



Handbuch

Analyse der Bauphasen, Vorspannung, ZAA

Analyse der Bauphasen, Vorspannung, ZAA

Inhaltsverzeichnis

Eingeben der Geometrie und anderer Daten.....	17
Einstellen von Parametern	17
Anlegen von Projekten mit Bauphasen	19
Bauphasen - Einstellung	19
Bauphasenmanager.....	20
Anlegen einer neuen Bauphase	20
Definieren von Änderungen am Strukturschema	24
Phasen-Querschnitt	25
Definieren der Einführung neuer Phasen im Querschnitt	29
Ausführen der Berechnung.....	29
Ergebnisse der Bauphasenanalyse	30
Nichtlineare Bauphasen	31
Lineare und nichtlineare Bauphasen	32
Eingeben	35
ZAA-Einrichtung	35
Materialeinstellungen	36
FE-Netzeinrichtung	37
Berechnungseinstellung.....	37
Lokale Stabgeschichte.....	37
Zeitachse.....	39
Analyse.....	40
Formulieren der finiten Elemente.....	40
Modellieren der Vorspannung.....	40
Lösungsstrategie.....	41
Ausführen der Berechnung	42
Bewegliche Lasten in der ZAA.....	42
Modellierung des Freivorbau mit Fertigteilen.....	44
Modellierung des Freivorbau im Ortbeton.....	46
Ergebnisse.....	49
Standardergebnisse	49
Spanngliedspannungen	49
Spannbettbeton	55
Vorspannung: Einführung	55
Materialien für vorgespannte Spannglieder	55
Eigenschaften vorgespannter Spannglieder	55
Arten von Spanngliedern	59
Kurzzeitige Verluste	60
Spannbetten.....	61
Bohrlochmuster	68
Querschnitts-Litzenvorlage	72
Stablitzenmuster	76
Ergebnisse	79
Nachträglich vorgespannter Beton	83
Quellengeometrie.....	83
Interne Spannglieder.....	92
Externe Spannglieder	98
Ergebnisse	99

Moderne Ingenieurbaustrukturen können bedeutend wirtschaftlicher erstellt werden, wenn eine Kombination von Hybridsystemen aus Stahl und Beton oder Fertigteilen und vor Ort gegossenem Beton benutzt wird. Beim Entwerfen solcher Systeme werden die Vorteile der individuellen Materialeigenschaften genutzt. Die Wirtschaftlichkeit und Geschwindigkeit der Ausführung wird außerdem durch Anwenden von Hybridmethoden bei der Konstruktion gesteigert. Die die Hauptlast tragenden Stäbe aus gespannten oder Standseilen, Aufhängungen, 1D-Teilen oder Bögen werden sehr oft im Voraus produziert und als Hilfssysteme für andere Teile der Struktur verwendet, um insgesamt Zeit und Kosten zu sparen. Der Tragwerksentwurf kombiniert Fertigteil- und Vor-Ort-Techniken für Wirtschaftlichkeit im Bau und pflegt einen hohen Qualitätsstandard bei verkürzter Bauzeit.

Während der Konstruktion erleben diese Strukturen verschiedene statische Systeme; Grenzbedingungen ändern sich, neue Strukturelemente werden montiert oder gegossen, Nachspannung kommt zum Tragen und Übergangsstützelemente werden entfernt. In vielen Strukturen werden Betonstrukturelemente unterschiedlichen Alters kombiniert und der Beton wird schrittweise belastet. Daher müssen während der Bauphase und der Lebensdauer der Betonstrukturen Kriechen und Schwinden des Betons berücksichtigt werden. Rheologische Eigenschaften des Betons können die Gebrauchstauglichkeit der Struktur entscheidend beeinflussen. Die Tragfähigkeit der Struktur kann auch durch eine Umverteilung der Schnittgrößen infolge von Kriechen beeinflusst werden. Entsprechend ausgereifte Methoden sind zur Strukturanalyse erforderlich.

Bauphasen, **Vorspannung** und **ZAA** sind Scia Engineer-Module zum Berechnen von Spannbeton- und Verbundstrukturen im Rahmen von Schritt-für-Schritt-Konstruktionen, Änderungen der Grenzbedingungen und rheologischen Auswirkungen am Beton. Die Module ermöglichen Strukturanalyse von Spannbeton- und Verbundstrukturen, der aufeinander folgenden Montage oder des Gießens von Strukturelementen, der progressiven Konstruktion von Querschnitten, der allmählichen Anwendung von Lasten und Vorspannung sowie des Entfernens vorübergehend eingesetzter Strukturelemente. Spezielle Konstruktionstechniken können modelliert werden, beispielsweise Kragarmsegmentkonstruktion mit Fertig- und vor Ort gegossenen Teilen, Stapel, Standseilstrukturen, Umwandeln von 1D-Teilen in Durchlaufträger einschließlich Betonvorschub für Platten oder allmähliche Konstruktion mehrstöckiger Gebäude. Das Implementieren der Module ist der erste Schritt zum Ändern von Entwurf und Berechnung der Betonstrukturen in Scia Engineer. Aber die Möglichkeit, die Berechnung störungsfrei für die schrittweise Konstruktion durchführen oder die Zeit als zusätzliche Variable in die Analyse aufnehmen zu können sind viel mehr als nur zwei Aspekte. Auch die neuen Materialparameter – rheologische Eigenschaften von Beton – werden in der Berechnung berücksichtigt und eine wertvolle neue Programmfunktion reagiert auf moderne Konzepte in der Vorspannungsanalyse in der Tragwerkstheorie. Nachgespannte Spannglieder werden nur als externe Last im Moment der Vorspannung berücksichtigt. Diese Last wird als Last berechnet, die der Auswirkung des Spannglieds direkt nach einem kurzzeitigen Verlust entspricht. Das Spannglied wird nach dem Verankern zum integralen Teil der Struktur. Seine Steifigkeit trägt zur Steifigkeitsmatrix der Struktur bei. Daher ändern sämtliche von der Struktur getragenen Lasten automatisch die Vorspannung des Spanngliedes. Sowohl Spannglieder als auch Verbundteile eines Querschnitts werden über exzentrische finite Elemente modelliert. Eine vollständige Dehnungskompatibilität zwischen exzentrischen Elementen zwischen zwei Knoten wird über die gesamte Länge der Elemente sichergestellt. Das **ZAA**-Modul in Scia Engineer ermöglicht ein neues Strukturmodell bisher ungekannter Qualität.

Hinweis: Jedes der drei genannten Module kann für sich verwendet werden (z. B. das Modul **Vorspannung** für die lineare Analyse, **Bauphasen** für die Analyse von 3-D-Stahlrahmenstrukturen usw.). Allerdings gehen dabei einige Funktionen verloren. Daher enthält die Beschreibung der drei Module häufige Verweise auf die anderen Mitglieder dieser kleinen Familie.

Verwenden von nachgespannten Spanngliedern (einschließlich freien Spanngliedern und Spannkabeln für Hängebrücken) ohne Bauphasen

Bei einer linearen Berechnung wird die Steifigkeit der Elemente der nachgespannten Spannglieder nicht zur Steifigkeitsmatrix für untersuchte Lastfälle hinzugefügt. Mit der linearen

Berechnung können keine zwei Steifigkeitsmatrizen der Struktur zur Lösung des Systems zusammengestellt werden, z. B. lassen sich keine zwei linken Seiten erstellen.

Daher gehen wir so vor, als würden alle Lasten (Lastfälle) exakt in dem Vorspannmoment wirken, in dem die Vorspannkraft in das Spannglied eingeführt wird. Wenn also ein Lastfall mit einer gleichförmigen Streckenlast auf den Hauptträger einer Hängebrücke angewandt wird, werden die freien Spannglieder völlig außer Acht gelassen. Der Überbau verformt sich, die Spannglieder bleiben unbeansprucht: Die Kraft im Spannglied der zugehörigen LF-Kombination ist gleich der Vorspannkraft.

Daher beschränkt sich der Einsatz von Vorspannung auf die Berechnungen in den Bauphasen. Die Vereinfachung auf eine lineare Berechnung kann in vielen Projekten zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Bauphasen: Kurze Einführung

Das Modul **Bauphasen** dient einem allgemeinen Modellieren des Baufortschritts. In Kombination mit dem Modul **ZAA** berücksichtigt die Berechnung auch die Zeit als Eingabevariable. Für zeitabhängige Berechnungen werden eine globale, eine lokale und eine detaillierte Zeitachse eingeführt und einzelne Zeitpunkte erzeugt. Die Entwicklung über die Zeit und Änderungen bei Struktur, Querschnitten oder Belastung werden jedoch anhand einzelner Bauphasen modelliert. Dabei wird jeder Phase eine Nummer, ein Name und eine globale Zeit zugewiesen. Die Reaktionen (Ergebnisse) der Lastinkremente werden in separaten Lastfällen für die Auswirkung der ständigen Lastinkremente, der Vorspannung und der Summe rheologischer Auswirkungen während des vorhergehenden Zeitabschnitts gespeichert.

Vorspannung: Kurze Einführung

Das Modul **Vorspannung** dient zum Berechnen vorgespannter 1D-Teile. Es ist außerdem möglich, kurzfristige Verluste zu berechnen und anzuzeigen.

Die Daten für Position und Form von Litzen und Seilen werden während der Strukturanalyse zur automatischen Erzeugung der finiten Elemente des Strukturmodells und zur Berechnung der äquivalenten Last einschließlich kurzzeitiger Verluste verwendet.

Somit ermöglicht das Modul **Vorspannung** Ihnen, die Effekte der Vorspannung für 2D zu berechnen. Es kann für die lineare Analyse der letzten Phase der Struktur eingesetzt werden. In Kombination mit dem Modul **Bauphasen** können Sie auch die schrittweise Vorspannung während der Montage des Tragwerks modellieren. Wird noch das Modul **ZAA** hinzugenommen, können Sie die Auswirkungen der Rheologie von Beton berücksichtigen.

Allerdings kann **ZAA** nur 2D-Rahmenstrukturen (Projekttyp Rahmen XZ) lösen.

ZAA: Kurze Einführung

Das Modul **ZAA** ermöglicht die zeitabhängige Analyse von Spannbeton und 2D-Verbundrahmenstrukturen unter Berücksichtigung der definierten Bauphasen, des Kriechens, Schrumpfens und Alterns von Beton. Die Methode für die zeitabhängige Analyse beruht auf einem schrittweisen Verfahren, bei dem die Zeitdomäne in Zeitpunkte unterteilt wird. Die FE-Analyse wird für jeden Zeitpunkt durchgeführt. Die lineare Alterungviskoelastizitätstheorie wird für die Kriechberechnung genutzt.

Infolge der Symmetrie von Langzeitlasten können sowohl die Struktur als auch die Last adäquat in einer vertikalen Ebene modelliert werden. Daher wird das Flachrahmenstrukturmodell benutzt. Die finiten Elemente der Exzentrizität stellen z. B. den Betonträger (oder einzelne Betonrippen und Deckenschichten), vorgespannte Spannglieder, Trapezbleche, Pfeiler, zeitweilige Ankerstreben, nicht vorgespannte Bewehrung usw. dar. Alle Vorgänge in der Konstruktion werden in der Strukturanalyse gemäß dem tatsächlichen Bauzeitplan berücksichtigt. Die Elemente werden entsprechend der Konstruktionsart hinzugefügt oder entfernt. Verschiedene Vorgänge während der Bauphase wie das Hinzufügen oder Entfernen von Objekten und vorgespannten Spanngliedern, das Ändern von Grenzbedingungen, Lasten und vorgegebenen Verschiebungsimpulsen können modelliert werden.

Vorgespannte Spannglieder werden ebenfalls als exzentrische finite Elemente betrachtet. Wenn sie erstmals gespannt werden, werden nur Lastbedingungen der Spannglieder in die globalen Gleichgewichtsgleichungen aufgenommen. Nach dem Verankern wird auch die Steifigkeit der Spannglieder berücksichtigt. Sowohl gebundene als auch ungebundene Spannglieder können modelliert werden. Die Langzeitverluste fließen automatisch in die Berechnung ein. Wenn ein Element entfernt oder eine Grenzbedingung geändert wird, werden automatisch Schnittgrößen des Elements und entsprechende Auflagerkräfte zum Lastvektorkrement hinzugefügt.

Die Gesamtdehnung des Betons zum Zeitpunkt t wird in drei Bereiche unterteilt: $\varepsilon_\sigma(t)$ ist die Dehnung infolge Spannung, $\varepsilon_s(t)$ die Schrumpfung und $\varepsilon_T(t)$ die thermische Ausdehnung. Weder Schrumpfung noch thermische Ausdehnung sind spannungsabhängig. Die Schrumpfung der Strukturelemente wird anhand von Durchschnittseigenschaften eines gegebenen Querschnitts sowie der mittleren relativen Feuchtigkeit und der Stabgröße vorhergesagt. Die Dehnung durch Spannung besteht aus elastischer augenblicklicher Spannung $\varepsilon_e(t)$ und Kriechspannung $\varepsilon_c(t)$. Die Entwicklung des Elastizitätsmoduls über die Zeit infolge der Alterung wird berücksichtigt.

Das Vorhersagemodell für das Kriechen beruht auf der Annahme einer Linearität zwischen Spannungen und Dehnung, um die Anwendung der linearen Überlagerung sicherzustellen. Die numerische Lösung basiert auf dem Austauschen des erblichen Integrals nach Stieltjes durch eine finite Summe. Das allgemeine Kriechproblem wird damit in eine Reihe von Elastizitätsproblemen verwandelt. Die Kriechberechnung beruht außerdem auf den Durchschnittseigenschaften eines gegebenen Querschnitts. Kriechen, Schrumpfung und Alterungseffekte können nach den Entwurfsempfehlungen EUROCODE 2, CSN 73 1201 sowie CSN 73 6207 (Tschechische Normen) berücksichtigt werden. Die Methode berücksichtigt die Spannungshistorie, erfordert keine Iteration in Einzelschritten und beschränkt den Typ der Kriechfunktion nicht.

Implementieren von Bauphasen und ZAA

Die **zeitabhängige Analyse (ZAA)** ist eng mit der **Analyse der Bauphasen (ABP)** in Scia Engineer verbunden. In der **ABP** werden die rheologischen Auswirkungen jedoch nicht beachtet. Andererseits sind „der Lastfall“ und „die Kombination von Lastfällen“ Grundbausteine für **ZAA** und **ABP**. **ABP** verläuft zeitunabhängig. Jede Phase muss lediglich mit einem Zeitpunkt verknüpft sein.

Die Inkremente des Eigengewichts in jeder Bauphase (Bau oder Betrieb) sowie die Ergebnisse (die Inkremente der Schnittgrößen und Verformungen infolge dieser Last) werden in gesonderten Lastfällen gespeichert. Von dieser Last wird angenommen, dass sie auf unbestimmte Zeit (ewig) vorhanden ist (auf die Struktur einwirkt). Das Entlasten muss daher als neue Last mit umgekehrtem Vorzeichen modelliert werden. Beispiel: Die gesamten Schnittgrößen in vorhandenen Strukturelementen aufgrund von Eigengewichten nach der dritten Bauphase ergeben sich aus der Kombination von drei entsprechenden Lastfällen. Ein Lastfall für die variable Last kann zu dieser Kombination hinzugefügt werden.

Wenn während der Bauphase Vorspannung angewandt wird, muss ein zusätzlicher ständiger Lastfall angewandt werden. Es sind also zwei ständige Lastfälle in einer Bauphase definiert: einer für das Eigengewicht, der andere für die Vorspannung. Sie können keine Lasten zu einem Vorspannungslastfall hinzufügen.

Ein weiterer (leerer) Lastfall wird während der **ZAA** automatisch zu jeder Bauphase hinzugefügt. Diese Lastfälle dienen zum Speichern der Inkremente der Schnittgrößen und Verformungen infolge von Kriechen und Schrumpfung, die für einen vergangenen Zeitraum berechnet werden. Sie werden in Scia Engineer als Kriech-Lastfälle markiert.

Änderung des Elastizitätsmoduls im Lauf der Zeit

Scia Engineer bietet für das Analysieren von Bauphasen mehrere Ansätze:

- Einsatz des Standardrechenkerns und Berechnen der Bauphasen ohne zeitliche Effekte. Es wird nur eine Abfolge der einzelnen Modelle und der veränderten Schnittgrößen infolge wechselnder Randbedingungen untersucht.
- Einsatz der ZAA-Berechnung (zeitabhängigen Analyse), bei der die Alterung vollständig berücksichtigt wird, einschließlich der Relaxation der Bewehrung sowie des Kriechens und Schrumpfens von Beton.
- Einsatz des Standardrechenkerns mit Berücksichtigung der Änderung des Elastizitätsmoduls (E) im Laufe der Zeit, d. h. Materialalterung, durch ein Diagramm, das die Änderungen des Elastizitätsmodul im Laufe der Zeit definiert (E-Modul-Diagramm).

Der letzte Ansatz kann für Rahmen- und Platte-Wand-Strukturen verwendet werden. Sie können in einem Projekt mehrere E-Modul-Diagramme definieren. Sie können sogar für jedes Material im Projekt ein eigenes E-Modul-Diagramm anlegen. Die E-Modul-Diagramme können allen oder einigen Materialien im Projekt zugewiesen werden.

So verwenden Sie E-Modul-Funktionen in der Berechnung:

Es gibt einige Voraussetzungen, damit Änderungen des E-Moduls berechnet werden können.

Hinweis: Das nachstehende Verfahren ist kein umfassendes Tutorial. Es hebt lediglich die Schritte hervor, die zusätzlich zu den Standardschritten während der Vorbereitung und Analyse einer Struktur anfallen.

Für den Projekttyp müssen Bauphasen gewählt sein.

1. Öffnen Sie im Hauptmenübaum die Funktion **Projekt**.
2. Wählen Sie für **Modell** die Option **Bauphasen**.
3. Bestätigen Sie mit **OK**.

Die E-Modul-Option im Einstellungsdialog für Bauphasen muss aktiviert sein.

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Rufen Sie die Funktion **Einstellungen** auf.
3. Wählen Sie für **Typ** die Option **E-Modul-Funktion**.
4. Bestätigen Sie mit **OK**.

Die E-Modul-Funktion(en) muss/müssen definiert sein.

1. Öffnen Sie den Manager für die **E-Modul-Funktion ...**
 - a. über die Menüfunktion **Bibliotheken > E-Modul-Funktion**
 - b. oder über die Baummenüfunktion **Bibliotheken > E-Modul-Funktion**.
2. Klicken Sie auf **Neu**, um eine neue E-Modul-Funktion einzugeben.
3. Definieren Sie die einzelnen Punkte der Funktion.
4. Bestätigen Sie mit **OK**.
5. Wiederholen Sie diese Schritte bei Bedarf für weitere E-Modul-Funktionen.
6. Schließen Sie den Manager.

Erforderlichen Materialien muss die jeweilige E-Modul-Funktion zugewiesen werden.

1. Öffnen Sie den **Material-Manager ...**
 - a. über die Menüfunktion **Bibliotheken > Materialien**
 - b. oder über die Baummenüfunktion **Bibliothek > Materialien**.
2. Die Liste der Materialeigenschaften enthält einen neuen Eintrag: E-Modul-Funktion. (Dieser Eintrag ist nur verfügbar, wenn die **E-Modul-Funktion** in den **Bauphasen-Einstellungen** aktiviert wurde.)
3. Wählen Sie das gewünschte Material.
4. Wählen Sie die passende E-Modul-Funktion.
5. Wiederholen Sie diese Schritte für beliebig viele Materialien.
6. Schließen Sie den **Material-Manager**.

Die Bauphasenanalyse muss durchgeführt werden.

1. Öffnen Sie den Dialog **FEM-Analyse ...**

- a. über die Menüfunktion **Menübaum > Berechnung, FE-Netz > Berechnung**,
 - b. oder über die Baummenüfunktion **Berechnung, FE-Netz > Berechnung**.
2. Wählen Sie die Option **Bauphasen-Analyse**.
 3. Klicken Sie auf **OK**, um die Berechnung auszuführen.

Hinweis: Stellen Sie sicher, dass Balken einstellen und Globalzeit in den einzelnen Bauphasen mit der Zeit für die Definition der E-Modul-Funktion übereinstimmen.

Anwenden in der Entwurfspraxis

Einladung: Die Module Bauphasen, Vorspannung und insbesondere ZAA sind sehr leistungsfähige Hilfsmittel – egal ob sie einzeln oder gemeinsam verwendet werden. Für sie alle ist eine gewisse Erfahrung erforderlich – und gute Kenntnisse von Scia Engineer. Daher raten wir dazu, eine Schulung mit dem technischen Kundendienst von SCIA zu vereinbaren, damit Sie die Grundlagen, Hauptfunktionen, Möglichkeiten und die praktische Anwendung dieser Module verstehen. Bitte wenden Sie sich für weitere Informationen an Ihren Händler.

Referenzen

- [1] Navrátil J.: Time-dependent Analysis of Concrete Frame Structures (Tschechisch, etwa: Zeitabhängige Analyse von Betonrahmenstrukturen), Stavebnicky casopis, 7 (40), 1992, pp. 429-451
- [2] CEB-FIP Modellnorm 1990, Endgültige Fassung 1991, BULLETIN D'INFORMATION No 203, Comite Euro-International Du Beton, Lausanne, 1990.
- [3] Navrátil, J.: Predpjaté betonové konstrukce [Spannbetonstrukturen] (Tschechisch), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2004.

Eingeben der Geometrie und anderer Daten

Vor dem Eingeben von Daten für die **zeitabhängige Analyse** und die **Analyse der Bauphasen** müssen bestimmte Vorbereitungen getroffen werden. Alle Strukturelemente, vorgespannten Stäbe, Grenzbedingungen und Lasten, die jemals in der Struktur in Erscheinung treten, müssen vorab definiert werden. Nach dem Definieren werden alle Elemente, Spannglieder, Auflager usw. allmählich über das Modul **Bauphasen** in die Struktur eingefügt. Das Eingeben der Stäbe, Knoten, Auflager und Lasten geschieht in der gewohnten Scia Engineer-Umgebung.

Einstellen von Parametern

Sie müssen einige spezielle Daten für die ZAA oder die ABP (**Analyse der Bauphasen**) eingeben. **Dies geschieht in einem Einstellungsdialog. Der Dialog enthält Einstellungen für ZAA und Bauphasenanalyse. Außerdem müssen einige andere Parameter für Netzgenerierung, Berechnung, Materialien usw. auf besondere Art eingestellt werden.**

Die einzelnen Parameter werden in gesonderten Kapiteln beschrieben:

- [Bauphasen-Einstellungen](#)
- [ZAA-Einrichtung](#)
- [Netz-](#) und [Berechnungseinstellung](#)
- [Materialeinstellungen](#)

Hinweis: Der ZAA-Bereich des Einstellungsdialogs ist NUR verfügbar, wenn das ZAA-Modul aktiv ist. Dazu muss z. B. als Projekttyp „Rahmen XZ“ gewählt sein.

Bauphasen

Anlegen von Projekten mit Bauphasen

Wenn Sie eine Berechnung der Bauphasen durchführen möchten, müssen Sie die entsprechenden Einstellungen im Dialog **Projekteinstellung** auf dem Register **Basisdaten** vornehmen:

- Wählen Sie im Kombinationsfeld **Modell** die Option **Bauphasen**.

Bauphasen - Einstellung

Der Einstellungsdialog für Bauphasen dient zum Festlegen der Standardwerte der Parameter, die in den Eingabedialogen der einzelnen Bauphasen angezeigt werden.

Lastfaktoren

**Ständige
(Langzeit-)
Lastfälle**

min gamma, max gamma sind ständigen Lastfällen beider Typen (Last (γ_G) und Vorspannung (γ_P)) beigefügt. Die Lastfaktoren $\gamma_{Gmin}(\leq 1)$, $\gamma_{Gmax}(\geq 1)$, $\gamma_{Pmin}(\leq 1)$, $\gamma_{Pmax}(\geq 1)$ werden (für jeden Lastfall) in jeder Bauphase (oder Betriebsphase) definiert. Wenn Langzeit-Verkehrslasten im Kombinationsfeld **Ständige oder Langzeit-Lasten** gewählt werden, wird nur der Maximalfaktor γ_{Qmax} erfragt, da γ_{Qmin} automatisch mit null angenommen wird (wenn alle Verkehrslasten entfernt werden). Gleichzeitig wird ein weiterer Faktor $\psi < 1$ angezeigt.

**Lastfall
Vorspannung**

(siehe oben).

**Langzeitanteil
von
Verkehrslasten**

Der Faktor ψ definiert den Langzeitanteil der Last. Wenn der ständige, vorgespannte oder Verkehrs-LF in einer Bauphase angewandt wird, kann er nicht erneut angewandt werden (Exklusivität), da die Konfiguration der Struktur in den nächsten Bauschritten geändert werden könnte und es somit zu anderen Ergebnissen käme.

Ergebnisse

**Name der generierten
Traglastkombination (max)**

legt die Maske für das automatische Generieren von Namen für Maximal-Lastfallkombinationen fest.

**Name der generierten
Traglastkombination (min)**

legt die Maske für das automatische Generieren von Namen für Minimal-Lastfallkombinationen fest.

**Name der generierten
Gebrauchslastkombination**

legt die Maske für das automatische Generieren von Namen für Gebrauchslastkombinationen fest.

Hinweis: Beim Generieren von Namen für Lastfallkombinationen wird {O} durch die entsprechende Zahl während des Generierens der Kombinationen ersetzt. Wenn z. B. die Kombinationsmaske F{O}-MAX gewählt ist, lauten die Namen F1-MAX, F2-MAX, F3-MAX usw.

Hinweis: Derselbe Dialog kann auch Parameter für ZAA enthalten. Diese ZAA-Parameter sind nur in Projekten verfügbar, die die zeitabhängige Analyse unterstützen. Siehe auch [ZAA-Einrichtung](#).

So stellen Sie die Parameter für Bauphasen ein:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Rufen Sie die Funktion **Einstellungen** auf.
3. Tragen Sie die gewünschten Parameter ein.
4. Bestätigen Sie mit **OK**.
5. Schließen Sie den Einstellungsdialog.

Bauphasenmanager

Der **Bauphasenmanager** dient zum Eingeben, Überprüfen, Kopieren, Drucken und Löschen einzelner Bauphasen. Es handelt sich um einen normalen Scia Engineer -Datenbankmanager.

So öffnen Sie den Bauphasenmanager:

1. Für den Projekttyp müssen [Bauphasen](#) gewählt sein.
2. Öffnen Sie im Hauptbaummenü den Dienst **Bauphasen**.
3. Klicken Sie im oberen Teil des Dienstdialogs auf die Punktschaltfläche.
4. Der Manager wird geöffnet.
5. Der **Bauphasenmanager** erscheint automatisch, wenn Sie den Dienst das erste Mal öffnen.

Hinweis: Wenn eine neue Bauphase angelegt wird, werden die Parameterwerte aus den Bauphasen-Einstellungen verwendet.

Anlegen einer neuen Bauphase

So legen Sie eine neue Bauphase an:

Öffnen Sie den [Bauphasenmanager](#).

Klicken Sie auf die Schaltfläche **Neu**.

Wenn kein geeigneter Lastfall verfügbar ist, werden Sie aufgefordert, einen Lastfall anzulegen.

Eine neue Bauphase wird zur Liste hinzugefügt.

Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bearbeiten**, um den Bearbeitendialog zu öffnen.

Geben Sie die Parameter ein (siehe unten).

Bestätigen Sie mit **OK**.

Schließen Sie den **Bauphasenmanager**.

Parameter für eine Bauphase

Name	legt den Namen der Phase fest.
Folge der Phase	(informativ) zeigt die Folgenummer der Bauphase an.
Beschreibung	enthält eine kurze Beschreibung der Bauphase. Es ist nützlich, in wenigen Worten zu umreißen, was in der aktuellen Bauphase geschieht. Der Kommentar hilft dem Anwender, ein klares Bild des Baufortschritts vor Augen zu halten. Der Name wird auch in den erzeugten Namen der Ergebnisklassen und den Lastfallkombinationen verwendet. Bei Kombinationen ist diese Beschreibung z. B. das einzige eindeutige Unterscheidungskriterium der erzeugten Lastfallkombinationen.

Hinweis: Sie sollten dieses Feld unbedingt nutzen.

Globalzeit	ist die Globalzeit in Tagen. Diese Zeit wird allen Aktionen der aktuellen Phase zugewiesen. Die Globalzeit muss größer sein als die Globalzeit der vorigen Phase und kleiner als die Globalzeit der nächsten Phase.
Anzahl Zeitintervalle	Anzahl der Zeitintervalle auf der Detail-Zeitachse. Die Intervalle nach dem ersten Zeitintervall werden logarithmisch skaliert. Dieser Parameter wirkt sich auf die Genauigkeit der Lösung des Betonkriechens aus. Siehe auch Zeitachse .
Umgebungsfeuchte	Umgebungsfeuchte in Prozent.
Letzte Bauphase	legt fest, ob es sich bei der aktuellen Phase um die letzte Bauphase handelt. Ist der Schalter aktiviert, ist die nächste Bauphase die erste Betriebsphase. Sie können die Struktur nun nicht mehr ändern, aber Sie können Eigengewicht und variable Lasten hinzufügen (aber keine Vorspannung!). Daher sind in Betriebsphasen keine Änderungen an der Konfiguration der Struktur (Ändern von Querschnitten, Vorspannung usw.) mehr möglich. Wenn eine Verkehrslast einer Bauphase vor der letzten Bauphase (einschließlich) zugeordnet wird, ist sie verbraucht und kann nicht erneut in einer anderen Bauphase verwendet werden. Wenn eine Verkehrslast einer Betriebsphase (z. B. einer Phase nach der letzten Bauphase) zugeordnet wird, kann sie frei in weiteren Bauphasen verwendet werden.
Lastfall	bestimmt den Lastfall, der der Bauphase zugeordnet ist. Hinweis: Beachten Sie den Hinweis unter der Tabelle
min gamma, max gamma	Lastfaktoren Hinweis: Beachten Sie den Hinweis unter der Tabelle
Psi	Faktor für Verkehrslasten Hinweis: Beachten Sie den Hinweis unter der Tabelle
Veränderliche Lastfälle	dient zum Eingeben veränderlicher Lastfälle in die Bauphase. Hinweis: Beachten Sie den Hinweis unter der Tabelle

Ständiger oder Langzeit-Lastfall

Ein ständiger Lastfall vom Typ „ständig“ oder „Eigengewicht“ muss definiert und einer Bauphase zugeordnet werden. Ein Lastfall dieses Typs muss jeder Phase exklusiv zugeordnet werden. Der Lastfall darf leer sein. Wie bereits erwähnt, können Lastfälle folgender Typen den Bau- oder Betriebsphasen zugeordnet werden: ständig oder Eigengewicht. Die Eingabe einer ständigen Last erfolgt auf die gewohnte Art. Beim Eigengewicht stehen jedoch zwei Eingabevarianten zur Verfügung.

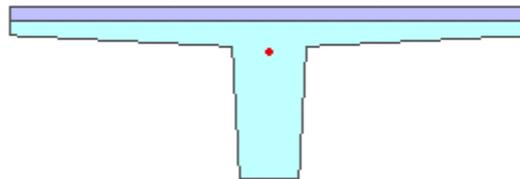
(1) Die erste Möglichkeit verwendet ständige Lasten. Das Eigengewicht des 1D-Teils wird vom Anwender im Voraus berechnet und als Gleichlast oder trapezförmige Last entlang des 1D-Teils eingegeben. Diese Methode kann in Kombination mit anderen ständige Lasten verwendet werden, z. B. dem Eigengewicht von Trapezblechen, Oberflächen usw. Das Eigengewicht des 1D-Teils kann in jeder Bauphase (jederzeit) unabhängig vom Zeitpunkt der Montage des 1D-Teils angewandt werden. Daher ist die Eingabe der ständigen Last nicht an das 1D-Teil oder die Verbundteile des 1D-Teils gebunden, die in der aktuellen (aktiven) Bauphase hinzugefügt werden.

(2) Die zweite Möglichkeit zum Eingeben des Eigengewichts kann nur für 1D-Teile verwendet werden, die in der aktuellen (aktiven) Bauphase hinzugefügt werden bzw. für entsprechende Verbundteile des 1D-Teils. Der entsprechende Lastfall muss vom Typ „Eigengewicht“ sein. In einem solchen Lastfall können keine weiteren Lasten eingegeben werden. Daher wird, wenn der Eigengewicht-Lastfall in der aktuellen Bauphase definiert wird, nur ein Inkrement des Struktur-Eigengewichts angewandt. Das Inkrement ist als Eigengewicht des Teils der Struktur (Strukturelemente oder deren Bestandteile) definiert, der in der aktuellen Bauphase eingebracht wird.

Die beiden Ansätze werden an einem einfachen Beispiel erläutert.

Beispiel: Einführung des Eigengewichts in das Modell

Gegeben sei ein Träger mit T-Profil, der in zwei Phasen erstellt wird: (i) Kernprofil, (ii) Verbunddecke



Der Querschnitt besteht aus zwei Phasen: 1 = Kernträger, 2 = Verbunddecke

Wir beschreiben drei Modellsituationen, von denen zwei den ersten Ansatz (vom Anwender berechnete ständige Last) verwenden und einer den zweiten Ansatz.

Wir bewerten nicht, welcher Ansatz besser oder schlechter ist, sondern beschreiben nur die Folgen der verschiedenen Ansätze. Welcher Ansatz im Projektrahmen am besten geeignet ist, bleibt dem Anwender überlassen.

Situation A (vom Anwender berechnetes Eigengewicht)

Stufe	Aktion	Lastfall, der der Bauphase zugeordnet wird
1	Fertigen des Trägers (Phase 1 des Querschnitts wird in das Modell eingeführt)	leerer ständiger Standard-Lastfall
2	Fertigen der Verbunddecke (Phase 2 des Querschnitts wird in das Modell eingeführt)	leerer ständiger Standard-Lastfall
3	Einführung des manuell berechneten Eigengewichts	ständiger Standard-Lastfall mit definierter Last, die dem Eigengewicht des 1D-Teils entspricht

In dieser Situation ist der Anwender für das Einführen des Eigengewichts in das Modell verantwortlich. Andererseits liegt das Verfahren vollkommen in der Kontrolle des Anwenders. Zunächst wird der Kernträger erstellt. Dann wird die Verbunddecke gefertigt. Erst zum Schluss wird das Eigengewicht in voller Größe eingeführt. Bis der Verbundträger vollständig erstellt ist, unterliegt er also keiner Last.

Situation B (vom Anwender berechnetes Eigengewicht)

Stufe	Aktion	Lastfall, der der Bauphase zugeordnet wird
1	Fertigen des Trägers (Phase 1 des Querschnitts wird in das Modell eingeführt)	leerer ständiger Standard-Lastfall
2	Einführung des manuell berechneten Eigengewichts	ständiger Standard-Lastfall mit definierter Last, die dem Eigengewicht des 1D-Teils entspricht
3	Fertigen der Verbunddecke (Phase 2 des Querschnitts wird in das Modell eingeführt)	leerer ständiger Standard-Lastfall

Auch in dieser Situation ist der Anwender für das Einführen des Eigengewichts in das Modell verantwortlich. Zunächst wird der Kerntträger erstellt und keiner Last ausgesetzt. Dann wird das Eigengewicht in voller Größe eingeführt. Schließlich wird die Verbunddecke gefertigt. Dabei unterliegt bereits der Kerntträger dem Eigengewicht des gesamten Querschnitts, bevor die Verbunddecke gefertigt wird.

Situation C (automatisch berechnetes Eigengewicht)

Stufe	Aktion	Lastfall, der der Bauphase zugeordnet wird
1	Fertigen des Trägers (Phase 1 des Querschnitts wird in das Modell eingeführt)	ständiger Lastfall Eigengewicht
2	Fertigen der Verbunddecke (Phase 2 des Querschnitts wird in das Modell eingeführt)	ständiger Lastfall Eigengewicht

In dieser Situation wird das Eigengewicht automatisch und in Teilen eingeführt. Zuerst wird der Kerntträger gefertigt und automatisch dem Eigengewicht des fertigen Querschnittsteils, also dem des Kerntträgers, unterworfen. Wenn die Verbunddecke hergestellt wird, wird deren Eigengewicht berechnet und zum Eigengewicht des Kerntträgers hinzugefügt.

Schlussfolgerung

Dieses sehr einfache Beispiel zeigt bereits, dass die Berechnungsphasenanalyse unzählige Möglichkeiten bietet. Der Anwender muss daher vorausdenken und wissen, (i) was modelliert werden soll und (ii) was tatsächlich erzeugt worden ist.

Hinweis: Wenn das Modul **Bauphasen** mit dem Modul **ZAA** kombiniert wird, ergeben sich weitere Möglichkeiten. So kann das Fertigen mithilfe von Schalungen Schalung modelliert werden (sodass auch Situation C nicht zum sofortigen Einführen des Eigengewichts führt) oder das Entfernen der Schalung nach einer gewissen Zeit (und damit die mögliche gleichzeitige Einführung des Eigengewichts) usw.

Vorspannung

Ein Lastfall (Typ ständig, vorgespannt) kann in der aktuellen Phase definiert und ihr zugewiesen werden. Jeder dieser ständigen, vorgespannten Lastfälle wird wiederum exklusiv einer Bauphase zugewiesen.

min gamma, max gamma

Die Lastfaktoren **min gamma** und **max gamma** werden ständigen Lastfällen beider Typen (Last (γ_G) und Vorspannung (γ_P)) beigelegt. Die Lastfaktoren $\gamma_{Gmin} (<=1)$, $\gamma_{Gmax} (>=1)$, $\gamma_{Pmin} (<=1)$, $\gamma_{Pmax} (>=1)$ werden (für jeden Lastfall) in jeder Bauphase (oder Betriebsphase) definiert. Wenn eine Langzeit-Verkehrslast im Kombinationsfeld **Ständige oder Langzeit-Lasten** gewählt wird, wird nur der Maximalfaktor γ_{Qmax} erfragt, da γ_{Qmin} automatisch mit null angenommen wird (wenn alle Verkehrslasten entfernt werden). Gleichzeitig wird ein weiterer Faktor $\psi < 1$ angezeigt. Der

Faktor ψ definiert den Langzeitanteil der Last. Wenn der ständige, vorgespannte oder Verkehrs-LF in einer Bauphase angewandt wird, kann er nicht erneut angewandt werden (Exklusivität), da die Konfiguration der Struktur in den nächsten Bauschritten geändert werden könnte und es somit zu anderen Ergebnissen käme.

In Berechnungen zur ZAA (Kriechberechnung) selbst werden keine Lastfaktoren angewandt. Daher finden sich in den Ergebnissen der Kriech-Lastfälle, die von der ZAA erzeugt werden, keinerlei Lastfaktoren (bzw. der Lastfaktor ist gleich 1,0). Nach der Berechnung werden automatisch SLS- und ULS-Kombinationen erzeugt. Bei ULS-Kombinationen werden alle Faktoren für Eigengewicht γ_G , Vorspannung γ_P , quasi-ständige Last γ_Q und Kriechen γ_C mit Maximal- (≥ 1) und Minimalwerten (≤ 1) angewandt.

Alle in den Normen geforderten Kombinationen (für EC2 persistent und transient, zufällig, Erdbeben, selten, häufig, quasi-ständig) müssen manuell als „Umhüllenden-Kombinationen“ definiert werden.

Zwei Typen von Verkehrslasten können in Betriebsphasen angewandt werden: kurzfristige Lastfälle und Langzeit-Lastfälle (quasi-ständig). Diese Klassifizierung steht nicht mit den Lastfalltypen, die anderswo in Scia Engineer definiert werden, in Verbindung. Daher wird der Langzeit-Verkehrslastfall nur durch Angeben des Langzeitanteils der Last bestimmt (mit Beiwert $0 \leq \psi \leq 1$). Der langfristige Teil der Last wird für die Kriechberechnung in ZAA verwendet. Die quasi-ständige Last wird gemeinsam mit anderen Lasten in der gewählten Betriebsphase in ZAA angewandt. Sobald der Langzeit-Lastfall angewandt wurde, kann er nicht erneut angewandt werden, denn der quasi-ständige Teil (ψ) der Last wird in ZAA angewandt und verursacht dadurch ein zusätzliches Kriechen des Betons. Vom quasi-ständigen Teil (ψ) des Lastfalls wird angenommen, dass er bis zum Ende der Lebensdauer auf der Struktur verbleibt. Die Ergebnisse von Langzeit-Lastfällen werden außerdem im normalen Scia Engineer berechnet und in allen Kombinationen, die für diese und die folgenden Betriebsphasen erzeugt werden, angewandt (als Null- oder voller Wert). Also wird davon ausgegangen, dass der quasi-ständige Teil der Verkehrslast für kurze Zeit aus der Struktur entfernt werden kann (oder die Verkehrslast mit vollem Wert angewandt werden kann), ohne dass dies das Kriechen beeinflusst.

Langzeitlastfälle können nicht in Bauphasen, sondern nur in Betriebsphasen angewandt werden.

Veränderliche Lastfälle

Verkehrslasten (augenblicklich und kurzzeitig) können zur aktuellen Phase hinzugefügt werden. Sie können eine beliebige Menge von Lastfällen, die im Voraus definiert wurden, hinzufügen. Die in diesem Dialog definierte Last wird als vorübergehend angenommen und nicht in der ZAA berücksichtigt. Sobald der veränderliche Lastfall in einer Bauphase angewandt wird, muss er in einen neuen Lastfall kopiert werden, bevor Sie ihn in einer anderen Bauphase erneut verwenden können. Bedenken Sie, dass die Ergebnisse derselben Last in verschiedenen Bauphasen unterschiedlich sein können, da die Konfiguration der Struktur sich verändert. Beginnend mit der ersten Betriebsphase kann der Kurzzeitlastfall wiederholt angewandt werden, da die Struktur sich während des Betriebs nicht ändert und die Reaktionen (Ergebnisse) für alle Betriebsphasen gleich bleiben. Kurzzeitlastfälle werden im normalen Scia Engineer ohne Einfluss von Betonalterung und mit einem Alter von 28 Tagen für alle Materialien berechnet.

Definieren von Änderungen am Strukturschema

Bevor Bauphasen eingegeben werden können müssen Sie alle für die Struktur relevanten lasttragenden Elemente, Spannglieder, Grenzbedingungen und Lastfälle definieren. Dann werden – wie beim echten Baufortschritt – sämtliche Elemente, Spannglieder, Auflager usw. nach und nach in die Struktur einbezogen. Wenn ein Element entfernt oder eine Grenzbedingung geändert wird, werden automatisch Schnittgrößen und entsprechende Auflagerkräfte zu der Last hinzugefügt, der die Struktur unterliegt.

In jeder Bauphase können Sie ...

- dem Strukturschema einen neuen Stab hinzufügen.
- einen bestehenden Stab aus dem Strukturschema entfernen.
- dem Strukturschema ein neues Auflager hinzufügen.
- ein bestehendes Auflager aus dem Strukturschema entfernen.

Diese Aufgaben können im Dienst **Bauphasen** durchgeführt werden.

So fügen Sie einen Stab hinzu:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Wählen (oder definieren) Sie die benötigte Bauphase (unten im Dialog des Servicebaums).
3. Rufen Sie die Menüfunktion **Stäbe > Element zufügen** auf.
4. Wählen Sie die definierten Stäbe, die dem Strukturschema in der aktuellen Phase hinzugefügt werden sollen.
5. Beenden Sie gegebenenfalls die Funktion und schließen Sie den Dienst.

So entfernen Sie einen Stab:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Wählen (oder definieren) Sie die benötigte Bauphase (unten im Dialog des Servicebaums).
3. Rufen Sie die Menüfunktion **Stäbe > Element entfernen** auf.
4. Wählen Sie die definierten Stäbe, die in der aktuellen Phase aus dem Strukturschema entfernt werden sollen.
5. Beenden Sie gegebenenfalls die Funktion und schließen Sie den Dienst.

So fügen Sie ein Auflager hinzu:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Wählen (oder definieren) Sie die benötigte Bauphase (unten im Dialog des Servicebaums).
3. Rufen Sie die Menüfunktion **Auflager > Auflager zufügen** auf.
4. Wählen Sie die definierten Auflager, die dem Strukturschema in der aktuellen Phase hinzugefügt werden sollen.
5. Beenden Sie gegebenenfalls die Funktion und schließen Sie den Dienst.

So entfernen Sie ein Auflager:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Wählen (oder definieren) Sie die benötigte Bauphase (unten im Dialog des Servicebaums).
3. Rufen Sie die Menüfunktion **Auflager > Auflager entfernen** auf.
4. Wählen Sie die definierten Auflager, die in der aktuellen Phase aus dem Strukturschema entfernt werden sollen.
5. Beenden Sie gegebenenfalls die Funktion und schließen Sie den Dienst.

Löschen von ganzen Phasen

Bei Bedarf können Sie die vollständige Definition der aktuellen Bauphase löschen. Verwenden Sie dazu im Dienst **Bauphasen** die Funktion **Eingabedaten der Phase löschen**.

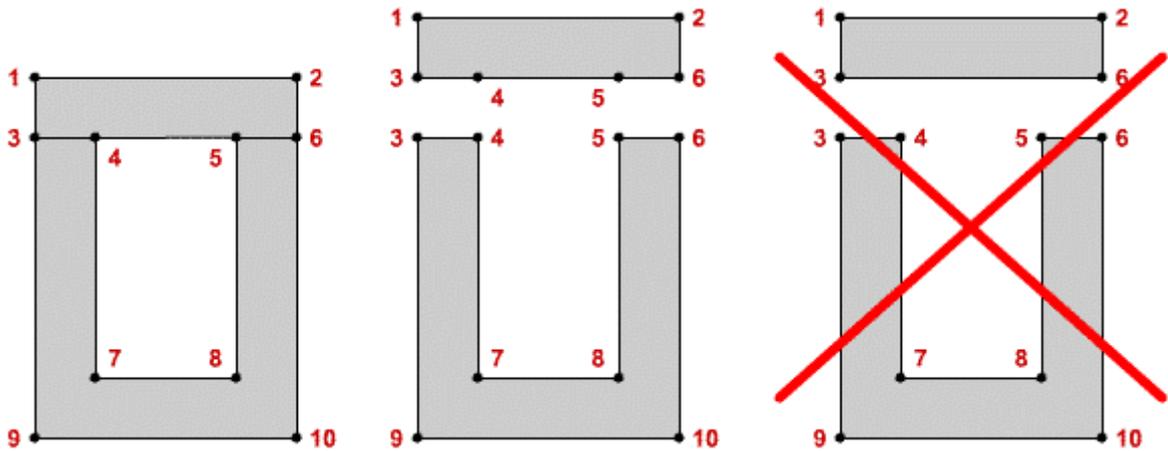
Phasen-Querschnitt

Dieses Kapitel behandelt die Analyse von Bauphasen und die zeitabhängige Analyse. In den Modulen **Bauphasen** und **ZAA** können Sie alle Arten von Bibliotheksquerschnitten aus Scia Engineer verwenden. Für die Module wurde das neue Merkmal „Phasen-Querschnitt“ eingeführt. Phasen-Querschnitte bestehen aus zwei oder mehr Teilen, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen können. Phasen-Querschnitte ermöglichen das Modellieren von Verbundstrukturen. Der Querschnitt wird schrittweise beginnend in Phase 1 aufgebaut. Jede Phase des Querschnitts wird über gesonderte finite Elemente mit Exzentrizität in Längsrichtung modelliert. Daher zeigt sich eine Spannungsverteilung zwischen zwei verschiedenen Phasen des Querschnitts in der ZAA infolge Kriechen und Schrumpfen des Betons. Wenn eine Phase aus mehreren Einzelteilen (derselben oder unterschiedlicher Materialien) besteht, wird nur ein finites Element für die Phase zwischen zwei Knoten des FE-Netzes generiert. Die Querschnittsparameter einzelner Teile werden in ein Material übertragen. Das erzeugte finite Element hat übertragene Querschnittseigenschaften. Daher kann keine Spannungsverteilung in der Analyse zwischen einzelnen Teilen einer Phase erwartet werden.

Phasen-Querschnitte können als **allgemeine Querschnitte** erstellt werden. Allgemeine Querschnitte werden mithilfe eines Polygons oder durch Umwandeln eines bestehenden Datenbankquerschnitts definiert. Auch einige der mitgelieferten Brückenprofile können als Phasen-Querschnitte definiert werden. Für einen Querschnitt können bis zu zehn Phasen definiert werden.

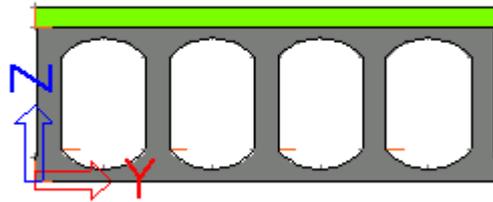
Einzelheiten zum Modul für allgemeine Querschnitte finden Sie im Kapitel **Querschnitte > Allgemeiner Querschnitt**. Eine wichtige Einschränkung in Scia Engineer ist der Umstand, dass nur ein Phasen-Querschnitt je 1D-Teil definiert werden kann! Sie können also keine Phasen-Querschnitte in beliebigen Stäben verwenden (z. B. einem 1D-Teil mit mehreren Schnitten aus verschiedenen Querschnitten).

Eine wichtige Bedingung muss erfüllt sein, wenn ein Phasen-Querschnitt erzeugt wird. Die Bedingung zeigt sich deutlich in folgender Abbildung.



Beispiel eines Phasen-Querschnitts

Die folgende Abbildung zeigt eine Hohlkammerbodenplatte [Phase 1] (400 mm hoch) mit 50 mm Estrich [Phase 2].



Netzdichte für Stäbe mit Phasen-Querschnitten

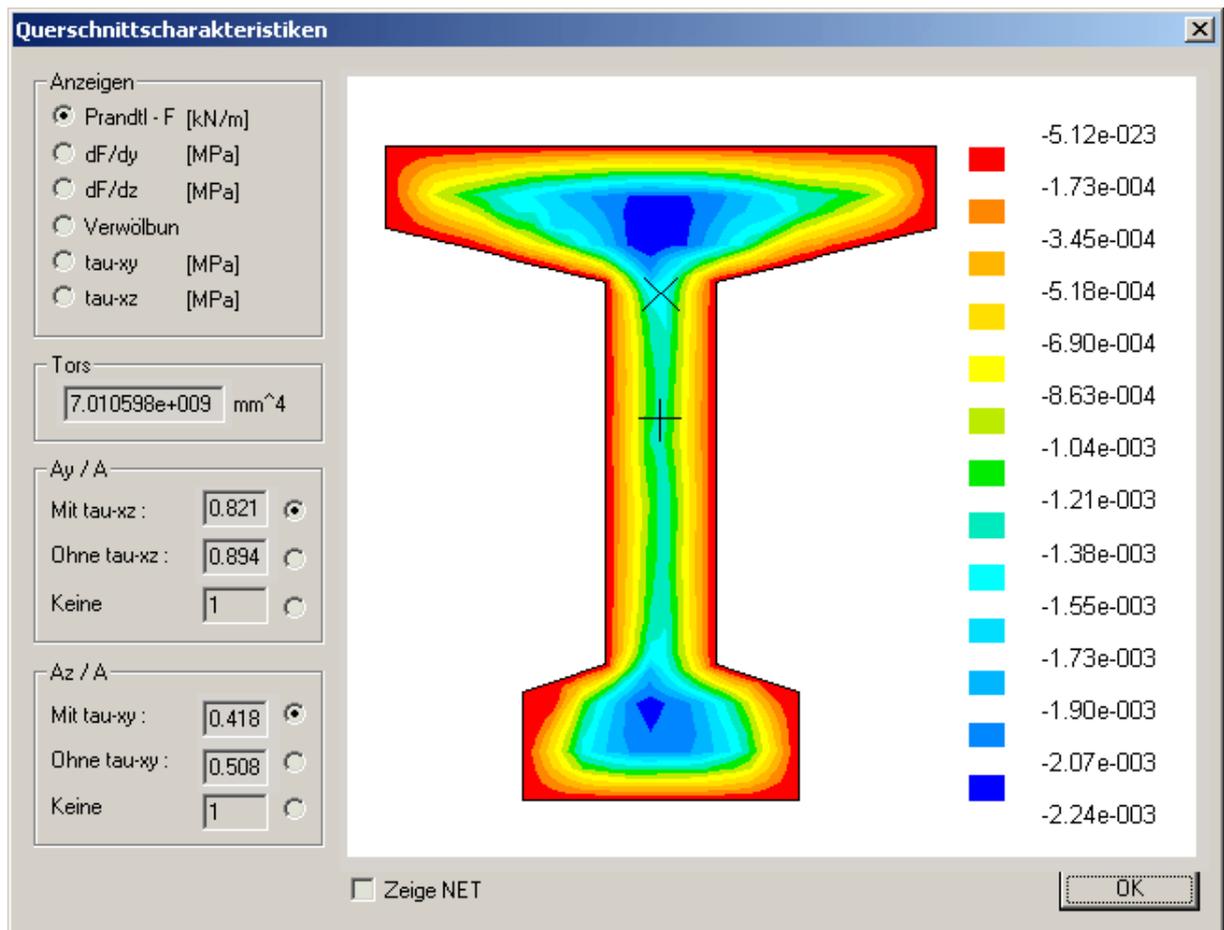
Für einen Stab mit Phasen-Querschnitt ist ein sehr feines FE-Netz erforderlich. Nur mit einem feinen Netz können Sie gute und zuverlässige Ergebnisse erzielen.

Die Größe der finiten Elemente für Stäbe mit Phasen-Querschnitten wird über den Parameter **Mittlere Größe: Seile, Spannglieder, Bettungselemente** im Dialog „FE-Netz einstellen“ bestimmt.

Querschnittsparameter von Phasen-Querschnitten

Wir empfehlen, die FEM-Analyse zum Berechnen der Querschnittsparameter eines Phasen-Querschnitts zu verwenden. Dies kann über den Bearbeitendialog eines Querschnitts geschehen, indem Sie die Option **FEM-Analyse** aktivieren (auswählen). Ist die Option aktiviert, öffnet sich ein spezielles Modul zum Berechnen der Parameter.

Das Ergebnis der Analyse wird in einem gesonderten Dialog dargestellt.



Sie können einige Ergebnisse betrachten und festlegen, wie die schubbezogenen Parameter (Ay/A und Az/A) bestimmt werden (siehe Hinweis unten).

Hinweis: Sie müssen die schubbezogenen Werte überprüfen und den korrekten (oder korrektesten) manuell festlegen.

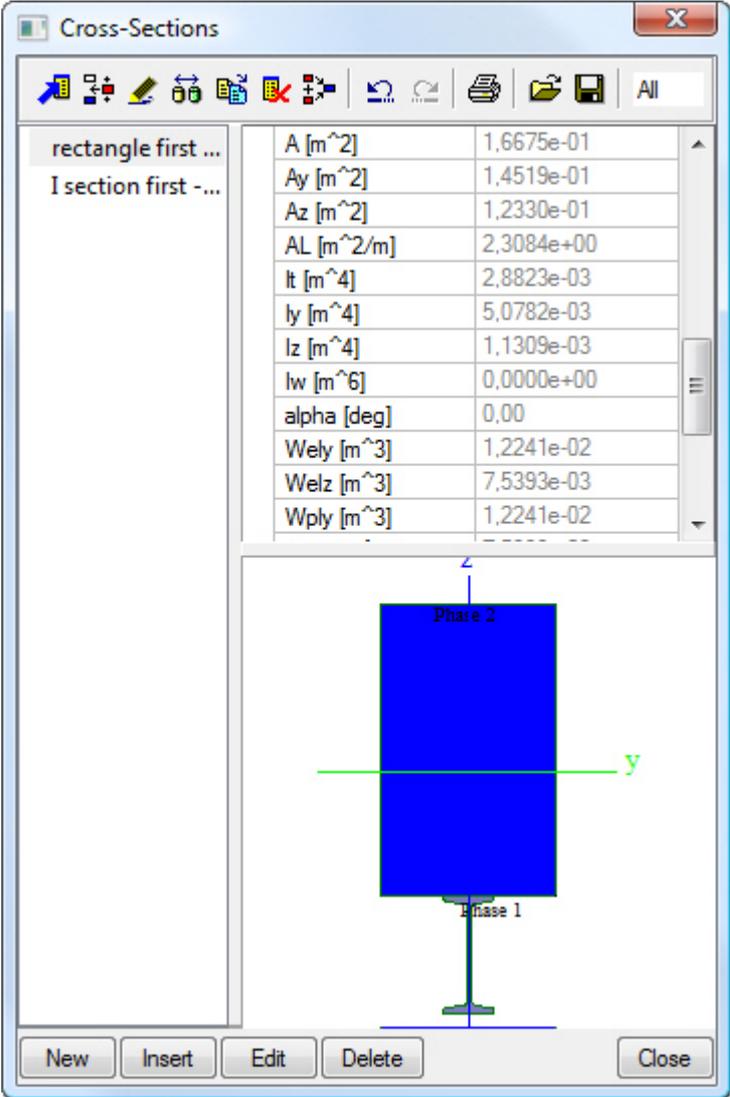
Querschnittsparameter für Querschnitte aus mehreren Materialien

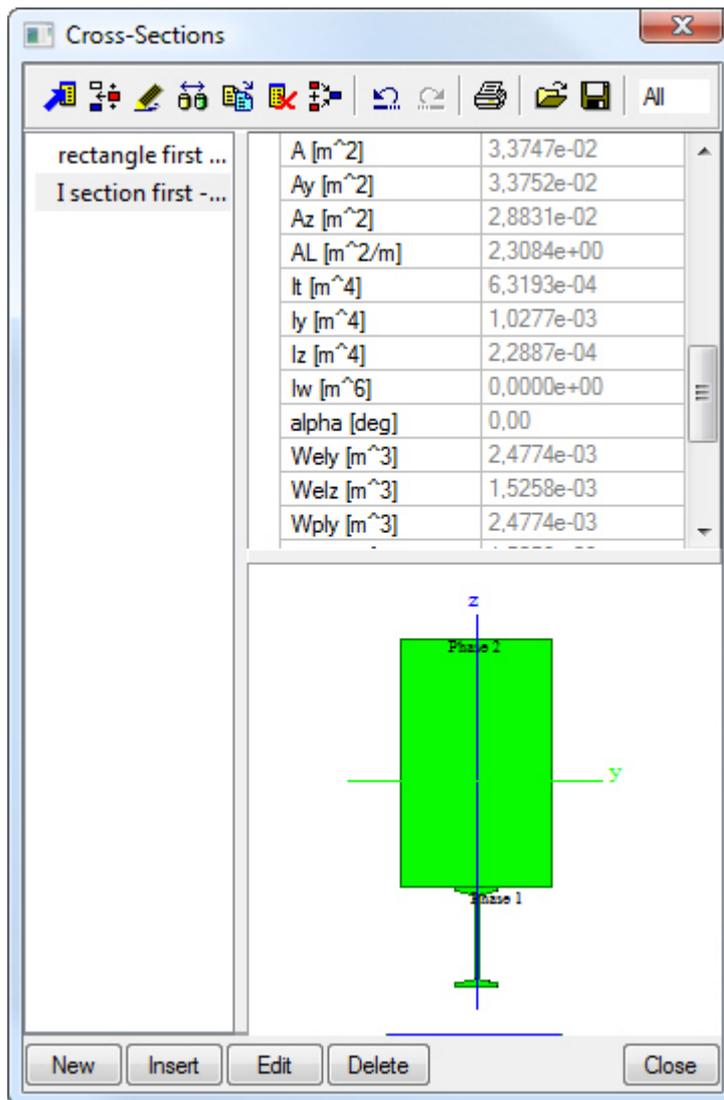
Die Querschnittsparameter werden in ideale Parameter überführt.

Für Phasen-Querschnitte aus der Bibliothek beziehen sich die Parameter auf das Material der ersten Querschnittsphase (also das Material des Teils des Querschnitts, der die erste Phase bildet).

Für allgemeine Querschnitte beziehen sich die Parameter auf das Material des zuerst eingegebenen Teils des Querschnitts und sind somit phasenunabhängig.

Vergleichen Sie die beiden Abbildungen unten. Der allgemeine Querschnitt aus einem Beton-Rechteckprofil und einem Stahl-I-Profil. Im ersten Fall wurde das Rechteck zuerst definiert. Im zweiten Fall wurde das I-Profil zuerst definiert.





Definieren der Einführung neuer Phasen im Querschnitt

Das Kapitel [Definieren von Änderungen am Strukturschema](#) beschreibt, wie ein neuer Stab oder ein neues Auflager zu einer Bauphase hinzugefügt wird. Dieses Kapitel behandelt das Einfügen eines neuen Teils eines Phasen-Querschnitts, z. B. das Fertigen einer Verbunddecke usw.

So fügen Sie einen neuen Querschnittsphase hinzu:

1. Wählen Sie das 1D-Teil mit dem Phasen-Querschnitt.
2. Die Eigenschaften des 1D-Teils werden im Eigenschaftensfenster angezeigt.
3. Eine der Eigenschaftengruppen heißt **Bauphasen**.
4. Verwenden Sie **Einfügen**, um die Phase zu definieren, in der das Basisteil (Phase 1) des Querschnitts montiert wird.
5. Verwenden Sie **Estrich**, um die Phase zu definieren, in der das zweite Teil (Phase 2) des Querschnitts eingebracht wird.

Ausführen der Berechnung

Sowohl die Analyse der Bauphasen als auch die zeitabhängige Analyse werden auf dieselbe Art ausgeführt.

So führen Sie die ABP/ZAA aus:

1. Wählen Sie die Menüfunktion **Berechnung, FE-Netz > Berechnung**.
2. Wählen Sie **Bauphasenanalyse**.
3. Klicken Sie auf **OK**, um die Berechnung auszuführen.

Hinweis: Wenn die zeitabhängige Analyse gestartet wird, kann eine Warnung angezeigt werden, die besagt, dass einige Löser- und Netz-Parameter neu eingestellt werden müssen, um die Analyseanforderungen zu erfüllen. Sie können die Einstellung automatisch durchführen lassen und die Berechnung fortsetzen oder die Berechnung abbrechen und die Einstellungen manuell vornehmen, wie in den Kapiteln [FE-Netzeinrichtung](#) und [Berechnungseinstellung](#) beschrieben.

Ergebnisse der Bauphasenanalyse

Wenn die Bauphasenanalyse (in der gedruckten Scia Engineer -Dokumentation manchmal als CSA [englisch: Construction Stages Analysis] oder ABP abgekürzt) durchgeführt wurde, können Sie die Ergebnisse betrachten.

Dabei werden Sie sich in erster Linie an zwei Arten oder Gruppen von Ergebnissen interessiert sein.

Ergebnisse für Lastfälle	Da jeder Bauphase ein Lastfall zugewiesen wird (und dieser Lastfall exklusiv für diese Phase gilt, d. h. mit keiner anderen Bauphase verwendet wird), zeigen die Ergebnisse für Lastklassen den Anteil der entsprechenden Bauphase an der Gesamtverteilung einer bestimmten Größe an.
Ergebnisse für Lastklassen	In der Bauphasenanalyse werden automatisch Ergebnisklassen erzeugt. Pro Phase werden zwei Ergebnisklassen erzeugt: Die Klassen ULS und SLS. (ULS berücksichtigt die Gamma-Lastfaktoren, SLS rechnet mit Gamma gleich eins (1)). Die Klassen werden ab 1 nummeriert (bis zur Nummer der letzten analysierten Phase). Die Ergebnisse jeder Klasse zeigen den Gesamtzustand der Struktur am Ende der jeweiligen Bauphase.

Nichtlineare Bauphasen

Die Analyse der Bauphasen (ABP) kann auch als nichtlineare Analyse durchgeführt werden. Auch für diese erweiterte Berechnungsart gilt alles, was im Rahmen der linearen Analyse der Bauphasen erwähnt wurde. Es gibt ein paar Unterschiede:

Projektparameter

Sie müssen unter **Projekteinstellungen > Funktionalität** den Punkt **Nichtlinearität** und den Unterpunkt **II. O. – Geometrische Nichtlinearität** wählen.

Tangential- statt Parallelverbindung neuer Stäbe

Der Einstellungsdialog für [Bauphasen](#) enthält einen weiteren Parameter.

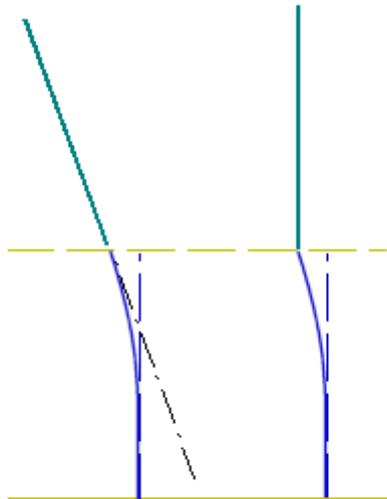
Verbindung neuer Stäbe

Dieser Parameter definiert die geometrische Konfiguration für das Verbinden neuer Stäbe in einer neuen Bauphase.

tangential: Der neue Stab wird in Richtung der Tangente der Verformungslinie des alten Stabes mit letzterem verbunden.

parallel: Der neue Stab wird am Ende des verformten alten Stabes parallel zur Richtung des neuen Stabes in einer nicht verformten Struktur angebracht.

Die Abbildung erläutert die beiden Möglichkeiten. Links sehen Sie die **tangentiale** Verbindung, rechts dagegen die andere Möglichkeit.



ZAA – Zeitabhängige Analyse

Im Rahmen der nichtlinearen Analyse der Bauphasen können Sie keine zeitabhängige Analyse durchführen.

Ausführen der Berechnung

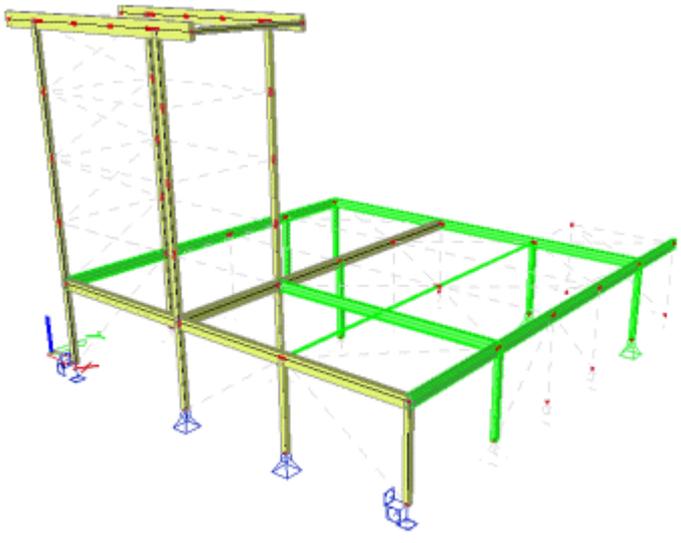
So führen Sie die nichtlineare ABP aus:

1. Wählen Sie die Menüfunktion **Berechnung, FE-Netz > Berechnung**.
2. Wählen Sie **Nichtlineare Bauphasenanalyse**.
3. Klicken Sie auf **OK**, um die Berechnung auszuführen.

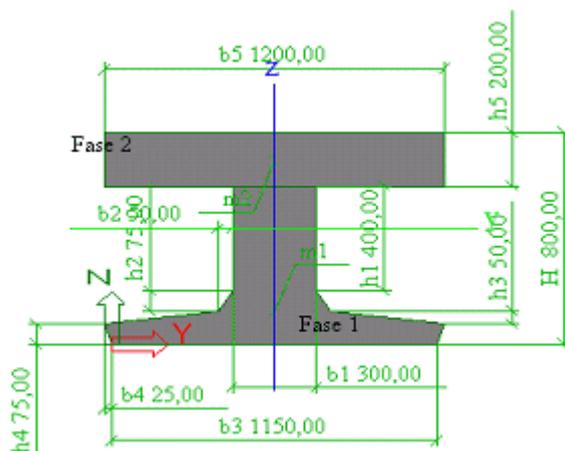
Lineare und nichtlineare Bauphasen

Unterschiede zwischen linearen und nichtlinearen Bauphasen

Lineare Bauphasen



Die linearen Bauphasen wurden ursprünglich für die Berechnung vorgespannter Strukturen entwickelt. Sie können damit Bauphasen und den Lebenszyklus einer Struktur modellieren. Trotz des ursprünglichen Zwecks (Anwendung für Betonstrukturen) ist die Funktion auch für andere Materialien geeignet. Sie können Auflager, Stäbe und Spannglieder hinzufügen oder entfernen. Für jede Bauphase können Sicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Lastfälle (einschließlich Vorspannung) festgelegt werden, woraus sich eine Bandbreite von minimalen und maximalen Spannungen, Kräften, Verformungen und Reaktionen ergibt. Außerdem können stückweise erstellte Querschnitte durch Hinzufügen aufbetonierter oder neu aufgebracht (Stahl, Holz u. a.) Materialien während der Bauphase modelliert werden.



Das Modul für lineare Bauphasen basiert auf dem Überlagern (Linearisierung) von Lastfällen. Daher können Sie auf einfache Weise Ergebnisse durch Hinzufügen und Entfernen einzelner Lastfälle vergleichen.

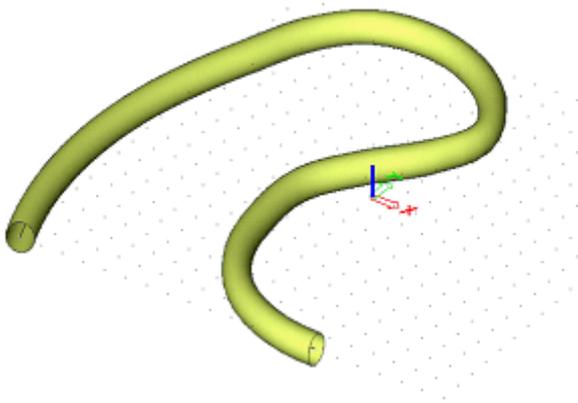
Hinweis: Für das Modul Zeitabhängige Analyse (ZAA) wird dieses Modul benötigt.

Der Nachteil des Moduls ist, dass 2D-Teile nur zur Struktur hinzugefügt, aber nicht daraus entfernt werden können. Auch sind Youngs Module unveränderlich und Gelenke können weder hinzugefügt noch entfernt werden.

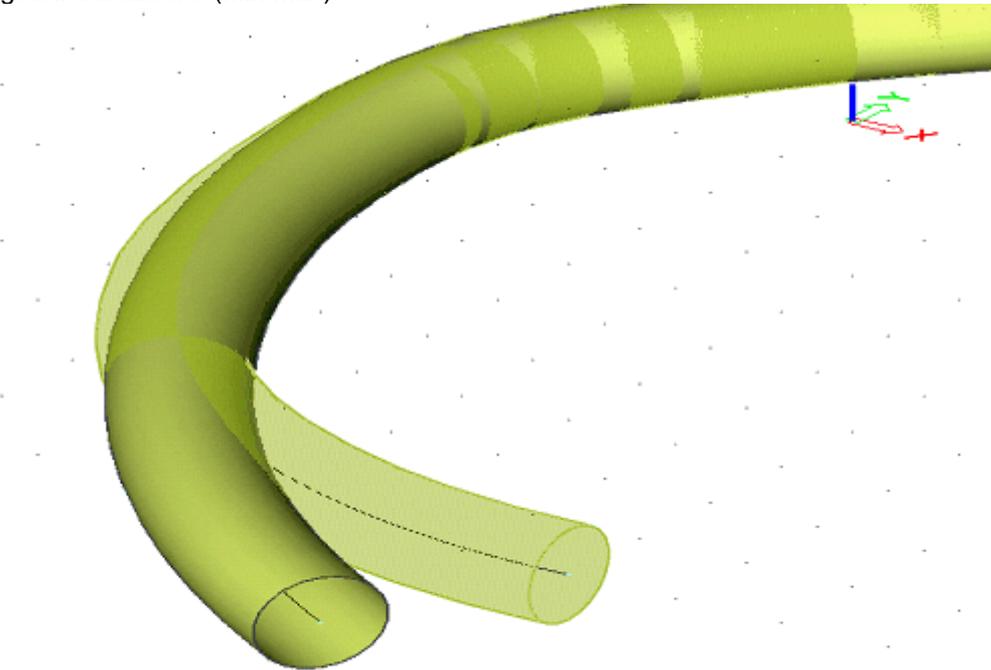
Nichtlineare Bauphasen

Die nichtlinearen Bauphasen wurden ursprünglich für die Berechnung von Rohrleitungssystemen entwickelt. Grundsätzlich wird dabei die verormte Struktur der vorhergehenden Phase beim Berechnen der neuen Bauphase berücksichtigt. Daher wird der Begriff „nichtlinear“ verwendet. Dieses Modul kann mit nichtlinearen Bedingungen und

physikalischer sowie geometrischer Nichtlinearität kombiniert werden. Die Eingabedaten für Phasen folgen demselben Prinzip und nutzen dieselben Dialoge wie die der linearen Bauphasen.



Das Modul beruht auf der Th. II. O. nach Newton-Raphson. Voraussetzung sind ein ordentliches Netz und eine Inkrementierung der Last. Es werden nichtlineare Kombinationen erzeugt, die jeweils für eine Bauphase stehen. Alle Sicherheitsbeiwerte sind gleich 1,0, d. h. es gibt keine Ergebnisbandbreite (Min/Max).



Der Nachteil dieses Moduls ist, dass es nicht für 2D-Teile und die ZAA funktioniert.

Zeitabhängige Analyse (ZAA)

Eingeben

ZAA-Einrichtung

Die folgenden Werte müssen für die ZAA eingerichtet werden.

Lastfaktoren

min gamma-Kriechen (≤ 1); max gamma-Kriechen (≥ 1)	Diese Parameter (die für alle Bau- und Betriebsphasen bzw. Gebrauchszustände identisch sind) können für erzeugte Kriech-Lastfälle angegeben werden. In Berechnungen zur ZAA werden keine Lastfaktoren angewandt. Daher finden sich in den Ergebnissen der Kriech-Lastfälle, die von der ZAA erzeugt werden, keinerlei Lastfaktoren (bzw. der Lastfaktor ist gleich 1,0). Nach der Berechnung werden SLS- und ULS-Kombinationen erzeugt. Bei ULS-Kombinationen werden alle Faktoren (min gamma und max gamma) für Eigengewicht, Vorspannung, quasi-ständige Last und Kriechen mit Maximal- und Minimalwerten angewandt.
Text-Ausgabedatei generieren	Aktivieren Sie dieses Kontrollkästchen, um eine temporäre Textausgabedatei im Verzeichnis für Analysedaten und temporäre Dateien anzulegen.

Zeitgeschichte

Anzahl Zeitintervalle	Anzahl der Zeitintervalle auf der Detail-Zeitachse. Die Intervalle nach dem ersten Zeitintervall werden logarithmisch skaliert. Dieser Parameter wirkt sich auf die Genauigkeit der Lösung des Betonkriechens aus. Siehe auch Zeitachse .
Umgebungsfeuchte	Umgebungsfeuchte in Prozent.

Stabgeschichte

Jeder Stab besitzt in der lokalen Zeitachse seine eigene Geschichte mit dem Zeitpunkt der Betoneinbringung, dem Ende der Nachbehandlung usw. Alle im Einstellungsdialog festgelegten Daten werden auf die lokale Zeitachse des relevanten 1D-Teils bezogen. Der Ursprung der lokalen Zeitachse (Nullzeit) entspricht dem Zeitpunkt, zu dem die entsprechende Steifigkeit des Makros in die globale Steifigkeitsmatrix der Gesamtstruktur eingeführt (hinzugefügt) wird („Geburt des Stabes“). Der relevante Stab wird in einer besonderen Farbe im Hauptgrafikfenster markiert. Der Ursprung der lokalen Zeitachse wird dann im globalen Zeitrahmen der aktuellen Bauphase platziert.

Zeitpunkt der Betoneinbringung	Zeitpunkt der Betoneinbringung in Tagen. Sie können negative Werte eingeben. In diesem Fall fließt die Steifigkeit der Elemente zwischen dem Zeitpunkt der Betoneinbringung und der Geburt des Makros (lokale Nullzeit) nicht in die globale Steifigkeitsmatrix ein. Gleichzeitig wird das Alter der Betonelemente korrekt angegeben.
Nachbehandlungszeit	Nachbehandlungszeit des Betons in Tagen. Im Fall von „Phasen-Querschnitten“ ist dies

Nachbehandlungsdauer der abbetonierten Querschnittsteile	die Nachbehandlungszeit des Betons in Phase eins (in Tagen).
Linienauflager (Schalung)	Nur für „Phasen-Querschnitte“ von Bedeutung. Die Nachbehandlungsdauer des Betons in der zweiten Phase (von Verbundteilen) in Tagen. Diese Eingabewerte entsprechen der Nachbehandlungsdauer von Betonverbundteilen des Querschnitts und werden auf die lokale Zeitachse des Verbundteils bezogen.
Zeitpunkt der Freisetzung der X-Verschiebung,	Das Betonalter wird beim Berechnen des Elastizitätsmoduls berücksichtigt. In frühen Phasen sollte der frische Beton ordentlich durch eine Schalung gestützt werden. Sie können daher Linienauflager für 1D-Teile definieren.
Zeitpunkt der Freisetzung der Z-Verschiebung	Selbsterklärend. X und Z sind Achsen des Globalkoordinatensystems.

So stellen Sie die Parameter für ZAA ein:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Rufen Sie die Funktion **Einstellungen** auf.
3. Tragen Sie die gewünschten Parameter ein.
4. Bestätigen Sie mit **OK**.
5. Schließen Sie den Einstellungsdialog.

Hinweis: Der ZAA-Bereich des Einstellungsdialogs ist NUR verfügbar, wenn das ZAA-Modul aktiv ist. Dazu muss z. B. als Projekttyp „Rahmen XZ“ gewählt sein.

Materialeinstellungen

Die folgenden Werte müssen für die Analyse der Bauphasen und ZAA eingerichtet werden. Sie können in ZAA und ABP die Standardmaterialien aus der Scia Engineer-Materialdatenbank verwenden. Die Anzahl der Material-Eigenschaften für Beton wird erhöht und die Auswirkungen des Alterns (normabhängig) werden eingeführt. Außerdem werden für ZAA Daten zur Betonzusammenstellung hinzugefügt, um Kriechen und Schrumpfen berücksichtigen zu können. Neue Möglichkeiten zum Definieren von Messwerten von mittlerer Druckfestigkeit des Betons stehen für EC2-Beton zur Verfügung.

Wenn Sie das Kontrollkästchen **Gemessene Werte der mittl. Druckfestigkeit (Alterungseinfluss)** (im Bearbeitendialog für Materialien des Materialdatenbankmanagers) aktivieren, stehen weitere Felder zur Verfügung. Sie können Messwerte der mittleren Druckfestigkeit von Beton zu den Alterszeitpunkten t_1 und t_2 ($t_1 < t_2$) eingeben. Einer der Eingabewerte kann 28 Tagen entsprechen. Diese Programmfunktion ist besonders für schnell härtenden Beton nützlich – oder wenn das Aushärten des Betons auf andere Weise beschleunigt wird (z. B. Fertigteile). Unter Berücksichtigung dieser Eingabeparameter werden die modifizierten Funktionen nach CEB FIP 1990 [2] für die Entwicklung von Festigkeit und Elastizitätsmodul (Alterung) benutzt. Einige Daten sind normabhängig.

CSN

Wasserinhalt	Anteil von Wasser im Beton
---------------------	----------------------------

EC2

Zementtyp	Es kann sich um langsam, normal oder schnell aushärtenden bzw. schnell aushärtenden Beton von hoher Festigkeit handeln.
------------------	---

FE-Netzeinrichtung

Die folgenden Werte müssen für die ZAA eingerichtet werden.

- **Mindestabstand nichtidentischer Punkte** $\geq 0,001$ m
- **Mittlere Stabteilung** ≥ 2
- Die Geometrie der finiten Elemente für vorgespannte Spannglieder wird aus der realen Spanngliedgeometrie einschließlich der Kurven an Eckpunkten des Basispolygons (Eingabepolygons) des Spannglieds erzeugt. Die finiten Elemente bilden dann das Polygon mit den Eckpunkten im Abstand gleich der **mittleren Größe von Seilen, Spanngliedern, Bettungselementen**. Nach dem Definieren der Elementgeometrie wird das Netz gemäß der Option **Mittlere Stabteilung** verdickt, ohne wiederum die Geometrie der Spanngliedelemente zu beeinflussen. Daher muss die Option **Mittlere Größe von Seilen, Spanngliedern, Bettungselementen** in Übereinstimmung mit der benötigten Genauigkeit der zu modellierenden Spanngliedgeometrie gewählt werden.

- **Knoten unter Punktlasten auf Stäben generieren** = ein

Für die numerische Stabilität des ZAA-Lösers sollten Sie außerdem folgenden Wert anpassen:

- **Mindestlänge eines Stabelementes** = 0,05 m

So stellen Sie die FE-Netz-Parameter ein:

1. Wählen Sie die Menüfunktion **Einstellungen > Netz**.
2. Ändern Sie die Parameter.
3. Bestätigen Sie mit **OK**.

Berechnungseinstellung

Die folgenden Werte müssen für die ZAA eingerichtet werden.

- **Mittlere Stabteilung** (Element) = 1 (Detailergebnisse der Schnittgrößen an Zwischenschnitten können durch ein verfeinertes Netz erzielt werden)

So stellen Sie die Löser-Parameter ein:

1. Wählen Sie die Menüfunktion **Einstellungen > Löser**.
2. Ändern Sie die Parameter.
3. Bestätigen Sie mit **OK**.

Lokale Stabgeschichte

Jedes 1D-Teil besitzt in der lokalen Zeitachse seine eigene Geschichte mit dem Zeitpunkt der Betoneinbringung, dem Ende der Nachbehandlung usw. Alle in diesem Dialog festgelegten Daten werden auf die lokale Zeitachse des relevanten Stabes bezogen. Der Ursprung der lokalen Zeitachse (Nullzeit) entspricht dem Moment, zu dem die entsprechende Steifigkeit des Makros in die globale Steifigkeitsmatrix der Gesamtstruktur eingeführt (hinzugefügt) wird („Geburt des Stabglieds/1D-Teils“). Das entsprechende 1D-Teil wird im Hauptgrafikfenster gelb dargestellt. Der Ursprung der lokalen Zeitachse wird dann im globalen Zeitrahmen der aktuellen Bauphase platziert.

Zeitpunkt der Betoneinbringung	der	Zeitpunkt der Betoneinbringung in Tagen. Sie können negative Werte eingeben. In
---------------------------------------	------------	---

		diesem Fall fließt die Steifigkeit der Elemente zwischen dem Zeitpunkt der Betoneinbringung und der Geburt des Makros (lokale Nullzeit) nicht in die globale Steifigkeitsmatrix ein. Gleichzeitig wird das Alter der Betonelemente korrekt angegeben.
Endzeitpunkt der Nachbehandlung	der	Zeit in Tagen, nach der die Nachbehandlung abgeschlossen ist. Der Beton schrumpft während der Nachbehandlung nicht. Im Fall von „Phasen-Querschnitten“ ist dies die Nachbehandlungszeit des Betons in Phase eins (in Tagen).
Nachbehandlungsdauer der anbetonierten Querschnittsteile		Nur für „Phasen-Querschnitte“ von Bedeutung. Die Nachbehandlungsdauer des Betons in der zweiten Phase (von Verbundteilen) in Tagen. Diese Eingabewerte entsprechen der Nachbehandlungsdauer von Betonverbundteilen des Querschnitts und werden auf die lokale Zeitachse des Verbundteils bezogen.
Linienauflager (Schalung)		Das Betonalter wird beim Berechnen des Elastizitätsmoduls berücksichtigt. In frühen Phasen sollte der frische Beton ordentlich durch eine Schalung gestützt werden. Sie können daher Linienauflager für 1D-Teile definieren.
Zeitpunkt der Verschalung	der	(informativ) entspricht dem Zeitpunkt der Betoneinbringung.
Zeitpunkt der Freisetzung der X-Verschiebung,	der X-	Selbsterklärend. X und Z sind Achsen des Globalkoordinatensystems.
Zeitpunkt der Freisetzung der Z-Verschiebung	der Z-	
Zeitpunkt der Freisetzung der Verdrehung	der der	(informativ) ist größer oder gleich den beiden vorhergehenden Werten.

So geben Sie die lokale Stabgeschichte ein:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Starten Sie die Funktion **Lokalgeschichte**.
3. Geben Sie die Parameter ein.
4. Bestätigen Sie mit **OK**.
5. Wählen Sie den Stab, dem die definierte Geschichte zugewiesen werden soll.
6. Beenden Sie die Funktion.

Die 1D-Teile mit der definierten lokalen Stabgeschichte werden mit dem Symbol LBH (= Local Beam History = Lokale Stabgeschichte) markiert.



Hinweis: Wenn ein 1D-Teil dem Modell über den Dienst [Bauphasen](#) hinzugefügt wird, erscheint es physisch im Modell und wird zur Steifigkeitsmatrix hinzugefügt. Allerdings kann die **Lokale Stabgeschichte** angeben, dass dieses 1D-Teil schon einige Tage alt ist und der Beton daher teilweise oder vollständig gehärtet ist.

Zeitachse

Die Zeit ist in der ZAA eine neue Größe. Zuerst definieren Sie die Globalzeit als einen Parameter jeder Bauphase. Diese Zeit wird der aktuellen Phase zugewiesen. Weitere Zeitpunkte werden für ZAA generiert (siehe Lokalgeschichte eines 1D-Teils). Daher ist die Anzahl der Zeitpunkt größer als die Anzahl der Phasen. Weitere Zeitpunkte für eine höhere Genauigkeit der Kriechberechnung können im Dialog **Zeitachse anpassen** erzeugt werden. Für die Zeitachsendarstellung im Dialog **Zeitachse anpassen** wird ein logarithmischer Maßstab verwendet.

Zuerst geben Sie die Globalzeit der ersten Bauphase ein. Dies ist der erste Zeitpunkt auf der „Bauphasen-Zeitachse“. Wenn wir von einem (lokalen) Zeitpunkt der Betoneinbringung des ersten Makros vor drei Tagen (-3) ausgehen, sollten Sie für die erste Phase einen Wert von +3 Tagen eingeben (das ist aber nicht erforderlich). In diesem Fall liegt der Zeitpunkt der ersten Bauphase auf der Globalzeitachse bei +3 Tagen, also nach dem Vereinigen der lokalen Achse mit der Zeitachse der Bauphasen. Der Ursprung der Zeitachse wird stets auf den Zeitpunkt der Betoneinbringung des ersten Stabes verschoben! Nun haben wir eine Vereinigung der lokalen Zeitachsen (Zeitachse der Phasen + lokale Zeitachsen): $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i, t_j, \dots, t_n$. Wir müssen die Detailzeitpunkte t_{i+k} , $k=1,2, \dots$ generieren, bis $t_{i+k} < t_j$ (damit die geforderte Genauigkeit der Kriechberechnung gegeben ist). Das geschieht automatisch.

Dialog Zeitachse anpassen

Der Dialog **Zeitachse anpassen** besteht aus drei Teilen:

- Grafikfenster
- Eigenschaftsfenster
- Eingabefenster

Grafikfenster (des Dialogs Zeitachse anpassen)

Das Grafikfenster zeigt alle Informationen zur Zeitachse an:

- Anzahl Zeitintervalle
- Nummer der Bau-/Betriebsphase
- Bauphasen-Zeitachse
- Vereinigung der lokalen Zeitachse
- Detail-Zeitachse
- Anzahl aller Zeitintervalle

Das Grafikfenster unterstützt die Standardfunktionen von Scia Engineer für Grafikfenster:

- Kontextmenü mit Funktionen für Zoomen, Drucken und Exportieren
- **Strg + Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verkleinern und Vergrößern
- **Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verschieben des Ausschnitts

Weitere Informationen finden Sie im Einführungstext dieses Kapitels sowie in den Anleitungen am Ende des Kapitels.

Eigenschaftsfenster (des Dialogs Zeitachse anpassen)

Dieses Fenster steuert die Anzeige im Grafikfenster. Sie können auch die Farben einzelner Diagramme steuern und den Maßstab für Text und Zeichnung festlegen.

Bitte lesen Sie auch die Anleitung am Ende des Kapitels.

Eingabefenster (des Dialogs Zeitachse anpassen)

Hier können Sie die Anzahl Zeitintervalle für das gewählte Intervall eingeben.

So bearbeiten Sie die Zeitachse (ändern Sie die Anzahl der Zeitintervalle):

1. Öffnen Sie den Dienst **Bauphasen**.
2. Rufen Sie die Funktion **Zeitachse** auf.
3. Der Dialog **Zeitachse anpassen** erscheint.
4. Sie können ...

- a. die Eingabedaten überprüfen: Um eine Achse ein- oder auszublenden, klicken Sie einfach auf das Kontrollkästchen **Ansicht** im Eigenschaftsfenster des Dialogs. Um die Farbe einer Achse zu ändern, klicken Sie auf das Farbfeld im Eigenschaftsfenster des Dialogs. Eine Schaltfläche mit drei Punkten wird aktiv. Klicken Sie darauf, und wählen Sie eine Farbe aus.
 - b. **die Anzahl der Zeitintervalle ändern:** Wählen Sie auf der Achse **Anzahl Zeitintervalle** das zu bearbeitende Intervall. Unten rechts können Sie im Eingabefeld die aktuelle Anzahl der Zeitintervalle sehen und ändern.
5. Schließen Sie danach den Dialog.

Hinweis: Weniger Zeitintervalle sind für die erste Analyse und das Abstimmen des Modells nützlich. Die Genauigkeit ist nicht sonderlich hoch, aber die Berechnung läuft schnell ab und erforderliche Neuberechnungen nehmen nicht so viel Zeit in Anspruch. Sobald das Modell abgestimmt ist, sollten Sie die Anzahl der Zeitintervalle erhöhen, um zufrieden stellende Ergebnisse zu erzielen.

Analyse

Formulieren der finiten Elemente

Die Methode für die zeitabhängige Analyse beruht auf einem schrittweisen Verfahren, bei dem die Zeitdomäne in Zeitpunkte unterteilt wird. Die FE-Analyse wird für jeden Zeitpunkt durchgeführt. Die lineare Alterungsviskoelastizitätstheorie wird für die Kriechberechnung genutzt.

Die Querschnitte der Strukturelemente bestehen gewöhnlich aus verschiedenen Materialien, z. B. Betonträger oder Verbunddecke, vorgespannte Spannglieder oder Bewehrung, die durch einzelne Elemente modelliert werden. Daher muss die Schwerlinie des Elements exzentrisch zur Bezugsachse zwischen den Knoten platziert werden. Eine vollständige Kompatibilität der benachbarten Oberflächen zweier exzentrischer Elemente muss sichergestellt werden. Daher wird das finite Element mit zwei externen und einem internen Knoten verwendet. Der Innenknoten befindet sich im Zentrum des Elements. Um die Anforderung nach Kompatibilität zweier exzentrischer Elemente mit einem gemeinsamen Befestigungsknoten zu erfüllen, werden die normalen und transversalen Verschiebungen von der polynomischen Funktion 2. und 3. Ordnung angenähert bestimmt. Alle Elemente mit unterschiedlicher Exzentrizität, die an demselben Knoten anliegen, führen zum Erzeugen von Unterstrukturen. Die statische Kondensation von Innenknotenparametern wird verwendet, um die vollständige Kompatibilität zwischen exzentrischen Elementen zu erreichen.

Der Querschnitt des Elements ist entlang seiner Länge konstant. Es wird von einer linearen Verteilung der Normalkräfte und Biegemomente sowie einer konstanten Verteilung der Querkkräfte entlang der Länge des Elements ausgegangen. Daher werden relativ detaillierte Unterteilungen der Strukturelemente auf finiten Elementen benötigt.

Modellieren der Vorspannung

Die Vorspannkraft ist nicht entlang der gesamten Länge des Spannglieds und im Zeitverlauf konstant. Sie muss in verschiedenen Schnitten und Bauphasen im Hinblick auf Spannkraftverluste bedacht werden. Einige der Verluste werden im Voraus mit dem Vorverarbeitungsprozessor berechnet. Es handelt sich um kurzzeitige Verluste, die mit „**A**“ (im Voraus, englisch Advance) markiert werden (siehe unten). Da die Spannglieder (oder Gruppen von Spanngliedern) als individuelle exzentrische Elemente modelliert werden, ist die Berechnung der anderen Verluste in der Methode (Markierung „**M**“) der Strukturanalyse selbst enthalten. Der ZAA-Löser berechnet diese Verlusttypen automatisch. Die Anzeige erfolgt über den Befehl **Ergebnisse > Spanngliedspannungen**.

Verluste während des Ziehens (vor oder während der Verankerung der Vorspannung):

- Ankerschlupfverlust **A**

- Verluste während sequenziellem Vorspannen (verursacht durch elastische Verformung des Betons) **M**
- Verluste infolge der Spannbettverformung **A**
- Verluste infolge elastischer Verformung der Verbindungen von Segmentstrukturen, die sequenziell vorgespannt werden **M** (sofern die Verbindungen im Strukturmodell enthalten sind)
- Verluste infolge der Stahl-Relaxation **A**
- Verluste infolge der Temperaturunterschiede zwischen Spannstahl und Spannbett **A**

Hinweis: Im Kapitel [Kurzeitige Verluste](#) wird erläutert, wie diese Verluste berechnet und angezeigt werden können.

Verluste nach Verankerung der Vorspannung (Langzeit-Verluste):

- Verluste infolge der Stahl-Relaxation **M**
- Verluste infolge der Betonschrumpfung **M**
- Verluste infolge von Betonkriechen **M**

Hinweis: Im Kapitel [Spanngliedspannungen](#) wird erläutert, wie diese Verluste berechnet und angezeigt werden können.

Verluste im Betrieb:

- Verluste (Änderungen der Vorspannung) durch variable Lasten **M** (berechnet im normalen Löser von Scia Engineer)

Die lokale Zeitachse für vorgespannte Elemente enthält zwei Knoten. Der Spannzeitpunkt ist identisch mit der Zeit der Phase. Ein weiterer Zeitpunkt wird zum Zeitpunkt des Verankerns (Einbringen des vorgespannten Elements in die Steifigkeitsmatrix) generiert. Das Zeitinkrement bis zur Verankerung ist eine virtuelle Zeit. Diese Zeit wird eingeführt, um den Moment der äquivalenten Lastanwendung und den Moment des Einführens der vorgespannten Elemente in die Steifigkeitsmatrix zu unterscheiden. Diese Zeitpunkte sind für vorgespannte Spannglieder identisch und nicht mit den Zeitinformationen zum Berechnen der Verluste verknüpft. Dehnungsäquivalent bis Relaxation im langfristigen Kontext wird in mehreren Zeitknoten nach dem Verankern angewandt. Die Inkremente der Schnittgrößen und Verformungen infolge der Relaxation werden zu den Ergebnissen der Eigengewichtsfälle für Bau- oder Betriebsphasen bzw. zu den leeren Lastfällen, die automatisch für die Kriech- und Schrumpfauswirkungen erzeugt wurden, addiert. Die Auswirkungen von Kriechen, Schrumpfen und Relaxation werden vereint (eine Trennung ist nicht möglich, da sie auch in der Wirklichkeit interagieren).

Lösungsstrategie

Kriechen und Schrumpfen der Strukturelemente wird anhand von Durchschnittseigenschaften eines gegebenen Querschnitts sowie der mittleren relativen Feuchtigkeit und der Stabgröße vorhergesagt. Kriechen, Schrumpfung und Alterungseffekte können nach den Entwurfsempfehlungen EC2, CSN 73 1201 sowie CSN 73 6207 (die letzten beiden sind tschechische Normen) berücksichtigt werden. Die Methode für die Kriechberechnung erfordert keine Iteration in Einzelschritten und beschränkt den Typ der Kriechfunktion nicht. Sie beruht auf der Annahme einer Linearität zwischen Spannungen und Dehnungen, um die Anwendung der linearen Überlagerung sicherzustellen. Die Entwicklung des Elastizitätsmoduls über die Zeit infolge der Alterung wird berücksichtigt.

Die Methode für die zeitabhängige Analyse beruht auf einem schrittweisen Rechenverfahren, bei dem die Zeitdomäne durch einzelne Zeitpunkte t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) in Zeitintervalle unterteilt wird. Die Lösung im Zeitpunkt i ist:

1. Die Inkremente von Dehnungen, Krümmungen und Schubdehnungen infolge von Kriechen im Intervall $\langle t_{i-1}, t_i \rangle$ wird berechnet. Auch die Schrumpfdehnungen werden so berechnet.
2. Der Lastvektor dF_p wird als äquivalent zu den Auswirkungen der in Schritt 1 berechneten generalisierten Dehnungen erzeugt.
3. Die Steifigkeitsmatrizen **K** der Elemente werden für die Zeit t_i berechnet und die Steifigkeitsmatrix der Gesamtstruktur **K_g** wird erzeugt.

4. Das Gleichungssystem $Kgd\Delta g = dFp$ wird untersucht. Der Vektor der Inkremente der Knotenverschiebungen $d\Delta g$ wird zum Vektor der Gesamtknotenverschiebungen Δg addiert.
5. Die Elemente werden im zentralen Koordinatensystem (dem Koordinatensystem, in dem die X-Achse durch Schwerpunkte der Querschnitte des Elements bestimmt wird) analysiert. Die Inkremente der Schnittgrößen und der elastischen Dehnungen werden aus den Inkrementen der Verschiebungen der Elementknoten berechnet.
6. Die Änderungen der strukturellen Konfiguration im Zeitpunkt t_i wird eingeführt.
7. Die Inkremente der generalisierten Dehnungen von vorgespannten (oder durch Temperaturänderungen belasteten) Elementen im Zeitpunkt t_i werden berechnet. Die Verluste der Vorspannung infolge der Verformung der Struktur werden automatisch in die Analyse einbezogen (durch Inkremente der Elementschnittgrößen).
8. Der Lastvektor dFz wird als äquivalent zu den Auswirkungen der in Schritt 7 berechneten generalisierten Dehnungen erzeugt. Die Inkremente der anderen Typen langfristig angewandter Last im Zeitpunkt t_i werden zum Lastvektor dFz addiert.
9. Das Gleichungssystem $Kgd\Delta g = dFz$ wird untersucht. Der Vektor der Inkremente der Knotenverschiebungen $d\Delta g$ wird zum Vektor der Gesamtknotenverschiebungen Δg addiert.
10. Die Inkremente der Schnittgrößen und der elastischen Dehnungen werden aus den Inkrementen der Verschiebungen der Elementknoten berechnet.
11. Die Inkremente der in den Schritten 5 und 10 berechneten Schnittgrößen werden zu den Gesamtschnittgrößen addiert. Die Inkremente der in den Schritten 5 und 10 berechneten elastischen Dehnungen werden summiert und in der Geschichte der elastischen Dehnungen als Inkremente im Zeitpunkt t_i gespeichert.
12. Fahren Sie mit dem ersten Schritt von Zeitpunkt $i+1$ fort.

Ausführen der Berechnung

Sowohl die Analyse der Bauphasen als auch die zeitabhängige Analyse werden auf dieselbe Art ausgeführt.

So führen Sie die ABP/ZAA aus:

1. Wählen Sie die Menüfunktion **Berechnung, FE-Netz > Berechnung**.
2. Wählen Sie **Bauphasenanalyse**.
3. Klicken Sie auf **OK**, um die Berechnung auszuführen.

Hinweis: Wenn die zeitabhängige Analyse gestartet wird, kann eine Warnung angezeigt werden, die besagt, dass einige Löser- und Netz-Parameter neu eingestellt werden müssen, um die Analyseanforderungen zu erfüllen. Sie können die Einstellung automatisch durchführen lassen und die Berechnung fortsetzen oder die Berechnung abbrechen und die Einstellungen manuell vornehmen, wie in den Kapiteln [FE-Netzeinrichtung](#) und [Berechnungseinstellung](#) beschrieben.

Bewegliche Lasten in der ZAA

Die Ergebnisse des ZAA-Moduls können mit den Ergebnissen des Moduls „Bewegliche Last“ kombiniert werden. Obwohl das Modul gesondert beschrieben wird, stellen wir hier kurz die Eingabe vor.

1. Definieren Sie die Struktur samt Geometrie, Auflagern, Querschnitten, Spanngliedern, allen Bauphasen und mindestens einem Lastfall.
2. Aktivieren Sie in den Projekteinstellungen die Funktionalität „Bewegliche Lasten“.
3. Definieren Sie das Lastsystem über Bibliotheken > Lasten > Mobile Lastsysteme.
4. Legen Sie die Strecke fest und ändern Sie bei Bedarf die zugewiesene Einheitslast.

Im nächsten Schritt können Sie eines von zwei Verfahren zum Auswerten der beweglichen Last auswählen.

a) Berechnung der Umhüllenden für Schnittgrößen aus dem mobilen Lastsystem auf einem kritischen Schnitt:

5.a. Definieren Sie im Baumzweig „Bewegliche Lasten > Einstellungen für generierte Lastfälle“ die Regel für das Erzeugen von Umhüllenden. Sie müssen die Einheitslast und das Lastsystem, den Namen des erzeugten Lastfalls und die Komponenten, für welche die Umhüllenden erzeugt werden sollen, angeben. Nicht benötigte Parameter können deaktiviert werden.

6.a. Führen Sie die lineare Berechnung zum Erstellen der passenden Umhüllenden-Lastfälle aus. Setzen Sie die Ergebnisse an. Der erzeugte Umhüllenden-Lastfall kann in den definierten Kombinationen verwendet werden.

7.a. Die Umhüllenden der Extremwerte der von der beweglichen Last erzeugten Schnittgrößen (Biegemomente, Querkräfte usw.) können im Dienst Ergebnisse betrachtet werden.

Hinweis: Die in diesen Lastfällen nach der linearen Berechnung gespeicherten Ergebnisse berücksichtigen möglicherweise vorhandene Bauphasen nicht. Nur die folgende ZAA oder Bauphasenanalyse stellt die korrekten Werte in den Lastfällen bereit.

b) Berechnung der Extremwerte der Schnittgrößen aufgrund beweglicher Lasten in gewählten Schnitten:

5.b. Bewegliche Lasten > Detaillierte Analyse führt eine Ausnutzung der Einflusslinien für den gewählten Ergebnistyp durch. Es werden also neue Lastfälle für ausgewählte Schnitte und das gewählte Lastsystem, die Strecke und die Schnittgrößen erzeugt (die in jedem Lastfall erzeugte Last kann geprüft werden).

6.b. Sie können neue Kombinationen mit den erzeugten Lastfällen definieren. Anschließend muss die ZAA-Berechnung erfolgen, um die Daten für die Lastfälle bereitzustellen und Ergebnisse zu ermitteln.

7.b. Die Verteilung der Extremwerte der von der beweglichen Last im gewählten Schnitt erzeugten Schnittgrößen (Biegemomente, Querkräfte usw.) kann im Dienst Ergebnisse betrachtet werden.

a) + b) Einfügen in Bauphasen und Ausführen der ZAA-Berechnung:

8. Erzeugte Lastfälle können der jeweiligen Bauphase mithilfe der Schaltfläche „Variable Lasten“ im Bauphasenmanager hinzugefügt werden.

9. Führen Sie die ZAA-Berechnung aus.

10. Im Dialog „Lastfälle, LF-Kombinationen > Kombinationen“ können neue „Benutzerkombinationen“ mit ZAA- und beweglichen Lastfällen hinzugefügt werden.

Anschließend reicht es aus, die Kombinationen zu berechnen, um die neu eingegebenen Kombinationen zu aktualisieren.

Wichtiger Hinweis:

1. Werden die Umhüllenden der Schnittgrößen aufgrund eines beweglichen Lastsystems im kritischen Schnitt berechnet, werden während der Berechnung keine Spannglieder in die Struktur (die Steifigkeitsmatrix) eingefügt. Daher hat die Gesamt-Resultierende bei der Ergebnisauswertung keinerlei Bedeutung. Bei den Rechenergebnissen handelt es sich tatsächlich um die Gesamt-Resultierende. Dementsprechend ist die Option „Gesamt-Resultierende“ für solche Kombinationen bereits markiert und deaktiviert. Als Folge davon wird die Änderung der Vorspannung infolge variabler Lasten in den Spanngliedern nicht beachtet (L_{min} , $L_{max} = 0$).

2. Die Berechnung der Extremwerte der Schnittgrößen aufgrund der beweglichen Last in ausgewählten Schnitten berücksichtigt die Spannglieder in der Struktur. Daher ist die Gesamt-Resultierende hier von Bedeutung (es werden spezielle Lastfälle generiert). Als Folge davon wird die Änderung der Vorspannung infolge variabler Lasten in den Spanngliedern berücksichtigt.

Modellierung des Freivorbaus mit Fertigteilen

Genaueres Ausgleichsverfahren für Fertigteile

Das Modellieren des genauen Ausgleichsverfahrens für Fertigteil-Kragarmsegmente ist recht einfach. Treffen wir einige Annahmen: Die Segmente werden stets 60 Tage vor dem Anbringen am Kragarm gegossen. Außerdem erfolgt die Montage im Fünf-Tages-Rhythmus. Es wird also alle fünf Tage ein Segment montiert. Die einzelnen Schritte sind in Abb. 8 farbig dargestellt (mit nur einem Kragarm, also der Hälfte eines festen Trägers). Der Zeitplan für die Segmentfertigung (Einbringen des Segments in die Steifigkeitsmatrix der Struktur) für einzelne Segmente ist in Tabelle 1 dargestellt. Der Ursprung der Abschlussfuge in Abb. 8e ist mit der Einbringung in die Steifigkeitsmatrix der Struktur verknüpft, nicht mit dem Zeitpunkt der Betoneinbringung.

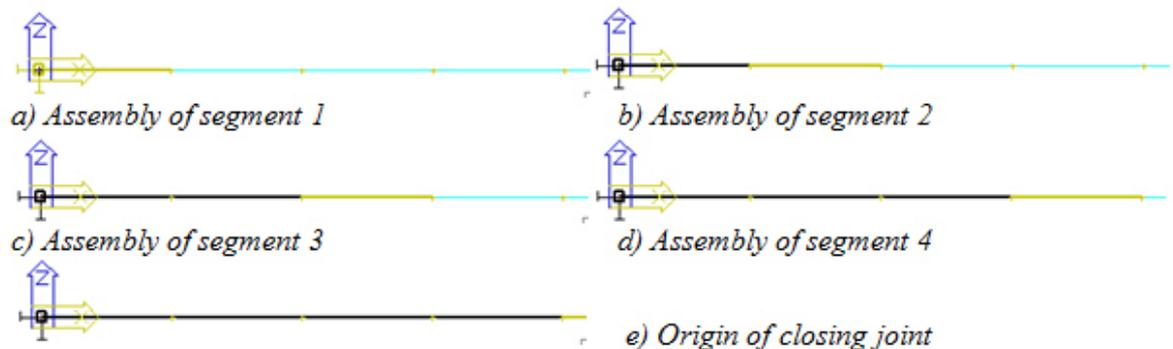


Fig. 8 “Precise levelling” precast segmental cantilever construction, construction stages

segment no.	segment casting		curing of segment concrete		segment stiffness for matrix of stiffness		prestressing and load
	local time	global time	local time	global time	local time	global time	global time [days]
1	-60	-60	-55	-55	0	0	0
2	-60	-55	-55	-50	0	5	5
3	-60	-50	-55	-45	0	10	10
4	-60	-45	-55	-40	0	15	15
5 (joint)	-5	15	0	20	0	20	20

Tab. 1 “Precise levelling” precast segmental cantilever construction, time schedule

Das Eigengewicht der Segmente und die äquivalente Last infolge der Segmentvorspannung wird exakt zum Zeitpunkt der Segmentmontage (Anbringung) definiert. Durch mögliche Kranbewegungen oder das Vorspanngerät eingeführte Lasten können als variable Lasten in die jeweiligen Bauphasen oder als Lasten für abgeschlossene Strukturteile eingegeben werden. Das Eigengewicht der Abschlussfuge wird nach Tabelle 1 erst 20 Tage später und nicht zum Zeitpunkt der Betoneinbringung (15 Tage), zu dem die Last tatsächlich wirkt, angewandt. Der Grund dafür ist, dass die Fuge im Modell zwischen Tag 15 und 20 nicht existiert und daher auch keine Lasten aufnehmen kann. Das gilt ebenso für die in der Folge beschriebenen Bauansätze. Die Durchbiegungen einer Hälfte der symmetrischen Struktur, die nach der Montage von Segment 4 berechnet wurde, 1000 Tage nachdem die beiden Kragarme als einschichtige Strukturen erstellt wurden, finden sich in Abb. 9. Das Verformungsdiagramm zeigt offensichtliche Brüche, die aber in der Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Diese ergeben sich, weil die Verformung des freien Endes des neu angebrachten Modellsegments zum Zeitpunkt der Anbringung Null beträgt.

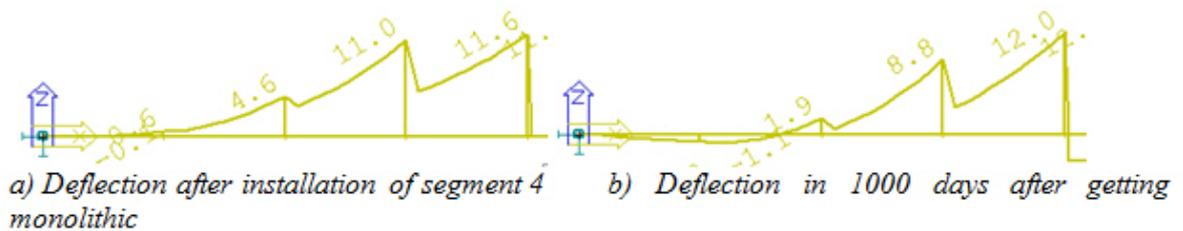


Fig. 9 “Precise levelling” precast segmental cantilever construction, cantilever deflection

Tangentenverfahren für Fertigteile

Für dieses Verfahren müssen die Durchbiegungen alle FE-Knoten während der Berechnung korrigiert werden, damit die aktuelle Verdrehung des Auslegerendes dargestellt werden kann. Daher müssen alle Kragarmknoten zu Beginn der Herstellung über finite Elemente miteinander verbunden werden. Diese können mithilfe bereits bestehender Segmente gebildet werden. Darum werden die Segmente 1 bis 4 ganz zu Beginn der Baumaßnahme (Phasenzeit 0 (Null)) eingebaut (siehe Abb. 10). Aus Tabelle 2 ergibt sich jedoch, dass das Eigengewicht der Segmente nicht zeitgleich mit dem Einbau eingeführt wird. Das Eigengewicht wird allmählich in Übereinstimmung mit den echten Bauzeitenplan der Segmenteinbringung angewandt. Daher kann die Funktion zum automatischen Generieren des Eigengewichts nicht verwendet werden. Das ist allerdings nicht von wirklichem Nachteil, da die Struktur Querträger und Auflagen enthält.

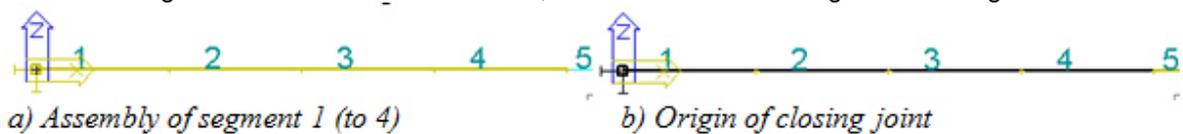


Fig. 10 “Tangent” precast segmental cantilever construction, construction stages

segment no.	segment casting		curing of segment concrete		segment stiffness for matrix of stiffness		prestressing and load
	local time	global time	local time	global time	local time	global time	global time [days]
1	-60	-60	-55	-55	0	0	0
2	-55	-55	-50	-50	0	0	5
3	-50	-50	-45	-45	0	0	10
4	-45	-45	-40	-40	0	0	15
5 (joint)	-5	15	0	20	0	20	20

Table 2 “Tangent” precast segmental cantilever construction, time schedule

Abb. 11 zeigt die Durchbiegung einer Hälfte der symmetrischen Struktur, die nach der Montage von Segment 4 berechnet wurde, 1000 Tage nachdem die beiden Kragarme als einschichtige Struktur in der Fuge erstellt wurden. Es ist offensichtlich, dass das Durchbiegungsdiagramm glatt verläuft, mit Ausnahme des Anschlusspunktes des Auslegers an der Abschlussfuge. Die zwischen den Enden des Auslegers berechneten Durchbiegungen sind nicht wirklich. Korrekte Werte ergeben sich (i) durch Interpolieren zwischen den Werten in den Enden der Ausleger oder (ii) indem Sie das Erzeugen der FE-Knoten zwischen den Enden der Ausleger beim Definieren der Netzparameter unterbinden. Einzelpunkte im Durchbiegungsdiagramm in den Enden der Ausleger erscheinen nicht nur im Modell, sondern auch in der wirklichen Struktur.

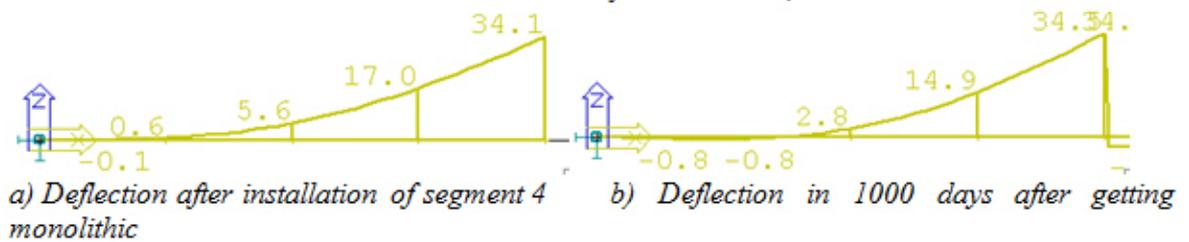


Fig. 11 “Tangent” precast segmental cantilever construction, cantilever deflections

Modellierung des Freivorbaus im Ortbeton

Precise levelling method – cast-in-place

Also the modelling of “precise levelling” method in cast-in-place segmental cantilever construction method is quite simple. Let’s assume that segments are always stresses 5 days after casting. To simplify the matter, let’s assume that a five-day working cycle is used (transfer and rectification of casting carriage, casting, stressing). Individual construction stages are graphically identical to the “precise levelling” method for precast segmental cantilever construction and are shown in colour in Fig. 8. The time schedule of the step-by-step cast-in-place construction is presented in Table 3.

segment no.	segment casting		curing of segment concrete		segment stiffness for matrix of stiffness		prestressing and load
	local time	global time	local time	global time	local time	global time	global time [days]
1	-5	-5	0	0	0	0	0
2	-5	0	0	5	0	5	5
3	-5	5	0	10	0	10	10
4	-5	10	0	15	0	15	15
5 (joint)	-5	15	0	20	0	20	20

Tab. 3 “Precise levelling” cast-in-place segmental cantilever construction, time schedule

Dead load of segments is applied in the time of prestressing of the segments. Similarly to the dead load of closing joint, also the dead load of segments acts in fact in the time of casting. However, the appropriate segments do not yet exist in terms of stiffness in that time (neither in the model nor in the real structure) and are not capable of carrying any load. In the real structure, the load is transferred by the casting carriage to the previous segment as a point load. Considering the fact that a “young” concrete is subject to loads, the demand of an engineer to take account of “correct” time moments of dead load application is justified. This can be modelled by means of a set of point loads that will be input into the load case applied on the existing structure (the previous segment) in the time when a new segment is being cast. In the time of prestressing (and application of the dead load of the new segment) the set of point loads must be applied with the opposite sign in order to prevent doubling of the dead load. Also the load from the casting carriage can be additionally input to this set and in case of e.g. a bridge of a constant cross-section, both load sets (loading and unloading) can be moved along the structure together with the casting of a new segment. If also the effect of this load on creep of concrete should to be taken into account, the set of point loads must be defined in a permanent load case and not in a variable one.

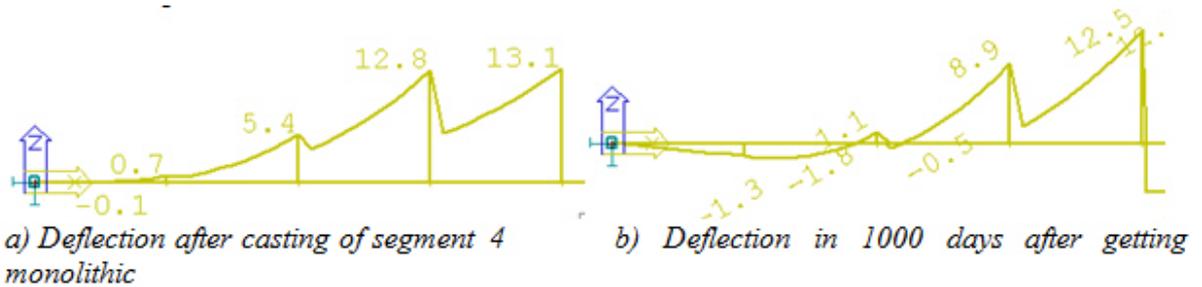


Fig. 12 “Precise levelling” cast-in-place segmental cantilever construction, cantilever deflection

Once again, apparent breaks can be observed in deflection curves in Fig. 12. These breaks result from the fact that the deflection increments relate to the time of segment casting.

Tangent method – cast-in-place

Modelling of the “tangent” cast-in-place segmental cantilever construction is more difficult in terms of preparation of input data. All cantilever nodes must be again connected by means of finite elements at the beginning of construction. This time however, the nodes cannot be formed by segment elements because in the time of the first segment installation, other segments are not yet cast. Therefore, auxiliary elements must be defined and these must be installed at the very beginning of construction (global time 0 (zero)), see Fig. 13a. The cross-section is thus transformed to a general cross-section, an imaginary zero section-stage is defined that is formed by a steel element of minimal possible dimensions (in order not to affect the sectional stiffness). Considering a different time of casting (stage 1 of cross-sections), number of section types must be increased similarly to the project described in Fig. 13.

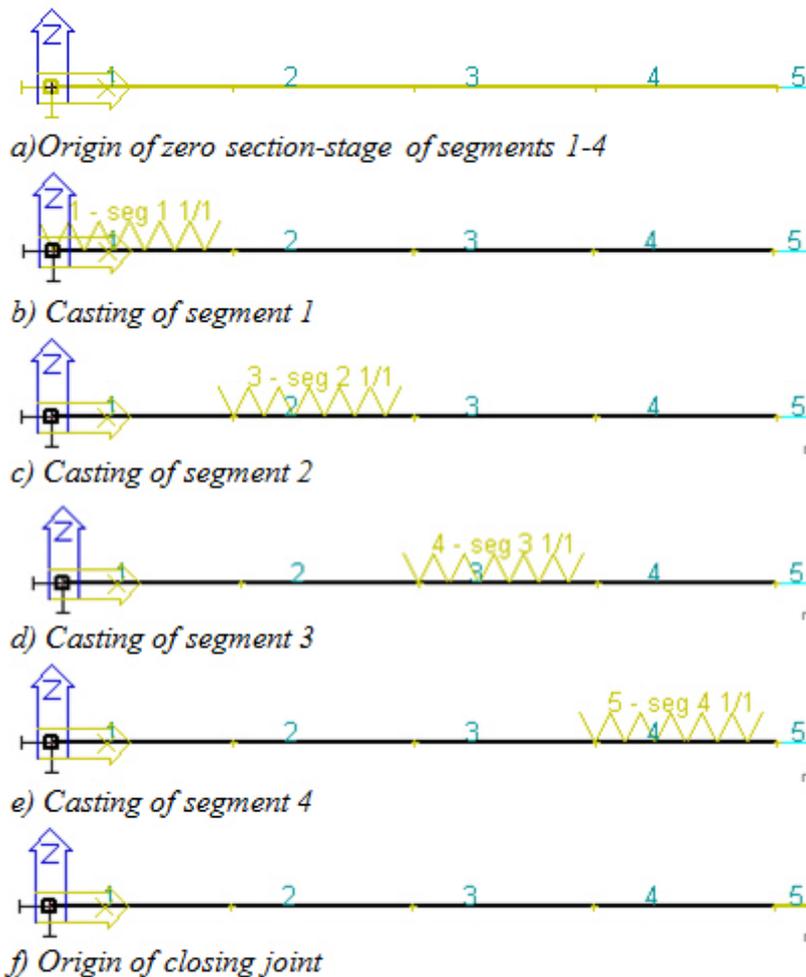


Fig. 13 “Tangent” cast-in-place segmental cantilever construction, construction stages

In the second construction stage, casting of segment 1 is modelled by the change of appropriate cross-section from stage 0 to stage 1, see Fig. 13b. Similarly to “precise levelling”, the fresh concrete of the first segment cannot be subject to dead load for the same reason. Therefore, the dead load of the first segment is applied only in the time of prestressing of the first segment, see Table 4. Once again, a set of point loads can be used to model the real dead load. Subsequent construction stages can be seen in Fig. 13 and Table 14.

construction stage	segment no.	segment casting		curing of segment concrete		segment stiffness for matrix of stiffness		prestressing and load global time [days]
		local time	global time	local time	global time	local time	global time	
1	stage 0 segments 1, 2, 3, 4			5			0	
2	1		0,1				0,1	5
3	2		5				5	10
4	3		10				10	15
5	4		15				15	20
6	5 (joint)	-5	20	0	25	0	25	25

Tab. 4 “Tangent” cast-in-place segmental cantilever construction, time schedule

For better understanding, Fig. 14 shows the deflection of a half of the symmetrical structure calculated after segment 4 has been stressed in the time of 1000 days after the two cantilevers

have become monolithic in the joint. The deflection curve is again smooth except the break in the point of attachment of the cantilever to the closing joint.

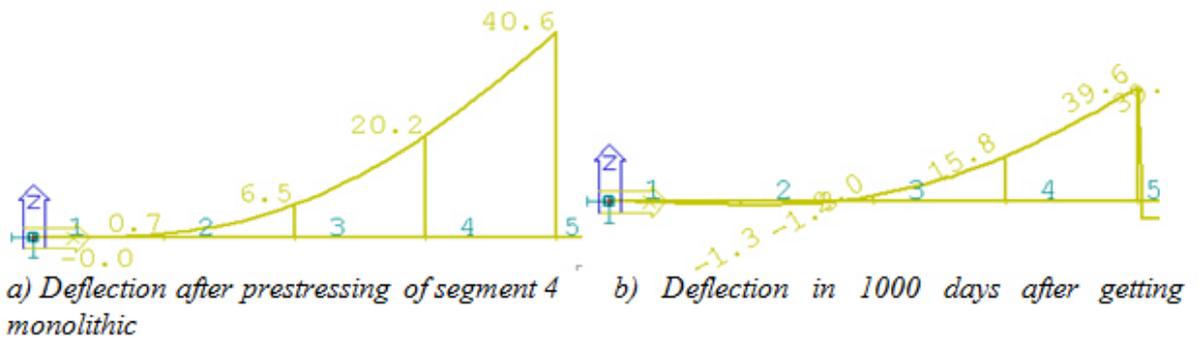


Fig. 14 “Tangent” cast-in-place segmental cantilever construction, cantilever deflections

Ergebnisse

Standardergebnisse

Wenn die zeitabhängige Analyse ausgeführt wurde, können Sie alle Standardergebnisse wie bei einer normalen statischen linearen Berechnung betrachten: Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen und Auflagerkräfte. Einzelheiten finden Sie in den jeweiligen Abschnitten im Kapitel Ergebnisse.

Spanngliedspannungen

Ergebnisdiagramme im Grafikfenster

Hinweis: Die Grundlagen zum Anzeigen von Ergebnisse werden im Kapitel Ergebnisse beschrieben.

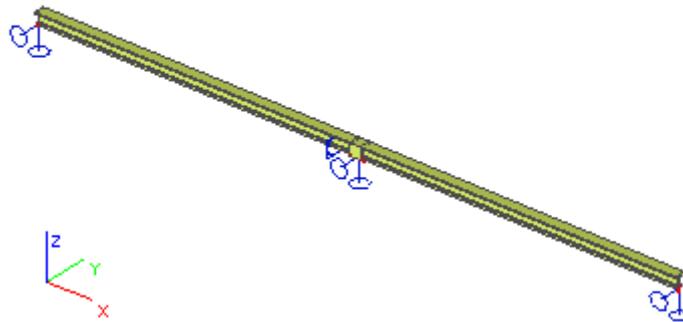
So zeigen Sie Spanngliedspannungen an:

1. Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse**.
2. Starten Sie die Funktion **Spanngliedspannungen**.
3. Wählen Sie die anzuzeigenden Lasten aus.
4. Passen Sie den Stil der Ergebnisdiagramme an.
5. Wählen Sie die Litzmuster für 1D-Teile, für die die Ergebnisse gezeichnet werden sollen.
6. Mit einem Filter können Sie die anzuzeigenden Spannglieder auswählen (siehe unten).
7. Klicken Sie auf **Aktualisieren**, um die Zeichnung neu aufzubauen.
8. Schließen Sie danach den Dienst **Ergebnisse**.

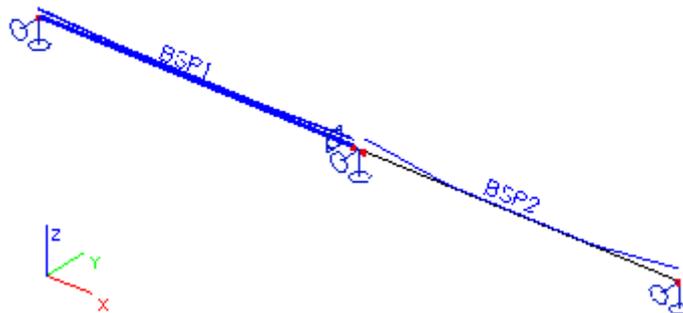
Filtern von Ergebnissen

Das Filtern wird an einem einfachen Beispiel erläutert.

Gegeben sei ein Zweifeld-Durchlaufträger, der in zwei Bauphasen gefertigt wird: Linkes Feld in Phase 1 (mit Lastfall 1), zweites Feld in Phase 2 (mit Lastfall 2).



Beide Felder sind vorgespannt und es wurde ein Stablitzmuster definiert. Das linke Feld enthält 5 Litzen, das zweite nur eine.



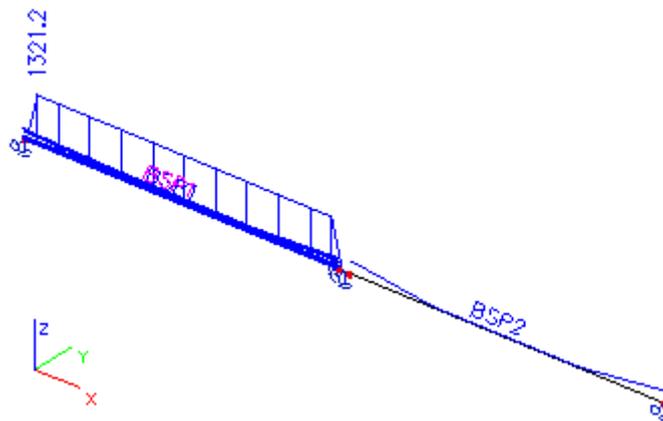
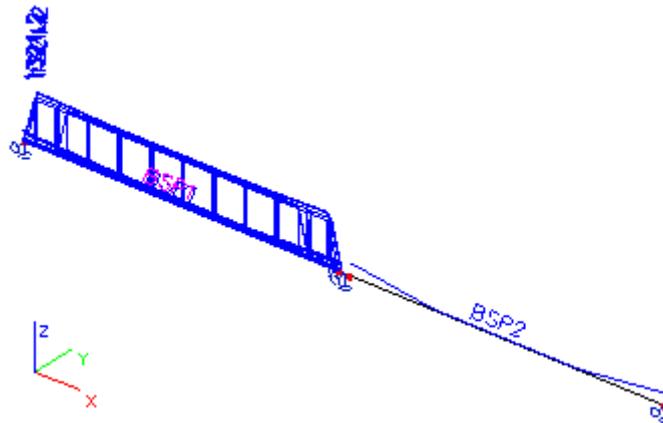
Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse** und rufen die Funktion **Spanngliedspannungen** auf. Legen Sie für **Auswahl** den Wert **Standard** fest und wählen Sie kein Stablitzmuster. Öffnen Sie das Kombinationsfeld **Spannglieder**; es enthält nur eine Option: **Alle nach Auswahl**.

Wählen Sie nun das Litzenmuster im linken Feld und öffnen Sie dasselbe Kombinationsfeld erneut. Nun können Sie **Alle nach Auswahl** sowie die fünf Litzen aus dem ersten Träger wählen.

Annullieren Sie die Auswahl, wählen Sie das rechte Feld und öffnen Sie die das Kombinationsfeld. Nun können Sie **Alle nach Auswahl** sowie die Litze aus dem zweiten Träger wählen.

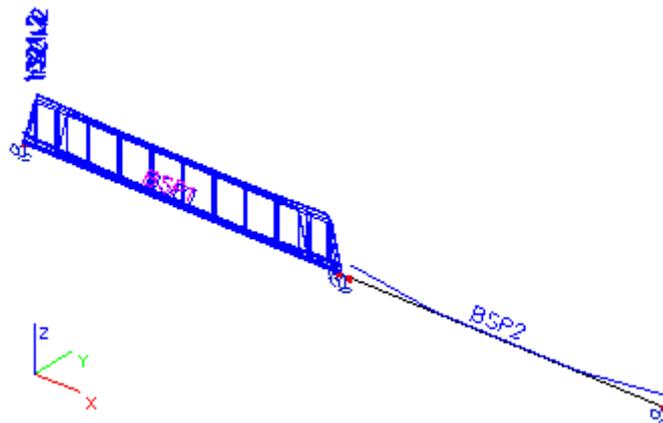
Wählen Sie beide Litzenmuster und öffnen Sie das Kombinationsfeld erneut. Nun können Sie **Alle nach Auswahl** sowie die fünf Litzen aus dem ersten und die eine Litze aus dem zweiten Träger wählen.

Auf diese Art können Sie nur ein Spannglied wählen und Ergebnisse dazu betrachten. Die Option ist besonders dann nützlich, wenn ein Träger mehrere Litzen enthält. Beachten Sie die Abbildungen unten. Die erste Abbildung zeigt Ergebnisse für alle Litzen im Träger, die zweite nur für eine Litze.

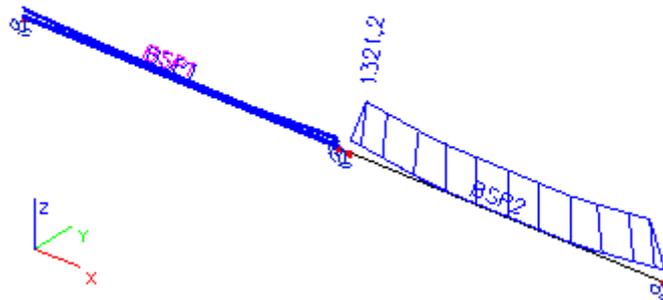


Wählen Sie nun für **Auswahl** den Wert **Alle**. Wählen Sie **Alles nach Auswahl** im Kombinationsfeld **Spannglieder**.

Wählen Sie für **Last** den Wert **Lastfälle** und dann **LF1**. Dieser Lastfall ist der ersten Bauphase zugewiesen, in der nur das linke Feld vorhanden ist. Klicken Sie auf **Aktualisieren** – es werden nur Spanngliedspannungen für das linke Feld angezeigt.

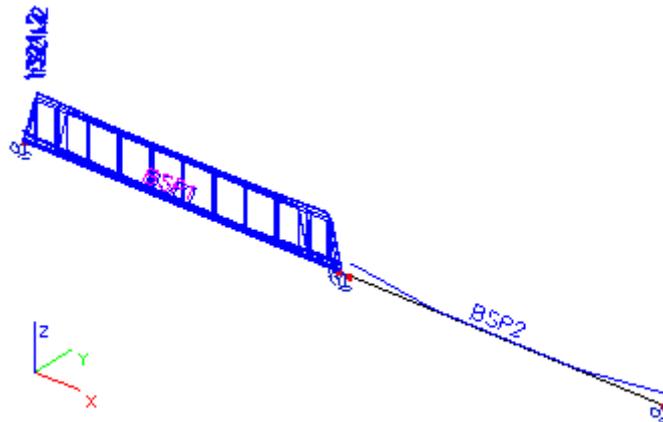


Wenn Sie dagegen **LF2** wählen, werden nur Spanngliedspannungen für das rechte Feld angezeigt.

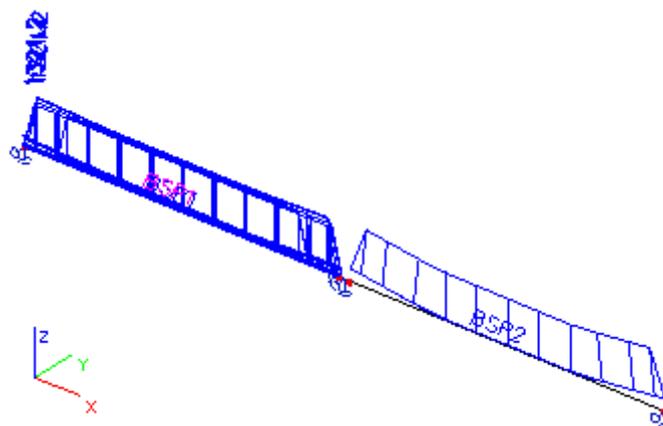


Wählen Sie nun noch für **Auswahl** den Wert **Alles** und im Kombinationsfeld **Spannglieder** die Option **Alles nach Auswahl**.

Wählen Sie für **Last** den Wert **Klassen** und dann **Klasse 1**. Diese Klasse entspricht der ersten Bauphase, in der nur das erste Feld vorhanden ist. Klicken Sie auf **Aktualisieren** – es werden nur Spanngliedspannungen für das linke Feld angezeigt.



Wählen Sie **Klasse 2**, die der zweiten Bauphase mit beiden Feldern entspricht. Klicken Sie auf **Aktualisieren** – es werden die Spanngliedspannungen für beide Felder angezeigt.



Detailergebnisse

Sie können detaillierte Ergebnisse für ein einzelnes Stablitzmuster anzeigen lassen.

So zeigen Sie Detailergebnisse an:

1. Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse**.
2. Starten Sie die Funktion **Spanngliedspannungen**.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **In Detail**.
4. Wählen Sie ein Stablitzmuster.
5. Ein Fenster mit den Detailergebnissen erscheint.

Vorschau im Vorschaufenster

Die Ergebnisse können als Tabelle im Vorschaufenster angezeigt werden.

So öffnen Sie die Vorschau:

1. Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse**.
2. Starten Sie die Funktion **Spanngliedspannungen**.
3. Wählen Sie die anzuzeigenden Lasten aus.
4. Passen Sie den Stil der Ergebnisdiagramme an.
5. Wählen Sie die Stablitzmuster, für die die Ergebnisse gezeichnet werden sollen.
6. Mit einem Filter können Sie die anzuzeigenden Spannglieder auswählen (siehe unten).
7. Klicken Sie auf **Vorschau**, um die Ergebnistabelle zu betrachten.

Erläuterung der Abkürzungen

SAT	Spannung nach Verankerung
LED	Verlust während sequenziellem Vorspannen + Verlust durch elastische Betonverkürzung
LKS	Verlust durch Kriechen und Schwinden des Betons + Verluste durch Langzeit-Stahlrelaxation
Lmin	Verlust (Änderung) der Vorspannung durch variable Lasten (min)
Lmax	Verlust (Änderung) der Vorspannung durch variable Lasten (max)
MinSpannung	Mindestspannung in Phase
MaxSpannung	Höchstspannung in Phase

Vorspannung

Spannbettbeton

Vorspannung: Einführung

Das Modul **Vorspannung** ermöglicht das Definieren von Geometrie, Material und anderen Eigenschaften von vorgespannten Spanngliedern. Das Spannglied kann in 1D-Teile eingefügt werden. Sie können vorgespannte interne Spannglieder definieren.

Die Spannglieder werden durch Litzenvorlagen definiert, die in einem 1D-Teil symmetrisch sind, sodass nur eine (symmetrische) Hälfte des Strangs entlang des 1D-Teils definiert werden muss. Die Eingabe erfolgt in drei Schritten:

1. Das Bohrlochmuster wird definiert, d. h. die Lage der Löcher in der Stirnplatte.
2. Die Querschnitts-Litzenvorlage wird definiert, d. h. welche Löcher der Stirnplatte mit einer Litze bzw. einem Draht/Stab belegt oder „gefüllt“ sind.
3. Stablitzmuster werden eingegeben. Damit wird die Form der Litzen/Seile/Stäbe entlang des 1D-Teils definiert (dieser Schritt unterliegt bestimmten, in der Folge noch erläuterten Beschränkungen).

Hinweis: Vorspannungsdaten können nicht aus EPW importiert werden.

Materialien für vorgespannte Spannglieder

Die Systemdatenbank enthält alle Materialien für vorgespannte Spannglieder gemäß den Normen EC2, CSN 73 12 01 und CSN 73 62 07 (Tschechische Normen). Anleitungen zum Auswählen des aktiven Materials und zum Arbeiten mit der System-, Anwender- und Projektdatenbank finden Sie im Kapitel zu den Datenbankmanagern.

Da die Materialeigenschaften der vorgespannten Spannglieder vom Durchmesser des Spanngliedes (z. B. Litze/Seil/Stab) abhängig sind, sind die Materialien in der Systemdatenbank nicht nur nach Art, sondern auch nach Durchmesser aufgeführt. Der Dialog und die Parameter sind abhängig von Norm und Typ.

Die Relaxationstabelle wird in der Systemdatenbank für jedes vorgespannte Material definiert. Die Schaltfläche **Relaxationstabelle** zeigt die Relaxationstabelle an. Auch Diagramme der Relaxationswerte (nach dem Drücken der Schaltfläche **Graph**) können bei Bedarf aufgerufen werden.

Sie können die Werte der Relaxationstabelle sogar ändern. Dazu müssen Sie die Option **Relaxation nach Benutzer** aktivieren. Anschließend können Sie den Dialog **Relaxationstabelle** öffnen und die Werte bearbeiten.

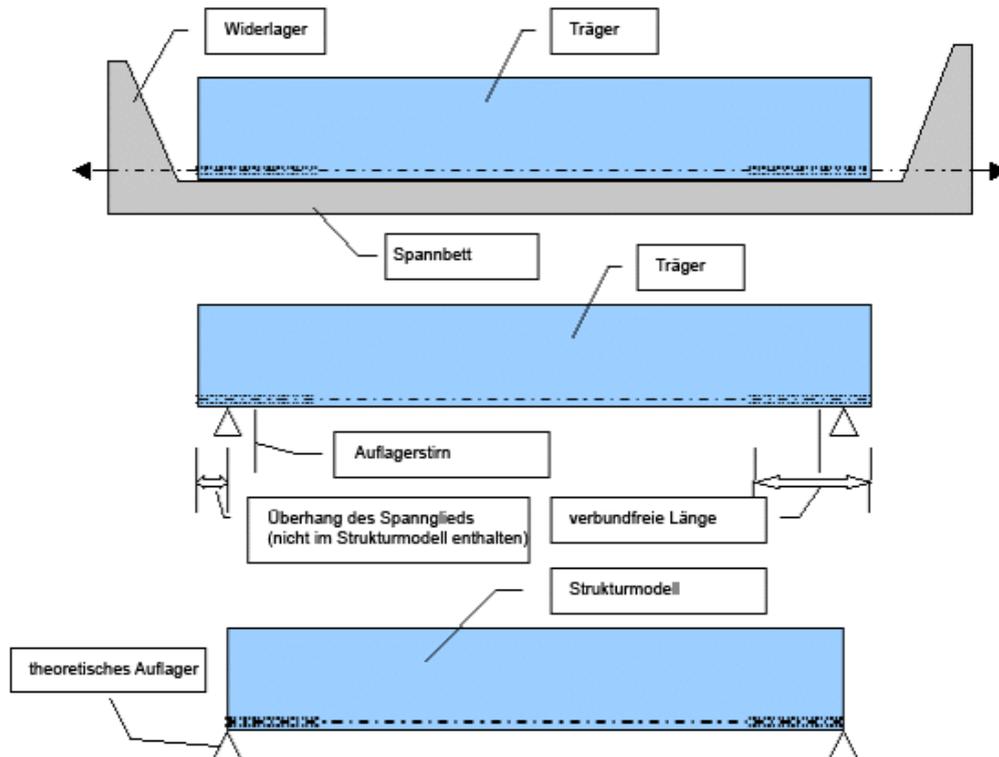
Eigenschaften vorgespannter Spannglieder

Der Dialog **Beton > Einstellungen** kann zum Definieren allgemeiner Eigenschaften und Vorspannungstypen für vorgespannte Spannglieder verwendet werden.

Spannverfahren	siehe Abbildung unter der Tabelle
Ankerschlupf	Ankerschlupf am gespannten Ende des Spannglieds
Anfangsspannung	gibt die Anfangsspannung am gespannten Ende des Spannglieds an (vor dem Verankern).
Korrekturspannung	gibt die Spannung am gespannten Ende des Spannglieds an. Der Betrag der Relaxation

	kann vermindert werden, indem die Spannung konstant gehalten wird (sogenannte Korrektur der Relaxation).
Dauer der Kurzzeit-Relaxation	gibt die Dauer zwischen dem Ende der Korrektur der Relaxation (sofern zutreffend) und dem Zeitpunkt der Verankerung an.
Dauer der Spannungsanhaltung	ist die Dauer der konstanten Spannung während der Korrektur der Relaxation.
Ankerlänge	ist die Dauer der Abbindung zwischen Beton und vorgespanntem Spannglied.
Länge der Spannglieder	ist die Gesamtlänge der Drähte oder Litzen (zwischen Keilen); für Spannbett-Vorspannung entspricht dies der Spannbettlänge plus der Länge der Widerlager (siehe Abbildung „Vorgespannter Träger“).
Abstand von Ausgabeschnitten	definiert die Schnitte, für die Ergebnisse ausgegeben werden.
Spannbettlänge	selbsterklärend
Spannbettverkürzung nach Vorspannung aller Spannglieder	selbsterklärend
Temperaturdehnzahl des Spannbetts	selbsterklärend
Temperatur der Spannglieder und des Spannbetts beim Vorspannen	selbsterklärend
Spanngliedtemperatur zur Zeit der Abbindung	selbsterklärend
Spannbetttemperatur zur Zeit der Abbindung	selbsterklärend

Vorgespannter Träger



Eingeben von Überhängen

- Sie legen die tatsächliche Länge des Spannglieds fest; dazu gehört auch die Länge des Überhangs (für diese tatsächliche Länge des Spannglieds werden nur Spannkraftverluste berechnet).
- Sie geben die Länge des Überhangs an beiden Enden ein. Diese Überhanglängen werden dann von der Gesamtlänge des Spannglieds abgezogen. Die Länge des Spannglieds in der FEM-Analyse entspricht der tatsächlichen Spanngliedlänge abzüglich der Überhänge an beiden Enden.

Beispiel:

Stab mit einer Länge von 10 Metern, Spannglied mit einer Länge von 11 Metern und Überhänge von je 0,5 Metern an jedem Ende. ==> Die Spanngliedlänge für die Berechnung der Verluste beträgt 11 Meter, die Spanngliedlänge in der FEM-Analyse beträgt 10 Meter.

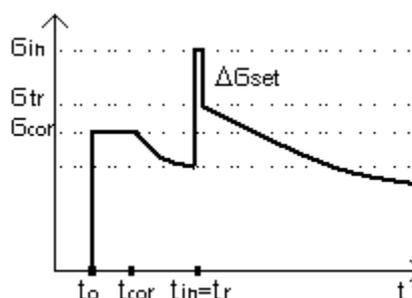
Name	KBL2
Description	
Number	3
Type	Internal
Layer	Vrstva1
Geometry	
Geometry input	Direct input
Allocation	...
Projection of intermediate points	Perpendicularly
Material	
Material	Y1860C-3,0
Number of tendon elements in tendon	1
Number of tendons in group	1
Area [mm ²]	7
Diameter of duct [mm]	60,00
Load Case	LC1 - prestress
Stressing	
Type of stressing	Type 3
Prestressing from	Begin
Coefficient of friction in curved part of tendon [-]	0,3
Unintentional angular displacement (per unit length) [-/m]	0,003
Anchorage set - begin [mm]	6,00
Stress during correcting - begin [MPa]	1440,00
Duration of keeping stress [sec]	300,00
Initial stress - begin [MPa]	1440,00
Overhang of tendon not included in analysis model - begin [m]	0,500
Overhang of tendon not included in analysis model - end [m]	0,500
Distance between sections for output [m]	0,500

	Coord X [m]	Coord Y [m]	Coord Z [m]
1	-0,500	0,000	3,800
2	10,500	0,000	3,800
*	0,000	0,000	0,000

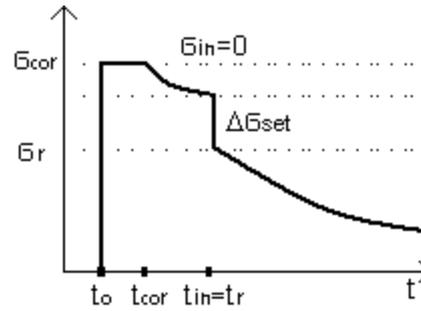
OK Cancel Apply

Spannverfahren

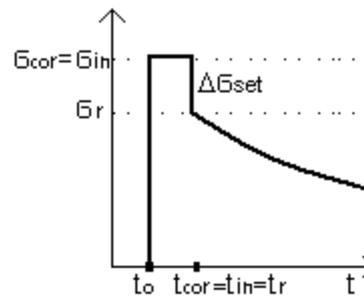
Typ 1



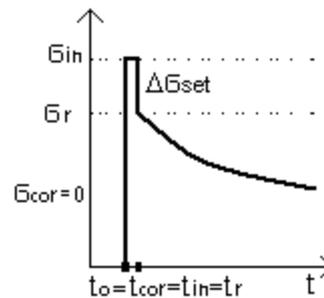
Typ 2



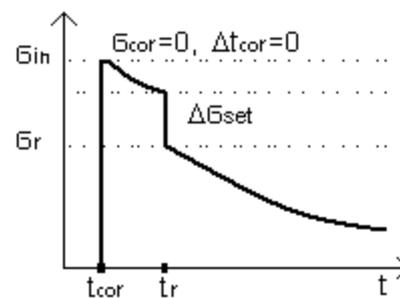
Typ 3



Typ 4



Typ 5



Arten von Spanngliedern

Tschechische Norm CSN 73 12 01:

- Kaltgezogene Drähte *PD, PP, PH, PV, PN, PNV*
- Litzen *LA, LB, LC, LD, LSA, LSB*

Tschechische Norm CSN 73 62 07:

- Kaltgezogene Drähte *P*
- Litzen *Lp, Ls*

EC2:

- Kaltgezogene Drähte *w*
- Profilierte Drähte *w*

- Litzen s
- Glatter Rundstahl b
- Rippenstäbe

Kurzzeitige Verluste

Kurzzeitige Verluste können im Voraus berechnet werden (bevor der Löser ausgeführt wird):

- Ankerschlupfverlust
- Verluste infolge der Spannbettverformung
- Verluste infolge der Stahl-Relaxation
- Verluste infolge der Temperaturunterschiede zwischen Spann Stahl und Spannbett

Neben diesen Verlusten werden auch noch weitere Verluste in der Methode für die Strukturanalyse berechnet. Drei Normen werden in Scia Engineer bezüglich der Berechnung dieser Verluste unterstützt:

- EC2
- CSN 73 6207
- CSN 73 1201

Die Verluste werden gemäß den Annahmen dieser Normen berechnet.

Hinweis:

CSN 736207 Art. 9.2.5 schreibt vor, dass ein gekrümmter Abschnitt eines Kanals, dessen Radius größer als das Verhältnis m_j/k ist, als gerades Segment betrachtet wird, dessen Länge der des gekrümmten Abschnitts entspricht.

Der Programmalgorithmus berücksichtigt diese Bedingung nicht. Eine derartige Situation tritt nur gelegentlich auf und wird daher nicht gesondert behandelt. Sie als Nutzer können das Problem umgehen, indem Sie für den Reibungsbeiwert in einer Kurve den Wert $m_j \cdot \alpha = k \cdot l$ setzen.

Die Einführung der EN-Norm wird von den Vorbereitungen eines allgemeinen Algorithmus begleitet, in dem $k \cdot l$ als unbeabsichtigte Änderung des Spanngliedwinkels angesehen wird, bei der l gleich der Summe der Längen der geraden und gekrümmten Abschnitte ist. In der Norm EN wird das beschriebene Problem daher automatisch gelöst.

Ankerschlupfverlust

Es gibt zwei Vereinfachungen beim Berechnen des Ankerschlupfverlustes:

1. EC2: Wir führen einen effektiven Kumulativwinkel $\gamma = \alpha + kx$ über eine Strecke x ein. Dabei ist x die Lagekoordinate, α der Schrägwinkel über die Strecke x , kx der nicht schräge Winkel über die Strecke x .
2. CSN 73 1201 und CSN 73 6207: Die Exponentialfunktionen für Reibungsberechnungen werden anhand der ersten beiden Glieder der Potenzfunktion angenähert.

Relaxation

Die Vorspannungsverluste infolge Stahl-Relaxation werden auf drei Ebenen eingeführt.

In der ersten Ebene wird die Korrektur der Relaxation berechnet, namentlich die Relaxation, die auftritt, während die Spannung vor dem Verankern konstant gehalten wird. Dabei entsteht de facto kein Verlust der Vorspannung. Im Gegenteil wird die in der Strukturanalyse angenommene Gesamtrelaxation um diesen Wert verringert. Die Relaxation in dieser Ebene wird nur für die Typen 1, 2 und 3 der Spannfolge angewandt (siehe [Eigenschaften vorgespannter Spannglieder](#) > Vorspannungstyp).

In der zweiten Ebene wird der Kurzzeit-Relaxationsverlust berechnet. Die Berechnung wird gemäß dem Spann- und Ankerverfahren für die Typen 1, 2 und 5 angewandt (siehe [Eigenschaften vorgespannter Spannglieder](#) > Vorspannungstyp).

In der dritten Ebene wird der Langzeit-Relaxationsverlust für alle fünf Spannfolgetypen berechnet. Dieser Relaxationsverlust tritt nach dem Verankern auf. Daher wirkt er sich auf das Langzeitverhalten der Gebäudestruktur aus und sollte als eine der Lasten in der zeitabhängigen Analyse angewandt werden. In Scia Engineer wird die Implementierung des Dehnungsäquivalents der Relaxation auf lange Sicht in verschiedenen Zeitpunkten nach t_{tr} angewandt (siehe [Eigenschaften vorgespannter Spannglieder](#) > Vorspannungstyp).

Die Berechnung aller hier genannten Relaxationsverluste beruht auf folgenden Prinzipien: Die Unterschiede zwischen den benutzten Verfahren für verschiedene Landesnormen bestehen lediglich in anderen Definitionen der Material-Eigenschaften. Zuerst wird der endgültige Relaxationsverlust berechnet, der sich nach dem Spannungsniveau für einen bestimmten

Schnitt entsprechend der charakteristischen Zugfestigkeit richtet. Im zweiten Schritt wird die relative Abnahme der Spannung bezogen auf den endgültigen Relaxationsverlust gemäß der Dauer der Spannung berechnet. Die einzige Vereinfachung ist die, dass Änderungen der Stahlspannung während des Intervalls keine Auswirkungen auf die Größenordnung der Relaxation zeigen. Zum Beispiel beeinflussen in der dritten Ebene die Verluste der Vorspannung infolge Kriechen und Schrumpfen des Betons den Betrag der Stahl-Relaxation nicht (sie sind unbedeutend).

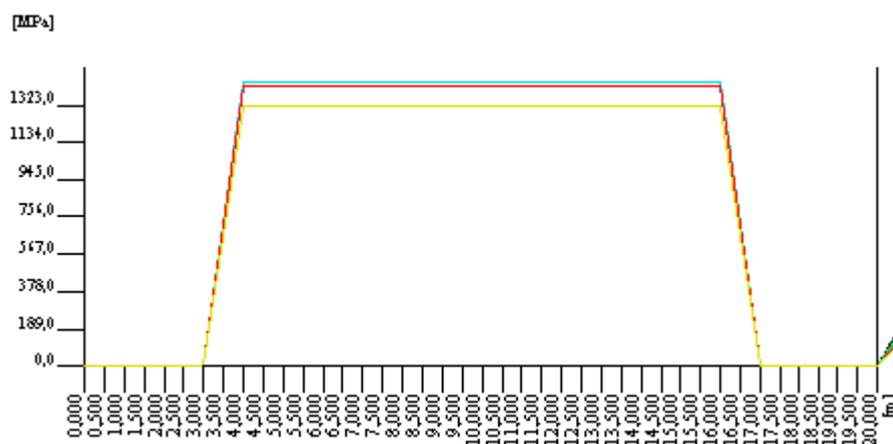
Der endgültige Relaxationsverlust ist in EC2 nicht definiert (lediglich die Relaxation bis zu 1.000 Stunden). Daher wird eine Schätzung der Relaxation auf 30 Jahre gemäß CEB FIP 1990 Modellnorm verwendet [2].

Ermitteln der Verluste

Sobald die genannten Eingabedaten bestimmt sind, können die Verluste berechnet werden.

So berechnen Sie die Verluste:

1. Wählen Sie das Stablitzmuster, für das die Verluste berechnet werden sollen.
2. Die Eigenschaften des Litzenmusters werden im Eigenschaftsfenster angezeigt.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Litzenmuster bearbeiten**.
4. Der Bearbeitendialog für das gewählte Litzenmuster erscheint.
5. Wählen Sie eine Litze, zu der Sie mehr erfahren möchten:
6. Die Eigenschaften werden unten rechts im Dialogfenster angezeigt.
7. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Verluste**.
8. Ein Vorschauenfenster erscheint. Es ist in zwei Bereiche unterteilt. Im ersten Bereich werden Einzelheiten zu den Spanngliedparametern sowie die Ergebnistabelle angezeigt. Mit der Symbolleiste oben im Fenster können Sie alle Daten in eine Datei exportieren (HTML, TXT, PDF, RTF) oder ausdrucken. Im zweiten Bereich eines Diagramms wird die Verteilung der verschiedenen Verluste entlang des Spannglieds angezeigt. Sie können den Maßstab des Diagramms oder der Beschriftung ändern. Im Kontextmenü (rechte Maustaste) finden Sie einige Grundfunktionen für das Bild: Zoom, Druck, In Zwischenablage kopieren, Speichern.



Spannbetten

Spannbettmanager

Der **Spannbettmanager** ist ein normaler Scia Engineer-Datenbankmanager. Sie können darin einzelne Spannbetten betrachten, eingeben, bearbeiten, löschen, drucken, exportieren oder importieren.

So öffnen Sie den Spannbettmanager:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bibliothek**.
2. Öffnen Sie den Zweig **Sonder-Spannbettvorspannung**.
3. Starten Sie die Funktion **Spannbetten**.
4. Der **Spannbettmanager** wird geöffnet.

Definieren von Spannbetten

So definieren Sie ein neues Spannbett:

1. Öffnen Sie den [Spannbettmanager](#).
2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Neu**.
3. Ein neues Spannbett wird im Manager hinzugefügt. Sie können es direkt im Manager bearbeiten.
4. Definieren Sie die Parameter.
5. Schließen Sie den Manager.

Bearbeitendialog für Spannbetten

Name	selbsterklärend
Länge der Spannglieder	selbsterklärend
Temperaturverlust	legt fest, ob Verluste infolge der Temperaturunterschiede zwischen Spann Stahl und Spannbett berechnet werden.
Spannbettlänge	selbsterklärend
Temperaturdehnzahl des Spannbetts	selbsterklärend
Temperatur der Spannglieder und des Spannbetts beim Vorspannen	selbsterklärend
Spanngliedtemperatur zur Zeit der Abbindung	selbsterklärend
Spannbetttemperatur zur Zeit der Abbindung	selbsterklärend
Verlust infolge der Spannbettverformung	legt fest, ob Verluste infolge der Spannbettverkürzung nach Vorspannung aller Spannglieder berechnet werden. Das Spannbett ist eine Hilfskonstruktion zwischen Widerlagern für die Schalung. Es kann von beschränkter Steifigkeit in Bezug zu den hohen Kräften, die beim Spannen auftreten, sein.
Spannbettverkürzung nach aller Spannglieder	selbsterklärend

Bearbeiten von Spannbetten

So bearbeiten Sie Spannbetten:

1. Öffnen Sie den [Spannbettmanager](#).
2. Wählen Sie das Spannbett.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bearbeiten**.

4. Der Bearbeitendialog für Spannbetten erscheint.
5. Ändern Sie die gewünschten Parameter.
6. Bestätigen Sie mit **OK**.
7. Schließen Sie den Manager.

Beschleunigen der Härtung durch Erwärmung oder Dampfbehandlung

1 Allgemein

Dieses Kapitel behandelt die Herstellung von Fertigteilelementen aus Beton. Die Zugaberegeln für Betonfertigteile und Strukturen sind in EN1992-1-1 Kapitel 10 und Anhang B beschrieben. Die Erwärmung beschleunigt das Reifen des Betons und den Spannverlust des Spannstahls.

2 Beschleunigung der Härtung durch Erwärmung oder Dampfbehandlung

Sie können die Beschleunigung der Härtung in der Spannbett-Bibliothek wählen. Sobald Sie die Option **Beschleunigung der Härtung durch Erwärmung oder Dampfbehandlung** aktivieren, werden zwei weitere Kontrollkästchen angezeigt. Hier wählen Sie, ob die Erwärmung die **Betonreife** und die **Beschleunigung der Relaxation** beeinflusst.

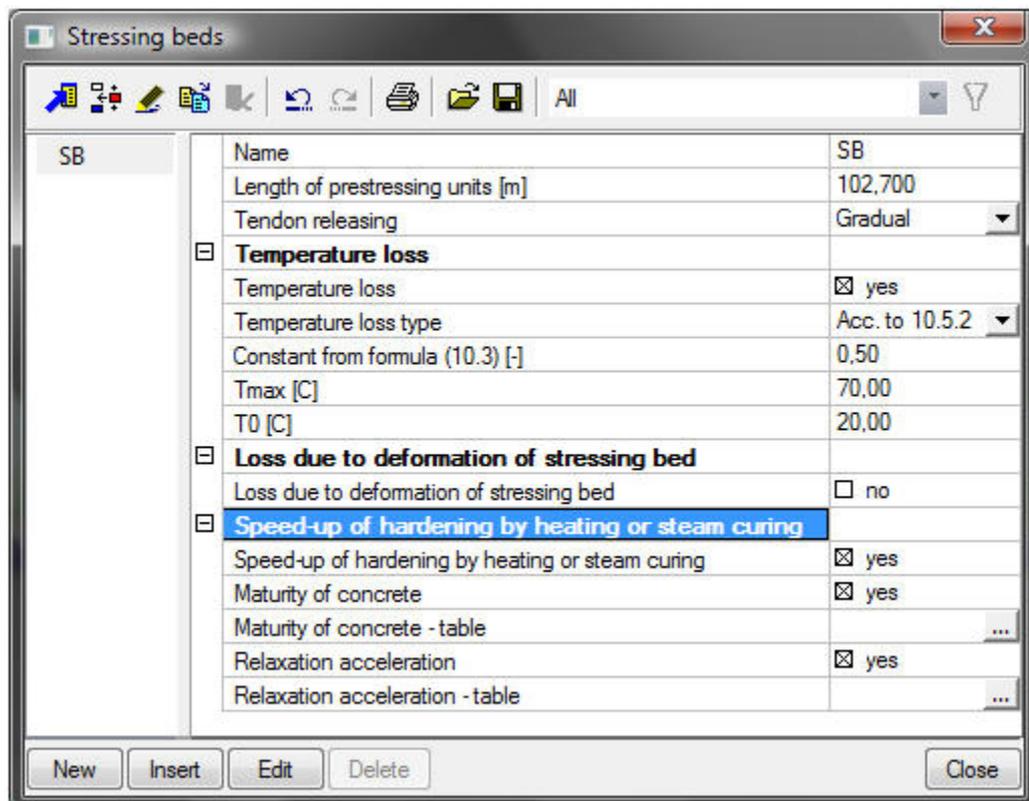


Abb. 1: Dialog für Spannbetten

2.1 Betonreife

2.1.1 Theorie

Die Auswirkung höherer oder niedrigerer Temperaturen zwischen 0 und 80°C auf die Betonreife kann durch Anpassen des Betonalters gemäß Formel B.10 der EN 1992-1-1 berücksichtigt werden.

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-(4000 / [273 + T(\Delta t_i)] - 13,65)} \cdot \Delta t_i$$

dabei gilt:

t_T ist das um die Temperatur bereinigte Betonalter. Der Wert ersetzt die Variable t in den entsprechenden Formeln.

$T(\Delta t_i)$ ist die Temperatur in °C während des Zeitraums Δt_i .

Δt_i ist die Anzahl der Tage, in denen die Temperatur T herrscht.

2.1.2 Umsetzung in Scia Engineer

Der Spannbettendialog enthält das neue Kontrollkästchen **Betonreife**. Wenn Sie dieses Kontrollkästchen aktivieren, können Sie den Anfang des Zeitintervalls (t_i), in dem die Temperatur ($T_c(\Delta t_i)$) herrscht, über eine Ellipsenschaltfläche festlegen. Der Zeitraum (Δt_i) wird als Differenz zwischen den eingegebenen Zeiten (t_i) berechnet. Sie sollten die Temperatur als Mittelwert $T_c(\Delta t_i)$ für das Zeitintervall Δt_i gemäß Formel B.10 festlegen.

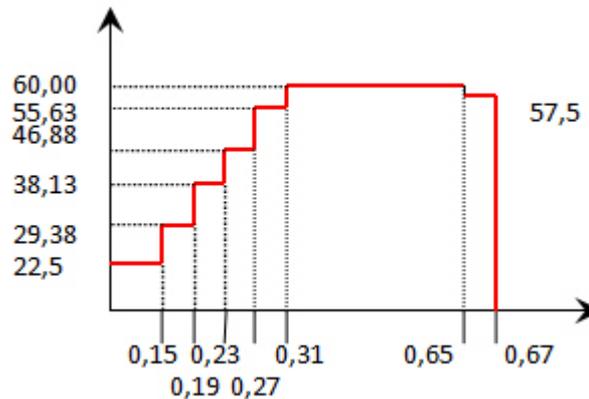


Abb. 2: Zeit-Temperatur-Verlauf

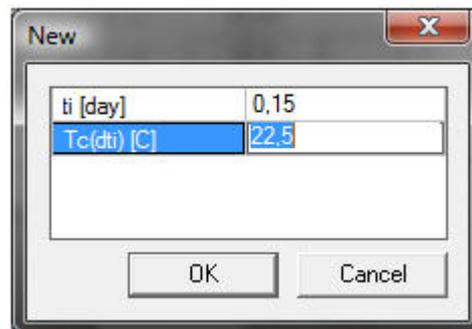


Abb. 3: Neues Zeit-Temperatur-Intervall

Maturity of concrete - table

	t	ti [day]	d _{ti} [day]	T _c (d _{ti}) [C]	ti(adj) [day]
1	t ₀	0,00	0,00	20,00	0,00
2	t ₁	0,15	0,15	22,50	0,16
3	t ₂	0,19	0,04	29,38	0,23
4	t ₃	0,23	0,04	38,13	0,32
5	t ₄	0,27	0,04	46,88	0,45
6	t ₅	0,31	0,04	55,63	0,63
7	t ₆	0,65	0,33	60,00	2,35
8	t ₇	0,67	0,02	57,5	2,45

Add Delete Delete all Load

Concrete characteristics

Concrete C12/15

E_{cm} 2,2581e+004 MPa

f_{ck} 3,0224e+000 MPa

f_{cm} 1,1022e+001 MPa

OK Cancel

Abb. 4: Betonreife-Tabelle

Der untere Dialogteil enthält Betonparameter. Diese Parameter können nicht geändert werden und werden aus der gewählten Betonklasse abgeleitet. Aus den Eingabewerten wird eine neue Zeit $t_i(\text{adj})$ gemäß Formel B.10 berechnet. Diese angepasste Zeit wird dann in der zeitabhängigen Bauphasenanalyse verwendet. Sie können die Zeit in den Stabeinstellungen (lokale Zeitachse) überprüfen. Die Betonreife des Stabes, für den Sie die Einstellungen vornehmen, wird anhand des Zeitpunkts der Betoneinbringung angepasst.

Properties

Beam construction stages settings (1)

Name	Value
Local time axis	LBH
Time of casting [day]	-0,67
Time adjusted for time of casting [day]	-2,45
Time of end of curing [day]	0,00
Duration of curing of composite parts of cross-section [day]	2,00
Line support (formwork)	<input checked="" type="checkbox"/>
Time of instalation of fomwork [day]	-0,67
Time adjusted for time instalation of fomwork [day]	-2,45
Time of releasing of displacements in X direction [day]	0,00
Time of releasing of displacements in Z direction [day]	0,00
Time of releasing in rotation [day]	0,00
Member	B2

Abb. 5: Dialog „Balken einstellen“

3 Beschleunigung der Relaxation

3.1.1 Theorie

Für vorgespannte Teile wird die Auswirkung der Temperaturerhöhung während der Härtung des Betons auf die Relaxationsverluste berücksichtigt. Die gleichwertige Zeit t_{eq} wird zur Zeit nach der Vorspannung t in den Relaxationszeitfunktionen (3.3.2(7)) addiert, um die Auswirkungen der Wärmebehandlung auf die Vorspannungsverluste infolge der Relaxation des Spannstahls zu berücksichtigen. Die äquivalente Zeit kann anhand der Formel 10.2 aus EN1992-1-1 bestimmt werden.

$$t_{eq} = \frac{114^{T_{max}-20}}{T_{max} - 20} \sum_{i=1}^n (T_{(\Delta t_i)} - 20) \Delta t_i$$

dabei gilt:

t_{eq} ist die äquivalente Zeit (in Stunden)

$T(\Delta t_i)$ ist die Temperatur in °C während des Zeitraums Δt_i .

T_{max} ist die Höchsttemperatur in °C während der Wärmebehandlung.

3.1.2 Umsetzung in Scia Engineer

Der Spannbettendialog enthält das neue Kontrollkästchen **Beschleunigung der Relaxation**. Wenn Sie dieses Kontrollkästchen aktivieren, können Sie den Anfang des Zeitintervalls (t_i in Stunden), in dem die Temperatur ($T_p(\Delta t_i)$) herrscht, über eine Ellipsenschaltfläche festlegen. Der Zeitraum (Δt_i) wird als Differenz zwischen den eingegebenen Zeiten (t_i) berechnet. Wenn die Option „Beschleunigung der Relaxation“ aktiviert ist, können Sie die Beschleunigung der Relaxation in der neuen Tabelle beeinflussen.



Abb. 6: Neues Zeit-Temperatur-Intervall

Relaxation acceleration - table

	t	ti [hour]	dti [hour]	Tp(dti) [C]	ti(adj) [hour]
1	t0	0,00	0,00	20,00	0,00
2	t1	3,50	3,50	22,50	44,87
3	t2	4,512	1,01	29,38	90,50
4	t3	5,50	0,98	38,13	175,70
5	t4	6,50	1,01	46,88	304,63
6	t5	7,51	1,01	55,63	475,21
7	t6	15,50	7,99	60,00	1992,76
8	t7	16,01	0,50	57,50	2082,51

Add Delete Delete all Load

OK Cancel

Abb. 7: Betonreife-Tabelle

Die Werte in der Tabelle „Beschleunigung der Relaxation“ können über die Schaltfläche „Einlesen“ aus der Betonreife-Tabelle übernommen werden. Die Zeit t_{eq} wird zum Ermitteln der Dauer der Kurzzeit-Relaxation vorgespannter Litzen verwendet. Sie können diese im Dialog „Stablitzmuster“ über die Schaltfläche „Verlust“ einsehen.

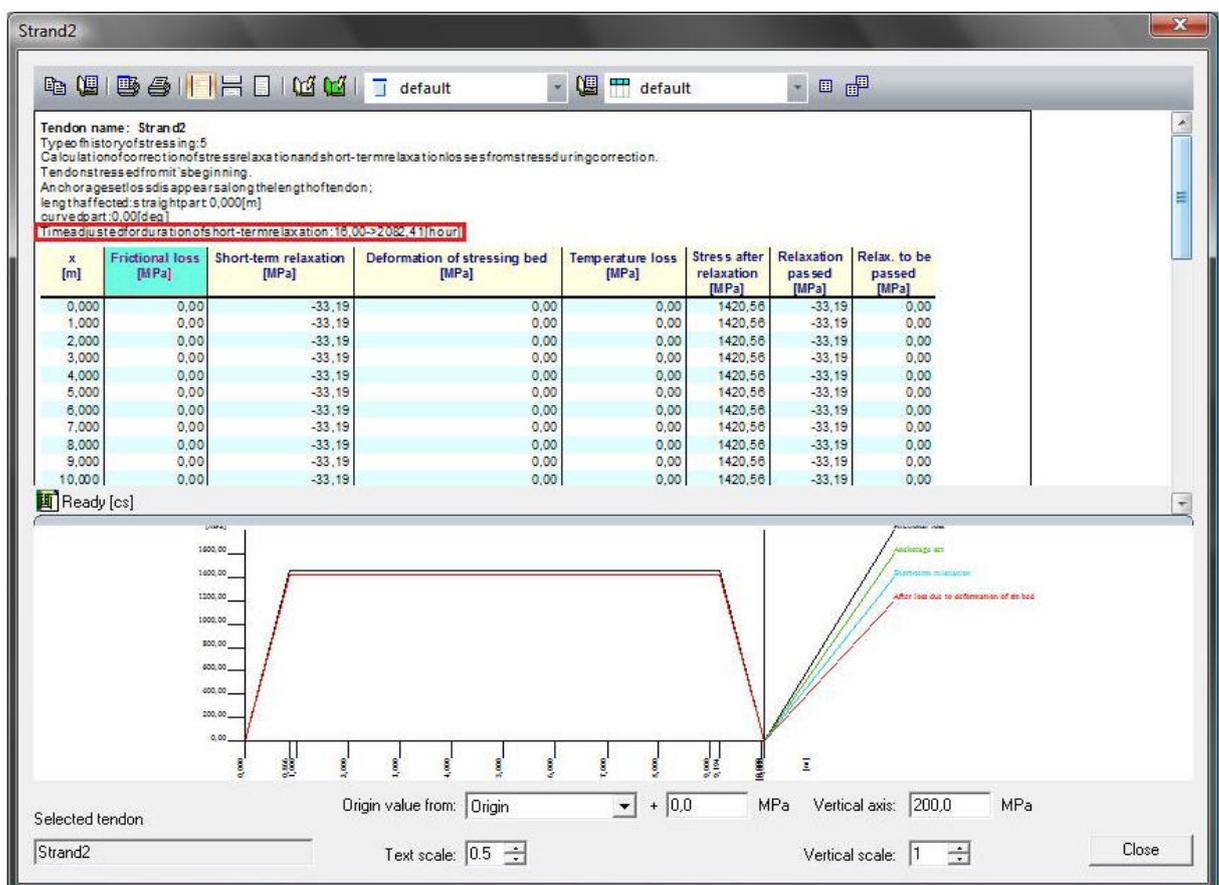


Abb. 8: Kurzzeit-Verluste vorgespannter Litzen

Bohrlochmuster

Bohrlochmuster

Vor dem Fertigen eines vorgespannten Stabes wird eine Stahlplatte am Ende des Spannbettes montiert. Diese Platte enthält Löcher, die die Position der Litzen im Querschnitt des Stabes festlegen. Es müssen nicht alle Löcher für jeden Stab verwendet (mit einer Litze belegt) werden. Einige Löcher können leer bleiben. Darum unterscheidet Scia Engineer zwischen **Bohrlochmustern** und [Querschnitts-Litzenvorlagen](#).

Zuerst wird ein Bohrlochmuster definiert, um daraus eine Querschnitts-Litzenvorlage zu erstellen. Beide Objekte legen die Position der Litzen im Querschnitt des vorgespannten Stabes fest.

Hinweis: Weitere Informationen zur Herstellung vorgespannter 1D-Teile finden Sie in [\[3\]](#).

Bohrlochmuster-Manager

Der **Bohrlochmuster-Manager** ist ein normaler Scia Engineer-Datenbankmanager. Sie können darin einzelne Bohrlochmuster betrachten, eingeben, bearbeiten, löschen, drucken, exportieren oder importieren.

So öffnen Sie den Bohrlochmuster-Manager:

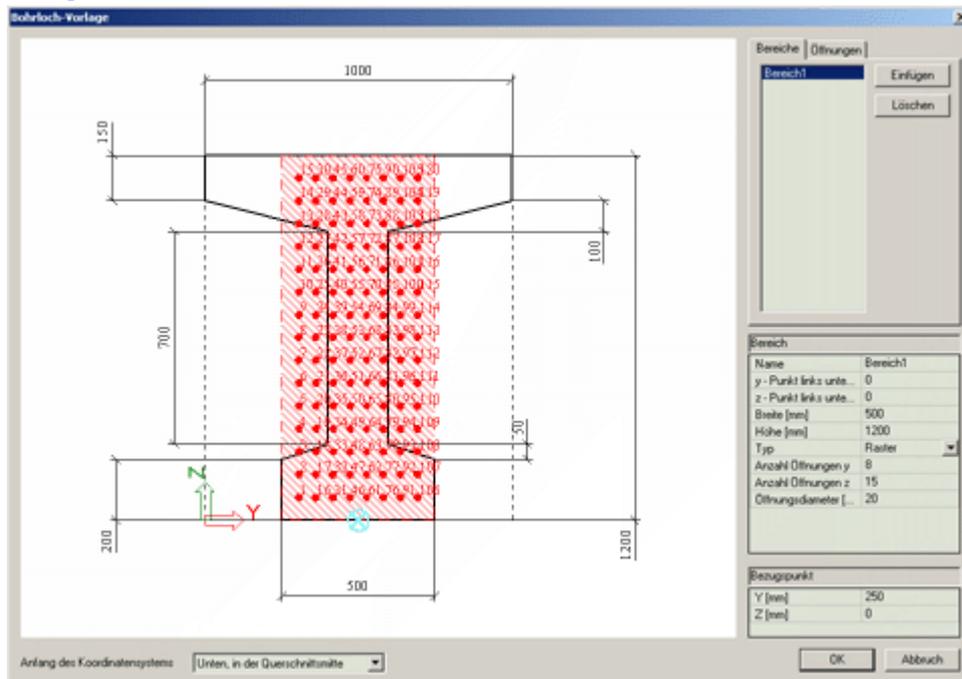
1. Öffnen Sie den Dienst **Bibliothek**.
2. Öffnen Sie den Zweig **Sonder-Spannbettvorspannung**.
3. Rufen Sie die Funktion **Bohrlochmuster** auf.
4. Der **Bohrlochmuster-Manager** erscheint.

Definieren von neuen Bohrlochmustern

So definieren Sie ein neues Bohrlochmuster:

1. Öffnen Sie den [Bohrlochmuster-Manager](#).
2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Neu**.
3. Der **Querschnitt-Datenbankmanager** erscheint.
4. Wählen Sie den Querschnitt, für den Sie ein neues Bohrlochmuster definieren möchten.
5. Schließen Sie den **Querschnitt-Datenbankmanager**.
6. Der Bearbeitendialog für das gewählte Bohrlochmuster erscheint.
7. Definieren Sie das Bohrlochmuster.
8. Bestätigen Sie mit **OK**.

Bearbeitendialog für Bohrlochmuster



Der Dialog zum Definieren oder Bearbeiten von Bohrlochmustern besteht aus folgenden Bereichen:

- Grafikfenster
- Definition des Koordinatensystems
- Bereich zum Eingeben von Regionen und Löchern
- Definition des Bezugspunktes

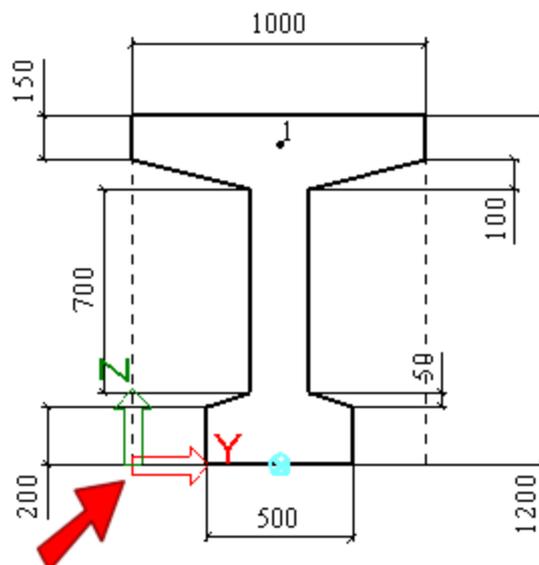
Grafikfenster

Das Grafikfenster zeigt den gewählten Querschnitt und das definierte Lochmuster an. Es unterstützt die Standardfunktionen von Scia Engineer für Grafikfenster:

- Kontextmenü mit Funktionen für Zoomen, Drucken und Exportieren
- **Strg + Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verkleinern und Vergrößern
- **Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verschieben des Ausschnitts

Definition des Koordinatensystems

Sie können den Ursprung des Eingabe-Koordinatensystems wählen. Das gewählte System wird im Grafikfenster markiert. Beispiel:



Eingeben von Regionen und Löchern

Die Löcher in der Platte können individuell oder als Block in bestimmten Regionen (Bereichen) definiert werden. Eine Region darf auch nur ein Loch enthalten.

Regionen

Eine Region ist stets rechteckig und wird durch ihre Größe und Lage im Querschnitt bestimmt. Die Löcher sind stets regelmäßig in der Region verteilt. Sie können entweder (i) die Anzahl der Löcher in horizontaler und vertikaler Richtung oder (ii) die Lage des ersten Lochs in jeder Richtung und den Abstand zwischen den Löchern in dieser Richtung angeben.

Name	legt den Namen der Region fest.
Links unten y Links unten z	legt die Koordinaten der unteren linken Ecke der Region fest.
Breite	legt die Breite der Region fest.
Höhe	legt die Höhe der Region fest.
Typ	Sie können den Definitionstyp für die Löcher in der Region auswählen: Mit Gitter geben Sie die Anzahl der Löcher je Region an. Mit Inkrement bestimmen Sie die Lage des ersten Lochs in jeder Richtung und den Abstand zwischen den Löchern in dieser Richtung.
Anzahl Öffnungen y Anzahl Öffnungen z	Geben Sie hier die Lochanzahl für den Typ Gitter ein.
Erste Öffnung y Erste Öffnung z	Geben Sie hier die Löcher für den Typ Inkrement ein. Es wird die Lage des ersten Loches definiert.
Dy Dz	Geben Sie hier die Löcher für den Typ Inkrement ein. Es wird der Abstand zwischen zwei Löchern definiert.
Lochdurchmesser	bestimmt den Lochdurchmesser.

Löcher

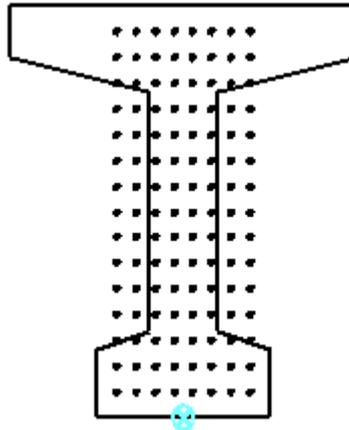
Löcher können direkt (als Lagekoordinaten im Querschnitt) angegeben werden.

ID	(informativ) gibt die Lochnummer an. Die Nummer wird automatisch vom Programm vergeben.
Name	legt den Namen des Lochs fest.
Y Z	sind die Koordinaten des Loches.
Lochdurchmesser	bestimmt den Lochdurchmesser.

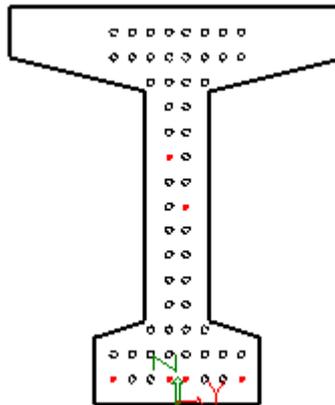
Löcher können kopiert werden. Wählen Sie aus, ob es sich um eine Einzel- oder eine Mehrfachkopie handelt, geben Sie den Abstand zwischen den Kopien ein und gegebenenfalls die Anzahl der Kopien. Zum Kopieren klicken Sie einfach auf die Schaltfläche **Kopieren** neben der Lochliste und tragen die Parameter im Kopierendialog ein.

Hinweis: Wenn Sie die Löcher in den Regionen definieren, kann es vorkommen, dass einige Löcher außerhalb des Querschnitts liegen (besonders, wenn der Querschnitt nicht rechteckig ist). Diese außen liegenden Löcher müssen nicht bearbeitet werden, da sie beim Definieren der Querschnitts-Litzenvorlage automatisch ausgefiltert werden. Litzen können nur in echte und korrekte Löcher geführt werden.

**Definierte
Löcher im
Bohrlochmuster**



**Verfügbare
Löcher in der
Querschnitts-
Litzenvorlage**



Bezugspunkt

Der Bezugspunkt kann zum Platzieren des Bohrlochmusters im Profil des 1D-Teils verwendet werden, wenn die Querschnitts-Litzenvorlage erstellt wird (Sie werden aufgefordert, das Bohrlochmuster im Querschnitt zu platzieren). Normalerweise können Sie die Standardeinstellung übernehmen. Wenn Sie allerdings eine besondere Konfiguration des Bohrlochmusters benötigen, können Sie ein wenig mit dem Bezugspunkt spielen, und ein Bohrlochmuster verwenden, um unterschiedliche Positionen der Litzen im 1D-Teil zu erzielen.

Bearbeiten von Bohrlochmustern

So bearbeiten Sie Bohrlochmuster:

1. Öffnen Sie den [Bohrlochmuster-Manager](#).
2. Wählen Sie das Bohrlochmuster.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bearbeiten**.
4. Der Bearbeitendialog für das gewählte Bohrlochmuster erscheint.
5. Nehmen Sie Ihre Bearbeitung vor.
6. Bestätigen Sie mit **OK**.

Hinweis: Weitere Informationen zum Bearbeitendialog finden Sie im Kapitel [Definieren von neuen Bohrlochmustern](#).

Querschnitts-Litzenvorlage

Querschnitts-Litzenvorlage

Querschnitts-Litzenvorlagen legen die Position der Litzen im Endschnitt eines vorgespannten Stabes fest. Zuerst muss ein [Bohrlochmuster](#) definiert werden, aus dem dann die Querschnitts-Litzenvorlage erzeugt werden kann.

Hinweis: Weitere Informationen zur Herstellung vorgespannter 1D-Teile finden Sie in [\[3\]](#).

Querschnitts-Litzenvorlagenmanager

Der **Querschnitts-Litzenvorlagenmanager** ist ein normaler Scia Engineer-Datenbankmanager. Sie können darin einzelne Querschnitts-Litzenvorlagen betrachten, eingeben, bearbeiten, löschen, drucken, exportieren oder importieren.

So öffnen Sie den Querschnitts-Litzenvorlagenmanager:

1. Öffnen Sie den Dienst **Bibliothek**.
2. Öffnen Sie den Zweig **Sonder-Spannbettvorspannung**.
3. Rufen Sie die Funktion **Querschnitts-Litzenvorlage** auf.
4. Der **Querschnitts-Litzenvorlagenmanager** erscheint.

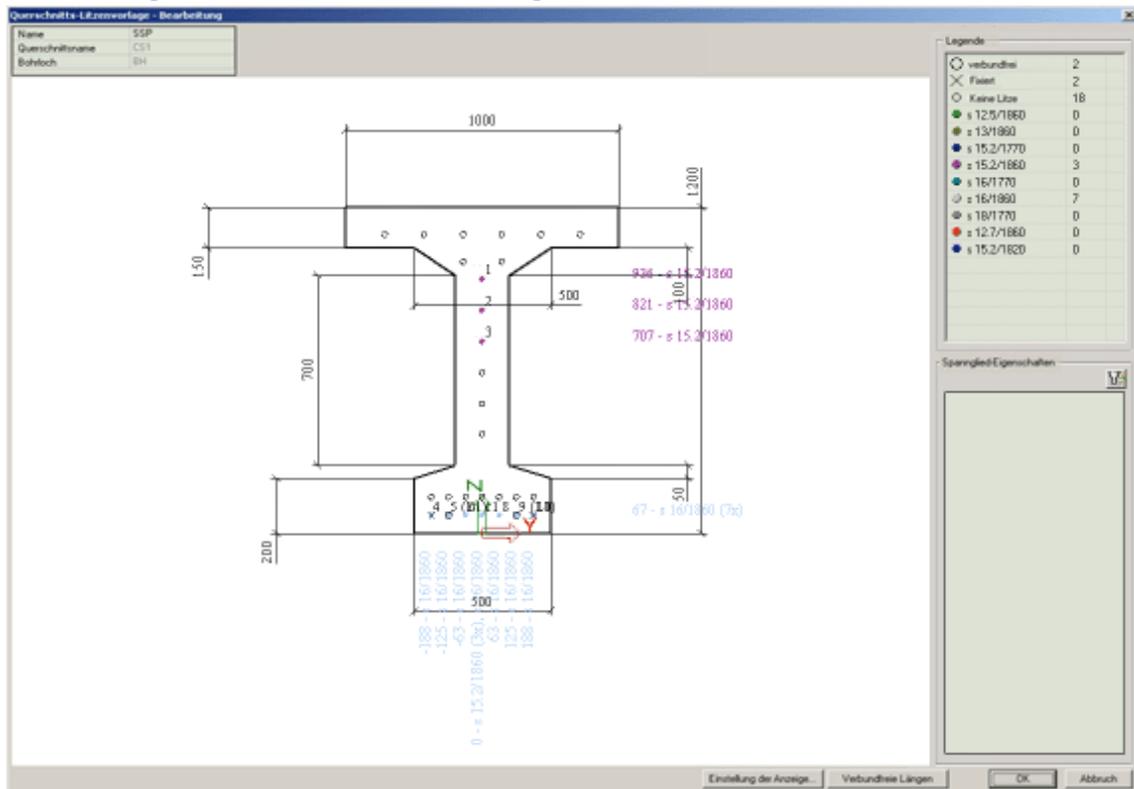
Definieren von neuen Querschnitts-Litzenvorlagen

So definieren Sie eine neue Querschnitts-Litzenvorlage:

1. Öffnen Sie den [Querschnitts-Litzenvorlagenmanager](#).
2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Neu**.
3. Der **Querschnitt-Datenbankmanager** erscheint.
4. Wählen Sie den Querschnitt, für den Sie eine neue Litzenvorlage definieren möchten.
5. Schließen Sie den **Querschnitt-Datenbankmanager**.
6. Wählen Sie die Ankerplattenvorlage, für die Sie eine neue Querschnitts-Litzenvorlage definieren möchten.
7. Schließen Sie den **Manager für Ankerplattenvorlagen**.
8. Ein kleiner Platzierungsdialo g erscheint.
9. Platzieren Sie die Ankerplattenvorlage im Querschnitt (siehe Hinweis unten).
10. Der Bearbeitendialo g für die gewählte Querschnitts-Litzenvorlage erscheint.
11. Definieren Sie die neue Querschnitts-Litzenvorlage.
12. Bestätigen Sie mit **OK**.

Hinweis: Das Platzieren der Ankerplattenvorlage im Querschnitt kann wichtig sein, wenn Sie später einmal die Höhe des Querschnitts ändern möchten. Die Lage der Litzen bezieht sich auf den Bezugspunkt und wird von Änderungen der Abmessungen nicht beeinflusst. Sie können den Bezugspunkt so wählen, dass er Ihre Anforderungen erfüllt.

Bearbeitendialog für Querschnitts-Litzenvorlagen



Der Dialog zum Definieren oder Bearbeiten von Querschnitts-Litzenvorlagen besteht aus folgenden Bereichen:

- Grafikfenster
- Infotabelle
- Legende
- Litzeneigenschaften
- Schaltfläche „Anzeigeparameter“
- Schaltfläche „Verbundfreie Länge“
- Bedienschnittflächen

Grafikfenster

Das Grafikfenster zeigt den gewählten Querschnitt und das definierte Lochmuster an. Es unterstützt die Standardfunktionen von Scia Engineer für Grafikfenster:

- Kontextmenü mit Funktionen für Zoomen, Drucken und Exportieren
- **Strg + Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verkleinern und Vergrößern
- **Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verschieben des Ausschnitts

Infotabelle

Diese Tabelle wird oben links im Dialogfenster angezeigt.

Name	legt den Namen der Vorlage fest.
Querschnittsname	(informativ) enthält Informationen zum Querschnitt der Vorlage.
Ankerplatte	(informativ) enthält Informationen zur Ankerplatte der Vorlage.

Legende

Die Legende hat zwei Aufgaben:

- (informativ) Sie erläutert die Symbole aus dem Grafikfenster (jeder Litzentyp verwendet eine spezielle Markierung oder Farbe).
- (aktiv) Sie dient zum Eingeben einzelner Litzen für die Ankerplatte.

So geben Sie eine neue Litze ein:

1. Wählen Sie in der **Legende** Material und Durchmesser für die Litze.
2. Klicken Sie im Grafikfenster auf die Löcher, in die eine Litze eingesetzt werden soll.
3. Wenn Sie mehr Materialien oder Durchmesser kombinieren müssen, wiederholen Sie die Schritte 1 und 2.

So löschen Sie eine Litze:

1. Wählen Sie in der **Legende** den Eintrag **Keine Litze**.
2. Klicken Sie im Grafikfenster auf die Litze, die entfernt werden soll.

So definieren Sie verbundfreie oder starre Litzen:

1. Wählen Sie in der **Legende** den Eintrag **Verbundfrei** oder **Starr**.
2. Klicken Sie im Grafikfenster auf die entsprechende(n) Litze(n).

Sie können diese beiden Eigenschaften auch im Eigenschaftsfenster der Litze angeben (siehe unten).

Litzeneigenschaften

Wenn eine Litze im Grafikfenster gewählt wird, werden die zugehörigen Eigenschaften im Eigenschaftsfenster angezeigt.

Name

legt den Namen der Litze fest.

Kennung

legt die Kennung (ID) der Litze fest.

Gruppe

(informativ) gibt die Litzengruppennummer an.

Material

bestimmt Material und Durchmesser.

Lage in Öffnung

gibt die Lage des Spannglieds in der Öffnung an (mittig, oben, unten, links, rechts).

Starr

gibt an, dass die Litze starr (fixiert) ist. Die starre Litze hat eine feste Position im Querschnitt entlang der gesamten Länge des 1D-Teils. Sie ist gerade.

Verbundfreie Länge

gibt an, ob die Litze am Ende verbundfrei ist und über welche Länge.

Die verbundfreie Litze hat ebenfalls eine feste Position im Querschnitt entlang der gesamten Länge des 1D-Teils. Sie ist gerade.

Reihenfolge der Vorspannung

legt die Reihenfolge fest, in der die Litzen vorgespannt werden.

Vorspannungstyp

siehe Kapitel [Eigenschaften vorgespannter Spannglieder](#).

Korrekturspannung

Spannung am gespannten Ende von Spanngliedern; der Betrag der Relaxation kann vermindert werden, indem die Spannung konstant gehalten wird (sogenannte Korrektur der Relaxation).

Dauer der Spannungsanhaltung

ist die Dauer der konstanten Spannung während der Korrektur der Relaxation.

Anfangsspannung

gibt die Anfangsspannung am gespannten Ende des Spannglieds an (vor dem Verankern).

Ankerschlupf

gibt den Schlupf am gespannten Ende der Litze an.

Eintragungslänge festlegen

gibt an, wie die Eintragungslänge bestimmt wird. Sie kann berechnet oder eingegeben werden.

Eintragungslänge

ist die Dauer der Abbindung zwischen Beton und vorgespanntem Spannglied.

Hinweis: Beachten Sie den Abschnitt **Eintragungs- und Ankerlängen** am Ende des Themas.

Abstand von Ausgabeschnitten

legt den Abstand für die Ausgabe fest.

Haken

definiert die Lage des Hakens.

Position Y, Z

(informativ) zeigt die Position der Litze an.

Hinweis: Sie können im Eigenschaftsfenster eine Auswahl nach Eigenschaft treffen. Wählen Sie eine Litze und anschließend im Eigenschaftsfenster die Eigenschaft, an der Sie interessiert sind. Klicken Sie auf das Trichtersymbol oben rechts im Eigenschaftsfenster, um alle Litzen mit derselben Eigenschaft zu wählen. Die gewählten Litzen werden im Grafikfenster markiert. Diese Funktion kann für aktive und informative Eigenschaften benutzt werden.

Hinweis: Sie können eine Mehrfachauswahl von Litzen im Grafikfenster vornehmen. Halten Sie die Taste **Strg** gedrückt und klicken Sie mit der linken Maustaste. Sie können die Eigenschaften einer Mehrfachauswahl für alle gewählten Elemente auf einen Schlag ändern.

Anzeigeparameter

Diese Schaltfläche öffnet einen Dialog mit Ansichtsparemtern. Die Bedeutung ist größtenteils selbsterklärend.

Verbundfreie Längen

Sie können hier verschiedene verbundfreie Längen definieren. Eine verbundfreie Länge kann dann im Eigenschaftsfenster einer Litze zugeordnet werden.

Eintragungs- und Ankerlängen

Für alle Normen bis auf die Eurocodes ist die Eintragungslänge der einzige Wert (bezogen auf die Abbindung), der im Ausgabedokument angezeigt wird.

In EC-EN ist neben der **Eintragungslänge** auch die **Ankerlänge** (Verankerung) definiert. Die **Ankerlänge** wird nicht automatisch ermittelt.

Die Eintragungslänge l_{pt} ist die Länge, über die die anfängliche Vorspannkraft in den Beton übertragen wird.

Die Ankerlänge l_{bpd} ist die Länge, über die die Vorspanngrenzkraft in den Beton übertragen wird.

Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) sind **Querschnittsnachweis** und **Tragfähigkeitsnachweis**. Beide Nachweise nutzen die Ankerlänge, um die Transferlänge der Vorspannung zu bestimmen.

Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit

Die Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit (GZG) sind **Rissbreitennachweis** und **Zulässige Betonspannungen**. Beide Nachweise nutzen die Eintragungslänge, um die Transferlänge der Vorspannung zu bestimmen.

Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit unter Benutzung der Eintragungslänge

Diese Gruppe umfasst **Zulässige Hauptspannung** und **Nachweis des mechanischen Widerstands von Hohlkammerfeldern**. Beide Nachweise nutzen die Eintragungslänge, um die Transferlänge der Vorspannung zu bestimmen.

Bearbeiten von Querschnitts-Litzenvorlagen

So bearbeiten Sie Querschnitts-Litzenvorlagen:

1. Öffnen Sie den [Querschnitts-Litzenvorlagenmanager](#).
2. Wählen Sie ein Litzmuster.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bearbeiten**.
4. Der Bearbeitendialog für die gewählte Querschnitts-Litzenvorlage erscheint.
5. Ändern Sie die Parameter der gewählten Querschnitts-Litzenvorlage.
6. Bestätigen Sie mit **OK**.
7. Schließen Sie den Manager.

Stablitzenmuster

Stablitzenmuster

Wenn eine [Querschnitts-Litzenvorlage](#) definiert wurde (also zuvor auch ein [Bohrlochmuster](#)), können Sie die Form der vorgespannten Spannglieder entlang des Stabes definieren. In Scia Engineer wird diese Form anhand eines Stablitzenmusters definiert. Dabei handelt es sich um eine Gruppe von Litzensystemen für einzelne Schnitte auf dem 1D-Teil.

Sowohl das 1D-Teil als auch die Vorspannungsbewehrung werden als symmetrisch angenommen, sodass nur eine Hälfte des 1D-Teils definiert werden muss.

Die Form der Bewehrung bestimmt, wie viele Schnitte für jedes Stablitzenmuster erstellt werden müssen. Wenn die Litzen ihre Lage im Schnitt nicht verändern, reicht ein Schnitt (die Querschnitts-Litzenvorlage) aus.

Definieren von neuen Stablitzenmustern

So definieren Sie ein neues Stablitzenmuster aus einem Bohrlochmuster:

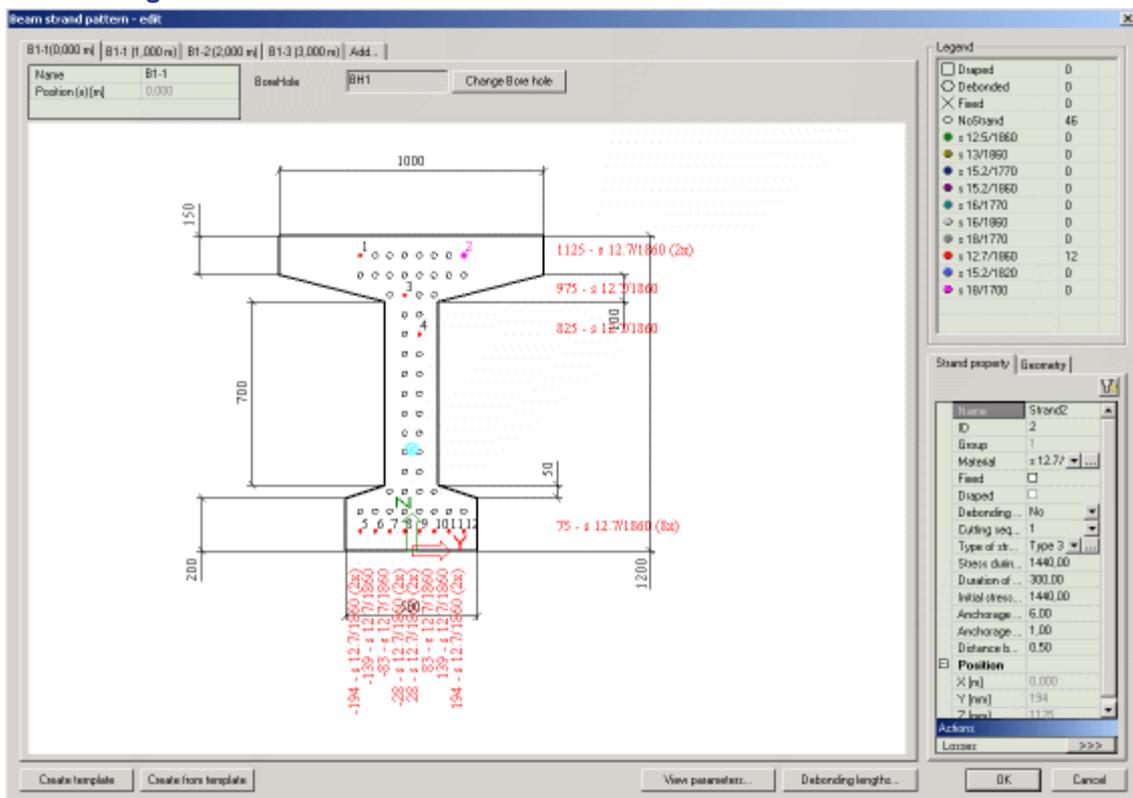
1. Öffnen Sie den Dienst **Beton**.
2. Rufen Sie die Funktion **Spannbettvorspannung – Stablitzenmuster** per Doppelklick auf.
3. Wählen Sie das 1D-Teil, in das das Stablitzenmuster eingefügt werden soll.
4. Der Dialog **Vorlage wählen** erscheint.
5. Wählen Sie den Punkt **Bohrloch**.
6. Für beliebige Stäbe wird der **Querschnitt-Manager** geöffnet. Wählen Sie dort den benötigten Querschnitt.
7. Der **Bohrlochmuster-Manager** erscheint.
8. Wählen Sie das Bohrlochmuster.
9. Platzieren Sie das Bohrlochmuster im Querschnitt.
10. Der Bearbeitendialog für das Stablitzenmuster erscheint.
11. Definieren Sie die nötigen Schnitte für das Stablitzenmuster. Möglicherweise müssen Sie dabei auch einen Vorspannungslastfall auswählen oder eingeben. Der Lastfall wird zum Speichern der Ergebnisse benötigt.
12. Bestätigen Sie mit **OK**.

So definieren Sie ein neues Stablitzenmuster aus einer Querschnitts-Litzenvorlage:

1. Öffnen Sie den Dienst **Beton**.
2. Rufen Sie die Funktion **Spannbettvorspannung – Stablitzenmuster** per Doppelklick auf.
3. Wählen Sie das 1D-Teil, in das das Stablitzenmuster eingefügt werden soll.
4. Der Dialog **Vorlage wählen** erscheint.
5. Wählen Sie den Punkt **Querschnitts-Litzenvorlage**.
6. Für beliebige Stäbe wird der **Querschnitt-Manager** geöffnet. Wählen Sie dort den benötigten Querschnitt.
7. Der **Querschnitts-Litzenvorlagenmanager** erscheint.
8. Wählen Sie das Bohrlochmuster.
9. Platzieren Sie das Bohrlochmuster im Querschnitt.
10. Möglicherweise müssen Sie dabei einen Vorspannungslastfall auswählen oder eingeben. Der Lastfall wird zum Speichern der Ergebnisse benötigt.

11. Der Bearbeitendialog für das Stablitzmuster erscheint.
12. Bestätigen Sie mit **OK**.

Bearbeitendialog für Stablitzmuster



Der Dialog zum Definieren oder Bearbeiten von Stablitzmustern besteht aus folgenden Bereichen:

- Register für die einzelnen Schnitte mit Grafikenster
- Register zum Eingeben eines neuen Schnittes
- Infotabelle
- Bohrlochinformationen und Schaltfläche zum Ändern dieser Daten
- Legende
- Litzeneigenschaften
- Schaltfläche zum Berechnen der Verluste der gewählten Litze
- Litzengeometrie
- Schaltfläche Ansichtparameter
- Schaltfläche Verbundfreie Länge
- Vorlageschaltflächen
- Bedienschaltflächen

Grafikfenster

Das Grafikfenster zeigt den gewählten Querschnitt und das definierte Lochmuster an. Es unterstützt die Standardfunktionen von Scia Engineer für Grafikfenster:

- Kontextmenü mit Funktionen für Zoomen, Drucken und Exportieren
- **Strg + Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verkleinern und Vergrößern
- **Umschalt** + Rechtsklick und Ziehen zum Verschieben des Ausschnitts

Infotabelle

Diese Tabelle wird oben links im Dialogfenster angezeigt.

Name	legt den Namen der Vorlage fest.
Position	(informativ) definiert die Position des Schnittes auf dem 1D-Teil.

Bohrlochinformationen

Dieser Dialogteil zeigt das für das aktuelle Litzenmuster gewählte Bohrloch. Die Schaltfläche **Bohrloch ändern** dient zum Ändern des Musters.

Hinweis: Wenn das Bohrlochmuster geändert wird, werden alle bereits definierten Litzen gelöscht.

Legende

Die Legende hat zwei Aufgaben:

- (informativ) Sie erläutert die Symbole aus dem Grafikfenster (jeder Litzentyp verwendet eine spezielle Markierung oder Farbe).
- (aktiv) Sie dient zum Eingeben einzelner Litzen für die Bohrlöcher.

Das Eingeben und Entfernen von Litzen und Anpassen der besonderen Eigenschaften wird im Kapitel [Definieren von neuen Querschnitts-Litzenvorlagen](#) erläutert.

Litzeneigenschaften

Wenn eine Litze im Grafikfenster gewählt wird, werden die zugehörigen Eigenschaften im Eigenschaftsfenster angezeigt. Die Bedeutung der Eigenschaften wird im Kapitel [Definieren von neuen Querschnitts-Litzenvorlagen](#) erläutert.

Berechnen der Verluste der gewählten Litze

Mit der Schaltfläche unten im Eigenschaftsdialog können Sie die Verluste für die gewählte Litze berechnen. Die Schaltfläche ruft einen Dialog auf, in dem eine Tabelle und ein Diagramm der berechneten kurzzeitigen Verluste zu sehen sind.

Hinweis: Siehe auch das Kapitel [Kurzzeitige Verluste](#).

Litzengeometrie

Yp; Zp	Koordinaten des Schwerpunktes des gesamten Litzenmusters
Yp, deb; Zp, deb	Koordinaten des Schwerpunktes aller verbundfreien Litzen
Yp, drap; Zp, drap	Koordinaten des Schwerpunktes aller gelegten Litzen
n	Gesamtzahl der Litzen im Litzenmuster
Ap	Gesamtfläche des gesamten Litzenmusters
Ac	Gesamtfläche eines Betonquerschnitts ohne die Litzenfläche
Ap, deb	Gesamtfläche des verbundfreien Litzenmusters
Ap, drap	Gesamtfläche des gelegten Litzenmusters
Y; Z	Koordinaten des Schwerpunkts des kombinierten Querschnitts – Beton plus Spannstahl
Iz; Iy	Trägheitsmoment für die z/y-Achse des kombinierten Querschnitts (mit der z-Achse als starke Achse)
Iz,c; Iy, c	Trägheitsmoment für die z/y-Achse des kombinierten Querschnitts ohne Litzen (mit der z-Achse als starke Achse)
Wy, oben; Wy, unten	Sektionsmodul für die z/y-Achse des kombinierten Querschnitts oben im Schnitt

Anzeigeparameter

Diese Schaltfläche öffnet einen Dialog mit Ansichtparametern. Die Bedeutung ist größtenteils selbsterklärend.

Verbundfreie Längen

Sie können hier verschiedene verbundfreie Längen definieren. Eine verbundfreie Länge kann dann im Eigenschaftsfenster einer Litze zugeordnet werden.

Vorlageschaltflächen

Vorlage erstellen	speichert eine neue Vorlage im Projekt.
Aus Vorlage erstellen	lädt das Litzenmuster aus einer Vorlage.

Bearbeiten von Stablitzennustern

So bearbeiten Sie ein Stablitzennmuster aus einem Bohrlochmuster:

1. Wählen Sie das Stablitzennmuster, für das die Verluste berechnet werden sollen.
2. Die Eigenschaften des Litzenmusters werden im Eigenschaftsfenster angezeigt.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Litzenmuster bearbeiten**.
4. Der Bearbeitendialog für das gewählte Litzenmuster erscheint.
5. Nehmen Sie die erforderlichen Änderungen vor.
6. Bestätigen Sie mit **OK**.

Ergebnisse

Spanngliedspannungen

Ergebnisdiagramme im Grafikfenster

Hinweis: Die Grundlagen zum Anzeigen von Ergebnisse werden im Kapitel Ergebnisse beschrieben.

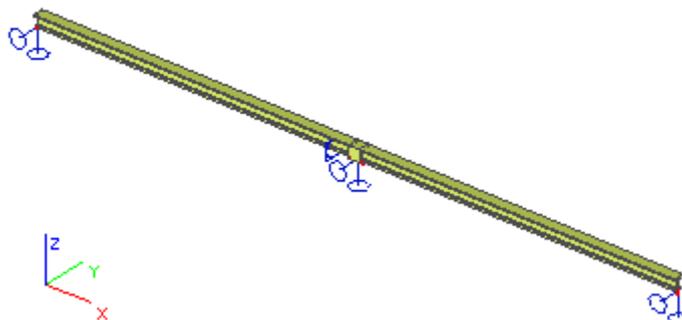
So zeigen Sie Spanngliedspannungen an:

1. Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse**.
2. Starten Sie die Funktion **Spanngliedspannungen**.
3. Wählen Sie die anzuzeigenden Lasten aus.
4. Passen Sie den Stil der Ergebnisdiagramme an.
5. Wählen Sie die Litzenmuster für 1D-Teile, für die die Ergebnisse gezeichnet werden sollen.
6. Mit einem Filter können Sie die anzuzeigenden Spannglieder auswählen (siehe unten).
7. Klicken Sie auf **Aktualisieren**, um die Zeichnung neu aufzubauen.
8. Schließen Sie danach den Dienst **Ergebnisse**.

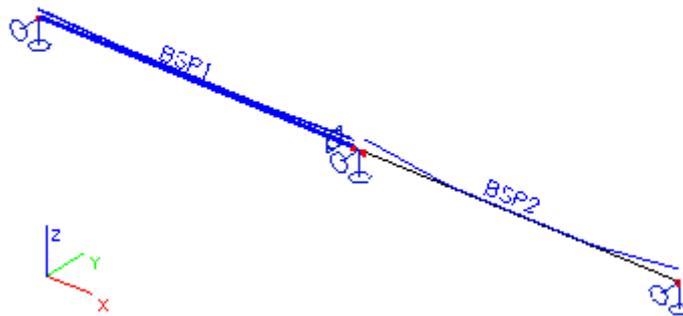
Filtern von Ergebnissen

Das Filtern wird an einem einfachen Beispiel erläutert.

Gegeben sei ein Zweifeld-Durchlaufträger, der in zwei Bauphasen gefertigt wird: Linkes Feld in Phase 1 (mit Lastfall 1), zweites Feld in Phase 2 (mit Lastfall 2).



Beide Felder sind vorgespannt und es wurde ein Stablitzennmuster definiert. Das linke Feld enthält 5 Litzen, das zweite nur eine.



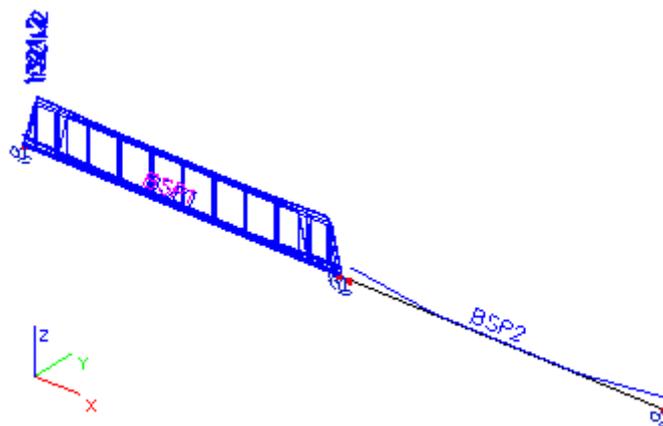
Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse** und rufen die Funktion **Spanngliedspannungen** auf. Legen Sie für **Auswahl** den Wert **Standard** fest und wählen Sie kein Stablitzmuster. Öffnen Sie das Kombinationsfeld **Spannglieder**; es enthält nur eine Option: **Alle nach Auswahl**.

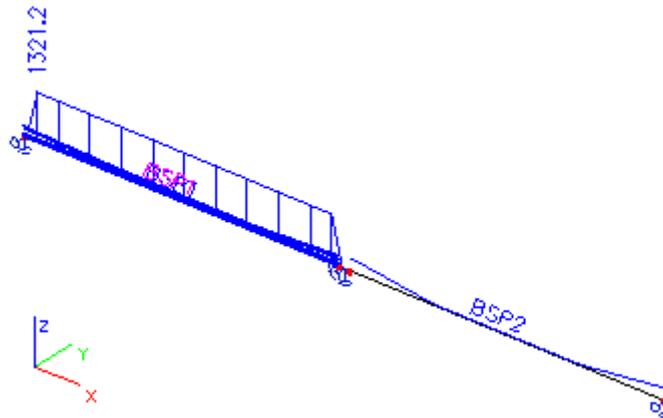
Wählen Sie nun das Litzenmuster im linken Feld und öffnen Sie dasselbe Kombinationsfeld erneut. Nun können Sie **Alle nach Auswahl** sowie die fünf Litzen aus dem ersten Träger wählen.

Annullieren Sie die Auswahl, wählen Sie das rechte Feld und öffnen Sie die das Kombinationsfeld. Nun können Sie **Alle nach Auswahl** sowie die Litze aus dem zweiten Träger wählen.

Wählen Sie beide Litzenmuster und öffnen Sie das Kombinationsfeld erneut. Nun können Sie **Alle nach Auswahl** sowie die fünf Litzen aus dem ersten und die eine Litze aus dem zweiten Träger wählen.

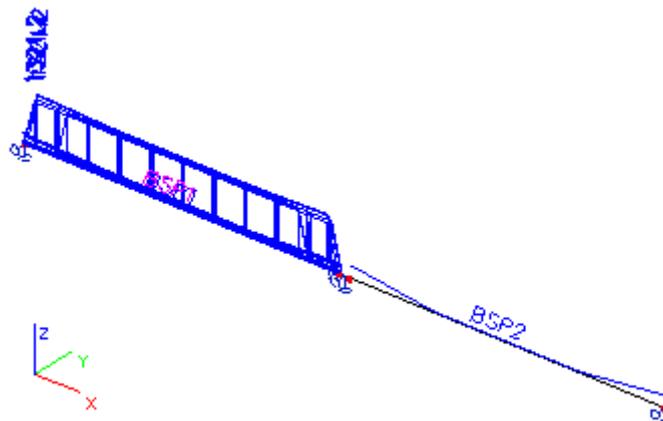
Auf diese Art können Sie nur ein Spannglied wählen und Ergebnisse dazu betrachten. Die Option ist besonders dann nützlich, wenn ein Träger mehrere Litzen enthält. Beachten Sie die Abbildungen unten. Die erste Abbildung zeigt Ergebnisse für alle Litzen im Träger, die zweite nur für eine Litze.



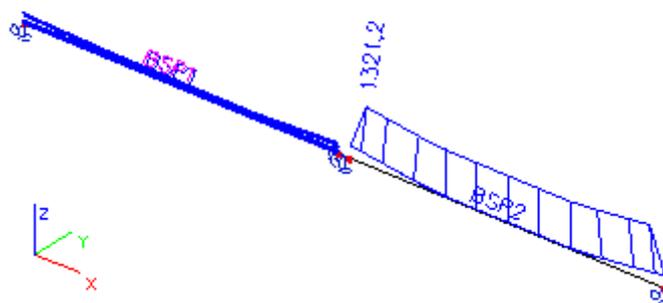


Wählen Sie nun für **Auswahl** den Wert **Alle**. Wählen Sie **Alles nach Auswahl** im Kombinationsfeld **Spannglieder**.

Wählen Sie für **Last** den Wert **Lastfälle** und dann **LF1**. Dieser Lastfall ist der ersten Bauphase zugewiesen, in der nur das linke Feld vorhanden ist. Klicken Sie auf **Aktualisieren** – es werden nur Spanngliedspannungen für das linke Feld angezeigt.

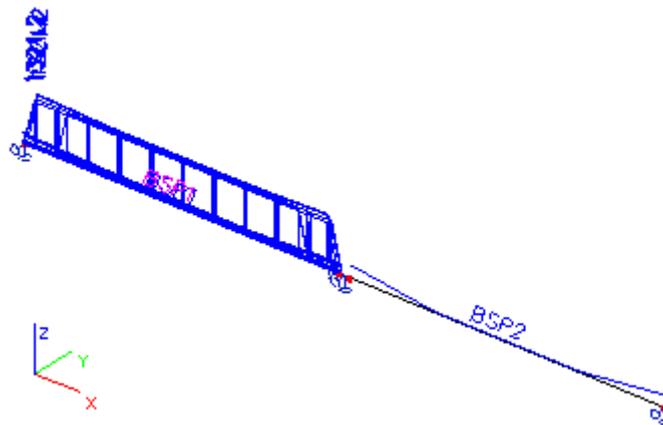


Wenn Sie dagegen **LF2** wählen, werden nur Spanngliedspannungen für das rechte Feld angezeigt.

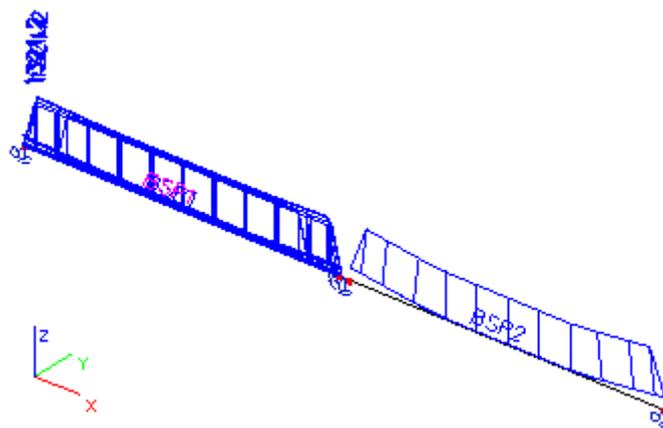


Wählen Sie nun noch für **Auswahl** den Wert **Alles** und im Kombinationsfeld **Spannglieder** die Option **Alles nach Auswahl**.

Wählen Sie für **Last** den Wert **Klassen** und dann **Klasse 1**. Diese Klasse entspricht der ersten Bauphase, in der nur das erste Feld vorhanden ist. Klicken Sie auf **Aktualisieren** – es werden nur Spanngliedspannungen für das linke Feld angezeigt.



Wählen Sie **Klasse 2**, die der zweiten Bauphase mit beiden Feldern entspricht. Klicken Sie auf **Aktualisieren** – es werden die Spanngliedspannungen für beide Felder angezeigt.



Detailergebnisse

Sie können detaillierte Ergebnisse für ein einzelnes Stablitzmuster anzeigen lassen.

So zeigen Sie Detailergebnisse an:

1. Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse**.
2. Starten Sie die Funktion **Spanngliedspannungen**.
3. Klicken Sie auf die Schaltfläche **In Detail**.
4. Wählen Sie ein Stablitzmuster.
5. Ein Fenster mit den Detailergebnissen erscheint.

Vorschau im Vorschaufenster

Die Ergebnisse können als Tabelle im Vorschaufenster angezeigt werden.

So öffnen Sie die Vorschau:

1. Öffnen Sie den Dienst **Ergebnisse**.
2. Starten Sie die Funktion **Spanngliedspannungen**.
3. Wählen Sie die anzuzeigenden Lasten aus.
4. Passen Sie den Stil der Ergebnisdiagramme an.
5. Wählen Sie die Stablitzmuster, für die die Ergebnisse gezeichnet werden sollen.
6. Mit einem Filter können Sie die anzuzeigenden Spannglieder auswählen (siehe unten).
7. Klicken Sie auf **Vorschau**, um die Ergebnistabelle zu betrachten.

Erläuterung der Abkürzungen

SAT

Spannung nach Verankerung

LED	Verlust während sequenziellem Vorspannen + Verlust durch elastische Betonverkürzung
LKS	Verlust durch Kriechen und Schwinden des Betons + Verluste durch Langzeit-Stahlrelaxation
Lmin	Verlust (Änderung) der Vorspannung durch variable Lasten (min)
Lmax	Verlust (Änderung) der Vorspannung durch variable Lasten (max)
MinSpannung	Mindestspannung in Phase
MaxSpannung	Höchstspannung in Phase

Nachträglich vorgespannter Beton

Quellengeometrie

Spanngliedquellgeometrie

Wenn die Form (Geometrie) eines Spannglieds definiert wird, können Sie die so genannte **Quellengeometrie** verwenden. Die Quellgeometrie ist eine unabhängig erstellte Form (Geometrie) des Spannglieds ohne Verbindung zu einem bestimmten Strukturelement, das verstärkt werden soll. Der Vorteil liegt auf der Hand: Sie müssen die Form des Spannglieds nur ein Mal definieren und können es später beliebig vielen 1D-Teilen zuweisen. Außerdem wird die Quellgeometrie für ein gerades 1D-Teil erzeugt. Möglicherweise wird sie jedoch einem gebogenen 1D-Teil zugewiesen. Die X-Achse (Längsachse) der Quellgeometrie folgt einfach der X-Achse des 1D-Teils – egal wie diese Achse verläuft. Das vereinfacht das Eingeben von Spanngliedern für gebogene 1D-Teile erheblich.

Manager für Spanngliedquellgeometrie

Die Quellgeometrie für Spannglieder wird über einen normalen Scia Engineer-Datenbankmanager verwaltet. Alle eingegebenen Quellgeometrien werden in einer separaten Datenbank gespeichert und Sie können einzelne Objekte von einem Projekt in ein anderes exportieren.

Der Manager für Spanngliedquellgeometrie unterscheidet sich von den anderen Datenbankmanagern darin, dass das Grafikenster zweigeteilt ist, um die Seitenansicht und Draufsicht der Quellgeometrie gleichzeitig darzustellen.

So öffnen Sie den Manager für Spanngliedquellgeometrie:

Entweder

Benutzen Sie die Baummenüfunktion **Bibliothek > Nachspannung > Spanngliedquellengeometrie**.

oder

Klicken Sie in der Eigenschaftentabelle eines Spannglieds während Eingabe oder Bearbeitung auf die Ellipsenschaltfläche ... im Bereich **Quellengeometrie**.

Definieren von Quellgeometrie für Spannglieder

Eine neue Quellgeometrie kann von Grund auf eingegeben werden oder durch Importieren einer bereits definierten Quellgeometrie. Sie können die beiden Varianten auch kombinieren.

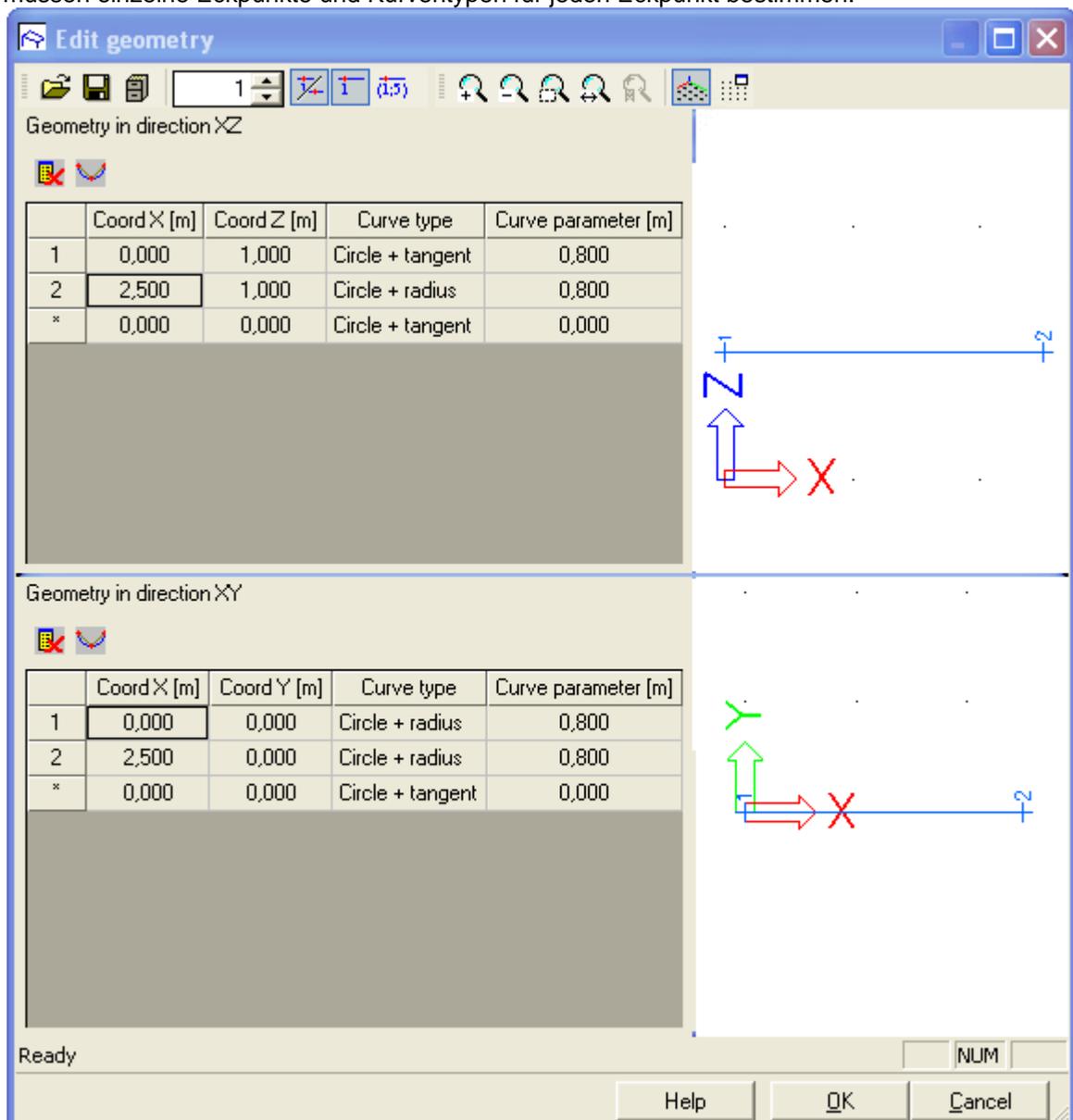
Quellgeometrie kann also aus mehreren Teilen bestehen, die zu einer größeren Quellgeometrie verbunden werden.

So definieren Sie eine neue Quellgeometrie:

1. Öffnen Sie den [Manager für Spanngliedquellgeometrie](#).
2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Neu**.
3. Der Dialog **Geometrie bearbeiten** erscheint.
4. Geben Sie die Quellgeometrie ein.
5. Bestätigen Sie mit **OK**.
6. Schließen Sie den Manager für Spanngliedquellgeometrie.

Dialog Geometrie bearbeiten

Der Bearbeitendialog ermöglicht das numerische Eingeben der Form des Spannglieds. Sie müssen einzelne Eckpunkte und Kurventypen für jeden Eckpunkt bestimmen.



Hinweis: Die Proportionen der Bereiche des Bearbeitendialogs wurden in dieser Abbildung aus Platzgründen verfälscht.

Eingabetyp

Grundsätzlich stehen zwei Eingabetypen zur Verfügung:

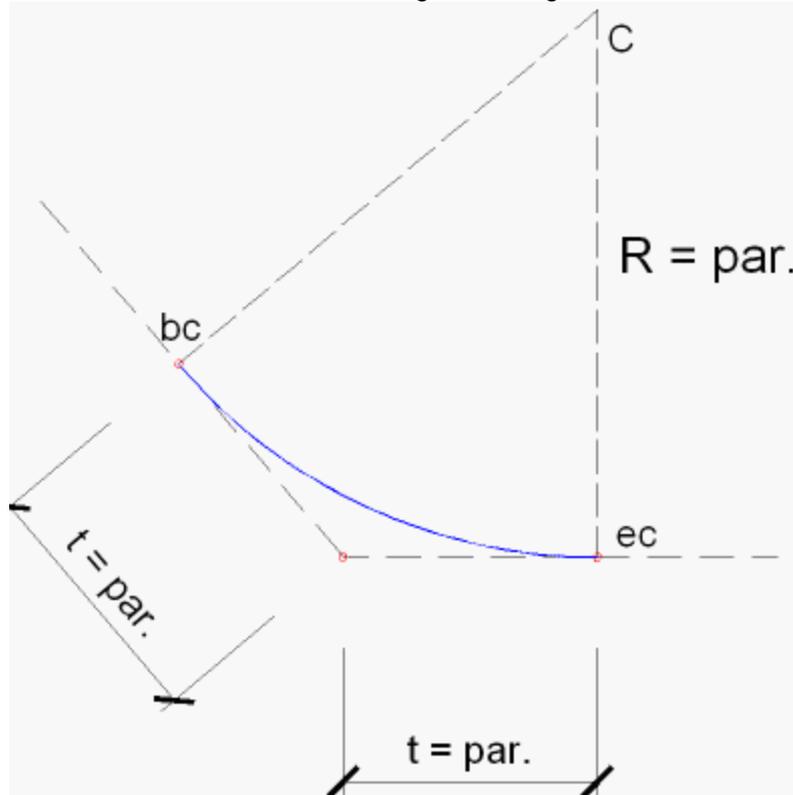
- (i) Das Spannglied nutzt die einzelnen Eckpunkte als grobe Richtung und folgt dabei dem Eingabetyp der Kurve. Dabei verläuft es nicht direkt durch die Eckpunkte.
(ii) Das Spannglied verläuft direkt durch die Eckpunkte. Man spricht von Punktfixierung.
Für den ersten Eingabetyp stehen folgende Optionen zur Verfügung:

Kreis + Tangente

Kreis; der Parameter ist der Abstand zwischen Eckpunkt und Tangentialpunkt (siehe Abb. 1: Kreis, Typ 0 und 1).

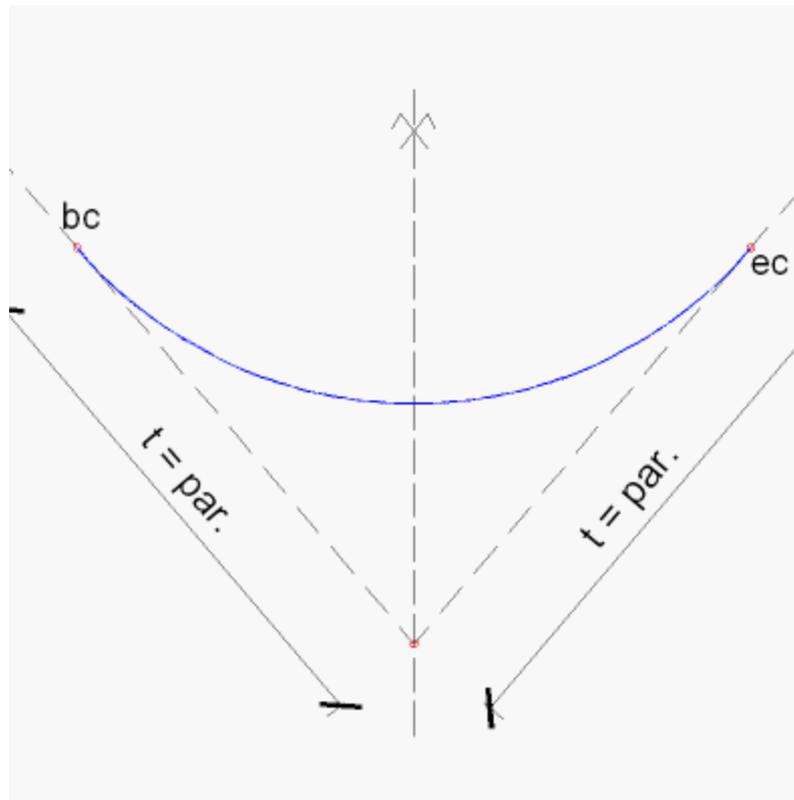
Kreis + Radius

Kreis; der Parameter ist der Kreisradius (siehe Abb. 1: Kreis, Typ 0 und 1). Der Radius und die beiden Tangenten bestimmen den Kreis. Die Länge der Tangenten wird automatisch berechnet.



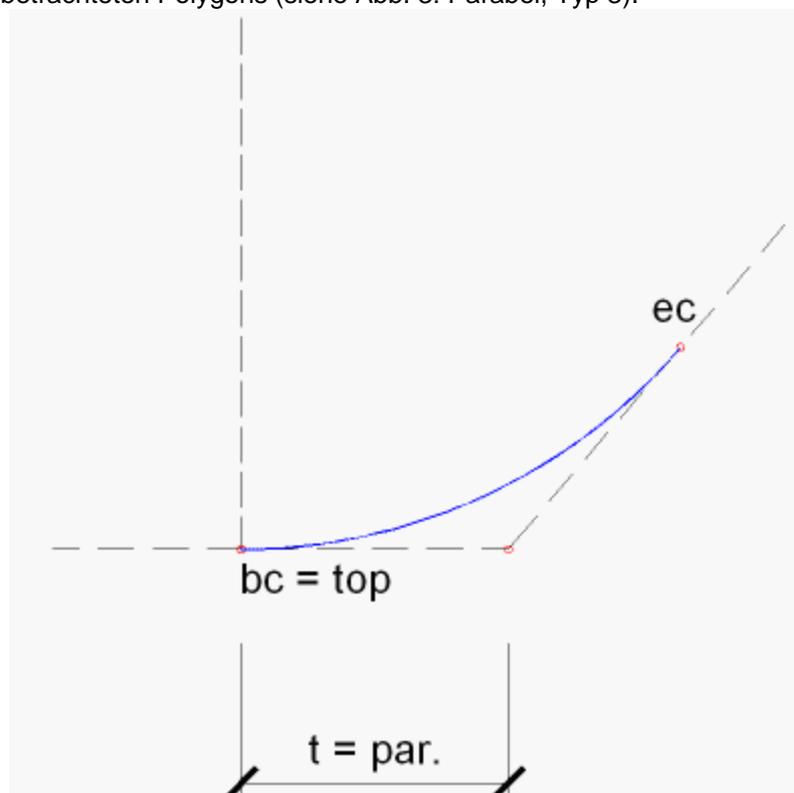
Symmetrische Parabel + Tangente

Parabel; der Parameter ist der Abstand zwischen dem Eckpunkt und dem Tangentialpunkt (Anfang oder Ende der Parabel, siehe Abb. 2: Parabel, Typ 2). Die Länge der Tangente und die Symmetrieachse der Parabel bestimmen die Parabel.



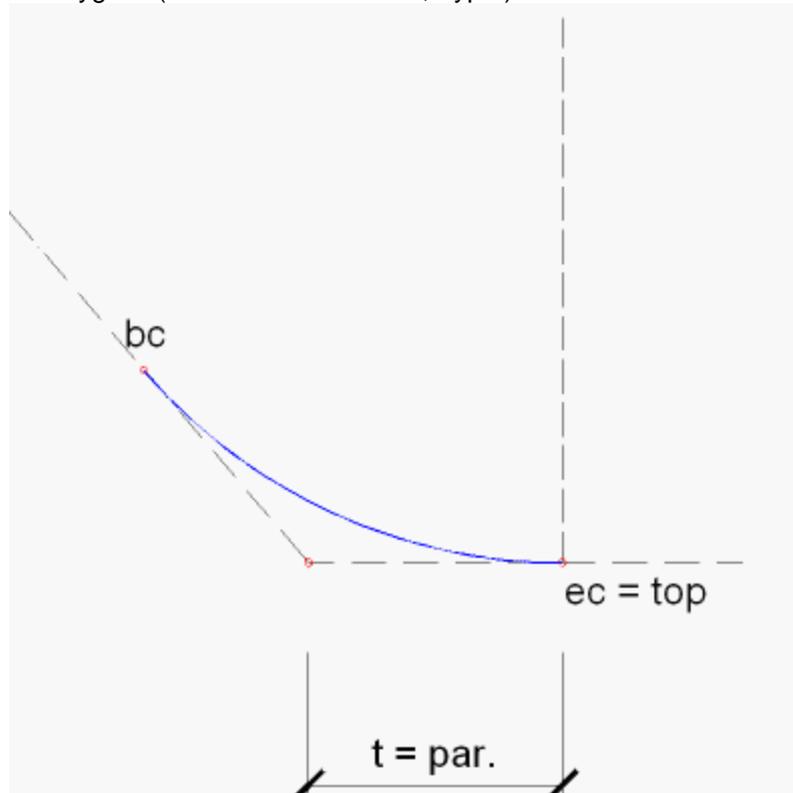
Parabel + Tangente [Anfang]

Parabelsegment mit dem Parabelscheitel am Kurvenbeginn; der Parameter ist der Abstand zwischen Kurvenanfang (Tangentenpunkt in der Symmetrieachse der Parabel) und dem Eckpunkt des betrachteten Polygons (siehe Abb. 3: Parabel, Typ 3).



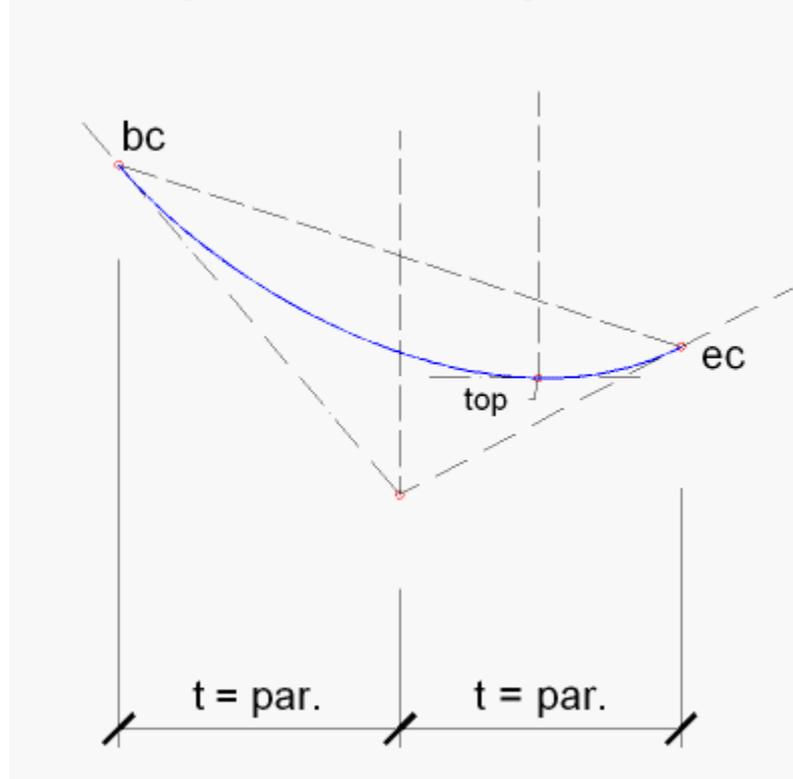
Parabel + Tangente [Ende]

Parabelsegment mit dem Parabelscheitel am Kurvenende. Der Parameter ist der Abstand zwischen Kurvenende (Tangententialpunkt in der Symmetrieachse der Parabel) und dem Eckpunkt des betrachteten Polygons (siehe Abb. 4: Parabel, Typ 4).



Parabel + Vertikale Achse

Parabel mit vertikaler Achse bezogen auf das Makrokoordinatensystem. Der Parameter ist die Länge der Projektion der Tangente in horizontaler Richtung (siehe Abb. 5: Parabel, Typ 5).



Für den zweiten Eingabetyp steht nur eine Option zur Verfügung:

Punktgruppe passend

Die in der Koordinatentabelle definierten Punkte müssen von der Spanngliedkurve durchlaufen werden. Die Parameter sind die Tangenten der Kurve in diesen Punkten.

Wenn Sie den Parameter gleich 100 gewählt haben, wird das Spannglied direkt auf den folgenden Punkt ausgerichtet. Wenn Sie den Parameter gleich -100 gewählt haben, wird das Spannglied direkt auf den vorherigen Punkt ausgerichtet. Das Wertpaar 100 und -100 definiert daher einen geraden Bereich des Spannglieds zwischen zwei Punkten.

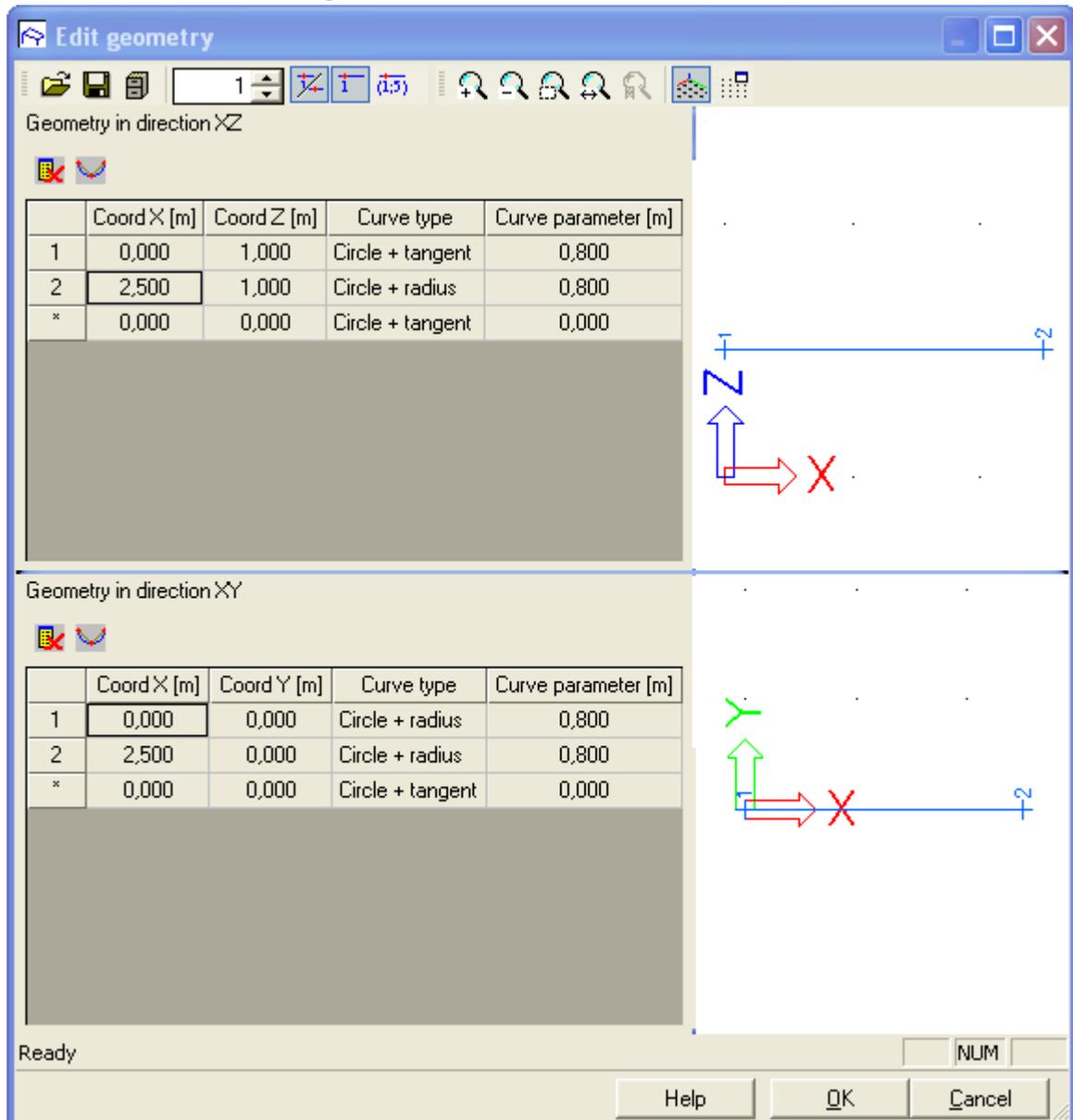
Ist der Parameter gleich 1000, ist die Tangente unbekannt (beliebig). Das Programm berechnet in diesem Fall die Tangente automatisch.

Als Ergebnis können Sie die Grenzwerte $-1,0$ und $+1,0$ (Winkel 45°) für die Parameter angemessener Spanngliedprofile bestimmen. So entspricht der Parameter 0,0 einer horizontalen Tangente.

Die Grundlagen des Algorithmus sind folgende:

1. Die anwenderdefinierten Tangenten werden beachtet.
2. Drei aufeinander folgende Punkte mit identischen Y- (Z-)Koordinaten werden durch eine horizontale, gerade Linie verbunden.
3. Die Winkel der Tangenten in den Verankerungen und aufeinander folgenden Punkten werden berechnet, sofern sie nicht vom Anwender definiert wurden. Nach Möglichkeit werden das erste und letzte Segment durch eine Gerade verbunden. Ist dies nicht möglich, wird die Gerade auf halbem Weg zwischen dem ersten und letzten Segment eingefügt.
4. Wenn der Abstand zweier aufeinander folgender Punkte bedeutend kleiner als der Abstand zwischen anderen Punkten ist, wird eine Gerade in dieses Segment eingefügt.
5. Der Unterschied zwischen den Radien zweier aufeinander folgender Kurven wird minimiert.
6. Das gekrümmte Segment mit gegenläufiger Krümmung ist im Verbindungsbereich zwischen einer Geraden und der Kurve nicht zulässig.
7. Wenn zwei Tangenten einander in der Hälfte der Projektionslänge einer Kurve schneiden, wird eine Parabel mit vertikaler Achse benutzt.
8. In anderen Fällen werden zwei Parabeln mit vertikaler Achse benutzt.

Layout und Elemente des Dialogs Geometrie bearbeiten



Hinweis: Die Proportionen der Bereiche des Bearbeitendialogs wurden in dieser Abbildung aus Platzgründen verfälscht.

Symboleiste

Einlesen aus Datei	importiert die Quellgeometrie aus einer externen Text- oder XML-Datei.
Export in Datei	exportiert die Quellgeometrie in eine externe Text- oder XML-Datei.
Einlesen aus Bibliothek	öffnet den Manager für Spanngliedquellengeometrie und ermöglicht das Importieren einer zusätzlichen Spanngliedquellgeometrie in die aktuell bearbeitete.
Vertikaler Maßstab	ändern den vertikalen Maßstab im Grafikvorschaufenster.
Scheitelpunktmarke zeichnen	schaltet die Beschriftung für die XZ-Ebene im Grafikvorschaufenster ein oder aus. Im

		Grafikvorschaufenster wird keine Beschriftung für die XY-Ebene gezeichnet.
Nummer des Scheitelpunktes zeichnen		zeichnet die Punktnummern, sofern die Beschriftung eingeschaltet ist.
Scheitelpunktkoordinaten zeichnen		zeigt die Punktkoordinaten an, sofern die Beschriftung eingeschaltet ist.
Zoomschaltflächen		rufen die fünf Standard-Zoomfunktionen auf.
Punktraster /ausblenden	ein-	blendet das Punkteraster ein oder aus.
Punktraster einstellen		ermöglicht das Anpassen des Punkterasters für das aktuelle Projekt.

Eingabetabelle für die XZ-Ebene

Schaltfläche Alle Knoten löschen

Dieser Befehl löscht alle Knoten in der Tabelle für die XZ-Ebene.

Schaltfläche Punktgruppe passend

wechselt den Eingabemodus (siehe Abschnitt **Eingabetyp** weiter oben).

Eingabetabelle

Koord X	ist die X-Koordinate des Eckpunkts der Quellgeometrie.
Koord Z	ist die Z-Koordinate des Eckpunkts der Quellgeometrie.
Kurventyp	ist der Kurventyp im Eckpunkt (siehe Abschnitt Eingabetyp weiter oben).
Kurvenparameter	ist der Parameter der zuvor gewählten Kurve (siehe Abschnitt Eingabetyp weiter oben).

Grafikvorschaufenster

Dieses Grafikfenster zeigt die Seitenansicht der definierten Spanngliedform.

Sie können den Zeichnungsmaßstab durch gedrückt Halten der Tasten Strg + Umschalt und gleichzeitiges Drücken der rechten Maustaste verändern, oder den Zeichnungsausschnitt im Grafikfenster durch gedrückt Halten der Umschalttaste und gleichzeitiges Drücken der rechten Maustaste verschieben.

Eingabetabelle für die XY-Ebene

Schaltfläche Alle Knoten löschen

Dieser Befehl löscht alle Knoten in der Tabelle für die XY-Ebene.

Schaltfläche Punktgruppe passend

wechselt den Eingabemodus (siehe Abschnitt **Eingabetyp** weiter oben).

Eingabetabelle

Koord X	ist die X-Koordinate des Eckpunkts der Quellgeometrie.
Koord Y	ist die Y-Koordinate des Eckpunkts der Quellgeometrie.
Kurventyp	ist der Kurventyp im Eckpunkt (siehe Abschnitt Eingabetyp weiter oben).
Kurvenparameter	ist der Parameter der zuvor gewählten Kurve (siehe Abschnitt Eingabetyp weiter oben).

Grafikvorschaufenster

Dieses Grafikfenster zeigt die Draufsicht der definierten Spanngliedform. Sie können den Zeichnungsmaßstab durch gedrückt Halten der Tasten Strg + Umschalt und gleichzeitiges Drücken der rechten Maustaste verändern, oder den Zeichnungsausschnitt im Grafikfenster durch gedrückt Halten der Umschalttaste und gleichzeitiges Drücken der rechten Maustaste verschieben.

Bedienschnittflächen

OK bestätigt die vorgenommenen Eingaben/Veränderungen im Dialog und schließt diesen.
Aufheben verwirft die vorgenommenen Eingaben/Veränderungen im Dialog und schließt diesen.

Hinweis: Sie dürfen keine drei aufeinander folgenden Punkte in einer Linie eingeben. Die Richtung des Spannglieds muss sich in jedem Eckpunkt ändern.

Bearbeiten der vorhandenen Quellgeometrie von Spanngliedern

Bearbeiten der Spanngliedquellgeometrie im Manager für Spanngliedquellgeometrie

Die vorhandene Quellgeometrie kann im **Manager für Spanngliedquellgeometrie** (im Baumenü) bearbeitet werden.

So bearbeiten Sie die Spanngliedquellgeometrie über das Baumenü:

1. Öffnen Sie den Zweig **Bibliothek > Nachspannung** im Baumenü.
2. Rufen Sie die Funktion **Spanngliedquellgeometrie** auf.
3. Der **Manager für Spanngliedquellgeometrie** erscheint.
4. Wählen Sie die zu bearbeitende Quellgeometrie.
5. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bearbeiten**.
6. Der Dialog **Geometrie bearbeiten** erscheint.
7. Ändern Sie die Form des Spannglieds.
8. Bestätigen Sie die Änderungen mit **OK**.
9. Schließen Sie den **Manager für Spanngliedquellgeometrie**.

Sie können die Quellgeometrie auch in der Eigenschaftstabelle eines Spannglieds ändern.

Bearbeiten der Spanngliedquellgeometrie in der Eigenschaftstabelle des nachgespannten internen Spannglieds

So bearbeiten Sie die Spanngliedquellgeometrie über die Eigenschaftstabelle:

1. Wählen Sie das Spannglied, dessen Quellgeometrie Sie bearbeiten möchten (Sie können jedes beliebige Spannglied wählen).
2. Die Eigenschaftstabelle für das gewählte Spannglied wird im Eigenschaftsfenster angezeigt.
3. Klicken Sie auf die Ellipsenschaltfläche im Bereich **Quellgeometrie**.
4. Der **Manager für Spanngliedquellgeometrie** erscheint.
5. Die Quellgeometrie des gewählten Spannglieds wird in der Liste aller verfügbaren Quellgeometrien markiert.
6. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bearbeiten**.
7. Der Dialog **Geometrie bearbeiten** erscheint.
8. Ändern Sie die Form des Spannglieds.
9. Bestätigen Sie die Änderungen mit **OK**.
10. Schließen Sie den **Manager für Spanngliedquellgeometrie**.

Hinweis: Bedenken Sie, dass Spannglieder, die über die Quellgeometrie in ein 1D-Teil eingegeben werden, auf diese Art erzeugt wurden. Das Spannglied merkt sich die Verbindung zur Quellgeometrie. Das bedeutet, dass sich nach einer Änderung der Quellgeometrie im Dialog Geometrie bearbeiten die Form aller (wir wiederholen: aller) Spannglieder, die auf dieser Quellgeometrie beruhen und bereits in das Modell eingegeben wurden, ihre Form entsprechend ändern.

Interne Spannglieder

Parameter für nachgespannte interne Spannglieder

Allgemein

Name	legt den Namen des Spannglieds fest.
Beschreibung	ermöglicht Ihnen, gegebenenfalls eine kurze Beschreibung einzugeben.
Anzahl	legt die Nummer des Spannglieds fest.
Typ	(informativ) zeigt die Art des Spannglieds an (intern/extern).
Layer	legt den Layer des Spannglieds fest. Jedes Spannglied kann einem anderen Layer zugewiesen werden.

Geometrie

Geometrieingabe	<p>wählt den Geometrieingabetyp.</p> <p>Quellengeometrie</p> <p>Für diesen Geometriotyp müssen Sie die Form der Spannglied geometrie im Voraus festlegen. Das vordefinierte Spannglied wird dann dem 1D-Teil zugewiesen und gegebenenfalls verändert, um der Form des 1D-Teils zu folgen. Das Spannglied wird nicht an die Länge des 1D-Teils angepasst (gestreckt). Möglicherweise wird es jedoch gebogen, um der Form des 1D-Teils zu folgen. Das vereinfacht das Eingeben von Spanngliedern für gebogene 1D-Teile (Bogenträger). Das Spannglied wird durch seine Projektion in die Ebene definiert. Anschließend wird es dem gebogenen 1D-Teil zugewiesen. Die Form des Spannglieds wird verändert, damit die lokale X-Achse des Spannglieds exakt der lokalen X-Achse des 1D-Teils folgt.</p> <p>Direkteingabe</p> <p>Für diesen Geometrieingabetyp definieren Sie die Form des Spannglieds im Grafikfenster, in dem das zu verstärkende 1D-Teil angezeigt wird. Um exakt die benötigte Form zu definieren, wird eine zusätzliche Symbolleiste über der Befehlszeile eingeblendet. Diese Symbolleiste dient zum Eingeben von Kreisbogen- und Parabelintervallen (Abschnitten).</p> <p>Hinweis: Dieselbe Symbolleiste wird beim Eingeben eines neuen 1D-Teils angezeigt.</p>
LKS	legt fest, wie das lokale Koordinatensystem des Spannglieds (Y- und Z-Achse) definiert ist.
Quellengeometrie	(Dieser Punkt ist nur verfügbar, wenn für Geometrieingabe der Punkt Quellengeometrie gewählt ist.)

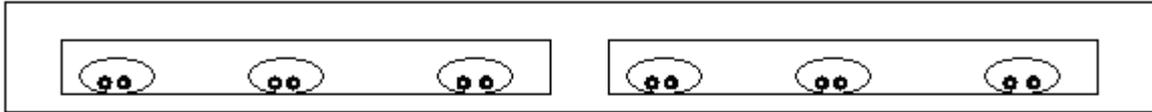
Ursprung der Quellengeometrie	<p>Wählen Sie hier die gewünschte Quellengeometrie für das Spannglied. Sie können auch den Manager für Spanngliedquellengeometrie aufrufen und neue Quellengeometrie eingeben.</p> <p>(Dieser Punkt ist nur verfügbar, wenn für Geometrieingabe der Punkt Quellengeometrie gewählt ist.)</p> <p>Sie müssen angeben, wo im Modell der Ursprung der Quellengeometrie liegen soll. Dazu müssen Sie das Spannglied im 3-D-Raum platzieren.</p> <p>Die Position wird (i) als Abstand vom Ursprung des lokalen Koordinatensystems des zugewiesenen 1D-Teils oder (ii) in globalen Koordinaten ausgedrückt.</p>
Koord. X, Y, Z	<p>(Dieser Punkt ist nur verfügbar, wenn für Geometrieingabe der Punkt Quellengeometrie gewählt ist.)</p> <p>Diese drei Werte legen die Position des Ursprungs der Spanngliedquellengeometrie fest. Die genaue Bedeutung ist abhängig von den oben gewählten Einstellungen.</p>

Material

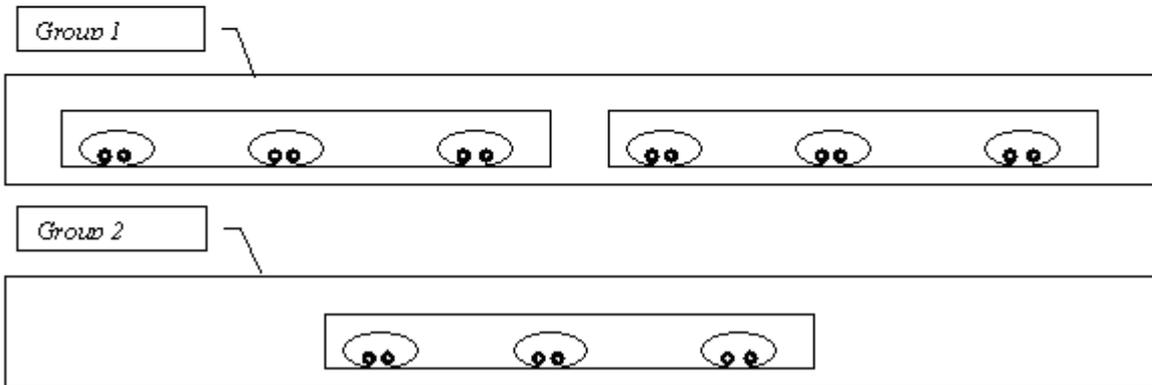
Material	legt das Material für das Spannglied fest.
Anzahl der Elemente in Spannglied	legt die Anzahl der Drähte oder Litzen im Spannglied fest.
Anzahl Spannglieder in Gruppe	gibt die Anzahl der identischen Spannglieder (z. B. in Wänden von Einfach- oder Mehrfachschnitten usw.) an, die eine Gruppe bilden. Einzelheiten finden Sie im Bild unter der Tabelle.
Fläche	<p>(informativ)</p> <p>zeigt die Querschnittsfläche des Spannglieds an.</p>
Hüllrohrdurchmesser	gibt den Durchmesser des Spannkannals an. Der Parameter wird nur zum Testen der Spanngliedengeometrie benutzt.
Zuweisung	öffnet einen neuen Dialog, in dem Sie auswählen können, welche 1D-Teile dem Spannglied zugewiesen werden. Grundsätzlich können Sie einem Spannglied mehr als ein 1D-Teil zuweisen, z. B. im Fall mehrerer kurzer 1D-Teile hintereinander, die durch ein langes Spannglied gestützt werden.
Lastfall	<p>Sie müssen einen Lastfall in der Liste wählen. Die Liste enthält nur die Lastfälle des Lasttyps Vorspannung.</p> <p>Die Wirkungen der Vorspannung des Spannglieds werden in diesem Lastfall gespeichert.</p>

Abbildung: Spanngliedgruppen

Example 1: 6 tendons in a group; 2 elements per tendon; 2 units prestressed sequentially (jack stressing three tendons simultaneously)



Example 2: 6 tendons in group 1, 3 tendons in group 2; 2 elements per tendon; 3 units prestressed sequentially



Spannung

Vorspannungstyp	Der Vorspannungstyp ist analog zu vorgespannten Spanngliedern .
Vorspannung von	enthält vier Möglichkeiten. Gleichzeitiges Verankern beider Enden ist weder wirtschaftlich noch praktisch. Die angebotenen Optionen sind selbsterklärend.
Reibungsbeiwert für gekrümmte Spanngliedabschnitte	ist der Reibungsbeiwert für gekrümmte Spanngliedabschnitte.
Reibungsbeiwert für gerade Spanngliedabschnitte	(nur für die Norm CSN/STN) ist der Reibungsbeiwert für gerade Abschnitte.
Unbeabsichtigte Winkelverschiebung	(nur für EC2, NEN) ist die unbeabsichtigte Winkelverschiebung des Spannglieds.
Ankerschlupf	gibt den Ankerschlupf zu Beginn des Spannglieds an.
Korrekturspannung	gibt den Ankerschlupf am Ende des Spannglieds an.
Dauer der Anspannung	ist die Dauer der konstanten Spannung während der Korrektur der Relaxation.
Anfangsspannung – Anfang	gibt die Anfangsspannung am Anfang des Spannglieds an (vor dem Verankern).
Spanngliedüberhang nicht im	definiert den Bereich des Spannglieds an dessen Anfang, der beim Berechnen der

Rechenmodell enthalten - Anfang	Verluste, aber nicht beim Erstellen des Strukturmodells, berücksichtigt wird. Dies ist nützlich, wenn 1D-Teil (und Spannglied) über das theoretische Auflager hinausragen und dieser Teil der Struktur nicht in das Modell aufgenommen werden soll, aber die korrekten Verluste und die Spanngliedgeometrie für den CAD-Export erhalten bleiben soll.
Spanngliedüberhang ist nicht im Strukturmodell – Ende	analog zum letzten Eintrag
Abstand von Ausgabeschnitten	definiert die Schnitte, für die Ergebnisse ausgegeben werden.

Bogen

(Diese Punkte sind nur verfügbar, wenn für **Geometrieingabe** der Punkt **Direkteingabe** gewählt ist.)

Kurventyp	<p>Kreis + Tangente Kreis; der Parameter ist der Abstand zwischen dem Eckpunkt und dem Tangentialpunkt (siehe Abbildung unten).</p> <p>Kreis + Radius Kreis; der Parameter ist der Kreisradius (siehe Abbildung unten). Der Radius und die beiden Tangenten bestimmen den Kreis. Die Länge der Tangenten wird automatisch berechnet.</p> <p>Symmetrische Parabel + Tangente Parabel; der Parameter ist der Abstand zwischen dem Eckpunkt und dem Tangentialpunkt (Anfang oder Ende der Parabel, siehe Abbildung unten). Die Länge der Tangente und die Symmetrieachse der Parabel bestimmen die Parabel.</p>
Kurvenparameter	dient zum Eingeben der entsprechenden Kurvenparameter.

Abbildung: Kreis + Tangente; Kreis + Radius

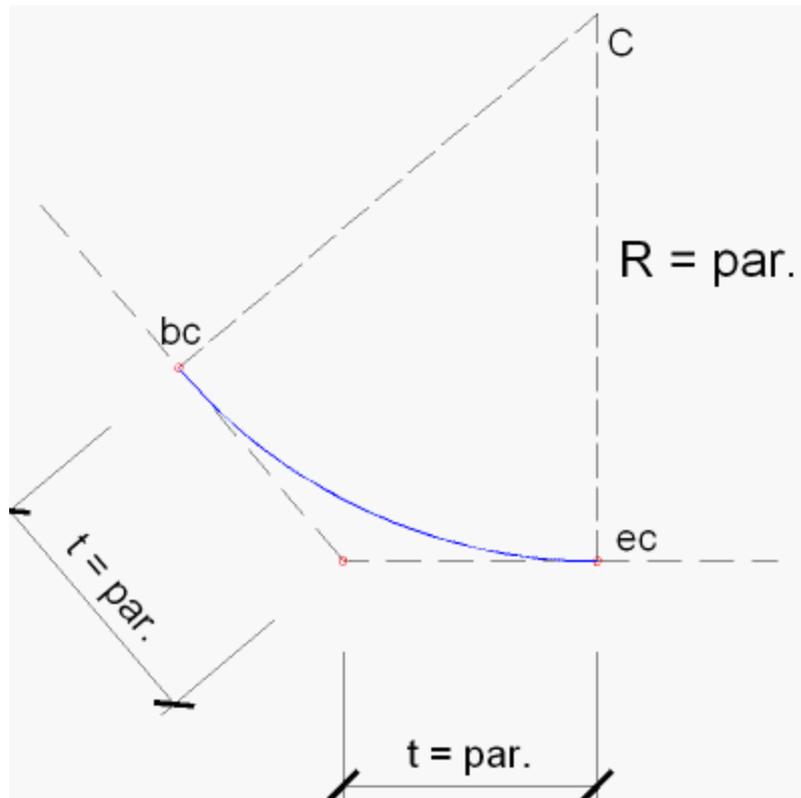
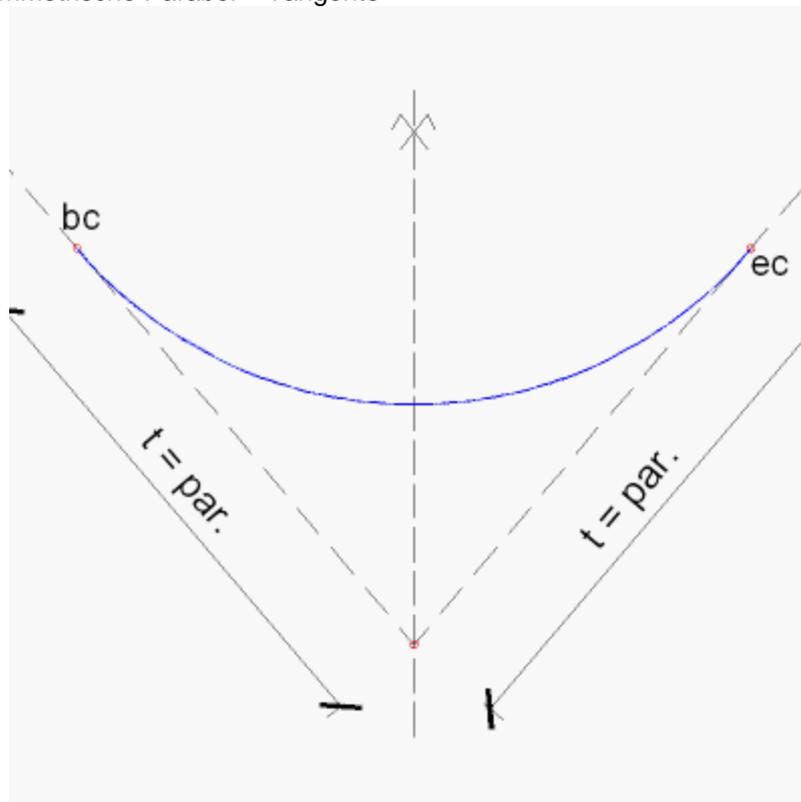


Abbildung: Symmetrische Parabel + Tangente



Definieren von neuen nachgespannten internen Spanngliedern

So geben Sie ein neues nachgespanntes internes Spannglied ein:

1. Öffnen Sie den Dienst **Struktur**.

2. Öffnen Sie den Zweig **Spannglieder**.
3. Rufen Sie die Funktion **Nachgespannte interne Spannglieder** auf.
4. Tragen Sie die erforderlichen [Parameter](#) ein.
5. Bestätigen Sie mit **OK**.
6. Je nach gewählter Geometrieeingabe müssen Sie nun (i) die Quellengeometrie direkt zuweisen oder (ii) die Spanngliedgeometrie direkt eingeben.
7. Beenden Sie die Funktion.

Bearbeiten von vorhandenen internen Spanngliedern

Wenn ein internes Spannglied definiert wurde und geändert werden muss, können Sie das folgende Verfahren anwenden:

So bearbeiten Sie ein nachgespanntes internes Spannglied:

1. Wählen Sie das zu bearbeitende Spannglied.
2. Das Eigenschaftsfenster zeigt die Eigenschaften.
3. Ändern Sie die erforderlichen Parameter.
4. Rufen Sie bei Bedarf über die Aktionsschaltflächen unten im Eigenschaftsfenster eine andere Funktion auf (siehe unten).
5. Heben Sie danach die Spanngliedauswahl auf.

Aktionsschaltflächen während der Bearbeitung eines nachgespannten internen Spannglieds

Zuweisung auswählen

Die Zuweisung des Spannglieds zu einem bestimmten 1D-Teil oder mehreren 1D-Teilen erfolgt über den Eintrag **Zuweisung** in der Eigenschaftstabelle des Spannglieds, die während der Bearbeitung im Eigenschaftsfenster angezeigt wird. Diese Option in der Eigenschaftstabelle weist das 1D-Teil in einfacher Tabellenform zu.

Andererseits ruft die Schaltfläche **Zuweisung auswählen** eine interaktive Funktion auf, in der Sie die zugewiesenen Stäbe direkt im Grafikfenster wählen können.

Spanngliedgeometrie bearbeiten

Diese Schaltfläche ermöglicht das direkte Bearbeiten der Spanngliedform im Grafikfenster.

Geometrie in Tabelle bearbeiten

Diese Schaltfläche öffnet einen Dialog, der eine Tabelle aller Eckpunkte des Spannglieds enthält. Die Koordinaten und Bogentypen sowie deren Parameter können hier geändert werden.

Spanngliedverluste

Diese Funktion dient nicht zum Bearbeiten, sondern ist während des Entwurfs des Spannglieds nützlich. Die Schaltfläche berechnet die Spannkraftverluste und zeigt die Ergebnisse an. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel [Spannkraftverluste in internen Spanngliedern](#).

Rechen-Information

Diese Schaltfläche öffnet einen Bericht mit den für die Berechnung erforderlichen Spanngliedparametern.

Standardwerte

Diese Schaltfläche setzt alle Spanngliedparameter auf die Standardwerte zurück (d. h. die Werte, die nach der Programminstallation gesetzt sind).

Spannkraftverluste in internen Spanngliedern

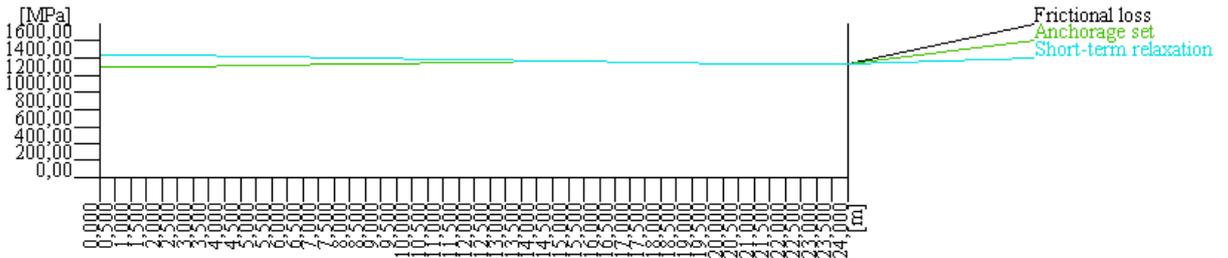
So berechnen Sie die Verluste:

1. Wählen Sie das zu bearbeitende Spannglied.
2. Das Eigenschaftsfenster zeigt die Eigenschaften.
3. Klicken Sie auf die Aktionsschaltfläche **Spanngliedverluste** unten im Eigenschaftsfenster.
4. Betrachten Sie die Ergebnisse im Vorschaufenster (siehe unten).
5. Schließen Sie den Dialog.

6. Heben Sie die Spanngliedauswahl auf.

Vorschaufenster mit berechneten Spanngliedverlusten

Es ist in zwei Bereiche unterteilt. Im ersten Bereich werden Einzelheiten zu den Spanngliedparametern sowie die Ergebnistabelle angezeigt. Mit der Symbolleiste oben im Fenster können Sie alle Daten in eine Datei exportieren (HTML, TXT, PDF, RTF) oder ausdrucken. Im zweiten Bereich sehen Sie ein Diagramm der Verteilung der verschiedenen Verluste entlang des Spannglieds. Sie können den Maßstab des Diagramms oder der Beschriftung ändern. Im Kontextmenü (rechte Maustaste) finden Sie einige Grundfunktionen für das Bild: Zoom, Druck, In Zwischenablage kopieren, Speichern.



Externe Spannglieder

Parameter für nachgespannte äußere Spannglieder

Allgemein

Name	legt den Namen des Spannglieds fest.
Beschreibung	ermöglicht Ihnen, gegebenenfalls eine kurze Beschreibung einzugeben.
Anzahl	legt die Nummer des Spannglieds fest.
Typ	(informativ) zeigt die Art des Spannglieds an (intern/extern).
Layer	legt den Layer des Spannglieds fest. Jedes Spannglied kann einem anderen Layer zugewiesen werden.

Material

Material	legt das Material für das Spannglied fest.
Anzahl der Elemente in Spannglied	legt die Anzahl der Drähte oder Litzen im Spannglied fest.
Anzahl Spannglieder in Gruppe	gibt die Anzahl der identischen Spannglieder (z. B. in Wänden von Einfach- oder Mehrfachschnitten usw.) an, die eine Gruppe bilden. Einzelheiten finden Sie im Bild unter der Tabelle.
Fläche	(informativ) zeigt die Querschnittsfläche des Spannglieds an.
Lastfall	Sie müssen einen Lastfall in der Liste wählen. Die Liste enthält nur die Lastfälle des Lasttyps

Vorspannung.

Die Wirkungen der Vorspannung des Spannglieds werden in diesem Lastfall gespeichert.

Spannung

Spannung nach Verankerung	ist die Spannung im Spannglied nach dem Verankern.
----------------------------------	--

Definieren von neuen nachgespannten äußeren Spanngliedern

So geben Sie ein neues nachgespanntes (freies) internes Spannglied ein:

1. Öffnen Sie den Dienst **Struktur**.
2. Öffnen Sie den Zweig **Spannglieder**.
3. Rufen Sie die Funktion **Nachgespannte freie Spannglieder** auf.
4. Tragen Sie die erforderlichen [Parameter](#) ein.
5. Bestätigen Sie mit **OK**.
6. Geben Sie die Geometrie für das Spannglied ein.
7. Beenden Sie die Funktion.

Bearbeiten von vorhandenen äußeren Spanngliedern

Wenn ein äußeres Spannglied definiert wurde und geändert werden muss, können Sie das folgende Verfahren anwenden:

So bearbeiten Sie ein nachgespanntes äußeres Spannglied:

1. Wählen Sie das zu bearbeitende Spannglied.
2. Das Eigenschaftsfenster zeigt die Eigenschaften.
3. Ändern Sie die erforderlichen Parameter.
4. Heben Sie danach die Spanngliedauswahl auf.

Hinweis: Für diesen Spanngliedtyp stehen Aktionsschaltflächen zur Verfügung.

Ändern der Geometrie von nachgespannten äußeren Spanngliedern

Wenn Sie die Form (Geometrie) eines äußeren Spannglieds ändern möchten, befolgen Sie einfach die Regeln zum Bearbeiten von 1D-Teilen. Soweit es die Geometrie betrifft ist ein äußeres Spannglied nur ein 1D-Teil. Es hat Endknoten, mögliche Zwischenknoten und einen Körper zwischen den beiden. Sie können einfach die Knotenkoordinaten ändern, das Spannglied mit der Maus verschieben oder eine andere Funktion zur Geometriebearbeitung aufrufen.

Ergebnisse**Ergebnisse für nachgespannte Spannglieder**

Die Ergebnisse für nachgespannte Spannglieder können wie die für vorgespannte Spannglieder angezeigt werden. Einzelheiten finden Sie im Kapitel [Vorgespannter Spannbeton > Ergebnisse > Spanngliedspannungen](#).