



**SLOVENSKI STANDARD**  
**kSIST-TS FprCEN ISO/TS 18166:2015**  
**01-oktober-2015**

---

**Numerična simulacija varjenja - Izvedba in dokumentacija (ISO/PRF TS 18166:2015)**

Numerical welding simulation - Execution and documentation (ISO/PRF TS 18166:2015)

Numerische Schweißsimulation - Ausführung und Dokumentation (ISO/PRF TS 18166:2015)

Simulation numérique de soudage - Exécution et documentation (ISO/PRF TS 18166:2015)

**Ta slovenski standard je istoveten z: FprCEN ISO/TS 18166**

---

**ICS:**

25.160.01	Varjenje, trdo in mehko spajkanje na splošno	Welding, brazing and soldering in general
-----------	--	---

**kSIST-TS FprCEN ISO/TS 18166:2015 de**



TECHNISCHE SPEZIFIKATION  
TECHNICAL SPECIFICATION  
SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**SCHLUSS-ENTWURF**  
**FprCEN ISO/TS 18166**

Juli 2015

---

ICS 25.160.01

Deutsche Fassung

## Numerische Schweißsimulation - Ausführung und Dokumentation (ISO/PRF TS 18166:2015)

Numerical welding simulation - Execution and  
documentation (ISO/PRF TS 18166:2015)

Simulation numérique de soudage - Exécution et  
documentation (ISO/PRF TS 18166:2015)

Dieser Technische Spezifikation-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur parallelen formellen Abstimmung vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 erstellt.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

**Warnvermerk** : Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Technischen Spezifikation. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Technischen Spezifikation in Bezug genommen werden.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

**CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel**

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	3
1 Anwendungsbereich .....	4
2 Normative Verweisungen .....	5
3 Begriffe .....	5
4 Problembeschreibung .....	7
4.1 Allgemeines .....	7
4.2 Simulationsobjekt .....	7
4.3 Zielsetzung der Simulation .....	7
4.4 Physikalisches Modell .....	8
4.5 Mathematisches Modell und Lösungsmethode .....	8
4.6 Implementierung .....	8
5 Vorgehensweise .....	9
5.1 Allgemeines .....	9
5.2 Vereinfachungen und Annahmen .....	9
5.3 Prozessbeschreibung und Prozessparameter .....	10
5.4 Struktur und Schweißgeometrien .....	10
5.5 Werkstoffe .....	10
5.6 Beanspruchungen und Randbedingungen .....	11
5.7 Überprüfung der Ergebnisse .....	11
5.8 Angabe der Ergebnisse .....	11
6 Validierung und Verifizierung .....	11
6.1 Allgemeines .....	11
6.2 Verifizierung des Simulationsmodells .....	12
6.3 Kalibrierung der Modellparameter .....	12
6.4 Plausibilitätsprüfung der Simulationsergebnisse .....	12
6.5 Validierung der Simulationsergebnisse .....	12
7 Dokumentation/Angabe der Ergebnisse .....	13
7.1 Allgemeines .....	13
7.2 Simulationsobjekt .....	13
7.3 Werkstoffeigenschaften und Eingabedaten .....	13
7.4 Prozessparameter .....	14
7.5 Vernetzung .....	14
7.6 Numerische Modellparameter .....	14
7.7 Auswertung der Ergebnisse .....	14
Anhang A (informativ) Dokumentationsvorlage .....	15
Anhang B (informativ) Modellierung der Wärmeübertragung beim Schweißen .....	16
Anhang C (informativ) Anforderungen an Richtlinien für Validierungsexperimente .....	18
Anhang D (informativ) Modellierung von Eigenspannungen .....	20
Anhang E (informativ) Vorhersage des Schweißverzuges .....	22
Literaturhinweise .....	24

## **Vorwort**

Dieses Dokument (FprCEN ISO/TS 18166:2015) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen formellen Abstimmung vorgelegt.

Der Abschnitt 4 dieser Technischen Spezifikation enthält nähere Informationen zum allgemeinen Simulationsaufbau und vergleichbarer Anwendungen.

Im Anhang A ist eine Dokumentationsvorlage für die Darstellung der Simulationsergebnisse enthalten.

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO/TS 18166:2015 wurde vom CEN als FprCEN ISO/TS 18166:2015 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## FprCEN ISO/TS 18166:2015 (D)

### 1 Anwendungsbereich

Diese Technische Spezifikation (TS) befasst sich mit der Vorgehensweise zur Durchführung, Validierung, Verifizierung und Dokumentation einer numerischen Schweißsimulation zur rechnerischen Abbildung des Schweißprozesses (en: computational welding mechanics, CWM). Hierzu bezieht sich diese Technische Spezifikation vorrangig auf die thermische und mechanische Finite-Elemente-Methode (FEM) (en: finite element analysis, FEA) beim Schmelzschweißen (siehe ISO/TR 25901:2007, 2.165) von metallischen Bauteilen und Konstruktionen.

Die numerische Schweißsimulation zur rechnerischen Abbildung des Schweißprozesses (CWM) ist ein breites und wachsendes Einsatzgebiet der technischen Analyse.

Diese Technische Spezifikation behandelt folgende Aspekte und Ergebnisse der CWM, mit Ausnahme der Simulation des Verfahrens an sich:

- Wärmestrom während der Analyse einer oder mehrerer Lagen;
- durch den Wärmestrom bedingte Wärmeausdehnung ;
- thermische Spannungen;
- Entstehung unelastischer Dehnungen;
- Auswirkung der Temperatur auf Werkstoffeigenschaften;
- Vorhersage der Eigenspannungsverteilungen;
- Vorhersage des Schweißverzuges.

Diese Technische Spezifikation bezieht sich auf folgende physikalische Effekte, die jedoch nicht ausführlich behandelt werden:

- Physik der Wärmequelle ( z. B. Laser oder Lichtbogen);
- Physik des Schweißbads (und Keyhole für Hochleistungsstrahlschweißungen);
- Ausbildung und Retention von festen Phasen im Nichtgleichgewichtszustand;
- Lösung und Ausscheidung von Sekundärphasenpartikeln;
- Auswirkung des Mikrogefüges auf Werkstoffeigenschaften.

Diese Technische Spezifikation wurde nicht für die Anwendung in einer spezifischen Industriebranche erstellt. CWM kann bei der Gestaltung und Bewertung einer Vielzahl von Bauteilen nützlich sein. Die Technische Spezifikation enthält ein System zur Gewichtung, das dem Anwender eine geschätzte Genauigkeit bietet. Dieses System soll Industrieorganisationen oder Firmen ermöglichen, erforderliche Niveaus der CWM für spezifische Anwendungen festzulegen.

Diese Technische Spezifikation ist unabhängig von der Software und der Durchführung und somit nicht auf die FEM oder eine bestimmte Industriebranche beschränkt.

Sie schafft einheitliche Rahmenbedingungen für die wesentlichen Aspekte der üblicherweise angewendeten Methoden und die Zielsetzung der CWM (einschließlich Validierung und Verifizierung für die objektive Beurteilung von Simulationsergebnissen).

Außerdem bietet sie durch Darstellung und Beschreibung der für eine vollständige numerische Schweißsimulation mindestens erforderlichen Aspekte eine Einleitung in die rechnerische Abbildung des Schweißprozesses (CWM). (Die angegebenen Beispiele sollen die Anwendung dieser Technischen Spezifikation verdeutlichen; diese Beispiele können für Personen, die ihre CWM-Kompetenz erweitern wollen, hilfreich sein.)

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO/TR 25901, *Welding and related processes — Vocabulary*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in ISO/TR 25901 angegebenen und die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### **Randbedingungen**

Bedingungen, die entlang der räumlichen Begrenzung eines Rechenmodells zu erfüllen sind, die die Beziehung zwischen den berechneten und nicht berechneten Modellbereichen (Domains) beschreiben

Anmerkung 1 zum Begriff: Vollständige Randbedingungen liefern eine eindeutige Lösung des spezifischen zu lösenden mathematischen Problems

### 3.2

#### **geometrisches Modell**

Beschreibung aller Geometrien, die in einer Simulation analysiert wurden, einschließlich Dimensionalität des Simulationsobjekts

### 3.3

#### **mathematisches Modell**

Modell, das die wesentlichen zugrundeliegenden mathematischen Gleichungen inklusive zugehöriger Anfangs- und Randbedingungen umfasst

### 3.4

#### **numerische Simulation**

Simulation, die mittels mathematischer Methoden im Allgemeinen mit einem Computer durchgeführt wird

### 3.5

#### **physikalisches Modell**

Gesamtheit der für das vorliegende Simulationsobjekt relevanten zu simulierenden physikalischen Effekte und Anfangs- und Randbedingungen sowie getroffene Vereinfachungen und Annahmen

### 3.6

#### **Plausibilitätsprüfung**

Kontrolle vorliegender Berechnungsergebnisse hinsichtlich Übereinstimmung mit prinzipiellen physikalischen Grundsätzen

### 3.7

#### **Simulationsmodell**

Gesamtheit aus dem physikalischen Modell, dem geometrischen Modell und dem mathematischen Modell sowie der Lösungsmethode

**FprCEN ISO/TS 18166:2015 (D)**

- 3.8**  
**räumliche Diskretisierung**  
Verteilung und Typ der Geometrieinheiten für die Unterteilung des geometrischen Modells
- 3.9**  
**zeitliche Diskretisierung**  
Schrittweite und Anzahl der Zeiteinheiten für die Unterteilung der zu modellierenden zeitlichen Abläufe
- 3.10**  
**Validierung**  
Verfahren zur Bestimmung des Grads, mit dem ein Modell das physikalische Problem aus Sicht des vorgesehenen Verwendungszwecks des Modells genau darstellt
- 3.11**  
**Validierungsexperiment**  
für die Validierung der Simulationsergebnisse speziell geplantes Experiment mit möglichst vollständiger Erfassung aller relevanten Daten und deren Unsicherheit
- 3.12**  
**Verifizierung**  
Nachweis der Richtigkeit des Simulationsmodells
- 3.13**  
**Kalibrierung**  
Verfahren zur Anpassung der Modellparameterwerte im Simulationsmodell zur Verbesserung der Übereinstimmung mit zuverlässigen experimentellen Daten
- 3.14**  
**Modell**  
mathematische Darstellung eines physikalischen Systems oder Prozesses
- 3.15**  
**Finite-Elemente-Methode**  
**FEM**  
(en: finite element analysis, FEA)  
numerische Methode zur Lösung partieller Differenzgleichungen, die das Ansprechverhalten eines Systems auf Beanspruchung beschreibt
- 3.16**  
**Wärmestrom**  
Wärmeenergiemenge, die durch eine Flächeneinheit übertragen wird
- 3.17**  
**Leistungsdichte**  
je Volumeneinheit absorbierte oder erzeugte Wärmeleistungsmenge
- 3.18**  
**Vorhersage**  
Schätzung des Ansprechverhaltens eines physikalischen Systems mittels eines mathematischen Modells
- 3.19**  
**rechnerische Abbildung des Schweißprozesses**  
**CWM**  
(en: computational welding mechanics)  
Bestandteil der numerischen Schweißsimulation und –analyse



## 4 Problembeschreibung

### 4.1 Allgemeines

Die rechnerische Abbildung des Schweißprozesses ist ein Bestandteil der numerischen Schweißsimulation und –analyse, die hauptsächlich mittels Finite-Elemente-Methode erreicht wird. Es werden nichtlineare thermische und mechanische Analysen durchgeführt, die teilweise oder vollständig gekoppelt sein können, wobei die Schweißleistung in irgendeiner Weise auf das Rechenmodell angewendet wird und die resultierenden transienten Temperaturfelder (und mögliche Mikrostrukturbereiche) anschließend mit den mechanischen Werkstoffeigenschaften/Modellen und Randbedingungen kombiniert werden, um die Spannung und Dehnung im Modell und dessen Verzug vorherzusagen. Diese Beschreibung soll weder allumfassend noch restriktiv sein, sondern dient dazu, die übliche erwartete Anwendung festzulegen, für die diese Technische Spezifikation gelten könnte.

Diese Spezifikation befasst sich mit dem generellen CWM-Problem, das als ein dreidimensionales Volumenmodell definiert werden kann, das sich mit der Leistungsdichte einer beweglichen Wärmequelle mit gleichzeitiger Berechnung von Temperatur, Mikrostruktur und Verformung unter Verwendung von elasto-viskoplastischen Werkstoffmodellen auf Grundlage der Werkstoffeigenschaften im Bereich von Raumtemperatur bis oberhalb der Schmelztemperatur beschäftigt.

Das schließt die Verwendung von vereinfachten Methoden nicht aus, sondern bietet eher eine Orientierung für die Beurteilung von Vereinfachungen der Simulationsmethode. Vereinfachungen werden in erster Linie aufgrund rechnerbedingter Einschränkungen (Größe und Geschwindigkeit) notwendig und gelten für viele industrielle Problemstellungen, z. B. dickwandige Schweißungen in der Druckbehälter- oder Schiffbauindustrie. Da jede Vereinfachung des mathematischen Modells, das das physikalische System darstellt, die Unsicherheit der Simulationsergebnisse erhöhen kann, muss das durch zusätzlichen Aufwand bei der Verifizierung und Validierung des Modells ausgeglichen werden. Alle Rechenmodelle erfordern Verifizierung und Validierung; dieses Thema wird in Abschnitt 6 näher behandelt. Die vorherige Diskussion wird in den übrigen Unterabschnitten formalisiert und fortgeführt.

### 4.2 Simulationsobjekt

Der erste Punkt umfasst die genaue Beschreibung des zu untersuchenden Bauteils bzw. der gesamten Konstruktion (z. B. Geometrie, Einsatzbedingungen), der verwendeten Grund- und Zusatzwerkstoffe, des Schweißverfahrens und der Schweißparameter, der verwendeten Schweißfolge sowie der Einspannbedingungen. Wahlweise darf eine ergänzende grafische Darstellung oder ein Foto beigelegt werden.

### 4.3 Zielsetzung der Simulation

Hierbei werden die angestrebten Simulationsergebnisse, welche sich aus der realen Aufgabenstellung ergeben, festgelegt. Das ist besonders wichtig, weil viele realistische Probleme dennoch eine Vereinfachung erfordern, um mit vertretbarem Aufwand analysiert werden zu können.

Einige mögliche Beispiele hierzu sind die Berechnung von Schweißeigenspannungen und/oder Schweißverzügen, die Bewertung der Eigenschaften der Wärmeeinflusszone oder des Wärmeeintrags des Schweißprozesses.

Ergänzend sollte ein übergeordnetes Ziel genannt werden, für welches die angestrebten Simulationsergebnisse weiterverwendet werden sollen, beispielsweise:

- Beurteilung der strukturellen Unversehrtheit des Objekts unter festgelegten Beanspruchungsbedingungen, möglicherweise einschließlich anzunehmender oder bekannter Werkstofffehler;
- Optimierung erforderlicher Wärmenachbehandlungen zum Beseitigen von Schweißverzügen und/oder Eigenspannungen;
- Optimierung der Schweißverfahren;

## FprCEN ISO/TS 18166:2015 (D)

- Minimierung von Schweißverzug und Schweißspannungen.

### 4.4 Physikalisches Modell

In Abhängigkeit der in 4.3 festgelegten Ziele werden in diesem Abschnitt die jeweils zugehörigen zu simulierenden physikalischen Effekte, Randbedingungen und getroffene Vereinfachungen und Annahmen zusammengetragen. In Abhängigkeit von der angestrebten Modellkomplexität können beispielsweise folgende physikalische Effekte und Einflussgrößen relevant sein:

- Wärmetransport über Wärmeleitung im Feststoff;
- Konvektion und Strahlung an der Oberfläche;
- Spannung in Abhängigkeit von der Dehnung;
- Werkstoffveränderungen, wie Gefügeumwandlungen;
- Lösungen oder Ausscheidungen;
- mechanisches Verhalten, wie Elastizität;
- sofortige oder zeitabhängige Plastizität;
- Kaltverfestigung und Erholungseffekt;
- Wärmeausdehnung;
- Umwandlungsplastizität.

Diese Faktoren können entweder mit Texten, Diagrammen, Tabellen oder Formeln beschrieben sein. Die realen Randbedingungen, insbesondere Anfangstemperatur im Feststoff, Umgebungstemperatur und Einspannbedingungen, müssen zweckmäßig beschrieben werden.

Die im Zuge der Zielsetzung der Simulation notwendig gewordenen und für die Durchführung der Simulation gewählten Vereinfachungen müssen beschrieben werden. Die anschließenden Annahmen müssen durch Verifizierungs- und Validierungsverfahren nach Abschnitt 6 begründet werden.

### 4.5 Mathematisches Modell und Lösungsmethode

Basierend auf den Angaben nach 4.4 muss hier ein geeignetes mathematisches Modell festgelegt werden. Hierzu müssen die wesentlichen zugrundeliegenden Differentialgleichungen genannt werden bzw. muss auf diese verwiesen werden. Dieses umfasst beispielsweise das geometrische Modell (2D, 3D), ergänzt mit der mathematischen Beschreibung der Wärmequelle sowie der Anfangs- und Randbedingungen. Weiterhin sollten die handelsübliche Software für die mechanische Analyse und die gewählten Bedingungen der mathematischen Lösung zusammengefasst werden.

Obwohl üblicherweise die Finite-Elemente-Methode (FEM) beabsichtigt wird, sollte die Lösungsmethode immer explizit angegeben werden, z. B. analytisch, different- oder komplementärnumerisch, stochastisch.

### 4.6 Implementierung

Die Beschreibung der Implementierung enthält konkrete auf das Simulationsobjekt nach 4.2 bezogene Angaben und betrifft die räumliche Diskretisierung, z. B.:

- FE-Netz, einschließlich Festlegung der Elementtypen;
- zeitliche Diskretisierung;