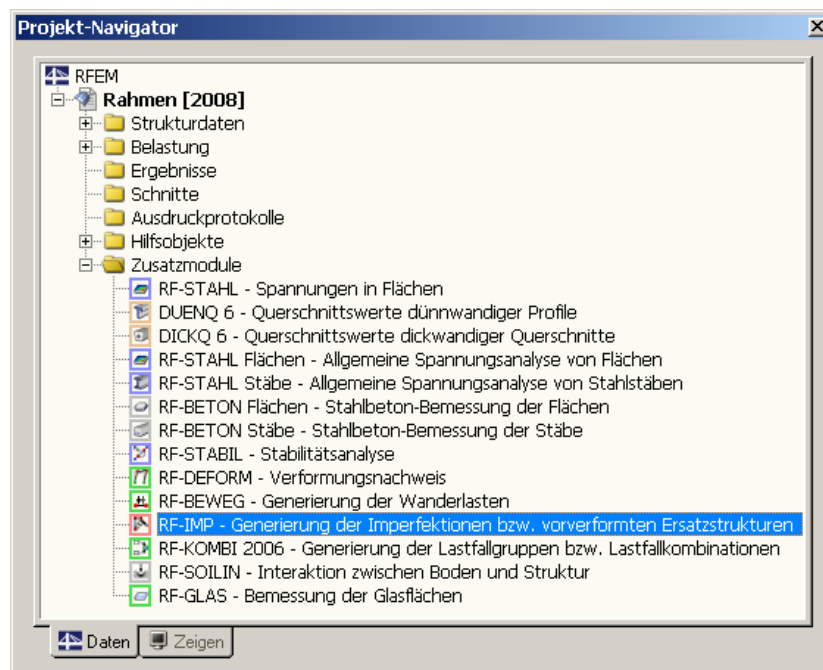


Bild 1.2: Daten-Navigator: *Zusatzmodule* → *RF-IMP*

2. Eingabedaten

Die Eingaben der Generierungsparameter erfolgen in Masken. Für Stäbe und Stabsätze wird unterstützend die [Pick]-Funktion zur grafischen Auswahl angeboten.

Nach dem Aufruf von RF-IMP wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der die beiden Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den eventuell bereits vorhandenen Generierungsfällen (siehe Kapitel 4.1, Seite 24).

Wird RF-IMP zum ersten Mal in einer RFEM-Position aufgerufen, liest das Zusatzmodul im Hintergrund folgende Eingabedaten automatisch ein:

- Stäbe und Stabsätze
- Lastfälle und Lastfallkombinationen



Die Ansteuerung der Masken erfolgt entweder durch Anklicken des entsprechenden Eintrages im Navigator von RF-IMP oder durch Blättern mit den beiden links dargestellten Schaltflächen. Die Funktionstasten [F2] und [F3] blättern ebenfalls eine Maske vorwärts bzw. zurück.

Mit [OK] werden die getroffenen Eingaben gesichert und das Modul RF-IMP verlassen, während [Abbruch] ein Beenden ohne Sicherung zur Folge hat.

2.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* werden die Grundlagen für die Generierung von Imperfektionen sowie die Art der Generierung bestimmt.

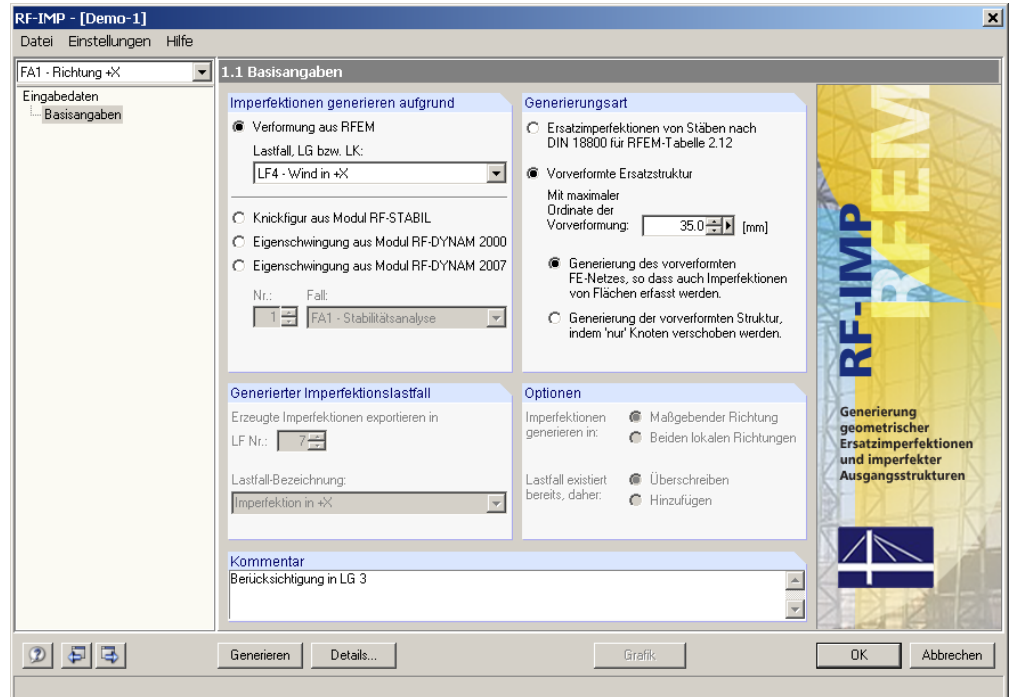


Bild 2.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Imperfektionen generieren aufgrund

Zunächst ist festzulegen, welche Ergebnisse die Grundlage zur Erzeugung der Imperfektionen bzw. der Ersatzstruktur bilden sollen. Hierzu bestehen drei Möglichkeiten.

Verformung aus RFEM

Die maßgebende Einwirkung kann in der Liste *Lastfall, LG bzw. LK* ausgewählt werden.

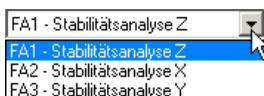
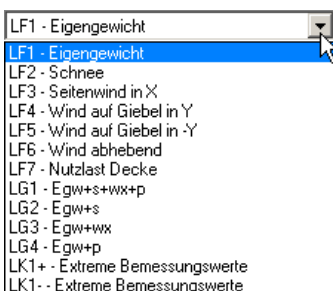
Eine kleine Besonderheit ist bei Lastfallkombinationen zu beachten. In LF-Kombinationen existieren an jeder x-Stelle zwei Ergebnisse – das Maximum und das Minimum der überlagerten Einwirkungen. Deshalb gibt es in der Liste pro LF-Kombination auch zwei Auswahlmöglichkeiten, die als *LK+* (Maximum) und *LK-* (Minimum) gekennzeichnet sind. Diese sind in der links abgebildeten Liste beispielhaft dargestellt.

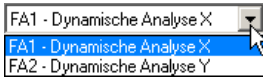
Gemäß DIN 18800 Teil 2, El. (202) sind die geometrischen Ersatzimperfektionen affin zur niedrigsten Knickfigur anzusetzen. Strenggenommen wäre somit für jede Belastung in eine ausgeprägte Richtung mit entsprechender Verformungsfigur ein gesonderter Imperfektionslastfall anzulegen. Die RF-IMP-Generierungsfälle (siehe Kapitel 4.1, Seite 24) bieten hier die Möglichkeit, geeignete Imperfektionen auf Grundlage verschiedener Verformungen zu erzeugen.

Knickfigur aus Modul RF-STABIL

Imperfektionen können – wie z. B. in DIN 18800 Teil 2, El. (202) gefordert – so erzeugt werden, dass sie sich der zum niedrigsten Knickeigenwert gehörenden Verformungsfigur möglichst gut anpassen. Die Übernahmemöglichkeit von Stabilitätsfiguren erfordert jedoch, dass das Zusatzmodul RF-STABIL lizenziert ist.

In der Liste *Nr.* kann die Nummer der relevanten Knickfigur ausgewählt werden, in der Liste *Fall* der maßgebende Generierungsfall von RF-STABIL.





Eigenschwingung aus Modul RF-DYNAM

Den Imperfektionen bzw. der Ersatzstruktur kann eine Eigenform zugrunde gelegt werden, die mit dem Modul RF-DYNAM ermittelt wurde. Auch hier ist es erforderlich, dass für dieses Zusatzmodul eine Lizenz vorliegt.

In der Liste *Fall* wird der maßgebende dynamische Analysefall festgelegt. Welche Eigenschwingung zur Erzeugung der Imperfektionen herangezogen werden soll, kann im Eingabefeld *Nr.* eingestellt werden.

Falls RF-IMP die Imperfektionen nicht ermitteln kann, da noch keine RFEM-, RF-STABIL- bzw. RF-DYNAM-Ergebnisse vorliegen, erfolgt die Berechnung der relevanten Verformungen, Stabilitätsfiguren bzw. Eigenschwingungen automatisch im Zuge der Analyse mit RF-IMP.

Generierungsart

Es bestehen zwei Möglichkeiten, Imperfektionen mit RF-IMP zu erzeugen. Je nach Auswahl werden bestimmte Bereiche in diesem Abschnitt aktiviert oder deaktiviert.

Ersatzimperfektionen von Stäben

Es wird ein Lastfall mit Ersatzimperfektionen für Stäbe oder Stabsätze gemäß DIN 18800 oder Eurocode erzeugt. Dieser Lastfall kann dann in einer Lastfallgruppe weiterverwendet werden.

Wird diese Generierungsart ausgewählt, sind weitere Angaben in den beiden Abschnitten *Generierter Imperfektionslastfall* und *Optionen* sowie in der Maske 1.2 *Imperfektionen* erforderlich.

Vorverformte Ersatzstruktur

Bei dieser Generierungsoption werden die normierten Verformungen aus RFEM, RF-STABIL oder RF-DYNAM auf die *maximale Ordinate der Vorverformung* skaliert, die der Anwender als Vorgabe festzulegen hat. Bei vorverformten Ersatzstrukturen, die sich insbesondere für große schalenartige Systeme eignen, ist zwischen zwei Möglichkeiten zu unterscheiden:

- **Generierung des vorverformten FE-Netzes**

Für jeden FE-Knoten wird eine Verformung ermittelt, die zwischen Null und der angegebenen maximalen Ordinate liegt. Vor der Berechnung nach Theorie II. oder III. Ordnung wird das FE-Netz dann dem RF-IMP-Fall entsprechend verformt. Hierzu muss in der Lastfallgruppe von RFEM der gewünschte RF-IMP-Fall ausgewählt werden. Die Strukturdaten von RFEM bleiben davon unberührt.

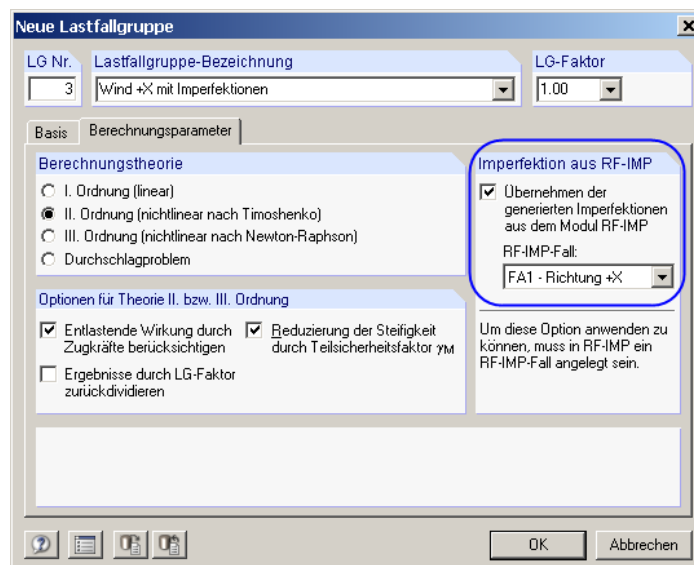


Bild 2.2: RFEM-Dialog *Neue Lastfallgruppe*, Register *Berechnungsparameter*



- **Generierung der vorverformten Struktur durch Verschieben von Knoten**

Hier werden im Gegensatz zur oben beschriebenen Methode die Strukturdaten verändert. Die Knotenkoordinaten der RFEM-Maske 1.1 werden entsprechend der definierten Verformung verschoben. Weitere Eingaben bei den Lastfallgruppen sind somit nicht erforderlich.

Bei dieser Generierungsart lässt sich für jede Struktur nur eine einzige Imperfektionsform berücksichtigen, da die Knoten ja nur einmal verschoben werden können.

Generierter Imperfektionslastfall

Dieser Abschnitt ist nur für die Generierungsart *Ersatzimperfektionen* aktiv.

Die *LF Nr.* legt fest, in welchen Lastfall die Imperfektionen nach der Generierung exportiert werden sollen. Die erste freie Lastfallnummer ist hier voreingestellt. Die *Lastfall-Bezeichnung* kann direkt eingetragen oder aus einer vordefinierten Liste ausgewählt werden.

Nach der Generierung erfolgt noch eine Abfrage vor der endgültigen Übergabe nach RFEM.

Optionen

Auch dieser Abschnitt ist nur für die Generierungsart *Ersatzimperfektionen* aktiv.

Die Imperfektionen können in *Maßgebender Richtung* oder in *Beiden lokalen Richtungen* generiert werden. Wird die erste Option (Standardeinstellung) gewählt, so setzt RF-IMP eine Imperfektion nur in einer Richtung an, also entweder in Richtung der lokalen Achse y oder z eines Stabes. Wann eine Verformung bzw. Auslenkung einer Eigenform „maßgebend“ wird, entscheidet die Toleranz (vgl. Kapitel 3.1, Seite 15). Die vorgegebene Toleranz wird auch berücksichtigt, wenn die Imperfektionen in beide lokale Richtungen generiert werden sollen.

Falls im Abschnitt *Generierter Imperfektionslastfall* die Nummer eines bereits existierenden Lastfalls vorgegeben wurde, werden zwei zusätzliche Kontrollfelder zugänglich. Damit lässt sich steuern, ob RF-IMP den bereits vorhandenen Lastfall *Überschreiben* oder aber die generierten Ersatzimperfektionen *Hinzufügen* soll.

Kommentar

Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung, die z. B. die im aktuellen RF-IMP-Generierungsfall angesetzten Parameter erläuternd beschreibt.

Details...

Über die Schaltfläche [Details] können die Toleranzvorgaben für RF-IMP kontrolliert werden. Es wird der Dialog *RF-IMP - Details* aufgerufen, der im Kapitel 3.1 auf Seite 15 erläutert ist.

2.2 Imperfektionen

Die zweite Eingabemaske des Moduls steht nur dann zur Verfügung, wenn in Maske 1.1 die Generierung von *Ersatzimperfektionen für Stäbe* vorgegeben wurde.

Die Maske 1.2 *Imperfektionen* ist zweiteilig aufgebaut: Der obere Abschnitt 1.2.1 *Ersatzimperfektionen generieren von Stäben* behandelt die für die Generierung relevanten Stäbe, der untere Abschnitt 1.2.2 *Ersatzimperfektionen generieren von Stabsätzen* die zu berücksichtigenden Stabzüge (Stabgruppen sind für Imperfektionen in der Regel ungeeignet).

Die beiden Teile dieser Maske bieten die gleichen Eingabemöglichkeiten. Der einzige Unterschied besteht darin, dass sich alle Angaben in Maske 1.2.1 nur auf Einzelstäbe beziehen, während die Parameter der Maske 1.2.2 für Stabsätze gelten. Da die beiden Teilbereiche bis auf diesen Unterschied identisch sind, werden sie im Folgenden gemeinsam beschrieben.

Die Eingaben können mit den üblichen Tastaturfunktionen editiert werden, z. B. Löschen der aktuellen Zeile mit [Strg]+[Y] (vgl. RFEM-Handbuch, Kapitel 4.4.8).

Die Einheiten und Nachkommastellen der Längen und Lasten lassen sich über das Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** anpassen (vgl. Kapitel 4.2, Seite 26).

RF-IMP - [Demo-1]
 Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Richtung +X

Eingabedaten
 Basisangaben
 Imperfektionen

1.2.1 Ersatzimperfektionen generieren von Stäben

Nr.	Generieren von Imperfektionen an Stäben Nr.	B	C Schiefstellung			F Vorkrümmung		G
			Definitionsart	Länge L [m]	n	1/ρ ₀ [°]	L/w ₀ [°]	
1	1,2,11,12,21,22	DIN 18800 E-E	6,000	1	328,634	DIN 18800 E-E	1,600	
2	31,33,35,37,39,40,51-53,55,57,59,60	DIN 18800 E-E	3,000	1	300,000	DIN 18800 E-E	1,600	
3	34,38,54,58	DIN 18800 E-E	3,546	1	300,000	DIN 18800 E-E	1,600	
4	36,56	DIN 18800 E-E	4,094	2	351,472	DIN 18800 E-E	1,600	
5	81,83	Manuell	6,546	1	250,000	200,0	1,600	
6								
7								
8								
9								

1.2.2 Ersatzimperfektionen generieren von Stabsätzen

Nr.	Generieren von Imperfektionen an Stabsätzen Nr.	B	C Schiefstellung			F Vorkrümmung		G
			Definitionsart	Länge L [m]	n	1/ρ ₀ [°]	L/w ₀ [°]	
1	1,4	DIN 18800 E-E	6,000	1	328,634	DIN 18800 E-E	1,600	
2	5-7	DIN 18800 E-E	6,546	2	402,155	DIN 18800 E-E	1,600	
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Generieren Grafik OK Abbrechen

Liste der Stäbe, für die die Imperfektionen generiert werden sollen.

Bild 2.3: Maske 1.2 Imperfektionen

Generieren von Imperfektionen an Stäben / Stabsätzen

In Spalte A werden die Stab- bzw. Stabsatznummern festgelegt.



Bitte beachten Sie, dass Stabsätze in RFEM definiert sein müssen, um sie im Modul RF-IMP auszuwählen. Das Anlegen von Stabsätzen in RF-IMP ist nicht möglich.



Mit den [Pick]-Schaltflächen können Stäbe bzw. Stabsätze grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt werden. Alternativ wird mit einem Klick in das Eingabefeld die Schaltfläche [...] zugänglich, die dann ebenfalls die Grafik aufruft.

Durch Anklicken der Stäbe bzw. Stabsätze im RFEM-Arbeitsfenster werden deren Nummern in den Dialog *Mehrfachauswahl* übernommen. Dieser Dialog ermöglicht auch die Rückkehr zu RF-IMP. Die entsprechenden Nummern werden dann in die Maske eingetragen.



Mit den Schaltflächen [Alle] werden jeweils alle Stäbe bzw. Stabsätze für die Generierung ausgewählt und in eine Zeile eingetragen.

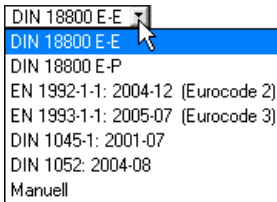


Bei Stabsätzen braucht die Nummerierung der enthaltenen Stäbe nicht fortlaufend sein und die Orientierung der Stäbe im Stabsatz darf auch wechseln. Als einzige Voraussetzung ist jedoch zu beachten, dass alle Stäbe im Stabsatz über die gleiche Stabdrehung verfügen müssen.

Schiefstellung

In den Spalten B bis E werden die Parameter für die Eingabe der Schiefstellung festgelegt. Es sind folgende Definitionsarten möglich:

- DIN 18800 E-E (Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch)
- DIN 18800 E-P (Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch)
- EN 1992-1-1: 2004-12 (Eurocode 2)
- EN 1993-1-1: 2005-07 (Eurocode 3)
- DIN 10445-1: 2001-07
- DIN 1052: 2004-08
- Manuell



Definitionsart

Spalte B bietet die Möglichkeit, eine der oben genannten Definitionsarten auszuwählen. Mit einem Klick in das Eingabefeld wird die Schaltfläche [▼] zugänglich, über die dann die geeignete Vorgabe aus der Liste gewählt werden kann. Die Funktionstaste [F7] ruft ebenfalls die Liste auf.

Bei den Definitionsarten nach den DIN- oder Eurocode-Normen wird der Wert der Schiefstellung $1/\varphi_0$ automatisch in Spalte E eingetragen.

Länge L

Die Länge L stellt die Systemlänge des imperfekten Stabes dar. Diese findet in Gleichung 2.2 Berücksichtigung (s. unten).

In dieser Spalte sind die Stablängen voreingestellt, die jedoch bei Bedarf angepasst werden können. Mit einem Klick in das Eingabefeld wird die Schaltfläche [...] zugänglich, die dann den Wechsel in die RFEM-Arbeitsfläche zur grafischen Bestimmung der Länge ermöglicht.

n bzw. m

n bzw. m repräsentiert die Anzahl der zu berücksichtigenden voneinander unabhängigen Ursachen für die Schiefstellungen von Stäben bzw. Stabsätzen. Zur Veranschaulichung sei auf Bild 5 in DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 2.3 verwiesen. In der Regel darf für n die Anzahl der Stiele des Rahmens je Stockwerk in der betrachteten Rahmenebene eingesetzt werden.

$1/\varphi_0$ bzw. φ

Falls in Spalte B die Definitionsart *Manuell* gewählt wurde, kann hier der Wert der Schiefstellung direkt eingetragen werden. Die beiden Spalten *Länge L* und n sind dann inaktiv.

Wird die Vorverdrehung (Schiefstellung) automatisch nach einer der beiden Definitionsarten gemäß DIN 18800 ermittelt, so beträgt diese in der Regel für einteilige Stäbe:

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} \cdot r_1 \cdot r_2$$

Gleichung 2.1: Schiefstellung φ_0 gemäß DIN 18800 Teil 2, Gl. (1)

Die Grundlage dieses Ansatzes stellt das Nachweisverfahren **Elastisch-Plastisch** dar. Die beiden Reduktionsfaktoren r_1 und r_2 ermitteln sich wie folgt.

$$r_1 = \sqrt{\frac{5}{l}}$$

mit l : Systemlänge des Stabes bzw. Stabsatzes

Gleichung 2.2: Reduktionsfaktor r_1

Die Gleichung 2.2 gilt nur für Längen ≥ 5.00 m. Für $l < 5.00$ m wird r_1 zu eins gesetzt.

$$r_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right)$$

mit n : Anzahl der voneinander unabhängigen Ursachen für Schiefstellungen

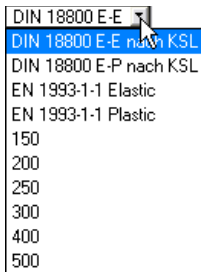
Gleichung 2.3: Reduktionsfaktor r_2

Wird das Nachweisverfahren **Elastisch-Elastisch** gewählt, so verläuft die Ermittlung der Schiefstellungen nach dem gleichen Schema. Da der Spannungsnachweis jedoch wie z. B. im Modul RF-STAHL auf Basis des Verfahrens *Elastisch-Elastisch* geführt wird, darf die Vordrehung gemäß DIN 18800 Teil 2, El. (201) auf $\frac{2}{3}$ des Grundwertes abgemindert werden (also $\varphi_0 = \frac{1}{300}$). Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die plastische Querschnittsreserve nicht ausgenutzt wird.

In RF-IMP wird diese Abminderung als Standard voreingestellt, da das Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* die mit den Dlubal-Programmen übliche Berechnungsmethode darstellt.

Vorkrümmung L/w_0

In den Spalten F und G werden die Parameter für die Eingabe der Vorkrümmung festgelegt. Es sind verschiedene Definitionsarten nach DIN 18800 und Eurocode möglich. Zudem kann die Vorkrümmung L/w_0 in einer Liste direkt ausgewählt werden. Mit einem Klick in das Eingabefeld wird die Schaltfläche [▼] zugänglich, über die dann die passende Vorgabe ausgewählt werden kann. Die Funktionstaste [F7] ruft die Liste ebenfalls auf.



Die Liste enthält die nach den Normen üblichen Werte der Vorkrümmung sowie jeweils zwei Optionen für *DIN 18800 nach KSL* (Knickspannungslinie) und *EN 1993-1-1*. Die Ermittlung der Vorkrümmung nach der Knickspannungslinie ist in DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 2.2 beschrieben. Dabei wird der Stich der Vorkrümmung für einteilige Stäbe mit Tabelle 3 ermittelt.

KSL	Stich w_0 der Vorkrümmung
a	L/300
b	L/250
c	L/200
d	L/150

Tabelle 2.1: Stich der Vorkrümmung nach DIN 18800 Teil 2, Tabelle 3

Die Zuordnung der Knickspannungslinien a bis d zu den Querschnittstypen erfolgt gemäß DIN 18800 Teil 2, Tabelle 5 (siehe folgendes Bild 2.4).

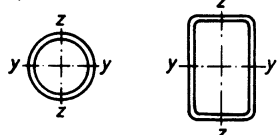
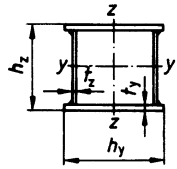
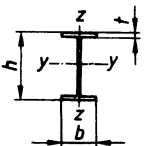
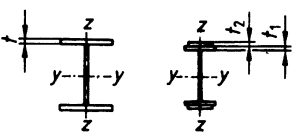
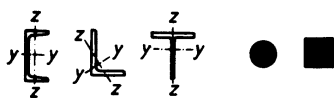
	1	2	3	
	Querschnitt	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspannungslinie	
1	Hohlprofile 	warm gefertigt	y - y z - z	a
		kalt gefertigt	y - y z - z	b
2	geschweißte Kastenquerschnitte 		y - y z - z	b
		dicke Schweißnaht und $h_y/t_y < 30$ $h_z/t_z < 30$	y - y z - z	c
3	gewalzte I-Profile 	$h/b > 1,2; t \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	a b
		$h/b > 1,2; 40 < t \leq 80 \text{ mm}$	y - y z - z	b c
		$h/b \leq 1,2; t \leq 80 \text{ mm}$	y - y z - z	c
		$t > 80 \text{ mm}$	y - y z - z	d
4	geschweißte I-Querschnitte 	$t_1 \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	b c
		$t_1 > 40 \text{ mm}$	y - y z - z	c d
5	U-, L-, T- und Vollquerschnitte  und mehrteilige Stäbe nach Abschnitt 4.4		y - y z - z	c
6	Hier nicht aufgeführte Profile sind sinngemäß einzuordnen. Die Einordnung soll dabei nach den möglichen Eigenspannungen und Blechdicken erfolgen.			

Bild 2.4: Zuordnung der Querschnitte zu Knickspannungslinien nach DIN 18800 Teil 2, Tabelle 5

ab ϵ_0



In die letzte Spalte wird der Wert der Stabkennzahl ϵ eingetragen, ab der die Vorkrümmung gleichzeitig mit der Schiefstellung berücksichtigt werden soll. Nach DIN 18800 Teil 2, El. (207) beträgt der hier voreinstellte Wert $\epsilon_0 = 1.6$, denn erst ab diesem Wert wird die zusätzliche Vorkrümmung relevant. Es sind jedoch auch benutzerdefinierte Angaben oder die Auswahl über die Schaltfläche [▼] in diesem Eingabefeld möglich.

Die Stabkennzahlen der diversen Stäbe bzw. Stabsätze werden erst in der RFEM-Berechnung nach Theorie II. Ordnung ermittelt und dann mit der Grenzstabkennzahl verglichen. Falls erforderlich, werden die Vorkrümmungen für die weitere Berechnung berücksichtigt.

3. Generierung

Dieses Kapitel beschreibt, wie die Imperfektionen als Ersatzlasten bzw. als vorverformte Ersatzstruktur erzeugt und wie diese Ergebnisse für RFEM bereitgestellt werden können.

3.1 Start der Generierung

Details...

Vor der Generierung empfiehlt es sich, die Toleranzvorgaben für RF-IMP zu kontrollieren. Diese sind in Maske 1.1 *Basisangaben* über die Schaltfläche [Details] zugänglich, die den folgenden Dialog aufruft:

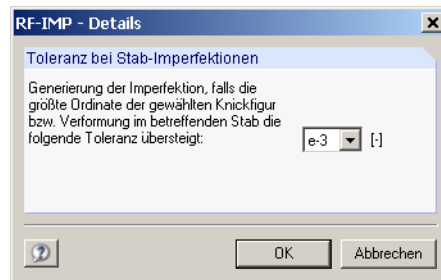
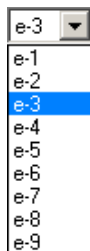


Bild 3.1: Dialog *RF-IMP - Details*

Über die *Toleranz* lässt sich steuern, ab welcher Ordinate der gewählten Verformung oder Knickfigur Imperfektionen erzeugt werden. Es werden also sehr kleine Ausschläge in der Verformungs- oder Knickfigur nicht berücksichtigt, wenn sie unter dem eingestellten Wert liegen. Auf Stäbe und Stabsätze mit Ausschlägen unterhalb dieser Schranke werden dann keine Imperfektionen gesetzt.



Der Wert der Toleranz lässt sich über die Schaltfläche [▼] in der Liste festlegen. Es sind Werte von *e-1* bis *e-9* möglich. Hierbei entspricht *e-1* einer Rundung auf eine Nachkommastelle, während mit der Einstellung *e-9* neun Nachkommastellen berücksichtigt werden.

RF-IMP untersucht die normierten Knotenwerte einer Verformungs- bzw. Knickfigur. Die Maximalwerte werden dabei auf ‚1‘ normiert. Würde beispielsweise die maximale Verformung einer Struktur 10 cm betragen und diese dem normierten Wert 1 entsprechen, so ergäbe eine Auslenkung von 0,08 cm den normierten Wert von 0,008. Bei einer Toleranzvorgabe von *e-3* (Rundungslimit von drei Nachkommastellen: 0,005) würde RF-IMP eine Ersatzimperfektion für diesen Stab ansetzen, da der normierte Wert über der Schranke liegt. Bei einer Toleranz von *e-2* bliebe die Imperfektion für diesen Stab unberücksichtigt, denn dessen normierte Verformung ist kleiner als die Toleranz mit zwei Nachkommastellen von 0,05.

Falls RF-IMP aufgrund der Toleranzvorgabe keine Stabimperfektionen bilden kann, wird bei der Generierung eine entsprechende Meldung ausgegeben.

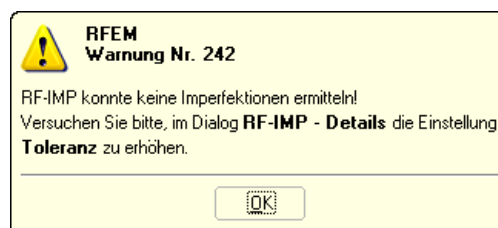


Bild 3.2: Warnung bei zu geringer Toleranz

Die *Toleranz* lässt sich – wie oben beschrieben – durch die Berücksichtigung mehrerer Nachkommastellen erhöhen.

Auf die Generierung von vorverformten Ersatzstrukturen hat dieser Dialog keinen Einfluss.

Generieren

In jeder der beiden RF-IMP-Masken steht die Schaltfläche [Generieren] zur Verfügung, um die Lastfalldaten bzw. die Ersatzstruktur für RFEM zu erzeugen.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die RF-IMP-Generierung initiiert werden. RF-IMP wird im Dialog *Zu berechnen* als Zusatzmodul wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe aufgelistet. Dieser Dialog kann in RFEM aufgerufen werden über Menü

Berechnung → Zu berechnen.

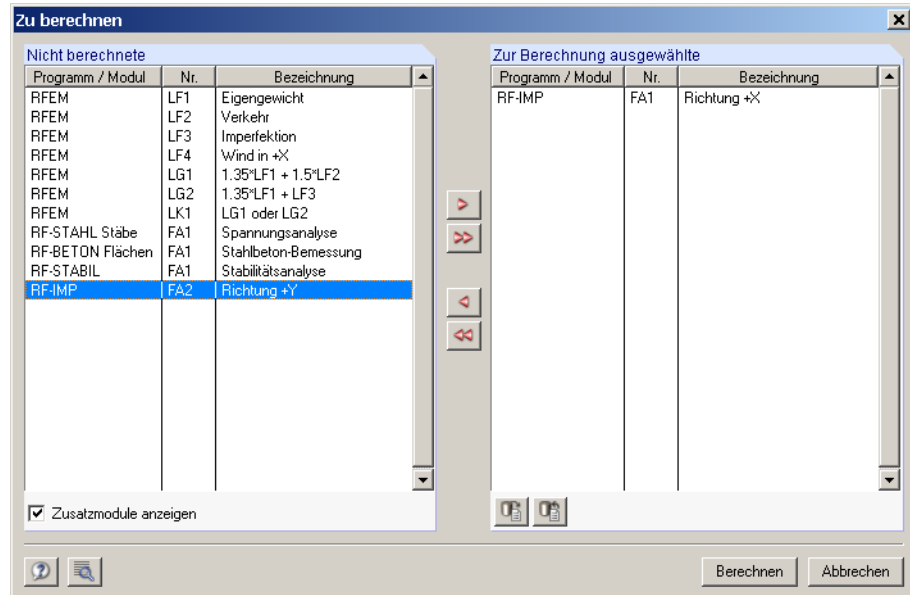


Bild 3.3: Dialog *Zu berechnen*

Sollten die RF-IMP-Generierungsfälle in der Liste *Nicht berechnet* fehlen, muss das Kontrollfeld *Zusatzmodule anzeigen* aktiviert werden.

Mit der Schaltfläche [▶] werden die selektierten RF-IMP-Fälle in die rechte Liste übergeben. Die Berechnung wird dann mit der entsprechenden Schaltfläche gestartet.

Auch über die Liste der Symbolleiste kann ein bestimmter Generierungsfall direkt berechnet werden. Stellen Sie den gewünschten RF-IMP-Fall ein und klicken dann auf die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus].

Berechnen

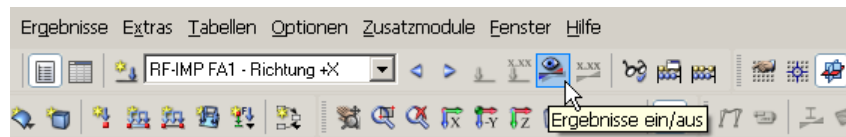


Bild 3.4: Direkte Berechnung eines RF-IMP-Generierungsfalls in RFEM

Falls eine vorverformte Ersatzstruktur mit der Option „Verschieben von Knoten“ auf Basis bereits berechneter Verformungen gebildet werden soll, erfolgt vor der Generierung eine Abfrage, ob die Ergebnisse gelöscht werden sollen.

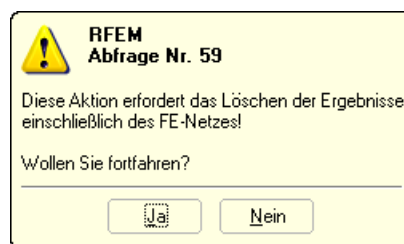


Bild 3.5: Abfrage vor Löschen der Ergebnisse

Wird diese Abfrage bejaht, erzeugt RF-IMP die veränderte Ausgangsstruktur. Die zuvor berechneten Verformungen wären dann natürlich nicht mehr korrekt.

Die Ermittlung der Imperfektionen bzw. der Ersatzstruktur vollzieht sich – abhängig von den Modelldaten – innerhalb kurzer Zeit. Nach der erfolgreichen Generierung erscheint die im Bild 3.7 bzw. Bild 3.9 dargestellte Maske 2.1 *Ersatzimperfektionen* mit den Imperfektionen der Stäbe und Stabsätze bzw. Flächen-FE-Knoten. Wurde hingegen die verformte Struktur durch Verschieben von Knoten erzeugt, wird eine entsprechende Meldung ausgegeben.



Bild 3.6: Meldung nach Generierung der Ersatzstruktur

Die Generierung der Imperfektionen bzw. der Ersatzstruktur ist damit abgeschlossen. Falls mehrere RF-IMP-Fälle definiert wurden, ist die Generierung für jeden RF-IMP-Fall gesondert durchzuführen.



Bei der Berechnung in einem Rechenlauf, der über Menü

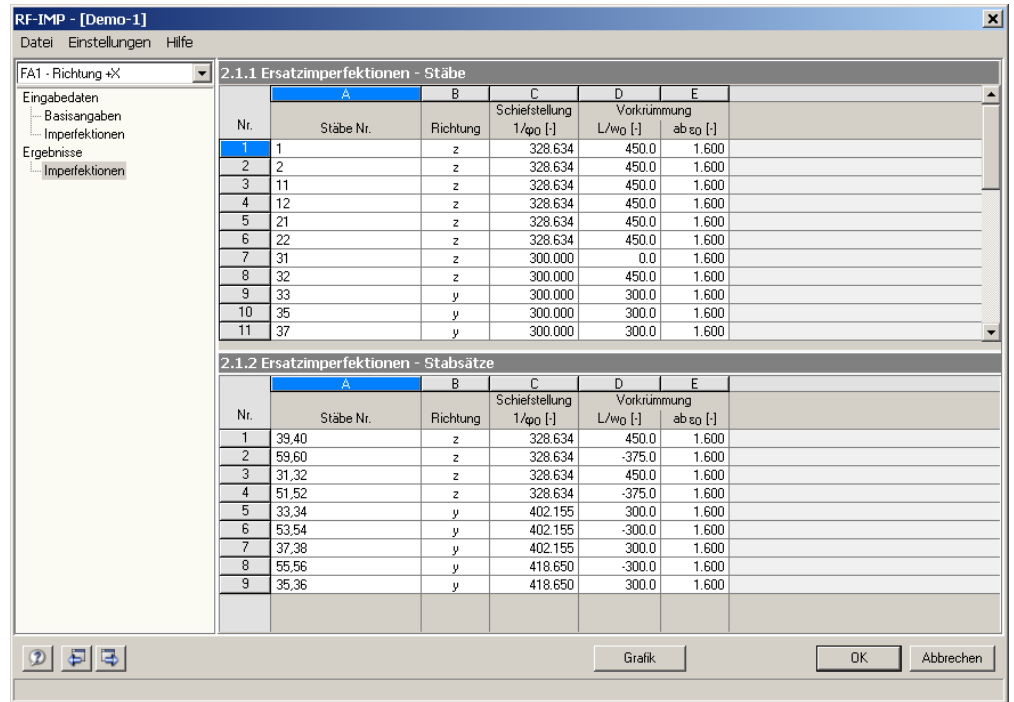
Berechnung → Alles berechnen

gestartet wird, werden alle RFEM-Lastfälle und auch alle Zusatzmodul-Fälle berechnet. Ist ein RF-IMP-Fall mit der Generierungsart *Ersatzimperfektionen von Stäben* vorhanden, wird dieser ebenfalls mitberechnet. Die generierten Imperfektionen werden jedoch nicht automatisch als Lastfall nach RFEM exportiert. Dies hat im Modul RF-IMP dann manuell zu erfolgen. Bei der Generierungsart *Vorverformte Ersatzstruktur* wird der RF-IMP-Fall von der Gesamtberechnung ausgeklammert. Es müssten ja alle Ergebnisse wieder gelöscht werden, da eine veränderte Ausgangsstruktur vorliegt – die Berechnung wäre kurzgeschlossen.

3.2 Generierte Imperfektionen

Die Ausgabe der Generierungsergebnisse vollzieht sich in unterschiedlicher Form für die generierten *Ersatzimperfektionen* und die erzeugten *Ersatzstrukturen*. Welche Ausgabe-masken benutzt werden, hängt von der Art der generierten Imperfektion ab.

3.2.1 Ersatzimperfektionen von Stäben



The screenshot shows the 'RF-IMP - [Demo-1]' window with a menu bar (Datei, Einstellungen, Hilfe) and a left sidebar with 'Eingabedaten' (Basisangaben, Imperfektionen) and 'Ergebnisse' (Imperfektionen). The main area displays two tables:

2.1.1 Ersatzimperfektionen - Stäbe

Nr.	A		C		D		E	
	Stäbe Nr.	Richtung	Schiefstellung 1/φ ₀ [°]	Vorkrümmung L/w ₀ [°]	ab ₅₀ [°]			
1	1	z	328.634	450.0	1.600			
2	2	z	328.634	450.0	1.600			
3	11	z	328.634	450.0	1.600			
4	12	z	328.634	450.0	1.600			
5	21	z	328.634	450.0	1.600			
6	22	z	328.634	450.0	1.600			
7	31	z	300.000	0.0	1.600			
8	32	z	300.000	450.0	1.600			
9	33	y	300.000	300.0	1.600			
10	35	y	300.000	300.0	1.600			
11	37	y	300.000	300.0	1.600			

2.1.2 Ersatzimperfektionen - Stabsätze

Nr.	A		C		D		E	
	Stäbe Nr.	Richtung	Schiefstellung 1/φ ₀ [°]	Vorkrümmung L/w ₀ [°]	ab ₅₀ [°]			
1	39,40	z	328.634	450.0	1.600			
2	59,60	z	328.634	-375.0	1.600			
3	31,32	z	328.634	450.0	1.600			
4	51,52	z	328.634	-375.0	1.600			
5	33,34	y	402.155	300.0	1.600			
6	53,54	y	402.155	-300.0	1.600			
7	37,38	y	402.155	300.0	1.600			
8	55,56	y	418.650	-300.0	1.600			
9	35,36	y	418.650	300.0	1.600			

Buttons at the bottom: Grafik, OK, Abbrechen.

Bild 3.7: Maske 2.1 Ersatzimperfektionen

Nach der Generierung erscheint die zweigeteilte Maske 2.1 *Ersatzimperfektionen*. In den beiden Tabellen sind die einzelnen *Stäbe* bzw. *Stabsätze* mit den generierten Imperfektionen aufgelistet. Die angegebene *Richtung* bezieht sich auf die lokalen Stabachsen y oder z, in deren Richtung die Schiefstellungen und Vorkrümmungen wirken.

Bei der Ermittlung der Ersatzimperfektionen bleiben Stäbe und Stabsätze mit Zugkraft unberücksichtigt.

Es ist in dieser Maske nicht möglich, die generierten Imperfektionen zu editieren.

Über die Schaltfläche [Grafik] werden die erzeugten Imperfektionen grafisch im RFEM-Arbeitsfenster dargestellt. Es kann kontrolliert werden, ob auch an allen knickgefährdeten Stäben und Stabsätzen Imperfektionen angelegt wurden.

Grafik

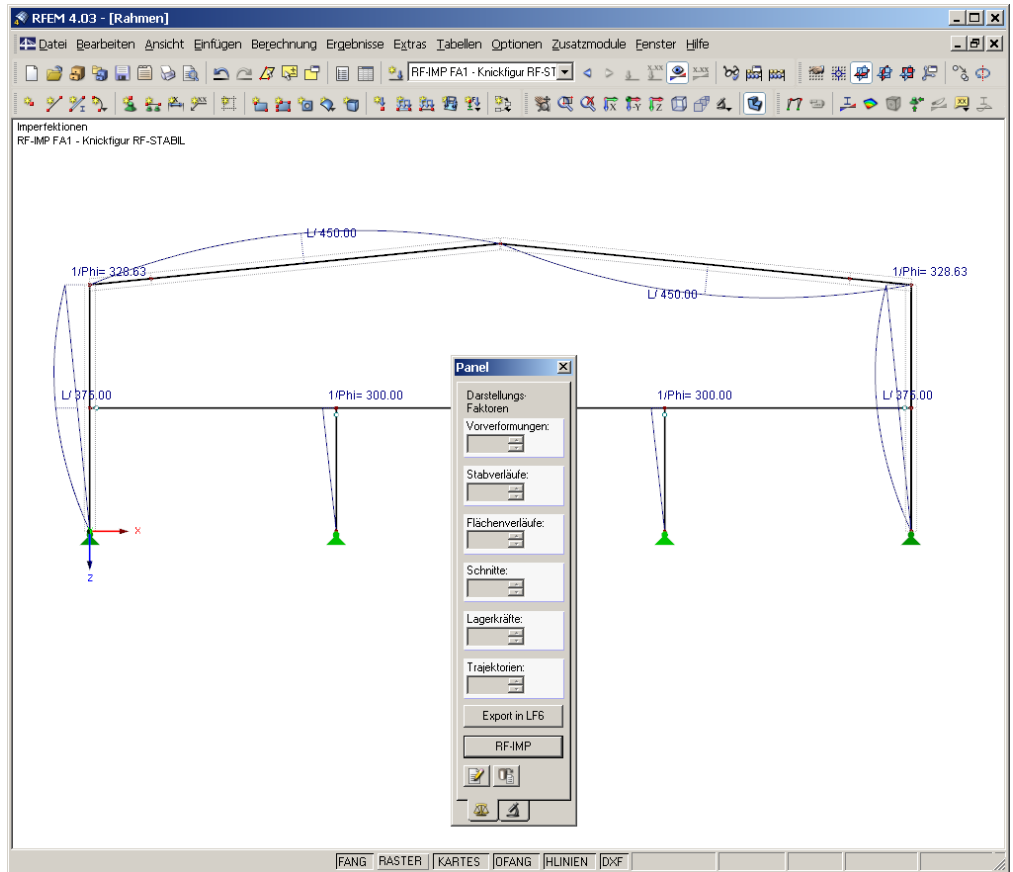


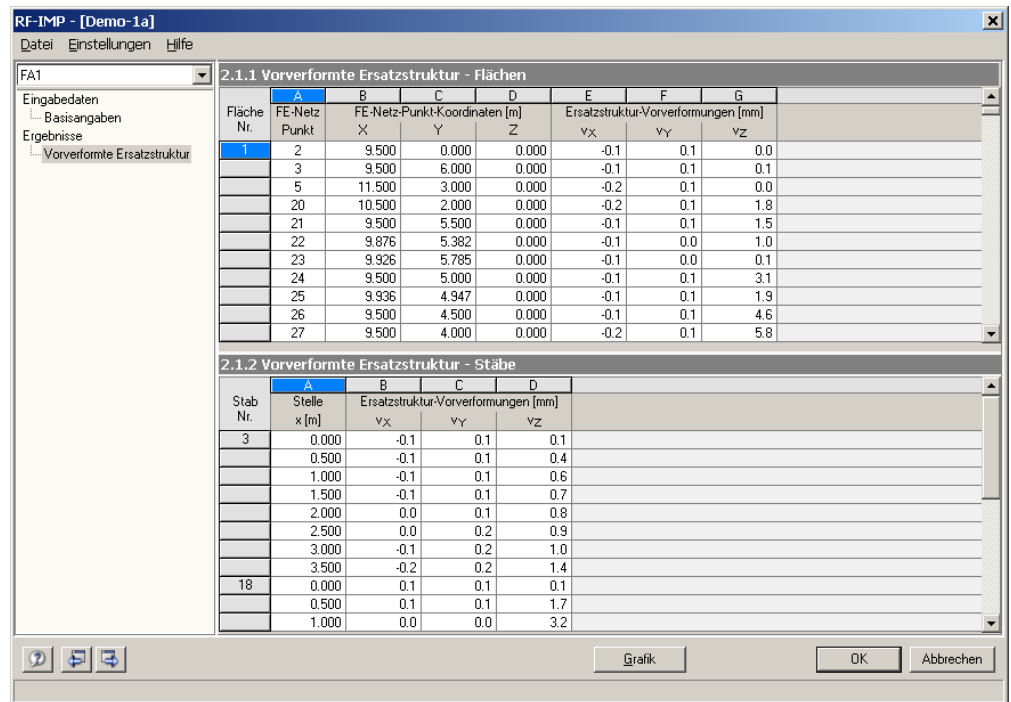
Bild 3.8: Grafik der generierten Ersatzimperfectionen

RF-IMP

Über die Schaltfläche [RF-IMP] im Panel erfolgt die Rückkehr in das Modul RF-IMP, um ggf. die Eingaben in RSIMP zu ändern und einen neuen Generierungslauf zu starten.

3.2.2 Ersatzstruktur

Vorverformtes FE-Netz



2.1.1 Vorverformte Ersatzstruktur - Flächen							
Fläche Nr.	FE-Netz Punkt	FE-Netz-Punkt-Koordinaten [m]			Ersatzstruktur-Vorverformungen [mm]		
		X	Y	Z	v _X	v _Y	v _Z
1	2	9.500	0.000	0.000	-0.1	0.1	0.0
	3	9.500	6.000	0.000	-0.1	0.1	0.1
	5	11.500	3.000	0.000	-0.2	0.1	0.0
	20	10.500	2.000	0.000	-0.2	0.1	1.8
	21	9.500	5.500	0.000	-0.1	0.1	1.5
	22	9.876	5.382	0.000	-0.1	0.0	1.0
	23	9.926	5.785	0.000	-0.1	0.0	0.1
	24	9.500	5.000	0.000	-0.1	0.1	3.1
	25	9.936	4.947	0.000	-0.1	0.1	1.9
	26	9.500	4.500	0.000	-0.1	0.1	4.6
	27	9.500	4.000	0.000	-0.2	0.1	5.8

2.1.2 Vorverformte Ersatzstruktur - Stäbe				
Stab Nr.	Stelle x [m]	Ersatzstruktur-Vorverformungen [mm]		
		v _X	v _Y	v _Z
3	0.000	-0.1	0.1	0.1
	0.500	-0.1	0.1	0.4
	1.000	-0.1	0.1	0.6
	1.500	-0.1	0.1	0.7
	2.000	0.0	0.1	0.8
	2.500	0.0	0.2	0.9
	3.000	-0.1	0.2	1.0
	3.500	-0.2	0.2	1.4
18	0.000	0.1	0.1	0.1
	0.500	0.1	0.1	1.7
	1.000	0.0	0.0	3.2


Bild 3.9: Maske 2.1 Vorverformte Ersatzstruktur

Bei der Option „Generierung des vorverformten FE-Netzes“ erscheint die zweigeteilte Maske 2.1 *Vorverformte Ersatzstruktur*. In den beiden Tabellen werden die Verschiebungen der FE-Knoten für die einzelnen *Flächen* und *Stäbe* aufgelistet. Die angegebenen *Vorverformungen* beziehen sich auf das globale XYZ-Koordinatensystem.

Im Kapitel 3.4 ab Seite 22 wird ein kleines Beispiel mit der Erzeugung einer Ersatzstruktur vorgestellt.

Vorverformte Struktur

Bevor die vorverformte Ersatzstruktur mit *Verschieben von Knoten* erzeugt wird, erscheint u. U. die Meldung, dass ebene Flächen in Quadrangleflächen umgewandelt werden müssen. Dies ist erforderlich, um die Begrenzungslinien der Flächen an die Verformungs- oder Stabilitätsfigur anpassen zu können.

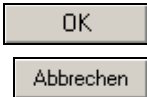
 **RF-IMP Hinweis Nr. 534**

Die aktuelle Position beinhaltet Flächen und es wurde im RF-IMP die Generierungsart 'Vorverformte Ersatzstruktur - nur Knoten verschieben' ausgewählt.

Der in RFEM definierte Typ der Flächen 'Eben' muss daher automatisch in den Typ 'Quadrangle' umgewandelt werden.

Bild 3.10: Maske 2.1 Vorverformte Ersatzstruktur

Nach der Generierung erscheint die im Bild 3.6 dargestellte Meldung. Dies bedeutet, dass die Erzeugung des veränderten Ausgangssystems sofort umgesetzt wird. Die Generierung ist damit abgeschlossen.



In der veränderten Ersatzstruktur werden die Knotenkoordinaten angepasst. Um diese beispielsweise in der RFEM-Maske 1.1 *Knoten* zu kontrollieren, kann mit den Schaltflächen [OK] oder [Abbrechen] das Modul RF-IMP beendet werden. Bitte bedenken Sie, dass in den Stab- oder Flächenmitten keine Anpassungen vorgenommen werden, da ja nur die Rand-Knotenkoordinaten verändert werden.

3.3 Export der Imperfektionen

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die generierten *Imperfektionen* als Lastfall nach RFEM exportiert werden können. Die *Ersatzstruktur* hingegen erzeugt RF-IMP automatisch für RFEM und stellt sie dann für die Lastfallgruppen (siehe Bild 2.2, Seite 9) bzw. als veränderte Knotenkoordinaten in RFEM-Maske 1.1 *Knoten* bereit.

Mit [OK] können die generierten Ersatzimperfektionen aus jeder RF-IMP-Maske nach RFEM exportiert werden. Es erscheint folgender Dialog:

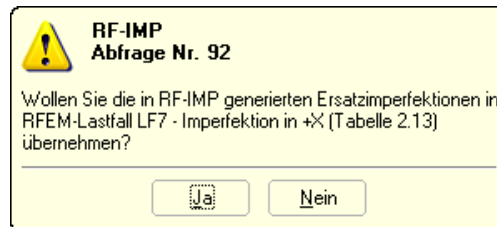


Bild 3.11: Abfrage vor Export der Lastfalldaten



Wie im Bild 3.8 gezeigt, besteht auch in der grafischen RFEM-Oberfläche eine Übergabemöglichkeit. Im Panel wird die Schaltfläche [Export in LF..] angeboten, die gleichfalls den oben dargestellten Dialog aktiviert.



Bild 3.12: Panel mit *Export*-Schaltfläche

Die Imperfektionen werden nach der Übernahme in die RFEM-Tabelle 2.13 *Imperfektionen* eingetragen und können dann dort ggf. noch angepasst oder ergänzt werden.

3.4 Beispiel: Vorverformte Ersatzstruktur

In diesem Beispiel sollen für eine in RFEM konstruierte Kuppel Imperfektionen in Form einer vorverformten Ersatzstruktur generiert werden. Es wird das vorverformte FE-Netz auf Basis einer Knickfigur ermittelt, um das Beulen der Flächen zu erfassen.

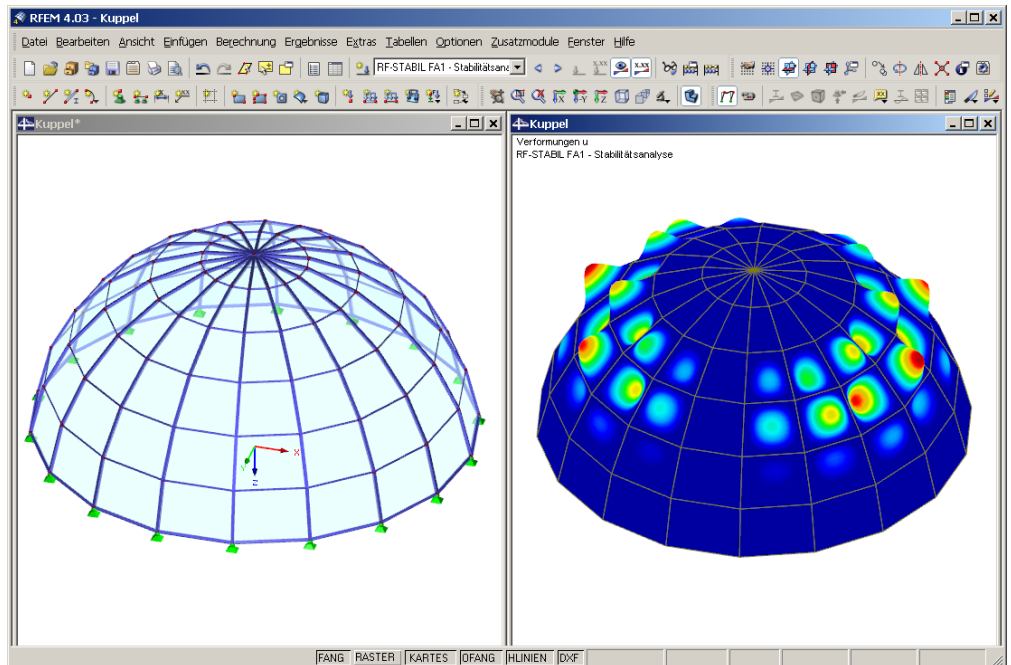


Bild 3.13: Kuppelmodell und Knickfigur

Im Modul RF-STABIL sind die Stabilitätsfiguren infolge Eigengewichts berechnet.

Nach dem Öffnen von RF-IMP erscheint die Maske 1.1 *Basisangaben*. Hier werden folgende Eingaben getätigt:

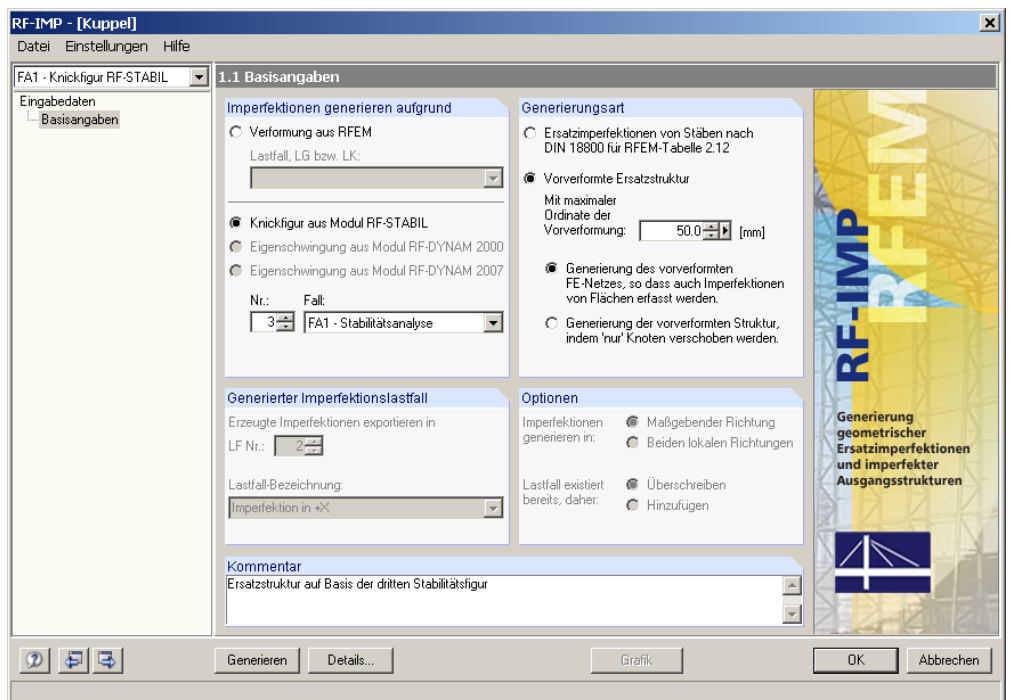


Bild 3.14: RF-IMP-Maske 1.1 *Basisangaben*

Als maßgebend wird im Eingabefeld *Nr.* die **dritte Knickfigur** vorgegeben. Die *Ordinate der Vorverformung* wird mit maximal **50 mm** angenommen, d. h. es werden die normierten Verformungen zu den FE-Knotenkoordinaten addiert. Die Eingabe ist damit vollständig.

Generieren

Nach dem [Generieren] der Ersatzstruktur werden die verschobenen FE-Knoten der *Flächen* tabellarisch ausgewiesen.

Fläche Nr.	FE-Netz Punkt	FE-Netz-Punkt-Koordinaten [m]			Ersatzstruktur-Vorverformungen [mm]		
		X	Y	Z	v _X	v _Y	v _Z
362		7.499	1.427	-6.222	-25.6	-4.5	22.7
363		7.653	1.457	-6.042	-16.6	-2.9	14.7
364		7.808	1.486	-5.861	-7.7	-1.4	6.8
365		6.447	1.047	-7.485	0.0	0.0	0.0
366		6.602	1.072	-7.305	-12.1	-2.1	10.7
367		6.757	1.097	-7.124	-23.3	-4.1	20.6
368		6.913	1.122	-6.944	-31.9	-5.6	28.3
369		7.068	1.148	-6.763	-36.7	-6.5	32.5
370		7.224	1.173	-6.583	-36.9	-6.5	32.7
371		7.379	1.198	-6.402	-32.8	-5.8	29.1
372		7.535	1.223	-6.222	-25.5	-4.5	22.6

Stab Nr.	Stelle x [m]	Ersatzstruktur-Vorverformungen [mm]		
		v _X	v _Y	v _Z
109	0.000	0.0	0.0	0.0
	0.265	0.0	0.0	0.0
	0.530	0.0	0.0	0.0
	0.796	0.0	0.0	0.0
	1.061	0.0	0.0	0.0
	1.326	0.0	0.0	0.0
	1.591	0.0	0.0	0.0
	1.856	0.0	0.0	0.0
	2.122	0.0	0.0	0.0
	2.387	0.0	0.0	0.0
	2.652	0.0	0.0	0.0

Bild 3.15: RF-IMP-Maske 2.1: Vorverformte Ersatzstruktur

Grafik

Mit der Schaltfläche [Grafik] kann die visuelle Kontrolle der Imperfektionen erfolgen.

Beim Anlegen einer neuen Lastfallgruppe werden die generierten Imperfektionen dann im Register *Berechnungsparameter* angesetzt.

LG Nr. 1 | Lastfallgruppe-Bezeichnung: Eigengewicht | LG-Faktor: 1.00

Basis: Berechnungsparameter

Berechnungstheorie

- I. Ordnung (linear)
- II. Ordnung (nichtlinear nach Timoshenko)
- III. Ordnung (nichtlinear nach Newton-Raphson)
- Durchschlagproblem

Optionen für Theorie II. bzw. III. Ordnung

- Entlastende Wirkung durch Zugkräfte berücksichtigen
- Reduzierung der Steifigkeit durch Teilsicherheitsfaktor γ_M
- Ergebnisse durch LG-Faktor zurückdividieren

Imperfektion aus RF-IMP

- Übernehmen der generierten Imperfektionen aus dem Modul RF-IMP
- RF-IMP-Fall: FA1 - Knickfigur RF-ST

Um diese Option anwenden zu können, muss in RF-IMP ein RF-IMP-Fall angelegt sein.

Bild 3.16: Dialog Neue Lastfallgruppe, Register Berechnungsparameter

4. Allgemeine Funktionen

Dieses Kapitel stellt abschließend einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten der Generierungsfälle vor.

4.1 RF-IMP-Generierungsfälle

Es besteht die Möglichkeit, Generierungsparameter oder Stäbe und Stabsätze in separaten Generierungsfällen zu gruppieren. Damit können in verschiedenen RF-IMP-Fällen beispielsweise bestimmte Stäbe, Belastungen oder Knickfiguren zur Generierung der Imperfektionen herangezogen werden. Es ist möglich, dass für gewisse Bereiche des Modells die Imperfektionen aufgrund verschiedener Knickfiguren maßgebend werden. Gemäß derzeitigem Stand der Technik sind diese auch getrennt entsprechend zu berücksichtigen.

Wenn Sie unterschiedliche Generierungsfälle nutzen, richten Sie bitte Ihre Aufmerksamkeit auf die jeweils vergebenen Startnummern der Lastfälle und die zugehörigen Generierungsoptionen, um ein unbeabsichtigtes Überschreiben auszuschließen.

Neuen RF-IMP-Fall anlegen

Ein neuer Generierungsfall wird angelegt über das RF-IMP-Menü

Datei → **Neuer Fall**.

Es erscheint folgender Dialog.

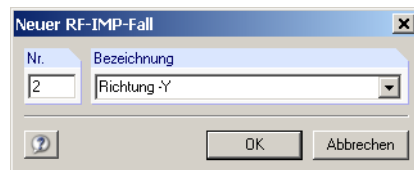


Bild 4.1: Dialog *Neuer RF-IMP - Fall*

In diesem Dialog sind eine (noch nicht belegte) *Nummer* sowie eine *Bezeichnung* für den neuen Generierungsfall anzugeben. Nach [OK] wird die RF-IMP-Maske 1.1 *Basisangaben* zur Festlegung der neuen Parameter angezeigt.

RF-IMP-Fall umbenennen

Die Bezeichnung eines Generierungsfalls kann geändert werden über das RF-IMP-Menü

Datei → **Fall umbenennen**.

Es erscheint der Dialog *RF-IMP-Fall umbenennen*.

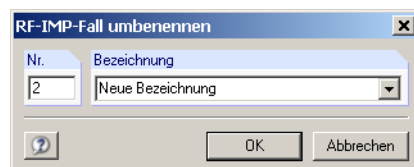


Bild 4.2: Dialog *RF-IMP-Fall umbenennen*

RF-IMP-Fall kopieren

Die Eingabedaten des aktuellen Generierungsfalls werden kopiert über das RF-IMP-Menü

Datei → **Fall kopieren**.

Es erscheint der Dialog *RF-IMP-Fall kopieren*, in dem die Nummer und Bezeichnung des neuen Falls festzulegen sind.



Bild 4.3: Dialog *RF-IMP-Fall kopieren*

RF-IMP-Fall löschen

Es besteht die Möglichkeit, Bemessungsfälle zu löschen über das RF-IMP-Menü

Datei → **Fall löschen**.

Im Dialog *RF-IMP-Fall löschen* wird in der Liste *Vorhandene Fälle* der gewünschte Bemessungsfall ausgewählt und dann mit [OK] gelöscht.

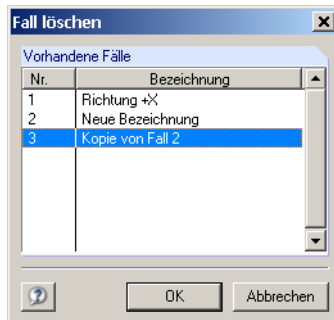


Bild 4.4: Dialog *RF-IMP-Fall löschen*

4.2 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RFEM sowie für sämtliche Zusatzmodule zentral verwaltet. In RF-IMP ist der Dialog zum Einstellen der Einheiten zugänglich über das Menü

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es wird der aus RFEM bekannte Dialog aufgerufen, das Modul RF-IMP ist voreingestellt.

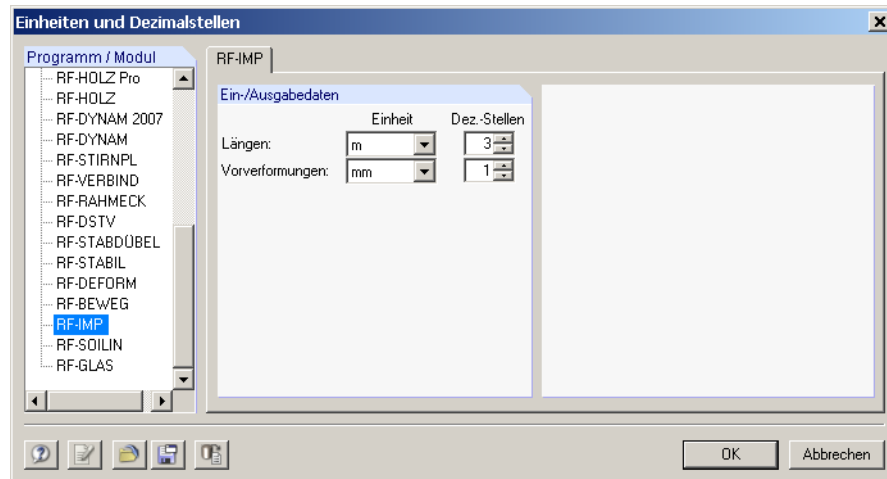


Bild 4.5: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die Einstellungen können als Benutzerprofil gespeichert und in anderen Positionen wieder verwendet werden. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im Kapitel 12.6.2 des RFEM-Handbuchs auf Seite 457.

4.3 Export der Daten

In der Regel läuft der Datenexport der generierten Ersatzimperfectionen in Richtung des Hauptprogramms RFEM ab: Dort wird ein Imperfectionslastfall erzeugt, der ggf. angepasst oder ergänzt werden kann. Die Übergabe der Ersatzlasten nach RFEM ist im Kapitel 3.3 auf Seite 21 ausführlich beschrieben. Mit Einschränkungen lassen sich die RF-IMP-Daten auch direkt für andere Programme bereitstellen.

Zwischenablage

Markierte Zellen der Masken 1.2 *Imperfektionen* und 2.1 *Generierte Imperfektionen* bzw. *Vorverformte Ersatzstruktur* können über [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopiert und mit [Strg]+[V] beispielsweise in ein Textverarbeitungsprogramm eingefügt werden. Die Überschriften der Tabellenspalten bleiben unberücksichtigt.

Ausdruckprotokoll

Die RF-IMP-Daten lassen sich nicht direkt in das Ausdruckprotokoll integrieren. Es können jedoch die in den RFEM-Lastfällen erzeugten Imperfektionen exportiert werden über Menü

Datei → Export in RTF-Datei bzw. BauText.

Diese Funktion ist im Kapitel 11.1.11 des RFEM-Handbuchs auf Seite 351 beschrieben.

Excel / OpenOffice

RF-IMP ermöglicht den direkten Datenexport zu MS Excel, OpenOffice.org Calc oder in das CSV-Format. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

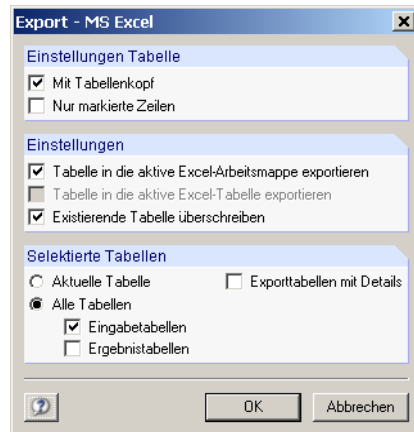
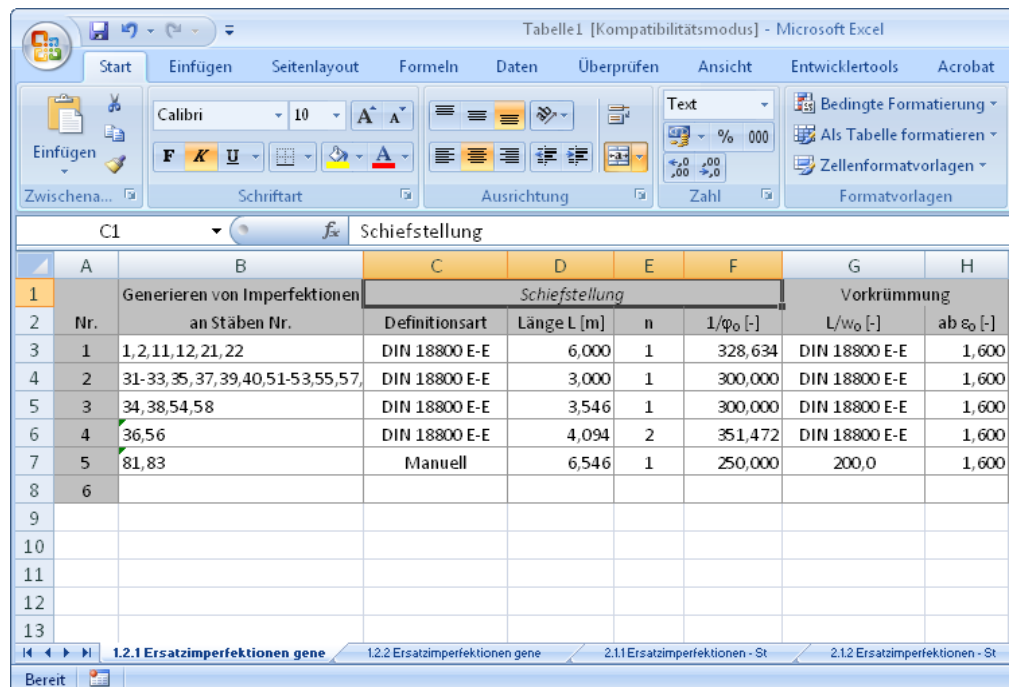


Bild 4.6: Dialog *Export - MS Excel*

Für den Datenexport kommen konzeptgemäß nur die beiden Tabellen 1.2 *Imperfektionen* und 2.1 *Generierte Imperfektionen* bzw. *Vorverformte Ersatzstruktur* infrage. Mit [OK] wird der Datenexport gestartet. Excel wird automatisch aufgerufen, es braucht nicht im Hintergrund geöffnet sein.



Nr.		Generieren von Imperfektionen an Stäben Nr.	Definitionsart	Länge L [m]	n	1/φ ₀ [-]	L/w ₀ [-]	ab ε ₀ [-]
1	1	1, 2, 11, 12, 21, 22	DIN 18800 E-E	6,000	1	328,634	DIN 18800 E-E	1,600
2	2	31-33, 35, 37, 39, 40, 51-53, 55, 57	DIN 18800 E-E	3,000	1	300,000	DIN 18800 E-E	1,600
3	3	34, 38, 54, 58	DIN 18800 E-E	3,546	1	300,000	DIN 18800 E-E	1,600
4	4	36, 56	DIN 18800 E-E	4,094	2	351,472	DIN 18800 E-E	1,600
5	5	81, 83	Manuell	6,546	1	250,000	200,0	1,600

Bild 4.7: Ergebnis in *Excel*

A Literatur

- [1] DIN 18800 (11.90) Teil 1: Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich, 1992
- [2] DIN 18800 (11.90) Teil 2: Stahlbauten - Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich, 1992
- [3] DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2): Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 2004
- [4] DIN EN 1993-1-1 (Eurocode 3): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 2005

B Index

A		L	
Auslenkung.....	10	Länge.....	12
B		Lastfall.....	10
Basisangaben.....	8	Lastfallgruppe.....	9
Beenden von RF-IMP.....	7	Lastfallkombination.....	8
D		M	
Datenexport.....	26	Manuell.....	12
Definitionsart.....	12, 13	Maßgebende Richtung.....	10
Details.....	10, 15	N	
Dezimalstellen.....	10, 26	n Ursachen.....	12
E		Navigator.....	7
Eigenschwingung.....	9	O	
Einheiten.....	10, 26	OpenOffice.....	27
Elastisch-Elastisch.....	11, 13	Optionen.....	10
Elastisch-Plastisch.....	11, 12	Ordinate der Vorverformung.....	9
Epsilon ϵ_0	14	R	
Ersatzimperfektion.....	9, 18	Reduktionsfaktor.....	12
Ersatzstruktur.....	9, 15, 20, 22	RF-DYNAM.....	9
Excel.....	27	RF-IMP-Fall.....	9, 17, 24
Export.....	21, 26	RF-STABIL.....	8, 22
F		S	
FE-Knoten.....	9, 20	Schiefstellung.....	11
G		Stabdrehung.....	11
Generierung starten.....	15	Stäbe.....	9, 11, 18
Generierungsart.....	9	Stabkennzahl.....	14
Generierungsfall.....	24, 25	Stabsätze.....	11, 18
Grafik.....	18, 21	Starten von RF-IMP.....	6
H		Stich der Vorkrümmung.....	13
Hinzufügen.....	10	Systemlänge.....	12
I		T	
Imperfektionen.....	10, 18	Toleranz.....	10, 15
Imperfektionslastfall.....	10	U	
Installation.....	5	Überschreiben.....	10
K		V	
Knickfigur.....	8, 23	Verformung.....	8
Knickspannungslinie.....	13	Verschieben von Knoten.....	10
Kommentar.....	10	Vorkrümmung.....	13
KSL.....	13	Vorverformtes FE-Netz.....	9, 20